

 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Vicerrectoría Minirecursos	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
	Dependencia	Aprobado		Pág.
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADÉMICO		i(123)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	KATHERIN LICETH PULGARIN MARTÍNEZ		
FACULTAD	FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERÍA AMBIENTAL		
DIRECTOR	JUAN CARLOS RODRÍGUEZ OSORIO		
TÍTULO DE LA TESIS	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OCAÑA NORTE DE SANTANDER BASADO CON LA HERRAMIENTA SIG		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>EL ESTUDIO PERMITIÓ LA CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA Y LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS E HIDROLÓGICAS QUE FUERON DESARROLLADAS EN ESTA INVESTIGACIÓN A LAS SERIES DE CAUDAL PRESENTAN EVIDENCIAS DE CAMBIO EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS SERIES DE NIVELES Y CAUDALES REGISTRADOS EN LOS RIO TEJO Y CHIQUITO PARA LOS PERIODOS DE RETORNO EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER DANDO LOS RESULTADOS EXPUESTOS EN EL INFORME PRESENTADOS Y DEL CUAL SE PUDIERON DEJAR ALGUNAS RECOMENDACIONES.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS:	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax: Ext. 104
 info@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

**ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRÁULICO PARA DETERMINACIÓN DE LAS
ÁREAS DE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OCAÑA
NORTE DE SANTANDER BASADO CON LA HERRAMIENTA SIG**

AUTORA

KATHERIN LICETH PULGARIN MARTÍNEZ

**Plan de trabajo de pasantías presentado como requisito para optar el título de Ingeniero
Ambiental**

Director

JUAN CARLOS RODRÍGUEZ OSORIO

Especialista e Ingeniero Ambiental

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

INGENIERÍA AMBIENTAL

Ocaña, Colombia

Agosto, 2018

Índice

Capítulo 1. Estudio hidrológico e hidráulico para determinación de las áreas de inundación en la zona urbana del municipio de Ocaña, Norte de Santander basado con la herramienta SIG.....	14
1.1. Descripción de la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental “CORPONOR Ocaña”	14
1.1.1 Misión.....	15
1.1.2 Visión.....	15
1.1.3 Objetivos general corporativo.	15
1.1.3.1 Política de Gestión Integral HSEQ	15
1.1.4 Descripción de la estructura organizacional.....	19
1.1.5 Descripción de la dependencia en la cual fui asignado.	20
1.3. Objetivos	22
1.3.2. Objetivos específicos.....	22
1.4 Descripción de las actividades a desarrollar	23
1.5. Cronograma de Actividades.....	25
Capítulo 2. Marco Referencial	27
2.1. Marco Teórico	27
2.2. Hidrología.....	27
2.3. La historia de la hidrología.....	27
2.4. Ramas de la hidrología.....	29
2.5. Medidas Hidrológicas	30
2.6. Predicción hidrológica.....	31
2.7. La Hidrología estadística.....	31
2.8. Modelos Matemáticos	31
2.9. La hidráulica de canales	33
2.10. Flujo uniforme.....	34
2.11. La escorrentía superficial.	34
2.12. Modelación hidráulica.....	35

2.13. Aplicación y aporte de los modelos hidráulicos.....	35
2.14. Clasificación general de los modelos hidráulicos	36
2.14.1. Modelo físico.....	36
2.15. Modelación Hidrológica.....	37
2.16. Modelo hidrológico	37
2.17. Amenazas de inundación.....	38
Capítulo 3. Estudio Hidrológico	40
Capítulo 4. Aplicar modelos hidráulicos a escala 1:5000 para la zona urbana del municipio de Ocaña Norte de Santander acorde con la información básica disponible de batimetría elaborada por el IDEAM para establecer la amenaza por inundación para diferentes periodos de retorno.	46
4.1. Localización General.....	46
4.2. Análisis exploratorio	50
4.3. Gráficos serie de precipitación y curva de masa simple	50
4.4. Gráfico de masa residual	55
4.5. Diagrama de Puntos	56
4.6 Histograma y gráfico de tallo y hojas.....	57
4.7. Gráfico S – S	58
4.8 Gráficos de Caja.....	59
4.9. Gráficas Suavizadas	60
Capítulo 5. Calculo de caudales superficiales para los rio tejo y chiquito (método racional)	65
Capítulo 6. Topografía de la zona de estudio	76
6.1. Cuenca del rio Chiquito	78
6.2. Modelo digital del terreno	81
6.3. Descripción de la geometría de los cauces	84

6.4. Creación de secciones transversales	85
6.4.1. Insumos para la construcción de las secciones transversales	85
6.5. Análisis hidráulico por tramos del río tejo	105
Conclusiones.....	113
Recomendaciones	114
Referencias	115
Apéndices	118

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de amenaza de inundación Tr 20 años en el casco urbano de la Virginia	39
Figura 2. Imagen de la ubicacion de estaciones climatologicas IDEAM	42
Figura 3. Mapa de Localización.....	47
Figura 4. Localización de los ríos tejo y Chiquito	49
Figura 5 .Gráficos de masa simple y serie de precipitación de las estaciones seleccionadas	52
Figura 6. Gráficos de masa residual para las estaciones	56
Figura 7. Diagrama de puntos para la serie de precipitación	57
Figura 8. Histogramas y diagrama de tallo y hojas para la serie de precipitación.....	58
Figura 9.X. Gráficos S – S de las estaciones	59
Figura 10. Gráfico de caja para la estación aguas claras	60
Figura 11 .Gráfico de caja para la estación Otare	60
Figura 12.Gráfico suavizado para la serie de precipitación de la estación Abrego	61
Figura 13. Gráfico suavizado para la serie de precipitación de la estación Otare	61
Figura 14. Gráfico suavizado para la serie de precipitación de la estación Aguas claras.....	62
Figura 15. Mapa de Isoyetas (Precipitación Máxima Anual)	63
Figura 16. Grafica de precipitación para la zona de estudio.....	64
Figura 17. Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación Aeropuerto Aguas claras	69
Figura 18. Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación De Otare.....	70
Figura 19. Tabla de intensidades – Duración – Frecuencias para la estación Teorama	70
Figura 20. Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación de Teorama	71
Figura 21. Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación de Abrego	72
Figura 22. Topografía del Rio Chiquito.....	76
Figura 23. Mapa Topográfico	77
Figura 24 Plano topográfico del canal del rio chiquito.....	77
Figura 25. Plano topográfico del rio tejo	78
Figura 26. Plano topográfico de la cuenca del rio chiquito	79
Figura 27 . Mapa cuenca urbana del rio tejo.....	80
Figura 28. Mapa de cuencas hidrográficas del rio tejo y rio chiquito.....	81
Figura 29. Modelo digital de Terreno	82

Figura 30. Visualización del TIN en 3D.....	82
Figura 31. TIN de la cuenca del tejo.....	83
Figura 32. Visualización del TIN en 3D Rio Tejo.....	83
Figura 33. Creación del eje central del rio chiquito.....	86
Figura 34. Creación de los bancos hidráulicos del rio chiquito.....	87
Figura 35. Mapa Oficial de riesgos y amenazas urbanas.....	88
Figura 36. Sección A. desde el nacimiento hasta la abscisa +100.....	89
Figura 37. Sección B +200.....	89
Figura 38. Sección C +300.....	90
Figura 39. Sección C+400.....	90
Figura 40. Sección D+500.....	91
Figura 41. IP de la Cross Section Output; tomado de los resultados modelados en HecRas 5.03 para la primera sección.....	92
Figura 42. Geometría de las secciones transversales para la sección 1 rio chiquito.....	103
Figura 43. Geometría de las secciones transversales para la sección 2 rio chiquito.....	103
Figura 44. Geometría de las secciones transversales para la sección 3 rio chiquito.....	104
Figura 46. Geometría de las secciones transversales para la sección 5 rio chiquito.....	104
Figura 47. Perfil Longitudinal rio chiquito calculado modelado a partir de datos espaciales..	105
Figura 48. Primer tramo rio tejo modelado.....	106
Figura 49. IP visualización de la importación de la geometría desde Hec GeoRAS a la interface de trabajo de Hec Ras.....	106
Figura 50. Faja marginal en los primeros 1100mtrs del rio desde la cota de inicio hasta el puente.....	107
Figura 51. Tramo 1 del rio tejo en la modelación.....	109
Figura 52. Tramo 2 del rio tejo en la modelación.....	109
Figura 53. Tramo 3 del rio tejo en la modelación.....	109
Figura 54. Tramo 4 del rio tejo en la modelación.....	110
Figura 55. Tramo 5 del rio tejo en la modelación.....	110
Figura 56. Mapa de inundaciones urbanas.....	111

Lista de tablas

Tabla 1. Localización de las estaciones climatológicas usadas para el estudio.....	42
Tabla 2. Coeficiente de correlación de las cinco estaciones.....	44
Tabla 3. Gráficos de homogeneidad de las series de precipitación de las estaciones seleccionadas.	45
Tabla 4. Cuadro de coordenadas.....	48
Tabla 5. Tabla de coordenadas del río Chiquito y Tejo.....	49
Tabla 6: Estadística descriptiva estación de Aguas Claras.....	52
Tabla 7. Estadística descriptiva estación Abrego.....	54
Tabla 8. Estadística descriptiva estación de Teorama.....	54
Tabla 9. Tabla de intensidades – Duración – Frecuencias para la estación Aeropuerto de Aguas Claras.....	68
Tabla 10. Tabla de intensidades – Duración – Frecuencias para la estación de Otare.....	69
Tabla 11. Tabla de intensidades – Duración – Frecuencias para la estación De Abrego.....	71
Tabla 12. Estimación del caudal máximo para la estación Aeropuerto Aguas Claras.....	74
Tabla 13. Estimación del caudal máximo para la estación De Otare.....	74
Tabla 14. Estimación del caudal máximo para la estación Abrego.....	74
Tabla 15. Estimación del caudal máximo para la estación Teorama.....	75
Tabla 16. Condiciones hidráulicas sección 1 Río Chiquito.....	95
Tabla 17. Condiciones hidráulicas sección 2 Río Chiquito.....	96
Tabla 18. Condiciones hidráulicas sección 3 Río Chiquito.....	96
Tabla 19. Condiciones hidráulicas sección 4 Río Chiquito.....	97
Tabla 20. Condiciones hidráulicas sección 5 Río Chiquito.....	98
Tabla 21. Condiciones hidráulicas sección 6 Río Chiquito.....	98
Tabla 22. Condiciones hidráulicas sección 1 Río Tejo.....	99
Tabla 23. Condiciones hidráulicas sección 2 Río Tejo.....	100
Tabla 24. Condiciones hidráulicas sección 3 Río Tejo.....	100
Tabla 25. Condiciones hidráulicas sección 4 Río Tejo.....	101
Tabla 26. Condiciones hidráulicas sección 5 Río Tejo.....	101
Tabla 27. Condiciones hidráulicas sección 5 Río Tejo.....	102

Tabla 28. Periodos de retorno, caudales calculados, areas de inundacion..... 112

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1. Expresiones matemáticas para el cálculo de la media y desviaciones acumuladas de la serie.	55
Ecuación 2. Ecuación para el cálculo de caudal máximo a diferentes periodos de retorno.....	65
Ecuación 3.ecuación del factor de reducción.....	65
Ecuación 4 . Ecuación para la Distribución de Gumbel	68

Lista de apéndices

Apendice A. Registro Fotografico	119
--	-----

Capítulo 1. Estudio hidrológico e hidráulico para determinación de las áreas de inundación en la zona urbana del municipio de Ocaña, Norte de Santander basado con la herramienta SIG

1.1. Descripción de la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental “CORPONOR Ocaña”

La corporación autónoma regional de la frontera Nor Oriental **CORPONOR** fue creada mediante decreto 3450 del 17 de Diciembre del año 1983, durante el gobierno de Belisario Betancourt, como corporación de desarrollo cuyo objetivo principal era encausar, fomentar, coordinar, ejecutar y consolidar el desarrollo económico y social de la región comprendida dentro de su jurisdicción y con algunas funciones de administración de los recursos naturales y del Medio Ambiente, Diez (10) años después, con la expedición de la Ley 99 de 1993, la Corporación transforma sus funciones, pasando a ser una Corporación Autónoma Regional, teniendo como jurisdicción el Departamento Norte de Santander y cuya función principal es la de ejercer como máxima autoridad ambiental del Departamento, de acuerdo con las normas y directrices trazadas por el Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

La jurisdicción de CORPONOR es el Departamento Norte de Santander que comprende una extensión de 21.658 Km², que representa el 1.9% del total del País. Su área de trabajo abarca cuarenta (40) municipios en donde desarrollan sus actividades cerca de 1'140.000 Habitantes, distribuidos en tres (3) cuencas hidrográficas: La Cuenca del río Catatumbo, la Cuenca del río Arauca y la Cuenca del río Magdalena. La Corporación para la administración de su territorio está dividida en cuatro regiones: Cúcuta, sede principal; Ocaña, Pamplona y Tibú, denominadas Direcciones Territoriales, dentro de la estructura orgánica de la Corporación. (CORPONOR, 2011)

1.1.1 Misión. Ejercer la autoridad ambiental propendiendo por el desarrollo humano sostenible, promoviendo la gestión ambiental colectiva y participativa en el Departamento Norte de Santander

1.1.2 Visión. Ser una entidad reconocida, respetada y de referencia obligatoria para la toma de decisiones que orienten el desarrollo humano sostenible en el Departamento Norte de Santander.

1.1.3 Objetivos general corporativo. CORPONOR tiene por objeto ejercer la máxima autoridad ambiental en la zona de su jurisdicción a través de la administración del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables, con el fin de propender al desarrollo sostenible de los mismos. (CORPONOR. Plan de Acción 2012-2015, 2014)

1.1.3.1 Política de Gestión Integral HSEQ

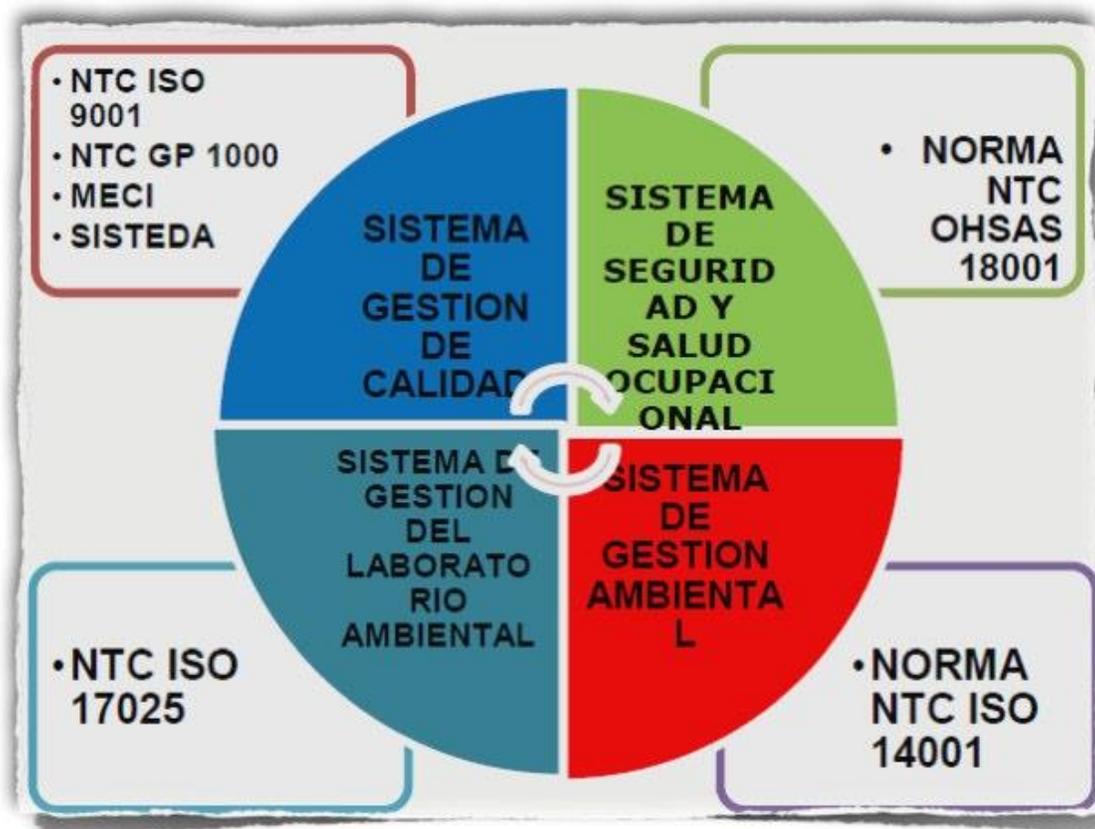


Figura 1. Política de Gestión Integral

Fuente: CORPONOR. Plan de Acción 2012-2015[online]. Ocaña (Colombia). [citado el 1 de agosto de 2013]. Disponible en: http://www.corponor.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=1259&Itemid=299

Política de gestión integral HSEQ. En la CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LA FRONTERA NORORIENTAL CORPONOR, promovemos la gestión ambiental colectiva y participativa, contando con un equipo humano competente y comprometido a:

Ejercer la Autoridad Ambiental, con el fin de satisfacer las necesidades y expectativas de las partes interesadas, enmarcado en la eficiencia, eficacia y efectividad. Prevenir y mitigar el impacto ambiental negativo generado en el desarrollo de nuestras actividades.

Implementar actividades de promoción y prevención en salud dirigidas a nuestros funcionarios y de Seguridad para nuestros colaboradores y visitantes.

Prestar servicios de caracterización de aguas, con resultados confiables, oportunos, imparciales e independientes.

Cumplir con la legislación aplicable y los acuerdos suscritos por la Entidad.

Mejorar continuamente el Sistema de Gestión Integral HSEQ, siguiendo los parámetros y documentación establecida.

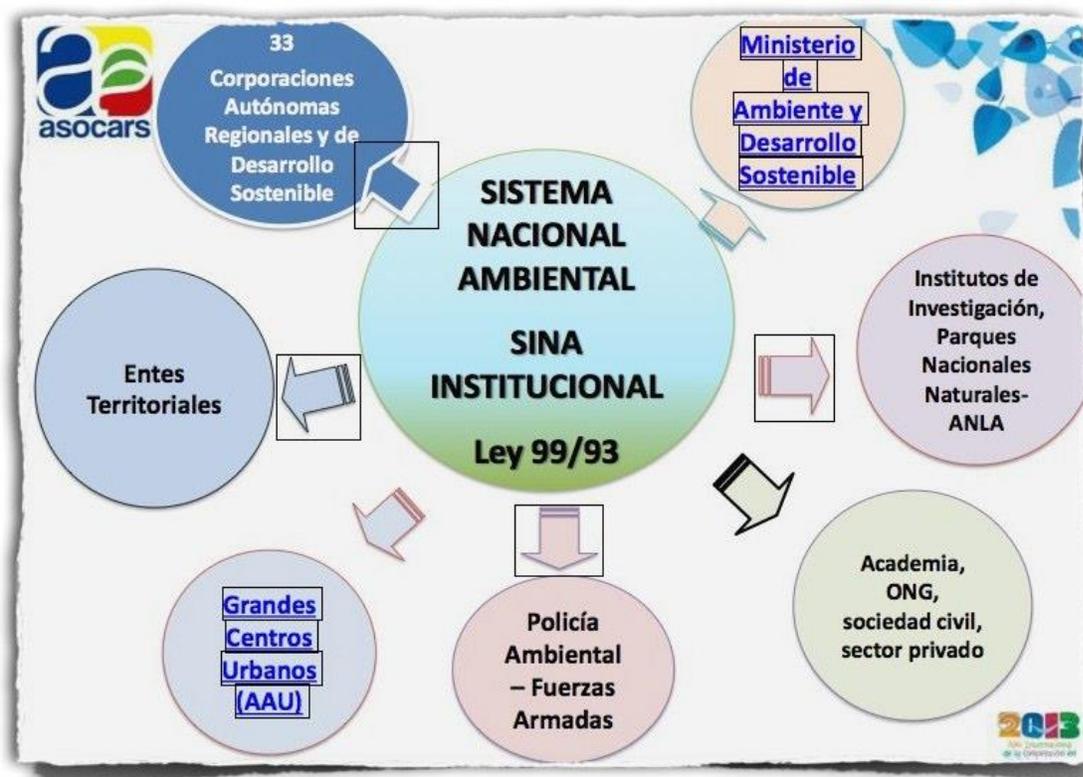


Figura 2. Organigrama del SINA

Fuente: ASOCARS. Organigrama del SINA [online]. [Citado el 27 de diciembre de 2013]. Disponible en: <http://www.nocaima.gov.co/wp-content/uploads/2013/10/Presentación-ASOCARS.pdf>



Figura 3. Componentes del SINA

Fuente: SINA. Plan de Acción 2012-2015[online]. Ocaña (Colombia). [Citado el 28 de diciembre de 2013]. Disponible en: <http://www.slideshare.net/vilmer23/sina-sistema-nacional-ambiental>

Las Funciones Generales de la Corporación. Ley 99 de 1993, Artículo 31. Funciones. Las Corporaciones Autónomas Regionales ejercerán las siguientes funciones:

Ejecutar las políticas, planes y programas nacionales en materia ambiental definidos por la ley aprobatoria del Plan Nacional de Desarrollo y del Plan Nacional de Inversiones o por el Ministerio del Medio Ambiente, así como los del orden regional que le hayan sido confiados conforme a la ley, dentro del ámbito de su jurisdicción; Ejercer la función de máxima autoridad ambiental en el área de su jurisdicción, de acuerdo con las normas de carácter superior y conforme a los criterios y directrices trazadas por el Ministerio del Medio Ambiente; Promover y desarrollar la participación comunitaria en actividades y programas de protección ambiental, de desarrollo sostenible y de manejo adecuado de los recursos naturales renovables; Coordinar el proceso de preparación de los planes, programas y proyectos de desarrollo

medioambiental que deban formular los diferentes organismos y entidades integrantes del Sistema Nacional Ambiental (SINA) en el área de su jurisdicción y en especial, asesorar a los Departamentos, Distritos y Municipios de su comprensión territorial en la definición de los planes de desarrollo ambiental y en sus programas y proyectos en materia de protección del medio ambiente y los recursos naturales renovables, de manera que se asegure la armonía y coherencia de las políticas y acciones adoptadas por las distintas entidades territoriales.

Participar con los demás organismos y entes competentes en el ámbito de su jurisdicción, en los procesos de planificación y ordenamiento territorial a fin de que el factor ambiental sea tenido en cuenta en las decisiones que se adopten; Celebrar contratos y convenios con las entidades territoriales, otras entidades públicas y privadas y con las entidades sin ánimo de lucro cuyo objeto sea la defensa y protección del medio ambiente y los recursos naturales renovables, con el fin de ejecutar de mejor manera alguna o algunas de sus funciones, cuando no correspondan al ejercicio de funciones administrativas; Promover y realizar conjuntamente con los organismos nacionales adscritos y vinculados al Ministerio del Medio Ambiente, y con las entidades de apoyo técnico y científico del Sistema Nacional Ambiental (SINA), estudios e investigaciones en materia de medio ambiente y recursos naturales renovables.

1.1.4 Descripción de la estructura organizacional.

El Organigrama funcional de la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental está conformado por la Asamblea Corporativa, como primer órgano de Dirección de la Corporación, seguida de un Consejo Directivo como órgano de administración, La Dirección General articulada con una Secretaría General, cuatro Subdirecciones de Apoyo, cuatro Oficinas y tres Direcciones Territoriales con sedes en Ocaña, Pamplona y Tibú.

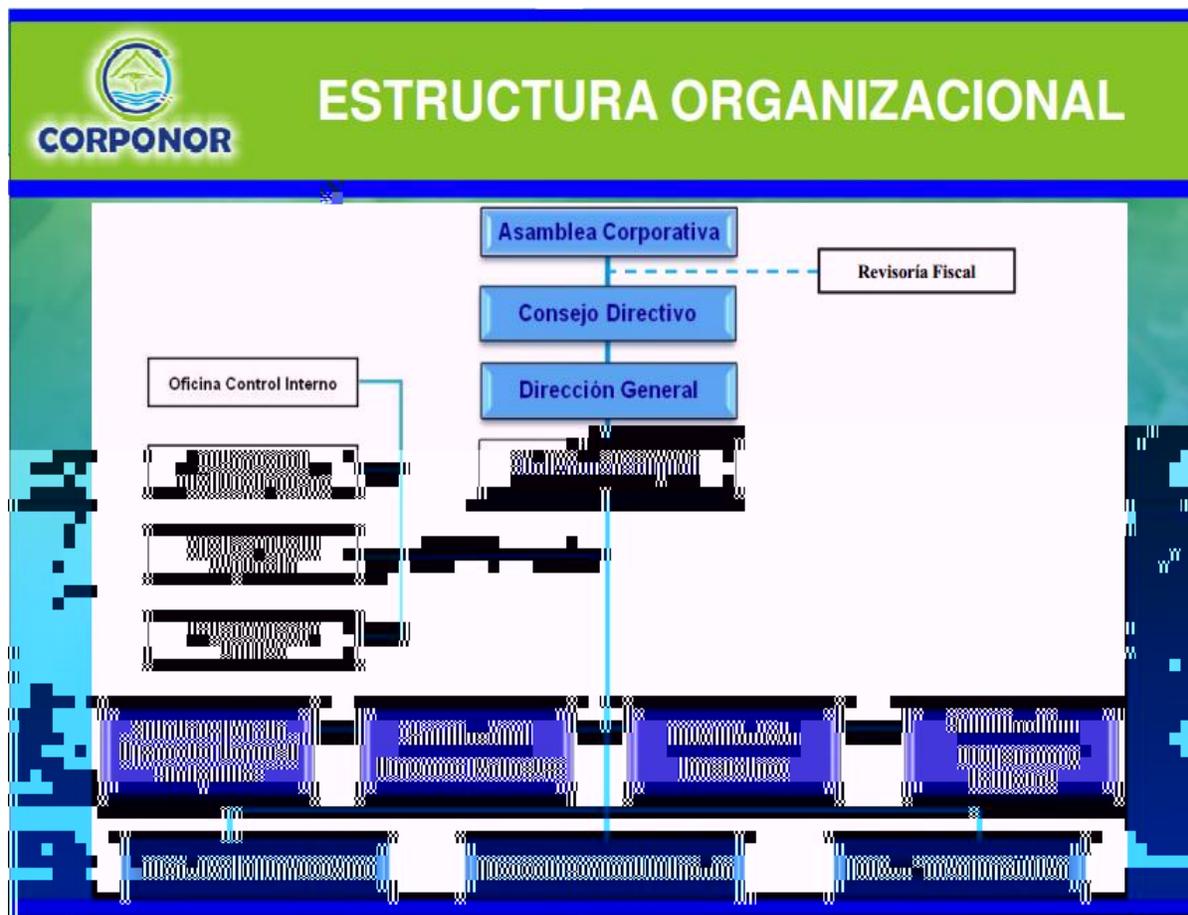


Figura 4. Estructura organizacional.

Fuente: CORPONOR. Plan de Acción 2012-2015[online]. Ocaña (Colombia). [Citado el 14 de enero de 2014]. en: http://www.corponor.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=1259&Itemid=299.

1.1.5 Descripción de la dependencia en la cual fui asignado.

Este plan de trabajo de pasantía se realiza en la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental CORPONOR Territorial Ocaña. Fui asignado en la Dependencia de Aguas, adscrita a la Dirección Territorial Ocaña, en la cual desarrollare el objetivo principal de la pasantía la cual es la de realizar el ANALISIS DEL RIESGO POR REMOCION EN MASA QUE SE PRESENTA EN LAS ZONAS DE INVASION DE LA COMUNA SEIS (6) CIUDADELA NORTE DE LA CIUUDAD DE OCAÑA NORTE DE SANTANDER, dentro el Proceso Operativo Misional que lidera la Subdirección de Desarrollo Sectorial Sostenible en donde se lleva a cabo los procedimientos relacionados con el Recurso Hídrico como son: Legalización del Uso del Recurso Hídrico a través de Visitas Técnicas para otorgar o negar Concesiones de Agua, Visitas de Seguimiento a Concesiones de Agua, Solución y Concertación de Conflictos por el Recurso, evaluación y seguimiento a los

Programas para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua de los Municipios de la Provincia de Ocaña, Norte de Santander. Todo esto se lleva a cabo con sus evidencias respectivas y siguiendo los lineamientos y formatos establecidos en la Corporación, según Sistemas de Gestión denominado SIGESCOR.

Mediante la pasantía, se pretende llevar a cabo el ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRÁULICO

PARA DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OCAÑA NORTE DE SANTANDER

1.2 Diagnóstico inicial de la dependencia en la cual fui asignado

Cuadro 1. Diagnóstico Inicial.

DEBILIDADES	OPORTUNIDADES
<p>Pocos equipos de campo (GPS), para la toma de datos e informaciones de suma importancia. Y softwares específicos de análisis (SIG, geo estudio 8.1; etc.)</p> <p>Faltan equipos (computadores), con la capacidad de RAM y procesadores para la elaboración de este tipo de estudios.</p> <p>Limitaciones para el acceso a la información.</p>	<p>Buena disposición para adquirir conocimientos.</p> <p>Aprendizaje y práctica permanente.</p> <p>Crecimiento personal, para la toma de decisiones en nuestro rol profesional.</p> <p>Buena información e investigación sobre el riesgo por remoción en masa en cada una de las comunas que componen la ciudad</p> <p>.</p>
FORTALEZAS	AMENAZAS
<p>Apoyo de las dependencias de la CORPORACION para el desarrollo del trabajo</p> <p>Dependencia que promueve la gestión ambiental colectiva y participativa en nuestro Municipio y Departamento.</p>	<p>Alteración del Orden Público.</p> <p>Difícil acceso a la zona por razones de seguridad</p>

<p>Organización para las entregas de informes técnicos según formatos establecidos por el sistema de gestión de calidad de la Entidad.</p> <p>.</p> <p>Experiencia y conocimiento sobre la Gestión del riesgo</p> <p>Capacidad de entrega permanente en las diferentes actividades a desarrollar.</p> <p>Mejoras continuas en los procesos que se llevan a cabo.</p>	
--	--

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General. Estudio hidrológico e hidráulico para determinación de las áreas de inundación en la zona urbana del municipio de Ocaña norte de Santander

1.3.2. Objetivos específicos.

Aplicar modelos hidráulicos a escala 1:5000 para la zona urbana del municipio de Ocaña Norte de Santander acorde con la información básica disponible de batimetría elaborada por el IDEAM para establecer la amenaza por inundación para diferentes periodos de retorno.

Generar la información temática especializada en SIG producto de la modelación realizada e incorporarla al mapa de amenaza por inundación correspondiente.

Realizar un documento con los resultados obtenidos y reportes técnicos de la modelación hidrológica con recomendaciones para su aplicación para los escenarios de riesgo hidrológico por inundación.

1.4 Descripción de las actividades a desarrollar

Tabla 1. Descripción de las actividades

OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES A DESARROLLAR PARA HACER POSIBLE EL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJ. ESPECÍFICOS
<p>Estudio hidrológico e hidráulico para determinación de las áreas de inundación en la zona urbana del municipio de Ocaña norte de Santander</p>	<p>Aplicar modelos hidráulicos a escala 1:5000 para la zona urbana del municipio de La Dorada, acorde con la información básica disponible de batimetría elaborada por el IDEAM para establecer la amenaza por inundación para diferentes periodos de retorno</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recopilación, selección y análisis de la información (consiste en definir los requerimientos de información, se identificarán las estaciones hidrométricas, pluviométricas y climatológicas existentes dentro de la zona de estudio y en su área de influencia, para establecer cuáles son de interés para el estudio, de igual manera se identifican los requerimientos de información cartográfica. Posterior a la consecución de la información requerida, se evalúa la calidad de ésta y se continúa con un procesamiento básico que es diferente tanto para la información espacial como para la información temporal. 2. Formular la caracterización Hidrológica y geomorfológica 3. Hidrología Estocástica por medio de métodos convencionales de modelación de lluvia y escorrentía agregada y distribuida 4. Realizar el cálculo de caudales para diferente periodo de retorno 5. Análisis de calidad y homogeneidad de las series hidrometeorológicas <ol style="list-style-type: none"> 1. se recolectará la información concerniente a la zona entre la cual se destaca, planimetría y altimetría de la

<p>Generar la información temática especializada en SIG producto de la modelación realizada e incorporarla al mapa de amenaza por inundación correspondiente</p>	<p>región de estudio, mapa de suelos, usos y cobertura</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Mapa de red de drenajes (fuente levantamiento propio realizado en campo) 3. Mapa de curvas de nivel (fuente levantamiento propio con GPS simétrico amarrado a las placas de la Red Geodésica del municipio de Ocaña). 4. Mapa de vías (fuente IGAC CORPONOR). 5. Mapa de suelos (fuente IGAC CORPONOR). 6. Mapa de cobertura vegetal (metodología CLC, fuente propia, validación en campo). 7. El Modelo de Elevación Digital del Terreno se generó a partir de la información topográfica
<p>Realizar un documento con los resultados obtenidos y reportes técnicos de la modelación hidrológica con recomendaciones para su aplicación para los escenarios de riesgo hidrológico por inundación</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar la selección de los periodos de retorno. 2. estimación del coeficiente de rugosidad. 3. análisis previo con SIG en HEC-GeoRAS. 4. Modelado en HEC-RAS. 5. Determinación de las condiciones iniciales de borde. 6. Calibración del modelo 7. modelación de caudales.

	8. generación y análisis de los datos geométricos. 9. resultados del estudio hidráulico 10. Zonificación de la amenaza por inundación
--	---

Fuente. Pasante CORPONOR 2017

1.5. Cronograma de Actividades

En el siguiente cronograma se muestran las actividades diseñadas con el fin de alcanzar cada uno de los objetivos específicos de esta pasantía, estas actividades fueron construidas según los parámetros de METODOLOGÍA PARA REALIZAR TRABAJOS DE HIDROTOPOGRAFÍA, IDEAM 2013 y el Instructivo para el diligenciamiento de la información en plantillas Excel - REGISTRO DE FUENTES HÍDRICAS

Tabla 2. Cronograma de actividades

<i>TIEMPO</i> <i>ACTIVIDADES</i>	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Gestión de información secundaria, la cual debe provenir de las bases de datos de la alcaldía municipal, CORPONOR y bases de datos nacionales (esta información incluirá; estudios anteriores a este en la zona de estudio o en otra zona, cartografía base, bases de datos, planos, etc.).																
visitas a campo dentro del perímetro urbano de la ciudad de Ocaña mediante las cuales se identificar las zonas que históricamente han presentado problemas de inundación en periodos fuertes de lluvia (fenómeno de la niña)																
Desarrollar una caracterización biofísica de la zona de estudio a partir de la siguiente información temática previamente construida y analizada. (Topografía, geología, geomorfología, hidrología, morfometría de la cuenca urbana, Precipitación, clasificación sísmica de la ciudad de Ocaña, vegetación)																
Aplicar el modelo Hidráulico HECRAS 4.1.																
Presentación del documento final (informe final de pasantías y sustentación frente a los jurados asignados)																

Fuente. Pasante Corponor 2017

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1. Marco Teórico

En el presente trabajo fueron tomados como referencia diversas teorías, las cuales, debido a su relevante importancia, deben ser la base para el desarrollo de la metodología, por esta razón, es importante conocer a profundidad los rasgos más acentuados de dichas referencias y la temática que se tendrá en cuenta durante el desarrollo de este trabajo, que al mismo tiempo servirá como argumento y sustentación del mismo.

2.2. Hidrología

Desde el punto de vista teórico (Revén; 2010) argumenta que La hidrología es el estudio del movimiento, distribución y calidad del agua en todas las zonas de la Tierra, y está dedicada de forma específica al ciclo hidrológico como a los recursos de agua. Los hidrólogos desarrollan su trabajo en ciencias ambientales o geológicas, geografía, física, e ingeniería civil y ambiental.

Los dominios de la hidrología incluyen campos como la Hidro meteorología, la hidrología superficial, la hidrogeología, la administración del drenaje y la calidad del agua. La oceanografía y la meteorología no se encuentran incluidas dado que en ellas el agua es sólo uno de muchos aspectos importantes (Revén; 2010).

La investigación en el campo hidrológico es de suma utilidad ya que nos permite comprender mejor el mundo en el que habitamos, y también entrega los conocimientos para la ingeniería ambiental, política y planificación. (Suarez; 2013)

2.3. La historia de la hidrología

La hidrología ha sido objeto de investigación e ingeniería desde hace muchos años. Un ejemplo claro puede ser el año 4000 a.C. el Nilo fue represado buscando mejorar el sistema productivo agrícola de las tierras, que antes eran estériles. En el caso de las ciudades de la antigua Mesopotamia fueron protegidas de los desbordamientos con la construcción de altas paredes de tierra. Los acueductos que fueron construidos por la civilización griega y romana hicieron parte de los primeros estudios hidrológicos, mientras que en China se construyeron obras para controlar las inundaciones y la irrigación. Los cingaleses usaron la hidrología para construir las complejas obras de irrigación de Sri Lanka, e inventaron válvulas que permitieron la construcción de grandes embalses, presas y canales los cuales en la actualidad funcionan.

En el siglo I d.C., Marcus Vitruvius, formula una teoría filosófica del ciclo hidrológico, en la cual se decía que la precipitación que cae en las montañas se infiltra en la superficie de la tierra y provoca corrientes y brotes en las tierras bajas.

Cuando los pensadores tuvieron un acercamiento más científico, Leonardo da Vinci y Bernard Palissy alcanzaron por separado una representación exacta del ciclo hidrológico. Pero fue solo hasta el siglo XVII que se empezó a cuantificarse las variables hidrológicas.

Los precursores de la moderna hidrología fueron Pierre Perrault, Edme Mariotte y Edmund Halley. Los cuales midieron por primera vez la precipitación, la escorrentía y el área de drenaje, Perrault pudo demostrar que la precipitación era suficiente para explicar el flujo superficial del río Sena. Marriotte combinó la velocidad y las medidas de corte transversal del río para de esta manera poder obtener la descarga, de nuevo en el Sena. Halley demostró que la evaporación del Mar Mediterráneo era suficiente para explicar la efusión de los ríos que fluyen al mar. (Suarez; 2013)

Durante el siglo XVIII se presentan importantes avances los cuales incluyeron el piezómetro de Bernoulli y la ecuación de Bernoulli (obtenidos por Daniel Bernoulli), también el

tubo de Pitot. En el siglo XIX se desarrolló la hidrología para las aguas subterráneas, con la ley de Darcy, la fórmula de Dupuit-Thiem y la ecuación del flujo capilar de Hagen-Poiseuille.

Los análisis racionales dieron paso al empirismo en el siglo XX, a su vez las agencias gubernamentales dieron inicios a sus propios programas de investigación hidrológica. De particular importancia fue la unidad hidrográfica de Leroy Sherman, la teoría de la infiltración de Robert E. Horton y la prueba/ecuación de los acuíferos de C.V. Theis.

Según (Scheffer; 2014) Desde los años 1950, el estudio de la hidrología ha tenido una base más teórica a la que se tenía en sus principios y esto se debe a los avances en el entendimiento físico de los procesos hidrológicos y por el uso de ordenadores y sistemas de información, sobre todo geográficos.

2.4. Ramas de la hidrología

Claramente se pueden citar las siguientes ramas de la hidrología

- Hidrología química: estudio de las características químicas del agua.
- Eco hidrología: estudio de las interacciones entre los organismos vivos y el ciclo hidrológico.
- Hidrogeología: estudio de la presencia y movimiento del agua en acuíferos.
- Hidro informática: adaptación de la tecnología de la información a la hidrología y sus aplicaciones a los recursos de agua.
- Hidro meteorología: estudio de la transferencia de agua y energía entre las superficies de tierra y agua y la atmósfera inferior.
- Hidrología de isótopos: estudio de las firmas isotópicas del agua.

- Hidrología superficial: estudio de los procesos hidrológicos que tienen lugar en la superficie de la Tierra o cerca de ella.

2.5. Medidas Hidrológicas

Según (Vélez; 2000); El movimiento que presenta el agua por la Tierra se puede medir de varias formas. Esta información es importante tanto para la evaluación de los recursos de agua como para el entendimiento de los procesos implicados en el ciclo hidrológico. Lo siguiente es una lista de dispositivos o implementos que son usados por parte de los hidrólogos y lo que miden:

- Disdrómetro - características de precipitación.
- Olla de evaporación de Symon - evaporación.
- Infiltrómetro - infiltración.
- Piezómetro - presión de agua subterránea y, por inferencia, profundidad del agua subterránea.
- Radar - propiedades de las nubes, estimación de la tasa de lluvia, y detección de nieve y granizo.
- Pluviómetro - lluvia y nevada.
- Satélite - identificación de áreas lluviosas, estimación de la tasa de lluvia, uso y cobertura de la tierra, humedad del suelo.
- Higrómetro - humedad.
- Corrientómetro - flujo de corriente.
- Tensiómetro - humedad de suelo.
- Reflectómetro de dominio temporal - humedad de suelo.
- Sonda de capacitancia - humedad del suelo.

2.6. Predicción hidrológica

Las observaciones de los procesos hidrológicos son usadas para los hidrólogos para poder llevar a cabo predicciones sobre el futuro comportamiento de los sistemas hidrológicos (flujo de agua y calidad del agua). (Galvis; 2013) asegura que uno de los principales intereses actuales en la investigación hidrológica es la Predicción en Cuencas No calibradas (BAR), es decir, en cuencas donde existen muy pocos datos o ninguno

2.7. La Hidrología estadística

Mediante el análisis de las propiedades estadísticas de los archivos hidrológicos, como la precipitación o el flujo de un cuerpo de agua, los hidrólogos llegan a estimar los futuros fenómenos hidrológicos. Esto, sin embargo, asume que las características de los procesos permanecen sin alterar. (Galvis; 2013).

Indudablemente estas estimaciones son fundamentales para ingenieros y economistas, de modo que pueda hacerse un análisis de riesgo apropiado para influir en las decisiones sobre inversión en la futura infraestructura y determinar las características de fiabilidad de la producción de sistemas de abastecimiento de agua. La información estadística se utiliza para formular reglas de operaciones para presas grandes que forman parte de sistemas que incluyen demandas agrícolas, industriales y residenciales. (Téllez; 2016).

2.8. Modelos Matemáticos

En las últimas décadas los modelos matemáticos han presentado un enorme desarrollo en todas las áreas del conocimiento humano, científico y de los recursos naturales en general.

Como lo asegura (Gámez; 2014) la importancia de los modelos radica, entre otros los aspectos más relevantes, en la simulación y predicción de los fenómenos físicos a corto, mediano y largo plazo. De igual forma a través de los modelos se pueden obtener las relaciones de causa-efecto, sin haber realizado cambios en los sistemas reales. Las capacidades de simulación varían en términos de tiempo y espacio – algunos modelos observan los pasos o escalas de tiempo, mientras que otros pueden usar medidas de corto tiempo y simular un período de tiempo relativamente corto – como en el caso de una inundación repentina (Ventas; 2012)

Entonces (segura; 2010) afirma que un modelo hidrológico se trata de una representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática. De manera matemática, el sistema real está representado por una expresión analítica.

En un modelo hidrológico, el sistema físico real el cual representamos es la cuenca hidrográfica y cada uno de los componentes del ciclo hidrológico. De esta manera un modelo matemático nos ayudará a tomar decisiones en materia de hidrología, por lo que es necesario tener conocimiento de entradas (inputs) al sistema y salidas (outputs) a partir del sistema, para verificar si el modelo es representativo del prototipo. La salida de los modelos hidrológicos varía esto depende de las metas y objetivos que se tengan con el modelo. Algunos modelos se utilizan para predecir los totales mensuales de escorrentía, mientras que otros están diseñados para ver a las tormentas individuales. El resultado más común es el hidrograma o hidrograma de escurrimiento. (Segura; 2010).

Algunos modelos pueden desarrollarse como modelos continuos, estos se utilizan para simular el flujo y otras funciones de la cuenca (por ejemplo, almacenamiento) durante largos períodos de tiempo. Otros modelos son los modelos más basados en eventos y por lo general se

utilizan para modelar los eventos individuales de tormenta. Estos modelos se utilizan con frecuencia para fines de diseño (por ejemplo, el diseño de una alcantarilla para pasar el evento de 100 años).

2.9. La hidráulica de canales

Según Rodríguez (2008), de todos los recursos naturales, el más importante para el bienestar de la humanidad es el agua. Por cientos de años constituyó un patrimonio enteramente disponible del que los habitantes de la Tierra se beneficiaban de forma despreocupada.

Con el desarrollo se presentaron los denominados asentamientos urbanos, cuyas múltiples actividades cada día demandan mayor cantidad de agua. El abastecimiento para suplir este requerimiento, se vuelve en extremo complejo e implica factores técnicos, sociales, económicos, legales y políticos administrativos (Rodríguez; 2008).

Es importante señalar al lector de esta investigación que los conductos hidráulicos se clasifican en:

Conductos A Presión: son aquellos en que la presión interna es diferente de la atmosférica. En esta clase de conductos, las secciones transversales siempre son cerradas y el fluido las llena completamente. Y el movimiento del flujo se efectúa en uno u otro sentido del conducto. Son conductos a presión, por ejemplo, las redes de sistemas de agua potable, las tuberías de succión y bombeo de las instalaciones de elevación, los conductos que alimentan las turbinas en las centrales hidroeléctricas. (Rodríguez; 2008).

Conductos Libres: son aquellos en los que el líquido circulante presenta una superficie libre sobre la cual rige la presión atmosférica. La sección transversal no tiene, necesariamente,

un perímetro cerrado y cuando esto sucede, funciona parcialmente lleno. Entre los conductos libres, podemos citar todos los cursos de agua, las redes de alcantarillado pluviales y alcantarillados sanitarios, canales de riego agrícola, canales de navegación y los canales conductores de las hidroeléctricas.

2.10. Flujo uniforme

Rodríguez, (2008) argumenta que después del aire que respiran los seres vivos, el agua es el elemento más esencial para el hombre. Sin el agua, la vida animal o vegetal sería imposible. El agua también es un medio eficiente de transferencia de calor y energía y es el solvente más universal que se conoce; desde hace más de 500 años el hombre ha diseñado y construido obras para la buena gestión del recurso hídrico; entre las obras más antiguas se encuentran los CANALES los cuales son usados para llevar el agua de un lugar a otro.

2.11. La escorrentía superficial.

Como se sabe los ríos forman parte del Ciclo Hidrológico, el cual se constituye un proceso que no tiene principio ni fin, Se ha estimado que la precipitación total sobre los continentes es, en promedio, de 100 000 km³ por año, lo que equivale a 685 mm anuales. De esta gran cantidad de agua un alto porcentaje, aproximadamente el 65%, se pierde mediante la evaporación y regresa a la atmósfera. De la masa hídrica restante, una parte se infiltra y, eventualmente, da lugar a la escorrentía subterránea; otra, contribuye al mantenimiento de diversas formas de retención superficial, y la mayor parte constituye la escorrentía superficial, la que en cifras redondas y como promedio plurianual es de 35 000 km³ por año (Rodríguez; 2008)

2.12. Modelación hidráulica

La modelación ha crecido de forma exponencial en el campo de la hidráulica, existen evidencias de estudios de diseños hidráulicos realizados desde tiempos de la antigüedad, mediante pequeñas representaciones de estructuras y máquinas, por los cuales se ha llegado a enunciar principios fundamentales en la hidráulica; sin embargo hasta hace poco tiempo la experimentación hidráulica se llevaba a cabo habitualmente a escala real ya sea en vertederos, canales, tuberías y presas construidas sobre el terreno.

Es durante el último medio siglo, en el que se han desarrollado métodos por los cuales, como resultado de experimentos realizados en modelos a escala reducida, es posible predecir la conducta de una estructura o prototipo.

2.13. Aplicación y aporte de los modelos hidráulicos

En hidráulica, la modelación es usada para llevar a cabo la simulación de situaciones reales las cuales se producen en el prototipo y cuyo comportamiento se desea conocer; puesto que modelo y prototipo están ligados el uno con el otro, las observaciones y estudio del modelo constituyen la información necesaria para comprender la naturaleza del prototipo, debiendo para ello, estar ambos relacionados (Thobit; 2012).

Los modelos de estructuras son usados para resolver problemas hidráulicos en conexión con una variedad de estructuras hidráulicas o ciertas partes de ellas como por ejemplo determinar la capacidad hidráulica, reducir las pérdidas de carga en entradas a canales o tuberías o en secciones de transición; desarrollar métodos eficaces de disipación de energía en la corriente, al pie de las presas de sobre flujo o en el extremo de salida de las atarjeas, reduciendo de ese modo

la erosión del lecho de los cauces de ríos; determinar coeficientes de descarga para presas de sobre flujo; desarrollar el mejor diseño de vertederos de presas, de sifones y pozos y de estructuras de salida de los embalses; diseñar puertos, incluyendo determinar la mejor sección transversal, altura y ubicación de los rompeolas, así como la posición y ubicación de la entrada; diseñar esclusas, incluyendo los efectos sobre los barcos de las corrientes establecidas debido al funcionamiento de las esclusas etc.

2.14. Clasificación general de los modelos hidráulicos

2.14.1. Modelo físico

Este término Hace referencia simulación física de un fenómeno hidráulico, que ocurre en relación con una obra de ingeniería, en un sistema semejante simplificado lo cual permite observarlo y controlarlo con facilidad, además confirmar la validez del diseño de la obra, optimizarla o tomar nota de los efectos colaterales, que deberán ser considerados durante la operación de la misma.

De acuerdo a las características propias de cada uno de los modelos se pueden clasificar en:

- **Clasificación respecto de la semejanza geométrica con el prototipo:**

Modelos geoméricamente semejantes: son aquellos en los que se conserva la semejanza de todas las variables geométricas. Existe un único factor de reducción o amplificación, llamado escala, de todas las magnitudes geométricas y las que se derivan de ellas, además de la igualdad de ángulos correspondientes entre el modelo y el prototipo. (Suarez; 2013)

Dentro de estos tenemos: modelos de desarenadores, desgravadores, bocatomas, canales.

Etc

Modelos geoméricamente distorsionados: se conserva la semejanza con el prototipo, pero los factores a usar de reducción o ampliación son distintos para diferentes dimensiones del mismo. Es frecuente que las dimensiones horizontales tengan una escala o factor y las dimensiones verticales, otras. El uso de distorsiones resulta, muchas veces, necesario cuando el factor único produce una reducción demasiado grande en las dimensiones verticales, lo cual originaría efectos significativos en fuerzas que en el modelo son despreciables o inexistentes en el prototipo. Este tipo de modelos es usual en estructuras marítimas.

2.15. Modelación Hidrológica

Según (Dueñas 1997). La modelación hidrológica se considera una herramienta de alta importancia para realizar estudio de avenidas y que se ha extendido a nivel mundial, principalmente en los países desarrollados. En la actualidad, con la implementación de estos modelos, se desarrolla el análisis y la prevención de la ocurrencia de inundaciones; además, es posible plantear hipótesis suficientemente realistas o previsibles las cuales ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en el campo de la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia. Incluso, alertar a los servicios de protección civil y establecer protocolos de actuación ante posibles situaciones de peligro por intensas lluvias.

2.16. Modelo hidrológico

Un modelo hidrológico es pues una representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática. De manera matemática, el sistema real está representado por una expresión analítica (Dueñas; 1997).

2.17. Amenazas de inundación

Las inundaciones consisten en fenómenos hidrológicos los cuales ocurren con cierta frecuencia y son potencialmente destructivos, los cuales hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas (Pérez; 2015)

En la clasificación más sencilla puede hablarse de dos tipos: las Inundaciones lentas, que son las que ocurren en las zonas planas de los ríos y con valles aluviales extensos, los incrementos de nivel diario son de apenas del orden de centímetros, reporta afectaciones de grandes extensiones, pero usualmente pocas pérdidas de vidas humanas, el tiempo de afectación puede fácilmente llegar a ser del orden de meses, en Colombia el ejemplo más claro es la región de la Mojana.

La otra clasificación de inundación es las que se denomina crecientes súbitas, y aunque las áreas de afectación son menores, el poder destructivo es potencialmente mayor y cobra el mayor número de vidas cuando se presentan, responden rápidamente a la ocurrencia de fuertes precipitaciones en las partes altas de las cuencas, los incrementos de nivel son del orden de metros en pocas horas, y el tiempo de permanencia de estas inundaciones en las zonas afectadas son igualmente de horas o pocos días, estas se presentan en todas las cuencas de alta pendiente de la región Andina principalmente. El IDEAM cuenta en la actualidad con mapas de

amenaza por inundación a diferentes escalas desde nacionales (1:500.000 y 1:100.000) hasta escalas locales (1:5.000) para algunas aéreas piloto seleccionadas.

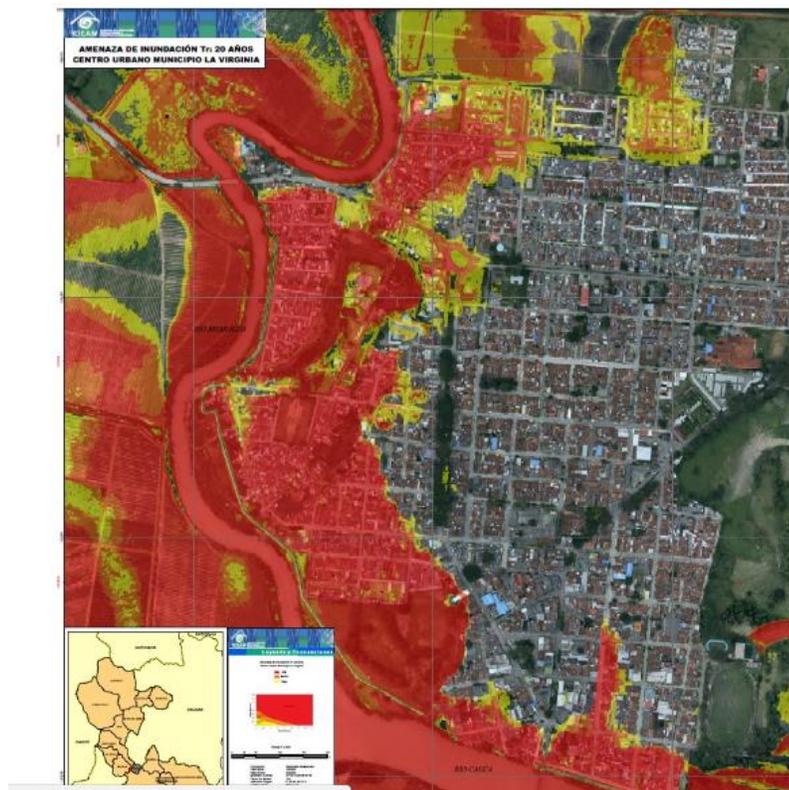


Figura 1. Mapa de amenaza de inundación Tr 20 años en el casco urbano de la Virginia
Fuente. Tomado de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>

Capítulo 3. Estudio Hidrológico

Para el desarrollo de este estudio fue incorporada la información espacial y la información temporal de la zona empleando un Sistema de Información Geográfica – SIG para poder llevar a cabo la estimación de los parámetros necesarios en cada modelo

Las etapas desarrolladas en el estudio hidrológico son las que se enuncian a continuación:

Recopilación, selección y análisis de la información

El primer paso consistió en definir los requerimientos de información de cualquier índole temporal y/o espacial, fueron identificadas las estaciones hidrométricas, pluviométricas y climatológicas existentes dentro de la zona de estudio y en su área de influencia, para determinar cuáles son de interés para el estudio, de igual manera se identificaron los requerimientos de información espacial. Posterior a la consecución de la información requerida, fue evaluada la calidad de ésta y se continúa con un procesamiento básico que es diferente tanto para la información espacial como para la información temporal. Este último paso se llevó a cabo con el fin de tratar de garantizar que la información empleada en el estudio represente adecuadamente los parámetros hidrológicos de las cuencas urbanas. Lo que se pretendía era obtener información representativa, poco sesgada y homogénea.

Información Espacial

El estudio se realiza sobre la zona urbana del municipio de Ocaña Norte De Santander, por lo que se recolectó información concerniente a la zona entre la cual se destaca, planimetría y

altimetría de la región de estudio, mapa de suelos, usos y cobertura, que derivaron en la siguiente información espacial

- Mapa de red de drenajes (fuente levantamiento alcaldía municipal)
- Mapa de curvas de nivel (fuente levantamiento alcaldía municipal)
- Mapa de vías (fuente levantamiento alcaldía municipal)
- Mapa de suelos (fuente levantamiento alcaldía municipal)
- Mapa de cobertura vegetal (fuente levantamiento alcaldía municipal)
- El Modelo de Elevación Digital del Terreno se generó a partir de la información

topográfica.

Información Temporal

Esta es la que hace referencia a las series temporales que muestran el comportamiento de las variables hidro climatológicas en la zona de estudio a través del tiempo; se utilizó la información de caudales recopilada en la fase uno del proyecto.

La siguiente tabla presenta la relación de las estaciones de las cuales se solicitó y fue recibida la información por parte del IDEAM.

Tabla 3. Localización de las estaciones climatológicas usadas para el estudio

INFORMACION DE LA LOCALIZACION ESPACIAL ESTACIONES METEREOLÓGICAS		
NOMBRE DE LA ESTACION	COORDENADA X	COORDENADA Y
ABREGO CENTRO AD	1385422	1093428
TEORAMA	1424120	1086003
APTO AGUAS CLARAS	1411202	1078684
OTARE	1422250	1071321

Fuente. IDEAM 2018

Una vez se localizaron las estaciones climatológicas estas se digitalizaron en ArcGIS 10.3 y se exportaron al portal GOOGLE EARTH PRO 2018 para poder visualizar su ubicación con respecto de la ciudad de Ocaña Norte de Santander

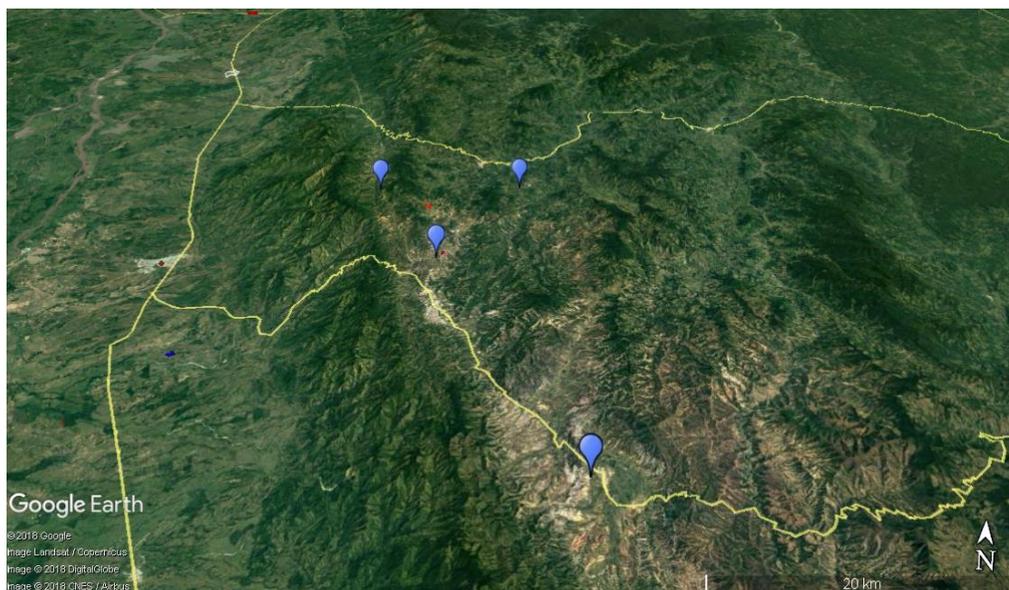


Figura 2. Imagen de la ubicación de estaciones climatológicas IDEAM

Fuente. Google Earth Pro 2018

La norma climática para información hidrológica estadísticamente válida, necesita una longitud de registro de 25 años o superior por lo que de entrada se descarta la estación la playa por su corto periodo de mediciones. por el cual se realizó una transposición de éstas en el área objeto de estudio, con el propósito de reconocer aquellas estaciones ubicadas dentro o en

influencias de la zona referida. Igualmente, se comprobó que las estaciones escogidas se hallaran en fase activa y con un registro superior o igual a 25 años de información, tomando en consideración la recomendación de la UNESCO de que “para calcular balances hídricos medios son necesarias series extensas de precipitación (alrededor de 25 - 50 años)” (Sokolov y Chapman, 1981).

Las series que fueron sondeadas y analizadas para el estudio corresponden a los registros totales diarios de la variable precipitación expresadas en milímetros (mm) para cada estación. Concretamente, se gestionó la información al IDEAM de cinco estaciones ubicadas dentro del límite municipal, cuatro de ellas de categoría pluviométrica, y una climatológica ordinaria.

El espacio temporal de análisis se dispuso desde 1985 hasta el año 2015, acatando así la recomendación de la UNESCO sobre la mínima extensión de registro, como se hizo referencia previamente. Durante la comprobación, se descubrieron estaciones con registros de precipitaciones incompletos, en cuyo caso fue ineludible emplear procesos estadísticos de competición para dicha serie mensual. Existe multiplicidad de cálculos para la valoración de datos faltantes como las planteadas por la UNESCO-ROSTALC en el marco del balance hídrico para América del Sur en 1982, pero de acuerdo a la literatura, el procedimiento con regresión múltiple adapta mucho mejor los datos simulados a los datos originales con un menor error relativo. Para aplicar dicho método, se estableció el paralelismo entre las estaciones por medio del coeficiente de correlación, como se muestra en la Tabla 4 y seguidamente estimando para cada asociación de estaciones, sus relativos coeficientes de regresión. Ambos coeficientes, de correlación y de regresión, fueron calculados con las herramientas de análisis de la aplicación

EXCEL. Después, se estructuró la ecuación de regresión, dando como resultado los valores simulados que completaron cada serie de precipitación incompleta de cada estación (ver Anexo).

Tabla 4. *Coeficiente de correlación de las cinco estaciones.*

	APTO AGUA CLARA	BROTARE ACTUAL OTARE	ABREGO CENTRO AD	TEORAMA
APTO AGUA CLARA	1			
BROTARE ACTUAL OTARE	0.48163133	1		
ABREGO CENTRO AD	0.77852745	0.55472055	1	
TEORAMA	0.77852735	0.554720546	1	1

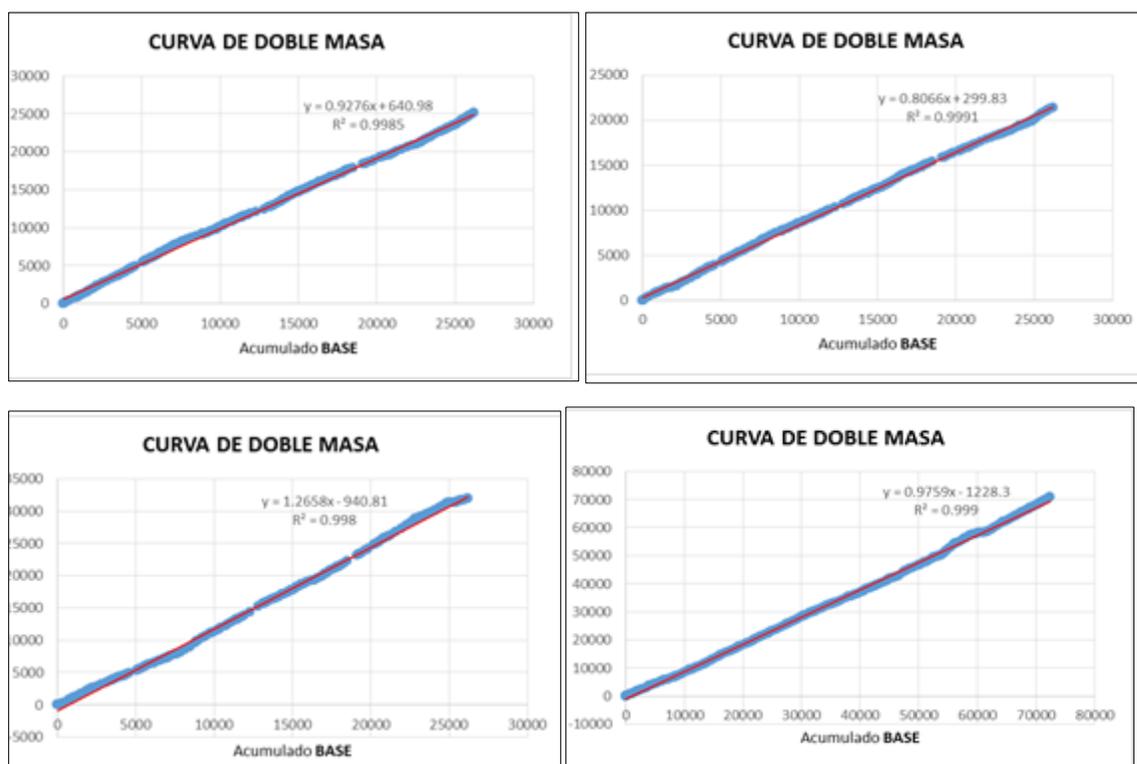
Fuente. Pasante 2018

Finalmente, fue comprobada la consistencia de la serie de precipitación de cada estación mediante el método gráfico de curva de doble masa, teniendo en cuenta que “la densidad de las estaciones dentro de una misma región hidro climática no garantiza que presente un mismo comportamiento climatológico estacional, y, en segundo lugar, el ajuste de los datos de cada serie por dicho método permite reducir los efectos de influencia externa” (Arango, Dorado, Guzmán y Ruíz, 2012; OMM, 1994).

Su hipótesis base supone que la pseudo-proporcionalidad de las estaciones puede esquematizarse en un gráfico cartesiano. Para su representación se determinó la estación a controlar, para el cual se obtuvo el acumulado diario de la serie, que corresponde a los valores, del eje Y del plano, y para el eje X, las series de precipitación de las estaciones base, una vez promediadas y acumuladas diariamente. Si el gráfico resultante no presenta variaciones en la pendiente de la recta, se concluye la homogeneidad de la serie, si se muestra el caso contrario, se

deberán corregir los valores que no cumplen con la linealidad. En la Figura 5 se presentan las curvas de doble masa de las estaciones analizadas, las cuales muestran una alta homogeneidad de la información de cada estación.

Tabla 5. Gráficos de homogeneidad de las series de precipitación de las estaciones seleccionadas.



Capítulo 4. Aplicar modelos hidráulicos a escala 1:5000 para la zona urbana del municipio de Ocaña Norte de Santander acorde con la información básica disponible de batimetría elaborada por el IDEAM para establecer la amenaza por inundación para diferentes periodos de retorno.

4.1. Localización General

El municipio de Ocaña se localiza en la zona norte del departamento norte de Santander, con una superficie territorial de 460km² lo que según el portal web oficial de la alcaldía municipal esta área corresponde al 2,2% del territorio departamental

Según él la información geográfica oficial del municipio en cuanto a los Límites Departamentales La interacción de los aspectos ambientales, económicos y sociales del territorio constituye la base primordial para establecer el uso, ocupación y aprovechamiento del suelo; además de la caracterización y valoración de los ecosistemas como base para la zonificación ambiental y el establecimiento del uso sostenible de la tierra. • Por el Norte. Limita con el municipio de Gonzáles (Departamento del Cesar). • Por el Occidente. Limita con el municipio de Río de Oro (Departamento del Cesar). | • Por el sur. Limita con el municipio de San Martín (Departamento del Cesar). Límites Municipales • Por el Oriente. Limita con los municipios de San Calixto, La Playa y Abrego. • Por el Norte. Limita con los municipios de Teorama, Convención y El Carmen. • Por el sur. Limita con el municipio de Ábrego. La extensión urbana del municipio de Ocaña es de 6.96km²

En la figura dos se encuentran la Localización de la zona urbana del municipio de Ocaña, este mapa 1 el cual fue construido con la información espacial oficial del municipio deja ver los conflictos limítrofes del municipio de Ocaña los cuales se resaltaron con un círculo de color rojo

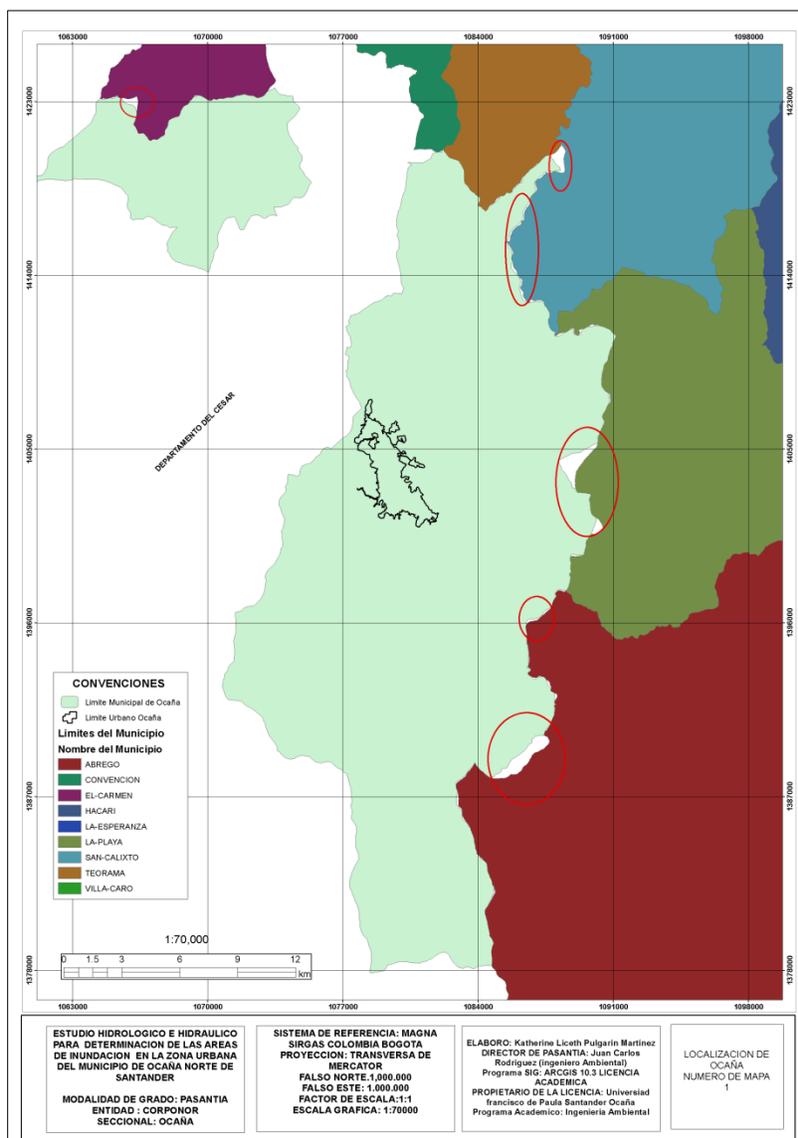


Figura 3. Mapa de Localización
Fuente. Pasante 2018

La zona urbana de Ocaña se encuentra bajo las siguientes coordenadas que se relacionan en la siguiente tabla las cuales se calcularon con el sistema MAGNA SIRGAS COLOMBIA BOGOTA

Tabla 6. Cuadro de coordenadas

CUADRO DE COORDENADAS CASCO URBANO DE OCAÑA	
COORDENADA X	COORDENADA Y
1079959.895	1404380.473
1079960.853	1404379.782
1079970.463	1404375.783
1079986.07	1404368.478
1080033.604	1404350.469
1080042.619	1404346.785
1080059.419	1404335.734
1080063.348	1404326.857
1080065.757	1404316.428
1080074.392	1404297.287
1080116.25	1404290.051
1080166.271	1404275.687
1080264.71	1404241.955
1080267.912	1404225.726
1080246.171	1404222.901
1080242.786	1404201.602
1080250.117	1404197.171
1080246.813	1404186.058
1080255.993	1404179.765
1080251.747	1404169.087

Fuente. Pasante 2018

La zona urbana de Ocaña es atravesada de norte a sur por dos corrientes hídricas de suma importancia para su ordenamiento territorial la primera de ellas y más extensa en longitud y se trata del río tejo, la segunda más pequeña en extensión y la cual es tributaria del río tejo la cual se denomina río chiquito.

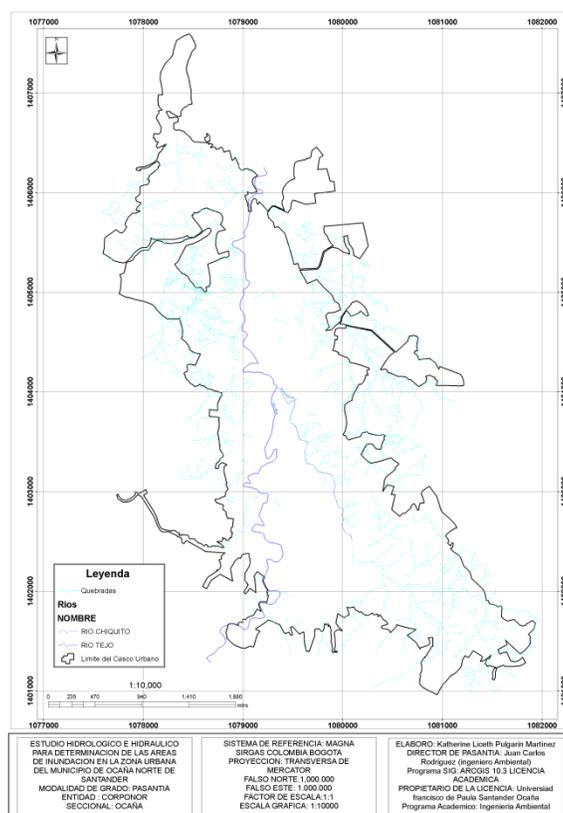
En la siguiente tabla se presentan las coordenadas Norte- Este del nacimiento y el punto geográfico de tributación de cada uno de los ríos mencionados con anticipación.

Tabla 7. Tabla de coordenadas del río chiquito y tejo

CUADRO DE COORDENADAS DE LOS RIO TEJO Y CHIQUITO				
Nombre del Rio	Coordenadas de inicio		Coordenadas Del Final	
	Coordenada	Coordenada	Coordenada	Coordenada
	X	Y	X	Y
Rio Tejo	1078674.54385	1401287.42928	1078674.54385	1401287.42928
Rio Chiquito	1080093.42093	1402518.11101	1080093.42093	1402518.11101

Fuente. Pasante 2018

El río tejo tiene una longitud de 16.09173km desde su punto de ingreso a la ciudad hasta su salida de esta (ver mapa) y el río chiquito cuenta con una longitud 4.13km desde su nacimiento hasta su confluencia con el río tejo (ver Mapa)

**Figura 4.** Localización de los ríos tejo y Chiquito

Fuente. Pasante 2018

4.2. Análisis exploratorio

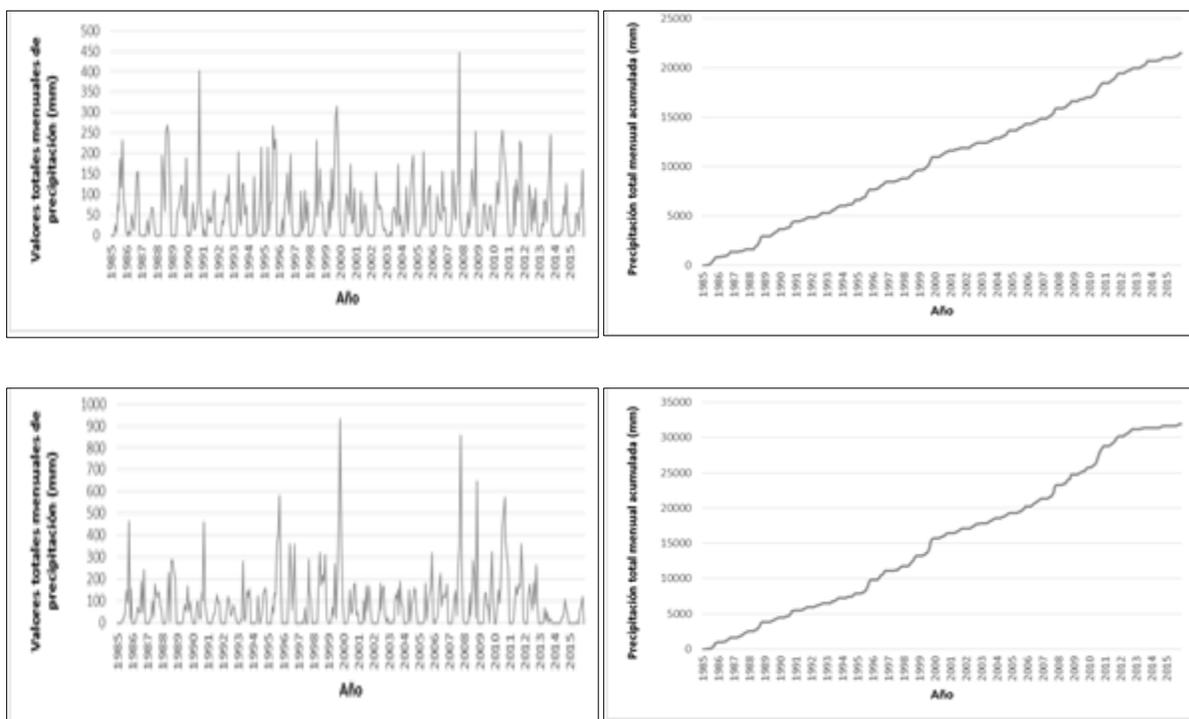
La evaluación y el análisis de la información hidrometeorológica, específica como requisito principal que en un análisis exploratorio se identifique las alteraciones y tendencias por medio de la representación gráfica de los datos de variables y esto debe ser en proporción al tiempo. Mediante este procedimiento, es posible adquirir información significativa y de forma instantánea la cual permita precisar o hallar la presencia de alguna variación en la serie de tiempo. Además, las gráficas de los datos estimados en diversos puntos en el espacio, es decir, los datos espaciales, pueden contribuir igualmente a proporcionar información de dichas variaciones o transformaciones, pero a nivel espacial. No sólo se distinguen las gráficas de series de tiempo o de datos espaciales, también se conocen, por referencias bibliográfica, otras que permiten el análisis de datos empíricos, entre ellas se tiene, las gráficas de masa simple, de doble masa, el diagrama de puntos, la gráfica de masa residual, los histogramas, gráficas de tallo y hoja, gráficas box, gráficas S-S, gráficas Q-Q y gráficas suavizadas (Smith y Campuzano, 2000).

Con base en lo anterior, se desarrolló el análisis de información solicitada al Instituto de Estudios Ambientales y meteorológicos (IDEAM), que corresponde a las series de precipitación de las 5 estaciones seleccionadas para el presente estudio, de las cuales se hace mención en el apartado anterior. Con los valores totales diarios de precipitación de cada estación, se construyeron los gráficos que constituyen el análisis exploratorio, y que se presentan a continuación.

4.3. Gráficos serie de precipitación y curva de masa simple

Un gráfico de serie de precipitación, para este caso, es una simple representación de los valores de la serie en función del tiempo, las cuales permiten representar algunas características de esta como pueden ser su periodicidad, grado de variabilidad y aleatoriedad, tendencias (Smith

y Campuzano, 2000; Guenni, Degryze y Alvarado, 2008), entre otras. Un gráfico de masa simple, también es una representación en función del tiempo, pero a diferencia del anterior, se grafica la serie acumulada de precipitación. En este análisis, las gráficas de serie de precipitación para las cuatro (4) estaciones muestran una tendencia decreciente, sobre todo en la estación de aguas claras mientras que en otras estaciones esta característica no es tan notable como en la estación teorama sino más bien una tendencia recta, particularidades que también se observan en las gráficas de masa simple, ya que esta refleja una curvilínea con el paso del tiempo. A lo largo de toda la serie, pueden notarse, además, diferentes cambios en la pendiente de la línea de la curva de masa simple, lo que indica series de precipitación con cambios en la media. Estos gráficos se muestran en la Figura 6.



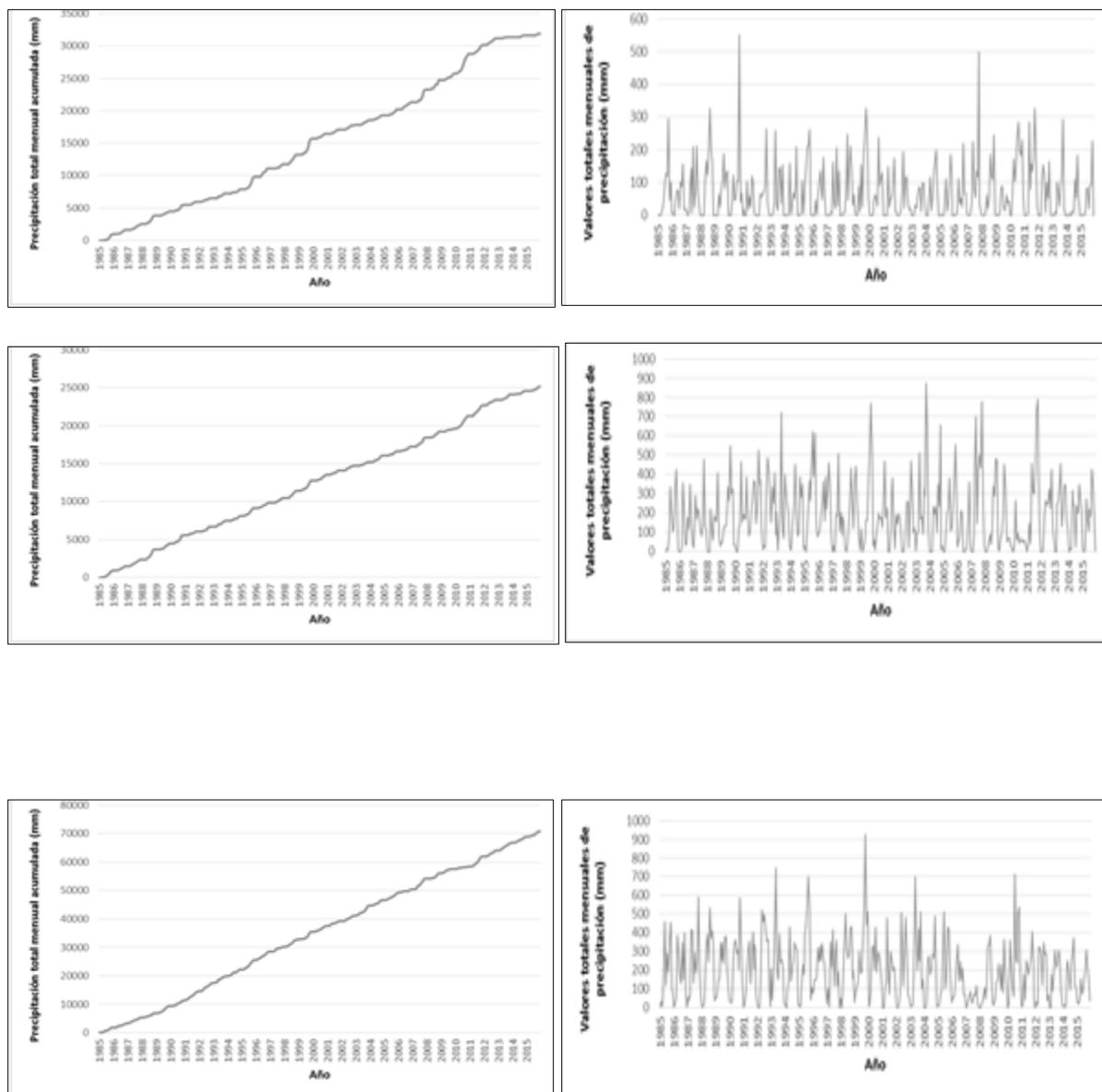


Figura 5. Gráficos de masa simple y serie de precipitación de las estaciones seleccionadas
Fuente. Pasante 2018

Tabla 8. Estadística descriptiva estación de aguas claras

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA	
ESTACIÓN APT AGUAS CLARAS	
Media	57.64506033
Error típico	3.762517918
Mediana	29.58880964
Moda	0
Desviación estándar	72.56881756
Varianza de la muestra	5266.233282

Curtosis	3.880721971
Coefficiente de asimetría	1.780875483
Rango	445.6194058
Mínimo	0
Máximo	445.6194058
Suma	21443.96244
Cuenta	372
Nivel de confianza (95.0%)	7.398535479

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA	
ESTACIÓN OTARE	
Media	85.7819892
Error típico	6.532281
Mediana	35
Moda	0
Desviación estándar	125.990073
Varianza de la muestra	15873.4986
Curtosis	10.9407578
Coefficiente de asimetría	2.73751932
Rango	930
Mínimo	0
Máximo	930
Suma	31910.9
Cuenta	372
Nivel de confianza (95.0%)	12.8449389

Fuente. Pasante 2018

Tabla 9. *Estadística descriptiva estación Abrego*

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA	
ESTACIÓN ABREGO	
Media	67.6618259
Error típico	4.28290913
Mediana	37.25
Moda	0
Desviación estándar	82.6057599
Varianza de la muestra	6823.71156
Curtosis	4.84910391
Coefficiente de asimetría	1.81021757
Rango	549.8
Mínimo	0
Máximo	549.8
Suma	25170.1992
Cuenta	372
Nivel de confianza (95.0%)	8.42182174

Fuente. Pasante 2018

Tabla 10. *Estadística descriptiva estación de Teorama*

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA	
ESTACIÓN TEORAMA	
Media	190.212576
Error típico	8.8140259
Mediana	155.5
Moda	0
Desviación estándar	169.998775
Varianza de la muestra	28899.5836
Curtosis	1.30395381
Coefficiente de asimetría	1.13303126
Rango	875
Mínimo	0
Máximo	875
Suma	70759.0783
Cuenta	372
Nivel de confianza (95.0%)	17.3317137

Fuente. Pasante 2018

4.4. Gráfico de masa residual

Un gráfico de masa residual refleja las desviaciones acumuladas de la serie promedio en función del tiempo (Smith y Campuzano, 2000). Para su desarrollo, primero se procedió al cálculo de la media de la serie de cada estación, valor que se muestra en la estadística descriptiva de la Figura 16. En segundo lugar, se calculó la serie de desviaciones acumuladas, la cual se define como se observa en la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Expresiones matemáticas para el cálculo de la media y desviaciones acumuladas de la serie.

$$\mu x = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N X_t \qquad D_t = \sum_{i=1}^t (X_i - \mu x) \qquad t = 1, 2, \dots, N$$

Las gráficas de masa residual las cuales se entregan el presente análisis muestran cambios ascendentes y descendentes a lo largo del tiempo de la serie, siguiendo una pendiente positiva o negativa, respectivamente, lo cual indica series de precipitación de las estaciones con cambios o tendencias en la media. En este sentido, los valores por encima de la media, se reflejan con una pendiente positiva, y los valores por debajo de la media se muestran con pendientes negativas.

Las fluctuaciones de los residuos que son presentados horizontalmente sin cambios bruscos estos indican cambios sobre un valor de forma constante.

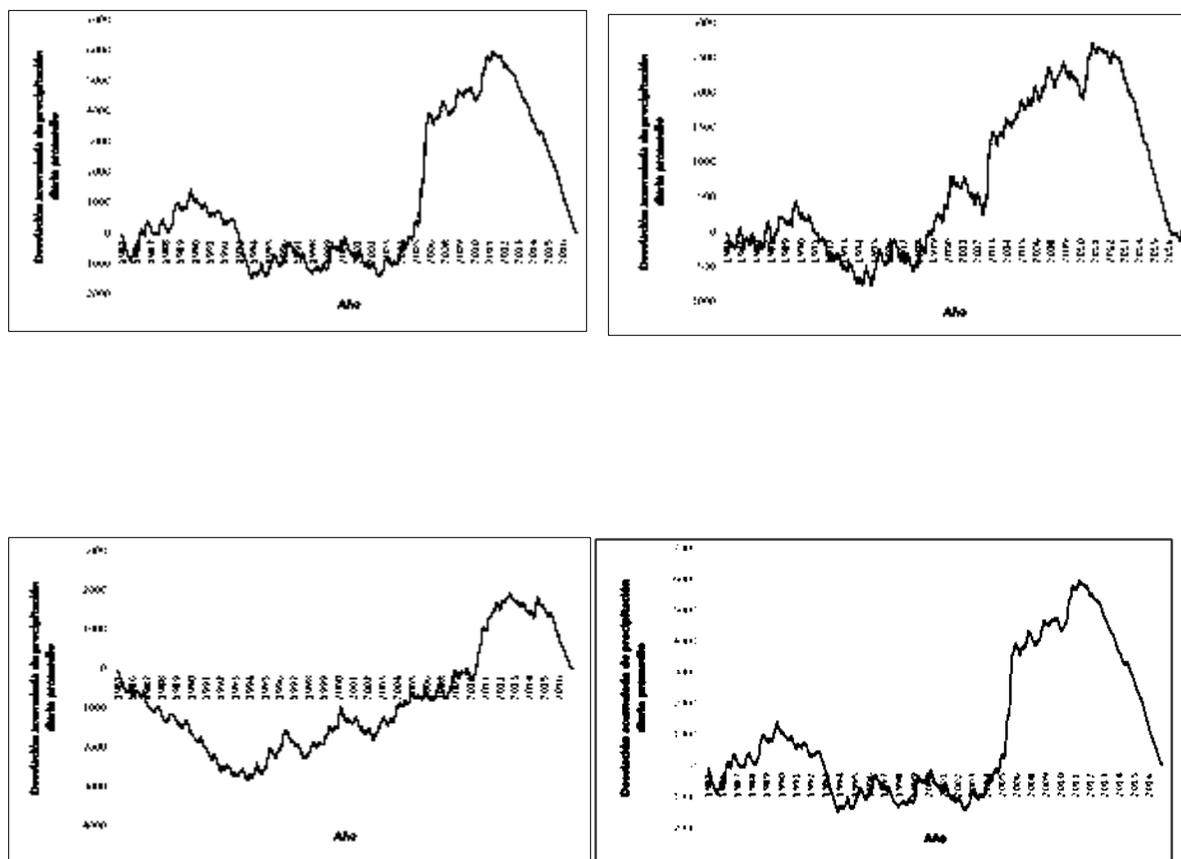


Figura 6. Gráficos de masa residual para las estaciones
Fuente. Pasante 2018

4.5. Diagrama de Puntos

El diagrama de puntos, a diferencia de los gráficos anteriores, no representa los valores de la serie de precipitación en función del tiempo, sino que estos se grafican a lo largo del eje horizontal. El diagrama de puntos para las tres estaciones, muestra una clara concentración sobre el rango 0, y en menor concentración, sobre valores por debajo de 17 mm. Con ello se indica una vez más, que la serie de precipitación de las estaciones presenta cambios sobre la media

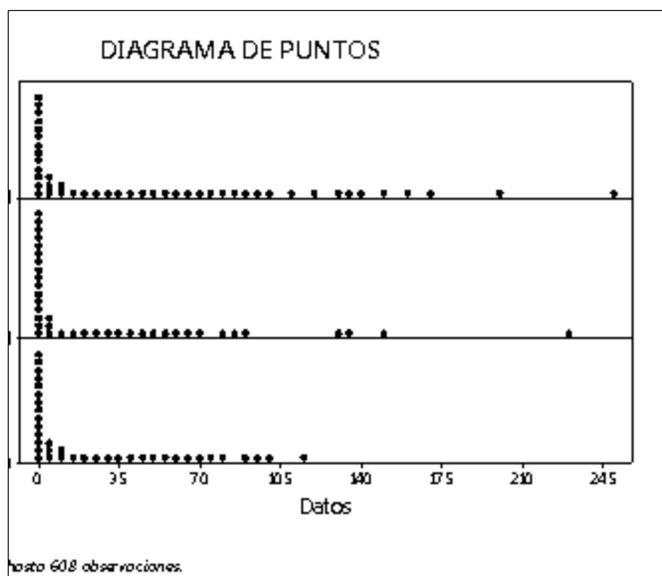


Figura 7. Diagrama de puntos para la serie de precipitación
Fuente. Pasante 2018

4.6 Histograma y gráfico de tallo y hojas

Un histograma es la agrupación de los datos de la serie con base en su magnitud, para lo cual debe definirse los intervalos de clase de acuerdo al número de observaciones o valores de la serie. El número de observaciones de cada intervalo corresponde a la frecuencia absoluta, que luego se dividen entre el total de observaciones, para de esta forma obtener la frecuencia relativa. Finalmente, el gráfico se construye con los intervalos de clase sobre el eje horizontal y la frecuencia, ya sea absoluta o relativa, sobre el eje vertical. Los diagramas de tallos y hojas representan la misma información de los histogramas, pero en este caso las frecuencias se ubican en el eje horizontal y los grupos de datos sobre el eje vertical. Los histogramas de las estaciones no muestran una forma simétrica, pero si se observa un pico de alta frecuencia sobre el intervalo de clase 0 mm, el mismo comportamiento que se observa en el diagrama de puntos.

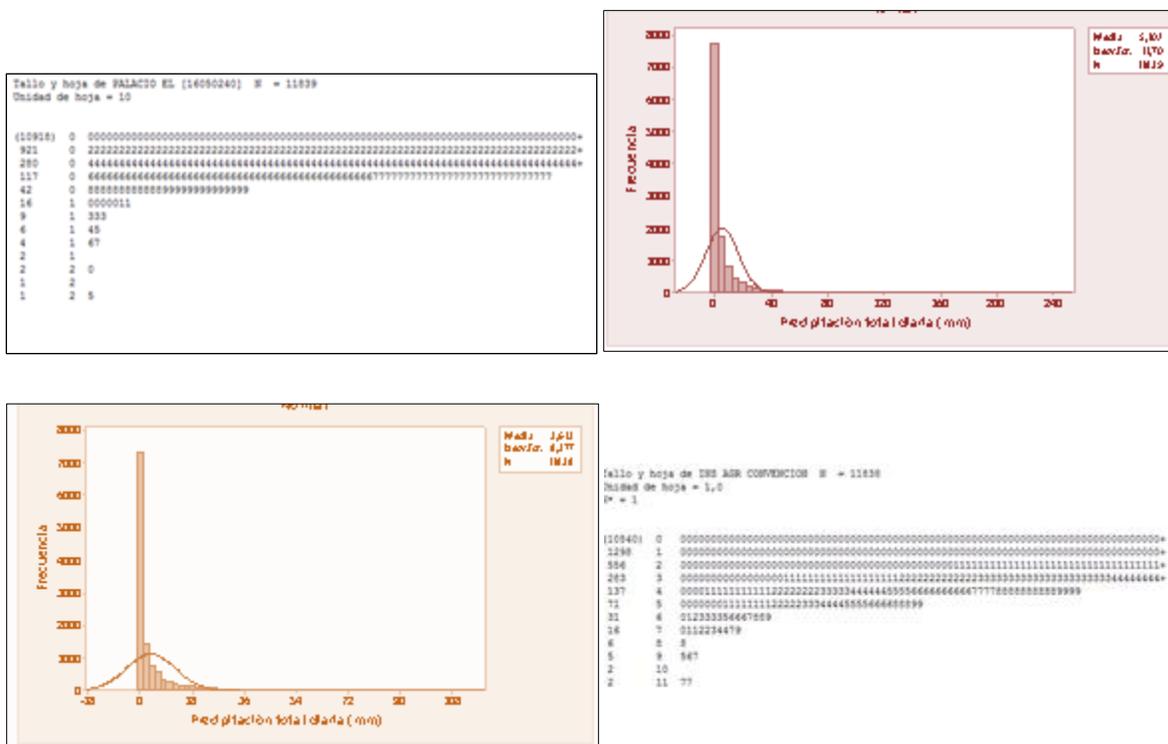


Figura 8. Histogramas y diagrama de tallo y hojas para la serie de precipitación Fuente. Pasante 2018

4.7. Gráfico S – S

Un gráfico S – S hace referencia a la representación de una serie en función de otra. En este sentido, para el presente estudio se graficaron gráficos S – S de la serie de precipitación diaria de una estación respecto a otra, como se observa en las Figuras X, X y X. Si la mayoría de los puntos se ubican por encima de la recta, indica que la serie ubicada sobre el eje Y presenta valores promedios más altos respecto a la otra. Si por el contrario la mayoría de los puntos se ubican debajo de la recta, la serie con mayor promedio es la indicada en el eje X.

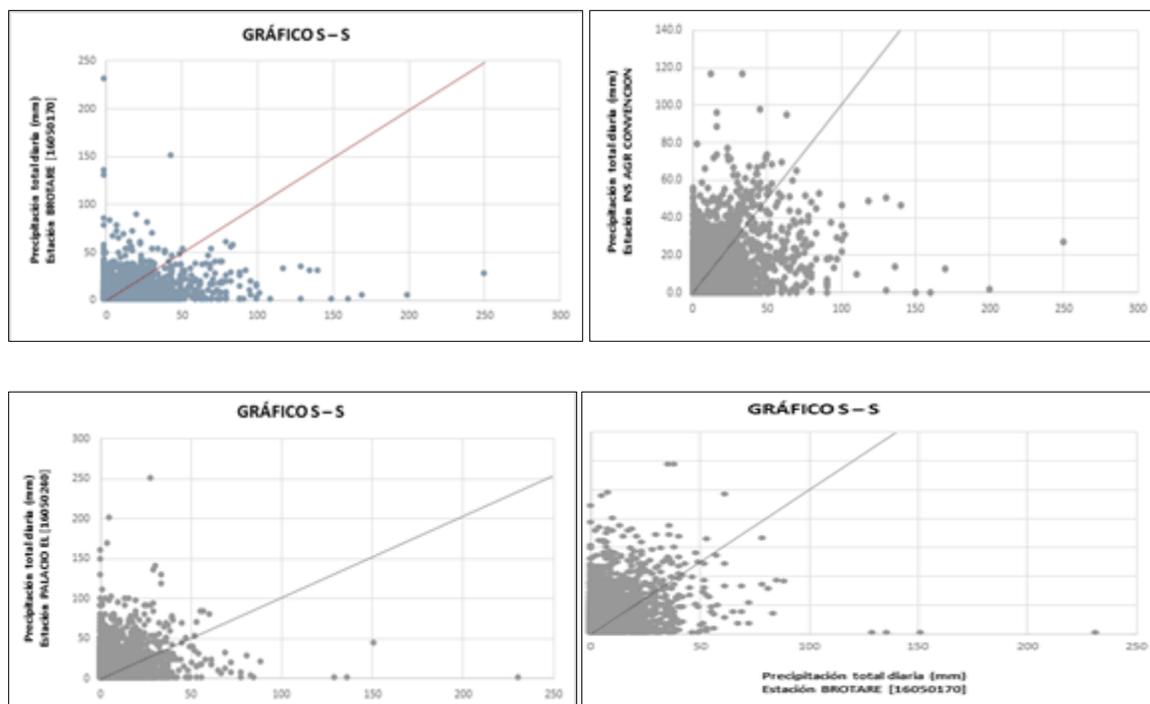


Figura 9.X. Gráficos S – S de las estaciones
Fuente. Pasante 2018

4.8 Gráficos de Caja

Un gráfico de caja permite representar y visualizar fácilmente los estadísticos básicos anuales de una serie. Los gráficos de cajas construidos con las series de precipitación de las estaciones, representan los siguientes estadísticos: valor mínimo, percentil 25%, percentil 50% o valor medio, porcentual 75% y el valor máximo. Estos se presentan en las Figuras X, X y X.

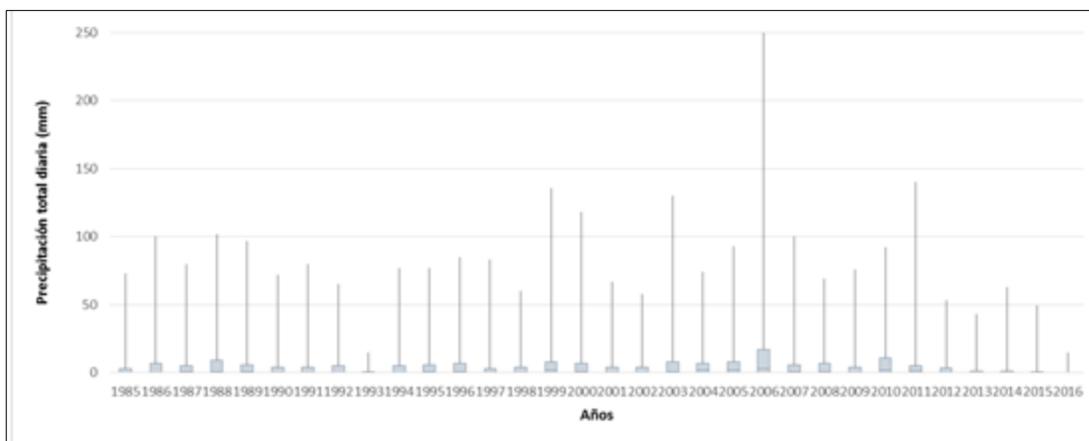


Figura 10. Gráfico de caja para la estación aguas claras

Fuente. Pasante 2018

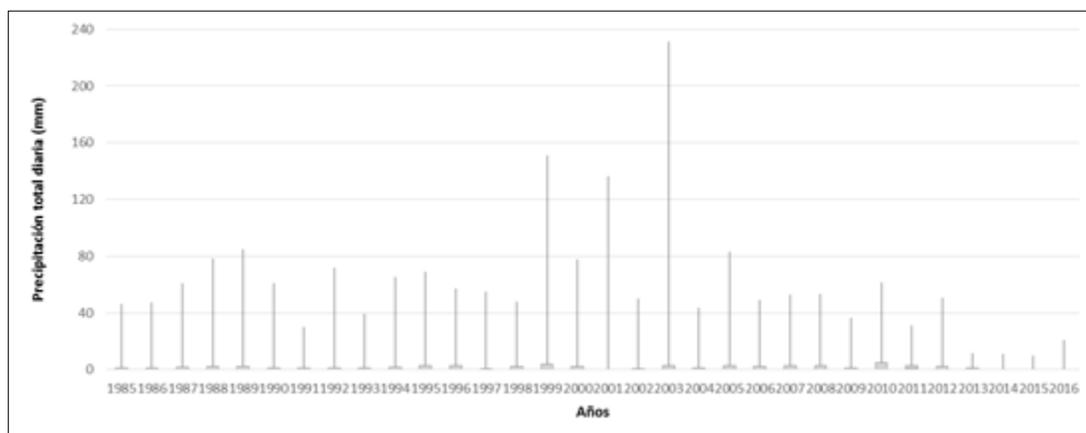


Figura 11. Gráfico de caja para la estación Otare

Fuente. Pasante 2018

4.9. Gráficas Suavizadas

En ocasiones, las series de precipitación exponen grandes alteraciones que al momento de presentarse alguna tendencia o variación se hace más difícil su caracterización. Por tal razón se ejecutan procedimientos suavizadores a dichas series iniciales para posteriormente esquematizarlas y en ciertos casos favorece en la detección de cambios. Para el presente estudio, se llevó a cabo una suavización exponencial de la serie, mediante las herramientas de análisis de Excel.

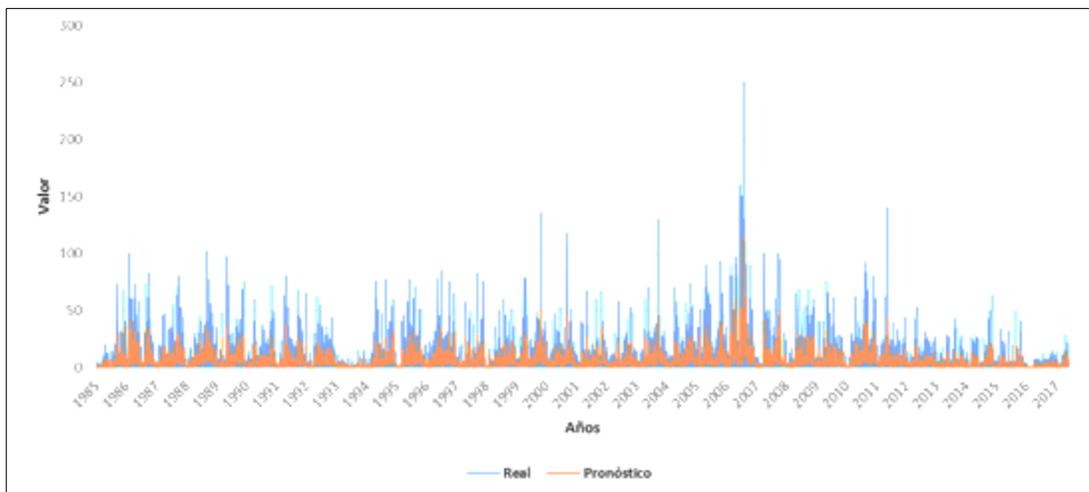


Figura 12. Gráfico suavizado para la serie de precipitación de la estación Abrego
Fuente. Pasante 2018.

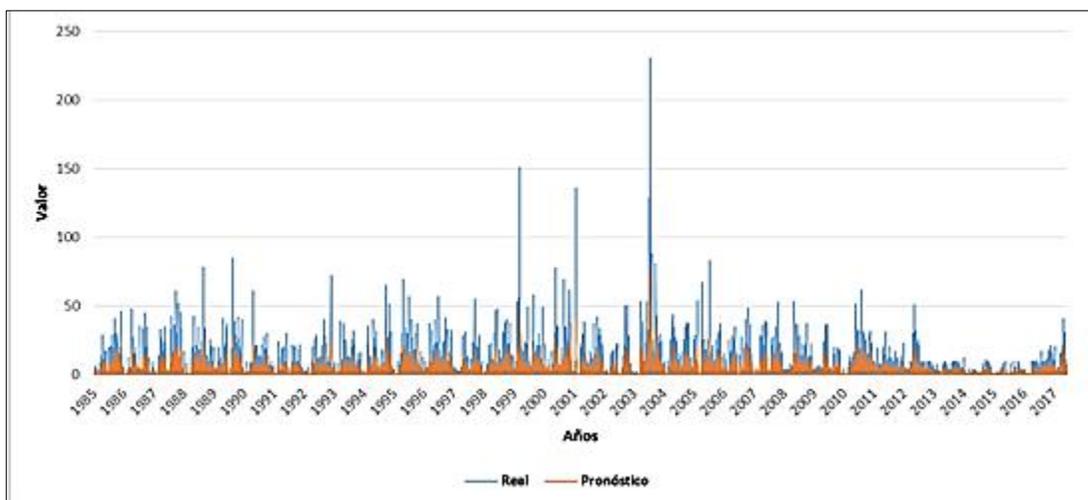


Figura 13. Gráfico suavizado para la serie de precipitación de la estación Otare
Fuente. Pasante 2018

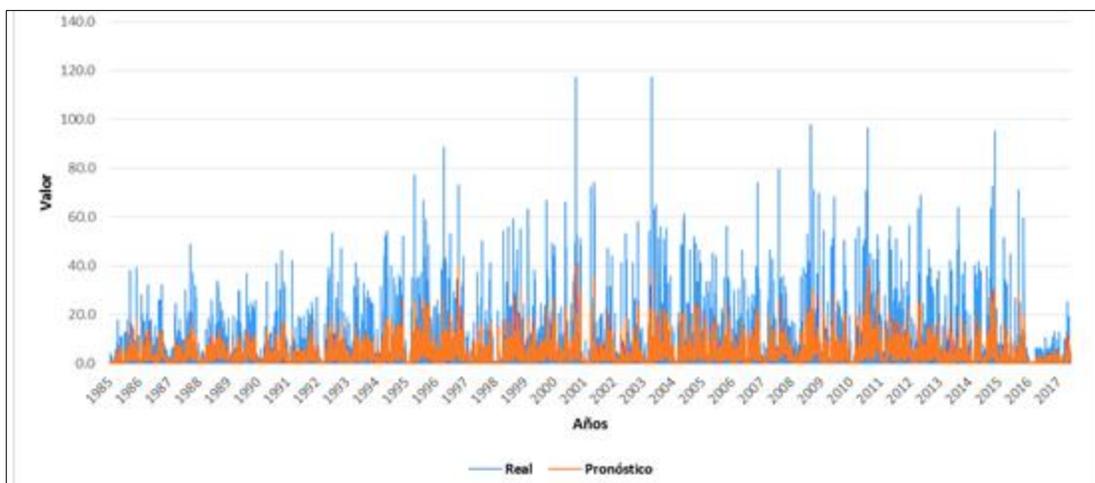


Figura 14. Gráfico suavizado para la serie de precipitación de la estación Aguas Claras
Fuente. Pasante 2018

Una vez obtenidos los datos de precipitación tabulados y depurados se procedió a crear los shp de las estaciones climatológicas y construir su base de datos para posterior creación del mapa de Isoyetas en la zona de estudio mapa que se presenta bajo la temática de precipitaciones máximas es importante recordar que las precipitaciones analizadas fueron de las series de tiempo de los últimos 25 años como ya se demostró anteriormente

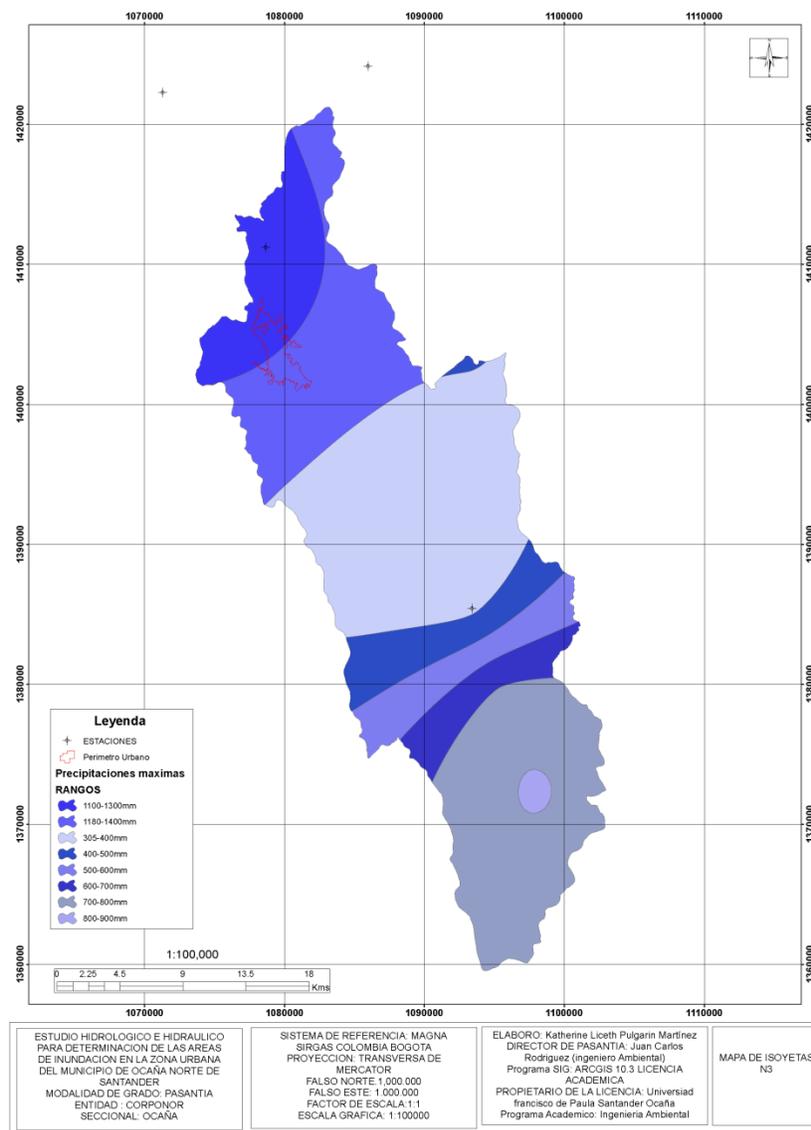


Figura 15. Mapa de Isoyetas (Precipitación Máxima Anual)
Fuente. Pasante 2018

Según los datos de precipitación para la zona y como se puede apreciar en la gráfica de barras el mes con mayor precipitación durante los últimos 25 años es el mes de septiembre y el de menor precipitación el mes de febrero (ver grafica)

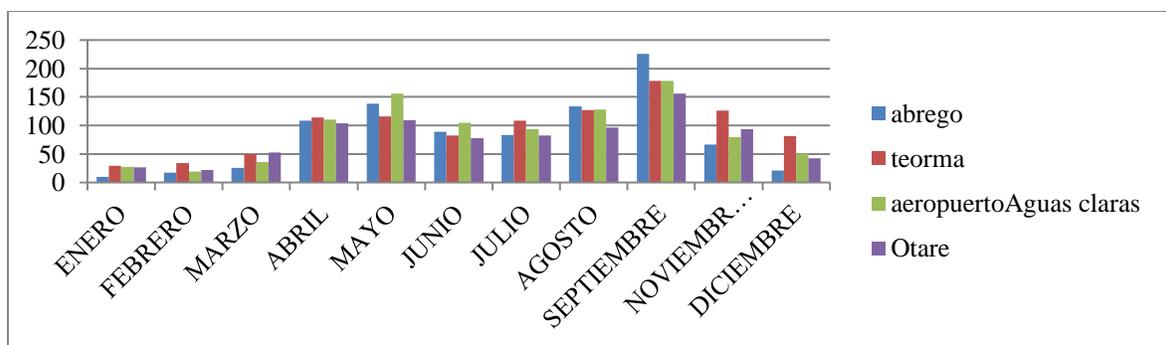


Figura 16. Grafica de precipitación para la zona de estudio

Fuente. Pasante 2018

Capítulo 5. Calculo de caudales superficiales para los rio tejo y chiquito (método racional)

El método racional permite calcular el caudal máximo que se formará a partir de una precipitación con respecto a la intensidad media del episodio de precipitaciones con un espacio temporal igual al tiempo de concentración del área de drenaje y a un coeficiente de escorrentía (RAS). Además, de las características morfométricas de la cuenca y de la variable hidrometeorológica precipitación máxima registrada sobre la cuenca, se puede realizar el cálculo del caudal máximo para diferentes periodos de retorno (TRIANA 2015) Su ecuación figura a continuación:

Ecuación 2. Ecuación para el cálculo de caudal máximo a diferentes periodos de retorno

$$Q = \frac{F * C * I * A}{3.6}$$

Donde Q es el caudal máximo, C es el coeficiente de escorrentía, I es la intensidad de lluvia, A es el área de la cuenca y F es un factor de reducción que “se aplica en la medida en que las área de drenaje se hacen más grandes, la intensidad de la lluvia sobre éstas se reduce en razón de la variabilidad espacial del fenómeno de precipitación” (RAS). La ecuación del factor de reducción utilizada fue:

Ecuación 3.ecuación del factor de reducción

$$F = 1 - \frac{\log A}{15}$$

$$F = 1 - \frac{\log 42,734}{15}$$

$$F=0,89$$

Para el cálculo de la intensidad de diseño necesito conocer la duración de la precipitación relacionada. En la ecuación de método racional, se infiere entonces que la duración de la lluvias será igual al tiempo de concentración que se describe como el tiempo que alcanza el agua desde el inicio del evento de precipitación en llegar, por medio de circulación por escorrentía directa, a la salida de la cuenca comenzando desde un extremo más alejado hacia su otro límite más distante de la misma. El tiempo de duración de la precipitación es proporcional al tiempo de concentración de la cuenca, ya que en esta duración es cuando se presentan los caudales máximos y toda la cuenca está contribuyendo al desarrollo de la escorrentía. El cálculo del tiempo de concentración horaria se realizó mediante la ecuación de Kirpich, en donde las variables que definen la ecuación, como la longitud del cauce principal y la pendiente media del cauce, fueron determinadas mediante las características morfométricas de la cuenca de estudio, a continuación se muestra dicha ecuación

$$T_c = 0,06628 * \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,77}$$

$$T_c = 0,06628 * \left(\frac{16,3218}{\sqrt{99,98}} \right)$$

$$T_c = 1,38 \text{ horas para la cuenca del río tejo}$$

$$T_c = 0,68 \text{ para la cuenca del río chiquito}$$

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia constituyen un instrumento para la designación del caudal de diseño. Con éstas curvas se compilan las peculiaridades de los acontecimientos más extremos de precipitación y así determinar la intensidad media de precipitación con base a diversas duraciones del evento y en diferentes periodos de retorno definidos (RAS).

Para el cálculo de la curva IDF, se procedió inicialmente a utilizar los datos tomados de precipitación total diaria de las estaciones del área de influencia solicitados al Instituto de estudios ambientales y meteorológicos (IDEAM). Con ellos, se calcularon los máximos mensuales en 24 horas y los máximos anuales.

A partir de estos últimos, se realizó el análisis de frecuencias de acontecimientos extremos, donde fue necesario el uso de una función de distribución de probabilidades, que en este caso fue la distribución de Gumbel. Dicha función “ha sido empleada, con buenos resultados, en el estudio de eventos meteorológicos de valores máximos, obteniéndose ajustes muy precisos para valores máximos diarios y anuales (Mintegui et al., 1993). A su vez, Stol (1971), citado por Dickinson (1977), señala que la función de Gumbel resulta ser la más adecuada para representar lluvias anuales extremas. La aplicación de la función de distribución de Gumbel, en estudios que contemplen eventos de valores extremos, no sólo es avalada por los autores mencionados anteriormente. La literatura especializada en el tema cita siempre la función de distribución de Gumbel debido a la calidad de ajuste que presenta en eventos máximos (Témez, 1978; Pizarro, 1986; Linsley et al., 1988; Ponce, 1989; Chow et al., 1994, y Monsalve, 1999)”citado por PIZARRO TAPIA, Roberto, et al. Su expresión matemática corresponde a:

$$F(x)=P [E \angle X] = \lambda^{-\lambda-\sigma(x-\mu)}$$

Donde X es el valor a asumir por la variable aleatoria y σ , μ son parámetros a estimar.

Los valores resultantes de la distribución de Gumbel permitieron generar precipitaciones máximas con relación al periodo de retorno y tiempo de duración, el cual se multiplicó por un coeficiente que permite el ajuste a la respectiva unidad horaria. Con estos datos se calculó la

intensidad horaria que resulta de la división de las series de precipitación entre su duración. Para integrar o hacer una relación simultánea de las tres variables, es decir, de intensidad, duración y frecuencia, en un sistema de curvas, representando no sólo una función gráfica sino también analítica, se utilizó la ecuación propuesta por Aparicio (1997). En ella se establece la posibilidad de disponer de una expresión matemática que construya las curvas IDF mediante un modelo de regresión, que permita extrapolar la ecuación generada para cada estación hacia áreas que carezcan de registros pluviográficos y que se hallen cerca. Su ecuación se representa a continuación:

Ecuación 4 . Ecuación para la Distribución de Gumbel

$$I = \frac{K * T^m}{(D)^n}$$

Donde K, m y n son parámetros de ajuste que fueron calculados mediante regresión potencial, mediante el método de los mínimos cuadrados, T es el periodo de retorno en años y D es la duración en minutos u horas, finalmente I es la intensidad de precipitación en mm/hr.

Tabla 11. *Tabla de intensidades – Duración – Frecuencias para la estación aeropuerto de aguas claras*

Tabla de intensidades – Duración – Frecuencias		
Frecuencia	Duración en Minutos	
Años	60	82.8
2	30.09	24.65
5	34.67	28.41
10	38.60	31.62

25	44.47	36.43
50	49.50	40.56
100	55.10	45.15
500	70.68	57.91

Fuente. Pasante 2018

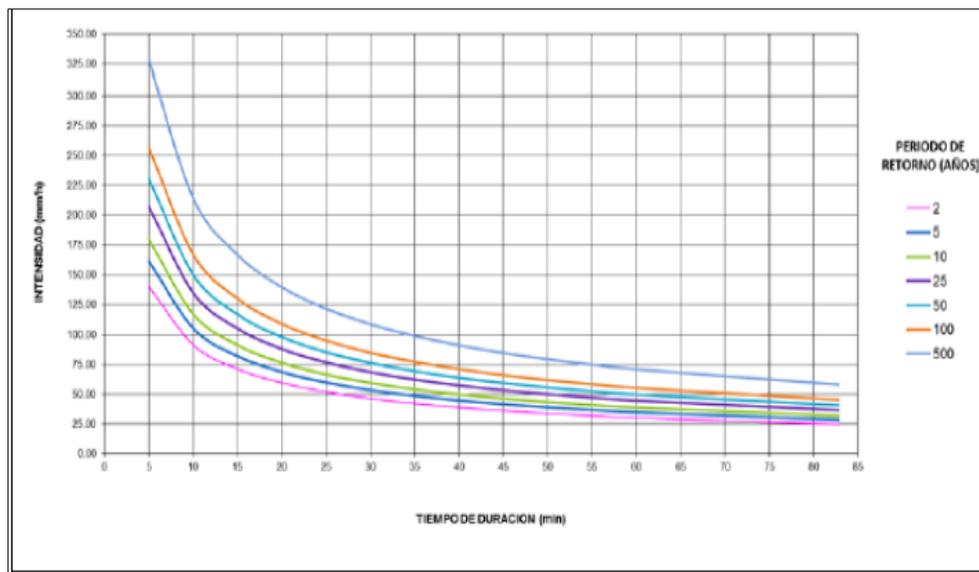


Figura 17. Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación Aeropuerto Aguas Claras
Fuente. Pasante 2018

Tabla 12. Tabla de intensidades – Duración – Frecuencias para la estación de Otare

Tabla de intensidades – Duración – Frecuencias		
Frecuencia	Duración en Minutos	
Años	60	82.8
2	31.09	24.65
5	34.67	23.41
10	38.60	31.62
25	44.47	33.43
50	49.50	40.56
100	55.10	45.15
500	73.68	47.91

Fuente. Pasante 2018

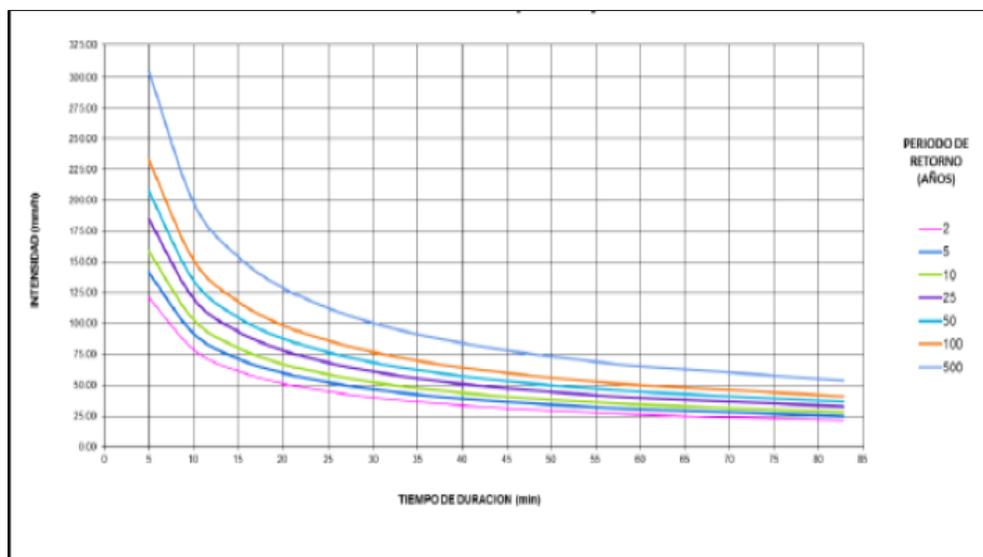


Figura 18. Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación De Otare
Fuente. Pasante 2018

Tabla de intensidades – Duración – Frecuencias		
Frecuencia	Duración en Minutos	
Años	60	82.8
2	33.45	27.40
5	34.67	23.41
10	40.65	31.62
25	44.47	33.43
50	49.50	40.56
100	55.10	45.15
500	73.68	52.91

Figura 19. Tabla de intensidades – Duración – Frecuencias para la estación Teorama
Fuente. Pasante 2018

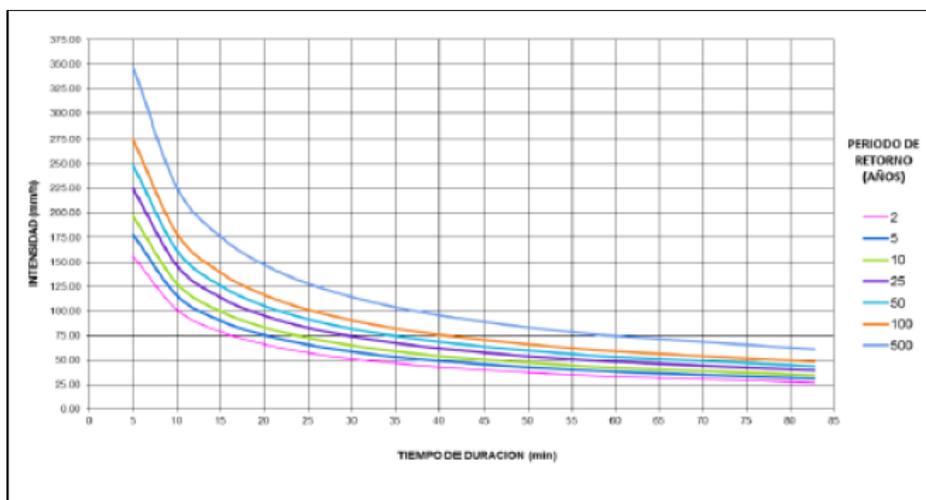


Figura 20. Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación de Teorama
Fuente. Pasante 2018

Tabla 13. *Tabla de intensidades – Duración – Frecuencias para la estación De Abrego*

Tabla de intensidades – Duración – Frecuencias		
Frecuencia	Duración en Minutos	
Años	60	82.8
2	33.09	25.65
5	34.67	23.41
10	39.40	31.62
25	44.47	33.43
50	49.50	40.56
100	55.10	47.15
500	74.48	57.91

Fuente. Pasante 2018

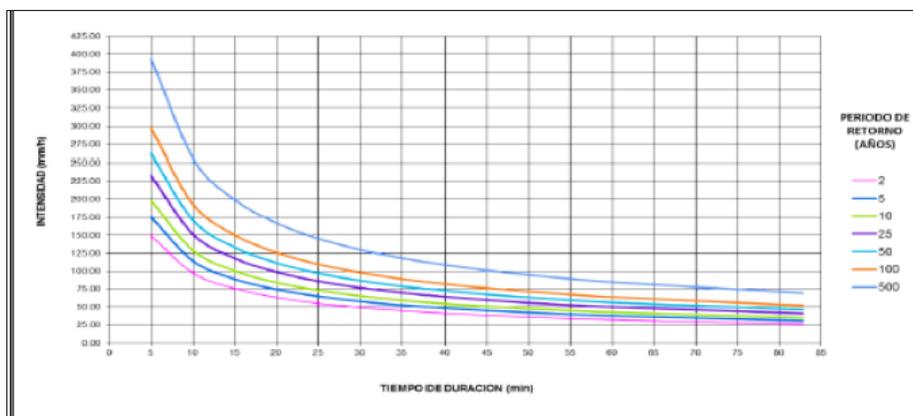


Figura 21. Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación de Abrego
Fuente. Pasante 2018

Dado los diferentes usos de suelo presentes en cada una de las cuencas (Rio Tejo Y Rio Chiquito) es necesario determinar el coeficiente de escorrentía que corresponde a la relación entre la precipitación total de la cuenca o área y el volumen de escorrentía, es decir, la fracción de lluvia que se transforma en caudal. El coeficiente es un valor constante que cambia conforme a la magnitud de la precipitación y las características fisiográficas de cada cuenca, como tipo de suelo, pendiente del terreno, cobertura vegetal, permeabilidad de la zona entre otros factores. Para su estimación existen, en la literatura hidrológica, tablas de valores que pueden ser usados como guía para su selección. A continuación se representa la figura con la tabla utilizada como referencia para este estudio:

Cobertura Vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		Pronunciada >50%	Alta 50% - 20%	Mediana 20%-8%	Suave 8%-1%	Despreciable <1%
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos y vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierva y grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,35	0,20	0,15	0,10
Bosques y vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fuente. Ramírez, Maritza. 1999. Hidrología Aplicada. Universidad de Los Andes

Para obtener el coeficiente de escorrentía promedio de la cuenca y teniendo como base la anterior tabla, se identificó el tipo de suelos de la cuenca, del Estudio General de Suelos a escala 1:100.000, del Departamento del Norte de Santander, (IGAC, 2009). Se calculó el área de cada tipo de cobertura vegetal y se multiplicó por el respectivo factor de escorrentía de la tabla, para posteriormente calcular la sumatoria de éstas y dividirlo entre el área total de la cuenca. Obtenidos todos los parámetros de la ecuación del método racional, se prosiguió al cálculo del mismo, obteniéndose los valores del caudal máximo, esquematizados en las tablas

Tabla 14. *Estimación del caudal máximo para la estación Aeropuerto Aguas claras*

Caudal Máximo (m ³ /seg)		
Frecuencia Años	Duración en minutos	
	60	82.5
2	109.9624439	90.082228
5	126.6998315	103.822965
10	141.0618256	115.553755
25	162.5134556	133.131666
50	180.8953463	148.22455
100	201.3602744	164.998483
500	258.2966279	211.629283

Fuente. Pasante 2018**Tabla 15.** *Estimación del caudal máximo para la estación De Otare*

Caudal Máximo (m ³ /seg)		
Frecuencia Años	Duración en minutos	
	60	82.5
2	94.8330149	77.6936376
5	110.5106116	90.5573067
10	124.1051709	101.666839
25	144.643188	118.477316
50	162.4038221	162.4038221
100	182.3205824	149.393975
500	238.5991346	195.476608

Fuente. Pasante 2018**Tabla 16.** *Estimación del caudal máximo para la estación Abrego*

Caudal Máximo (m ³ /seg)		
Frecuencia Años	Duración en minutos	
	60	82.5
2	122.2414007	122.2414007
5	139.6000451	139.6000451
10	154.3640289	154.3640289
25	176.2907375	176.2907375
50	194.9284399	194.9284399
100	215.539546	215.539546
500	272.2200879	272.2200879

Fuente. Pasante 2018

Tabla 17. *Estimación del caudal máximo para la estación Teorama*

Caudal Máximo (m ³ /seg)		
Frecuencia	Duración en minutos	
Años	60	82.5
2	132.1084196	132.1084196
5	155.1680082	155.1680082
10	175.2674911	175.2674911
25	205.8552497	205.8552497
50	232.5327452	232.5327452
100	262.6088806	262.6088806
500	348.3788559	348.3788559

Fuente. Pasante 2018

Capítulo 6. Topografía de la zona de estudio

Para el análisis topográfico de la zona de estudio se contó con las curvas de nivel de en formato shp (Shapefile) y el cual fue gestionado frente a la alcaldía municipal de Ocaña, las curvas de nivel se encuentra n a una equidistancia de 10mtrs, también se procesaron los planos del plan maestro de alcantarillado de la ciudad de Ocaña.

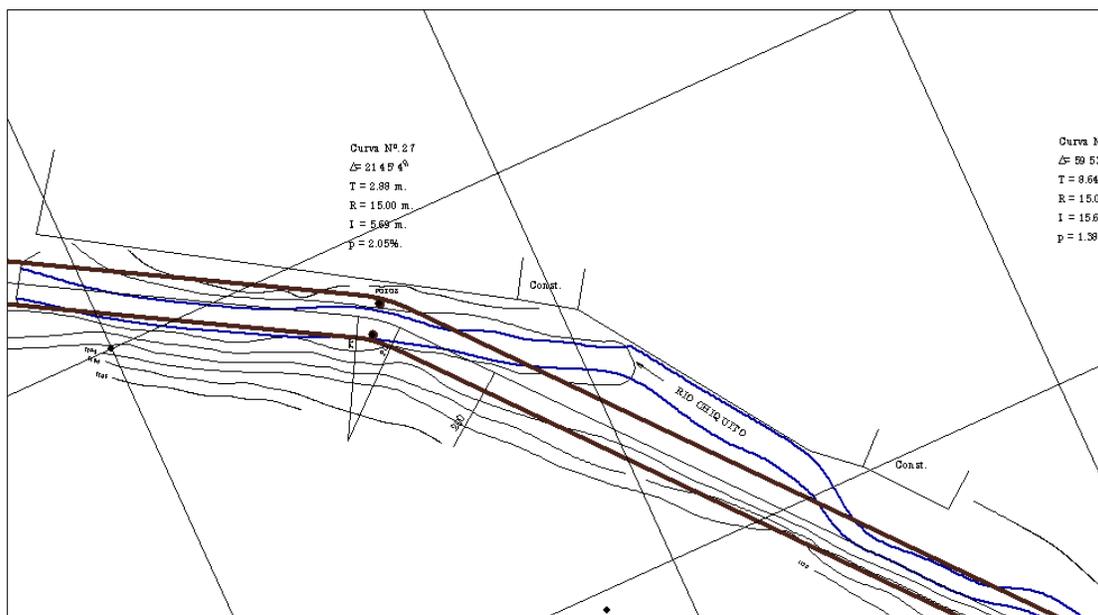


Figura 22. Topografía del Rio Chiquito
Fuente. Plan Maestro de Alcantarillado 2006

El mapa topográfico de la ciudad sirvió como insumo para la elaboración del TIN (Modelo digital de Terreno) y la determinación de alguno de los parámetros morfométricos de las cuencas urbanas necesarias para la modelación.

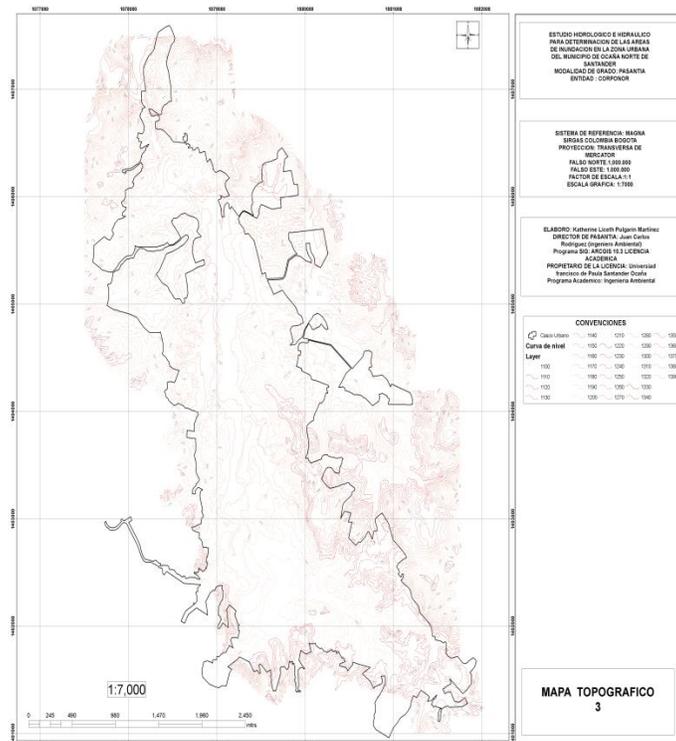


Figura 23. Mapa Topográfico
Fuente. Pasante 2018

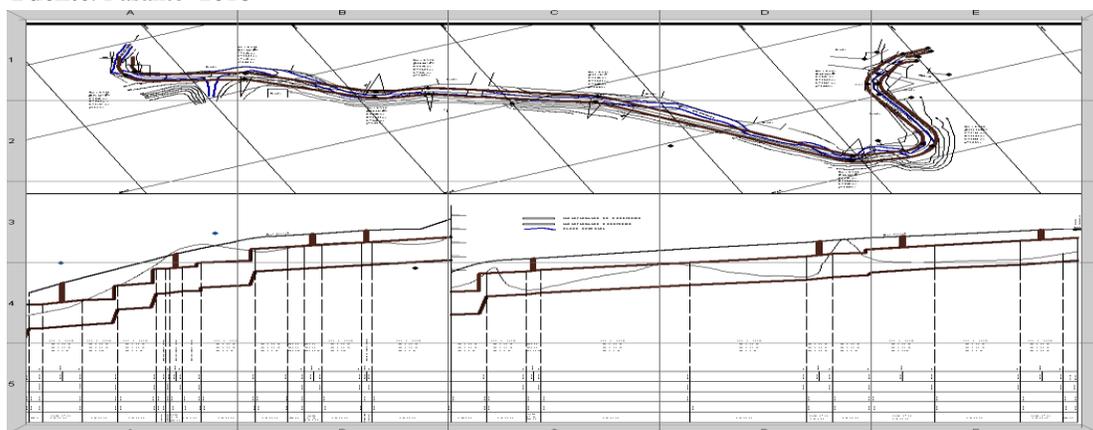


Figura 24 Plano topográfico del canal del río chiquito
Fuente. Alcaldía Municipal de Ocaña

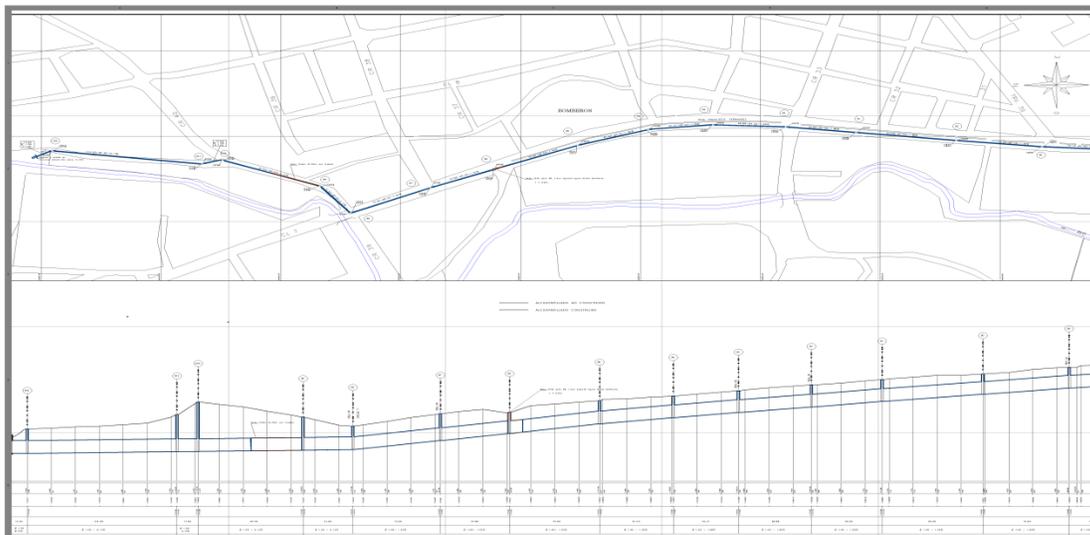


Figura 25. Plano topográfico del río tejo
Fuente. Alcaldía Municipal de Ocaña

Una vez procesada la información topográfica se procedió a digitalizar las delimitaciones de las cuencas urbanas del río tejo y río chiquito teniendo como base la cartografía oficial del municipio de Ocaña para de forma posterior generar el modelo digital de terreno de cada una de estas cuencas y la creación de las secciones transversales.

Es claro que un Modelo Digital de Terreno (MDT) es una estructura de tipo numérica de datos los cuales representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. El tipo de MDT más conocido es el Modelo Digital de Elevaciones (MDE), un caso particular de aquel, en el que la variable representada es la cota del terreno en relación a un sistema de referencia concreto.

6.1. Cuenca del río Chiquito

La parte más elevada de la cuenca es la que se conoce como el cerro Cristo Rey desde el cual se drenan un total de 7 quebradas estas quebradas también sirven como colectores de

aguas negras provenientes de las viviendas de la zona, hacia el costado izquierdo del río chiquito se encuentra la zona de menor elevación según el plano topográfico de la cuenca (ver plano)

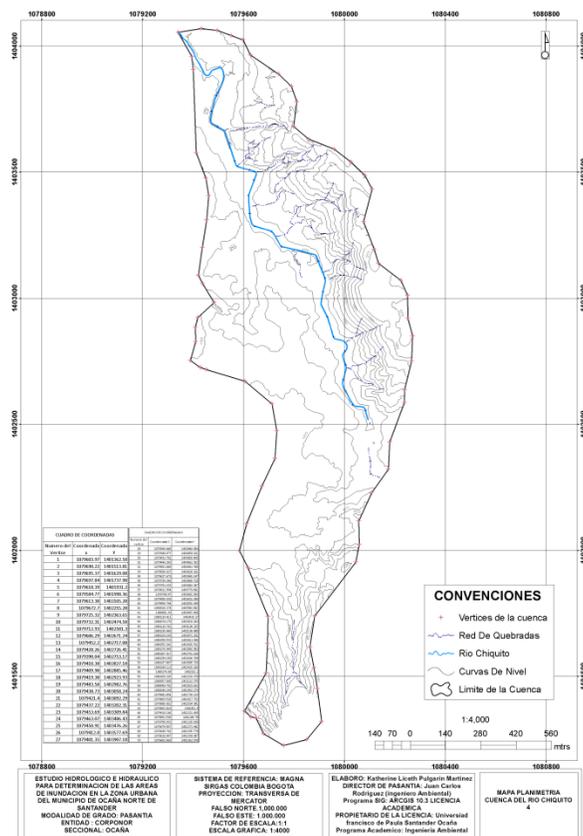


Figura 26. Plano topográfico de la cuenca del río chiquito
Fuente. Pasante 2018

La cuenca del río chiquito tiene un área superficial de 1.34km^2 , y un perímetro o divisoria de aguas de 6843.74mtrs. Con una longitud de cuenca calculada en 2992 mtrs desde el punto de inicio hasta su punto de tributación en su confluencia con el río tejo.

La cuenca del rio tejo tiene un área superficial de 6.53km^2 , y un perímetro aproximado de 16179.58mtrs presenta una longitud desde el punto de inicio hasta su punto de cierre 5.73 km (ver mapa)

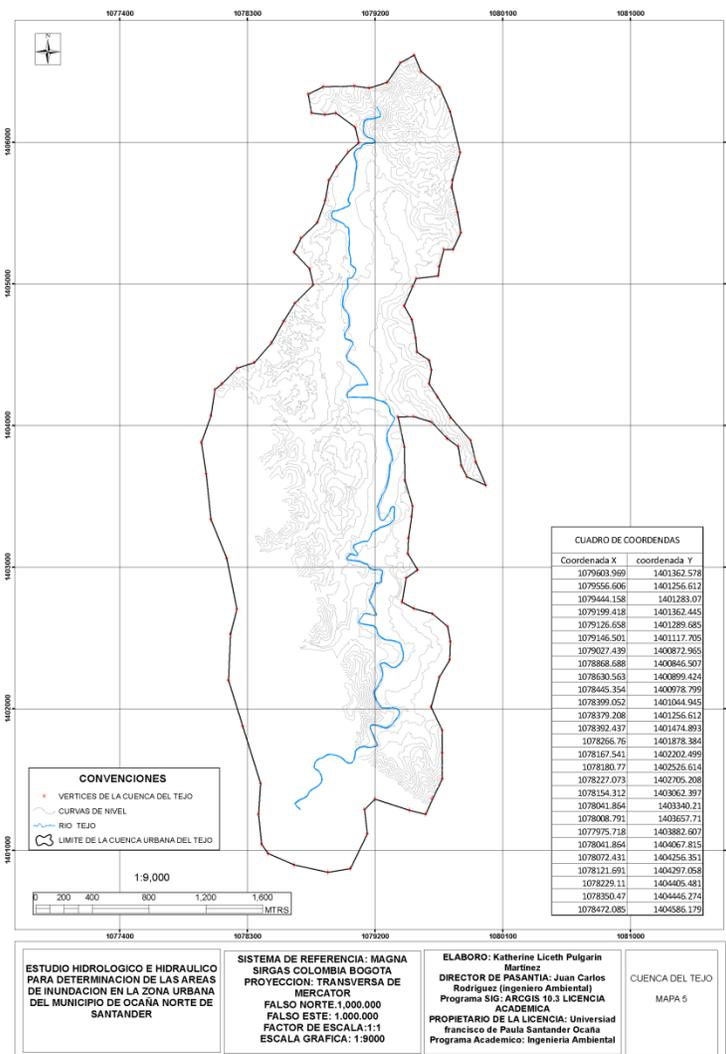


Figura 27 . Mapa cuenca urbana del rio tejo
Fuente. Pasante 2018

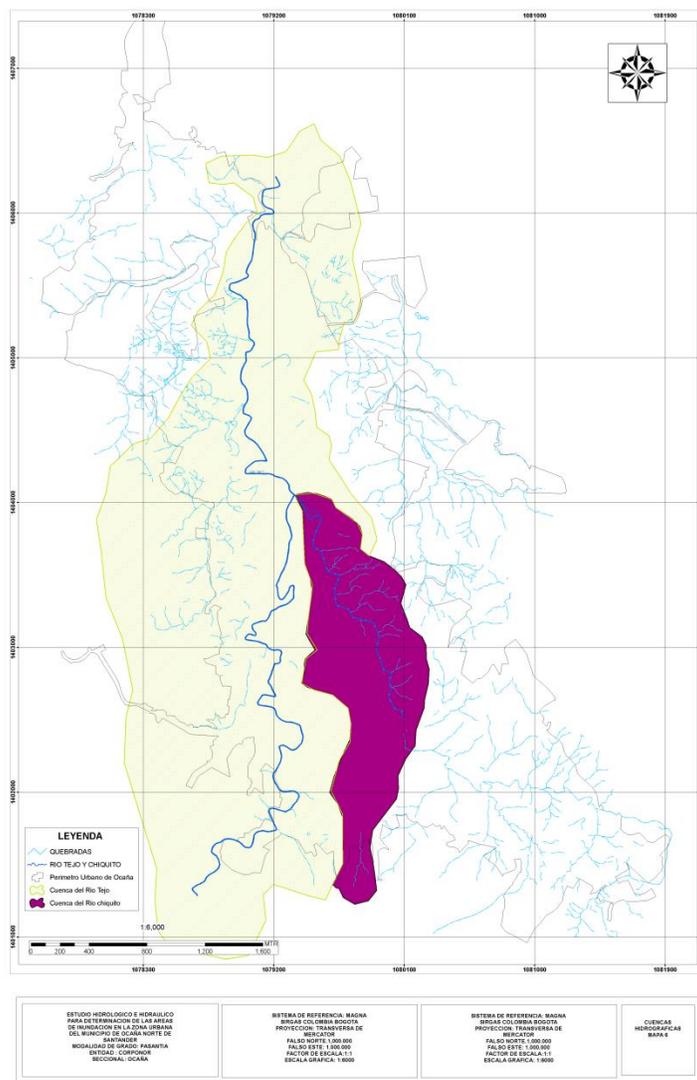


Figura 28. Mapa de cuencas hidrográficas del río tejo y río chiquito
Fuente. Pasante 2018

6.2. Modelo digital del terreno

Para poder modelar las secciones transversales de cada uno de los tramos del río tejo y chiquito se generó primero el modelo de terreno a partir de las curvas de nivel de cada una de las cuencas se inició entonces por generar el modelo de terreno de la cuenca del río chiquito

En la figura 29 se observa el TIN(modelo de terreno) de la cuenca del rio chiquito a partir de las curvas de nivel, es importante aclarar que las curvas de nivel se obtuvieron de la informacion topográfica del plan de ordenamiento territorial año 2015.

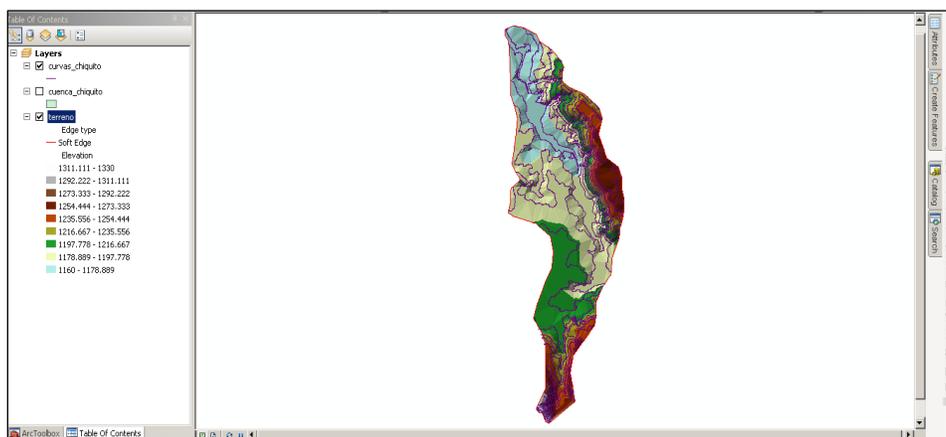


Figura 29. Modelo digital de Terreno
Fuente. Pasante 2018

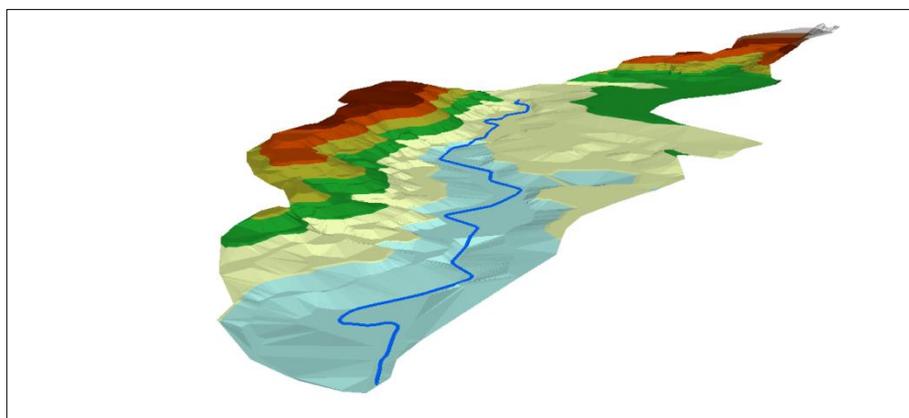


Figura 30. Visualización del TIN en 3D
Fuente. Pasante 2018

En la figura 31 se observa la creación del TIN para la cuenca del rio tejo a partir de las curvas de nivel obtenidas de la información geográfica oficial del municipio de Ocaña

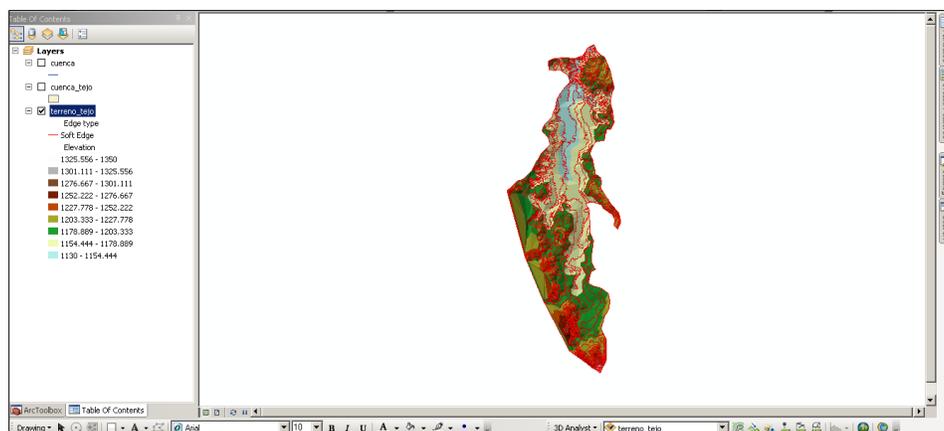


Figura 31. TIN de la cuenca del tejo
Fuente. Pasante 2018



Figura 32. Visualización del TIN en 3D Rio Tejo
Fuente. Pasante 2018

Mediante el estudio hidráulico se pretendía realizar una estimación lo más confiable posible de las zonas de inundación para diferentes caudales o periodos de retorno debido a los fenómenos históricos de desbordamiento del cauce del rio tejo y el rio chiquito desde su ingreso a la zona urbana de Ocaña hasta su desembocadura fuera de esta

El modelo HEC-RAS desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos “U.S. Corp of Engineers, Hydrological Engineering Center, HEC” es uno de los modelos más hidráulicos de mayor difusión a nivel mundial para estudios hidráulicos de flujo uniforme, unidimensional y permanente; su popularidad es debida a su flexibilidad en la creación en la modelación de parámetros hidráulicos, a su rapidez en los cálculos y su fácil manejo y operación.

El modelo HEC-RAS es capaz de modelar perfiles de las superficies de agua con regímenes de flujo mixto, subcrítico y torrencial. Este tipo de modelos no ha sido desarrollado para cuencas de alta pendiente como es el caso de las cuencas de la zona andina colombiana. Por esta razón la autora de la investigación decidió aplicarlo en el desarrollo del presente documento.

6.3. Descripción de la geometría de los cauces

La geometría del cauce se introduce al modelo mediante secciones transversales, las cuales se definieron mediante el procesamiento de información espacial (cartografía) apoyando el trabajo en el modelo digital de elevación y el modelo digital de terreno el cual se generó con la nube de puntos del levantamiento topográfico el cual fue facilitado por CORPONOR y la alcaldía municipal de Ocaña Norte de Santander.

El criterio para la distancia entre secciones se buscó de tal forma que no excediera en 5 o 6 veces el ancho de cada uno de los ríos en estudio; en las zonas en las cuales se excede esta distancia es porque corresponde a zonas rectas cuyas secciones transversales no presentan una variación importante entre secciones, por lo anterior no se encuentra una uniformidad entre las secciones; adicionalmente, el modelo HEC-RAS tiene la opción de generar una nueva sección mediante la interpolación entre dos secciones

El trabajo técnico de la definición de las secciones y análisis de la zona de estudio se apoyó en el procesamiento de una imagen de adquirida SAS planet como insumo técnico para el desarrollo del presente estudio.

6.4. Creación de secciones transversales

Las secciones transversales de los ríos Tejo y Chiquito fueron primero diseñadas sobre el modelo digital de terreno el cual se generó a partir de nube de puntos extraída de la topografía oficial del municipio una vez digitalizadas estas se exportaron al software HEC RAS 5.03 en el cual se realizó la modelación hidráulica.

6.4.1. Insumos para la construcción de las secciones transversales

- Geometría del río (pendiente media)
- Características del lecho del río y/o del canal
- Caudales de máximas crecidas

La siguiente es la secuencia del proceso que se siguió en el software AGRCGIS 10.3

- Se otorgó nombre al archivo
- Se generó el DEM (Modelo digital de elevación)
- Se generó el TIN
- Se trazó el eje del río
- Fueron trazados los bancos hidráulicos
- Se trazaron los límites históricos de inundación
- Se trazaron las secciones transversales
- A cada uno de los ríos se le asignaron coordenadas 3D (X,Y,Z)
- A las secciones transversales se le asignaron coordenadas 3D(X,Y,Z)
- Se exportó a HecRas 5.03 (exportar RAS data)

En la figura 33 se puede observar parte del proceso del trazado del eje del río por medio del uso de la extensión Hec GeoRAS,

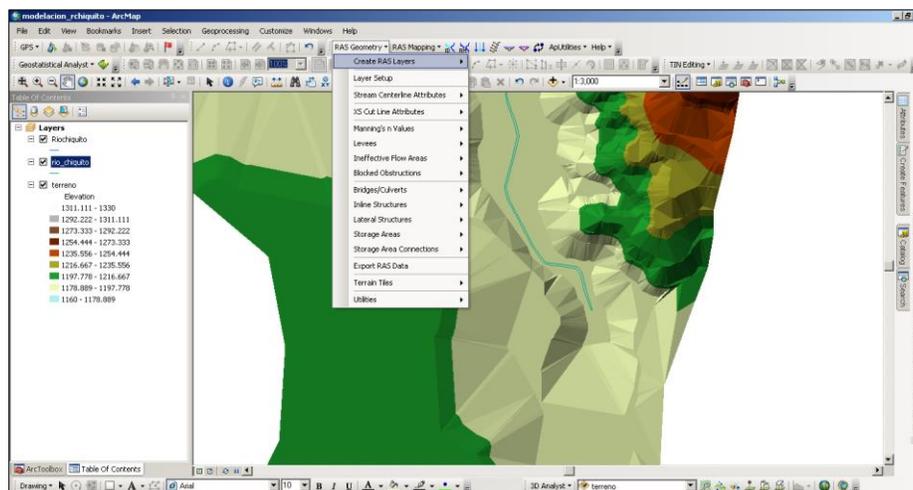


Figura 33. Creación del eje central del río chiquito
Fuente. Pasante 2018

Posterior a la creación del eje del se procedió a dar un nombre y adjudicar el tramo del estudio para pasar a diseñar los bancos hidráulicos iniciando por el banco derecho y luego el banco izquierdo en la figura 34 se puede apreciar el resultado de la creación de los bancos hidráulicos para el río chiquito.

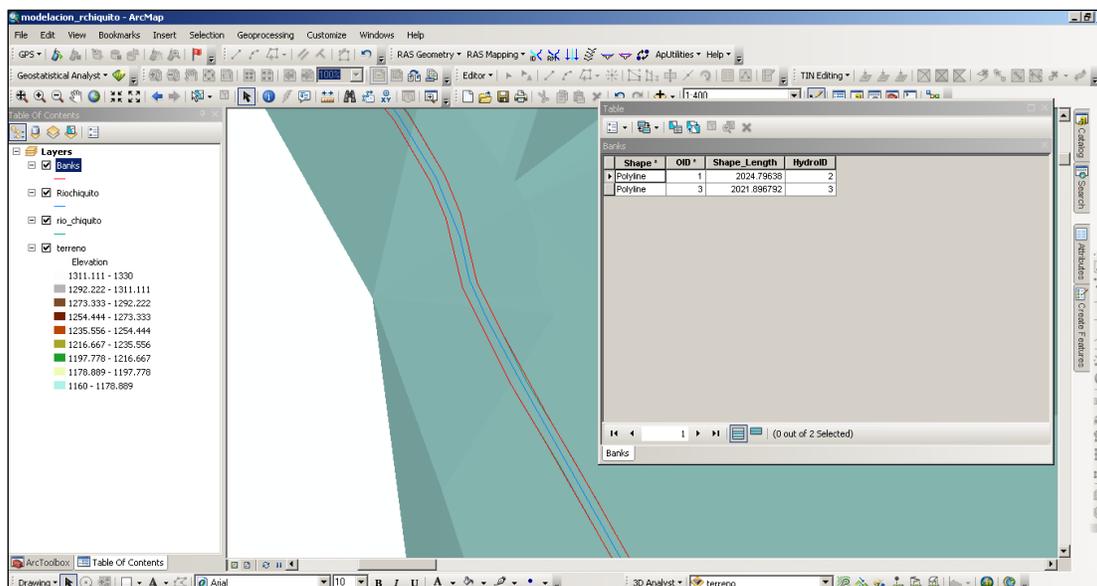


Figura 34. Creación de los bancos hidráulicos del rio chiquito
Fuente. Pasante 2018

Basada en la información geográfica de riesgos y amenazas de la ciudad de Ocaña se procedió a crear las líneas límites de inundación para el cauce del rio chiquito, en la figura 35 se aprecia el mapa oficial de riesgos y amenazas urbanas el cual se construyó a una escala 1:7500. Y el cual sirvió como base de la digitalización para las líneas de inundación.

Es importante hacer claridad que en el mapa citado de forma anterior solamente se tuvo en cuenta la zonificación de riesgo y amenaza por inundación.

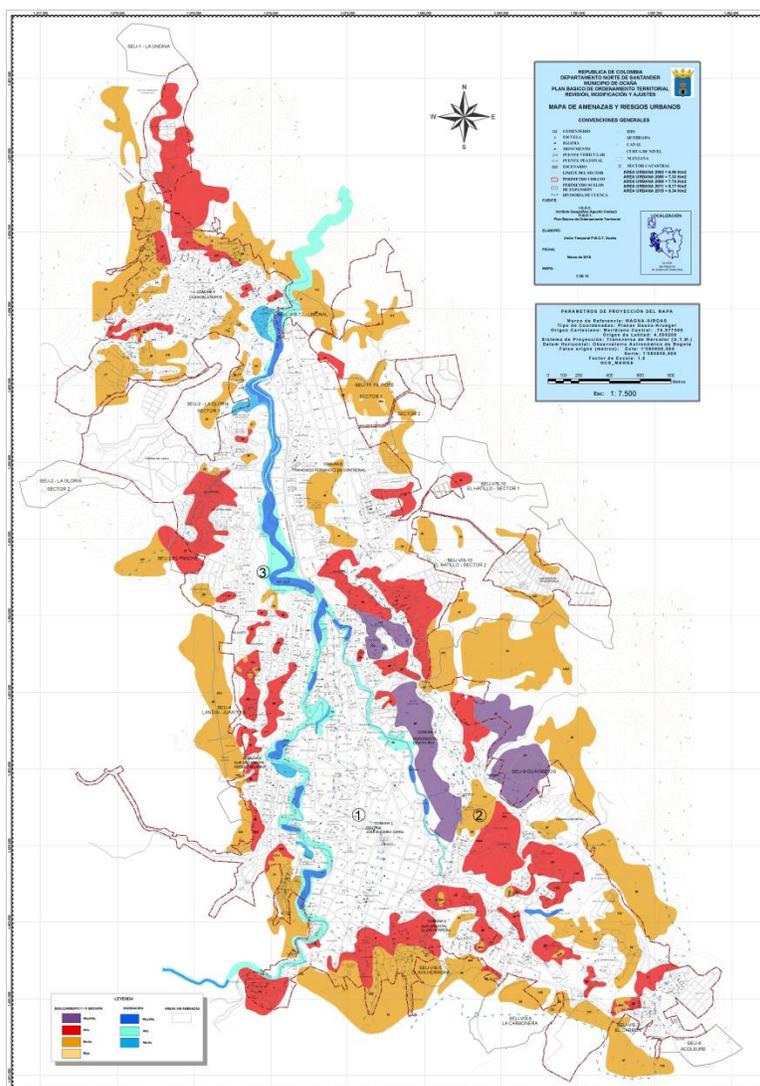


Figura 35. Mapa Oficial de riesgos y amenazas urbanas

Fuente Plan básico de ordenamiento territorial; 2015

Luego de realizar la digitalización de las márgenes de inundación se exportaron estas capas al software HecRas para la modelación hidráulica como resultado de esta modelación se obtuvieron las manchas de inundación para cada uno de los ríos tejo y chiquito analizando secciones por separado

En las imágenes tomadas de la modelación en HecRas se pueden apreciar los flujos en las secciones con sus respectivos periodos de retorno (6) en total

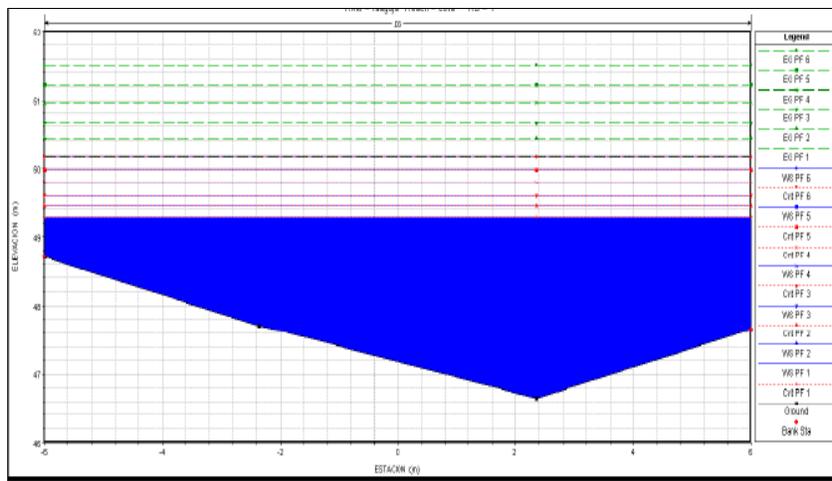


Figura 36. Sección A. desde el nacimiento hasta la abscisa +100
Fuente. Pasante 2018

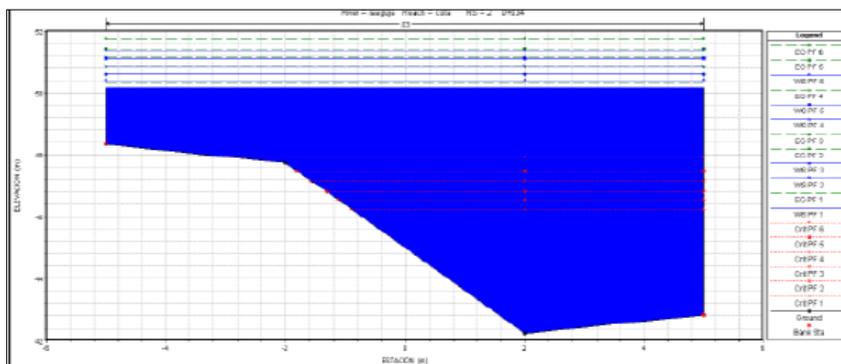


Figura 37. Sección B +200
Fuente. Pasante 2018

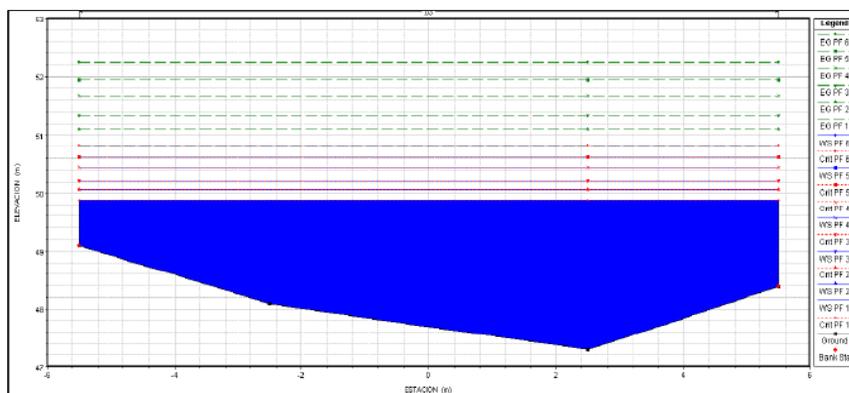


Figura 38. Sección C +300
Fuente. Pasante 2018

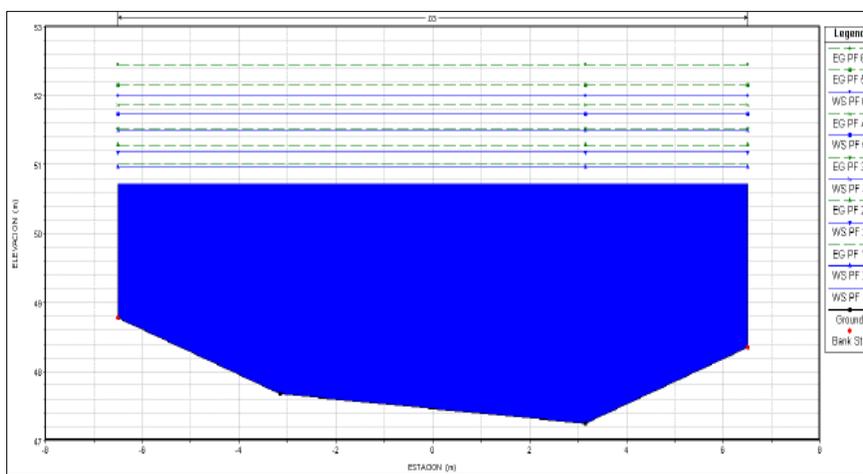


Figura 39. Sección C+400
Fuente. Pasante 2018

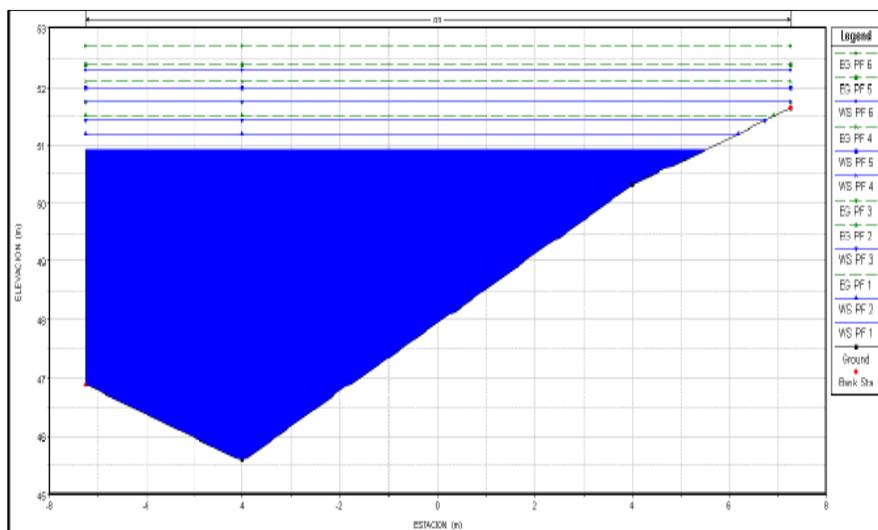


Figura 40. Seccion D+500
Fuente. Pasante 2018

La totalidad de las secciones creadas y modeladas en cada periodo de retorno se entregan como anexos a este documento, al igual que los perfiles longitudinales de cada sección.

A continuación se presentan los resultados numéricos de la modelación en HecRas para las 9 primeras secciones con 6 periodos de retorno analizados teniendo en cuenta los caudales máximos diarios calculados mediante el método racional.

E.G. Elev (m)	50.18	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.90	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	49.28	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	49.28	Flow Area (m2)		21.57	
E.G. Slope (m/m)	0.009420	Area (m2)		21.57	
Q Total (m3/s)	90.55	Flow (m3/s)		90.55	
Top Width (m)	12.00	Top Width (m)		12.00	
Vel Total (m/s)	4.20	Avg. Vel. (m/s)		4.20	
Max Chl Dpth (m)	2.63	Hydr. Depth (m)		1.80	
Conv. Total (m3/s)	932.9	Conv. (m3/s)		932.9	
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)		14.59	
Min Ch El (m)	46.65	Shear (N/m2)		136.58	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		573.45	
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)			
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			

Figura 41. IP de la Cross Section Output; tomado de los resultados modelados en HecRas 5.03 para la primera sección

Fuente. Pasante 2018

Para el periodo de retorno a 2 años la sección 1 presenta los siguientes resultados:

E.G. Elev = hace referencia a la cota a la que se encuentra la línea de energía, es decir la suma de cota de la solera o rasante del canal del río con más el calado o tirante más el término cinético ($E = Z + y + a \cdot v^2/2g$) el resultado obtenido para el periodo de retorno de 2 años es de 50.18m; PR 5años= 50.43m; PR10 años = 50.55mtr; PR25= 50.97mtrs; PR50años= 51.22mtrs; PR 100años=51.50mtr.

Vel Head = Valor del término cinético de la energía ($a \cdot v^2/2g$) el cual para este tramo del río chiquito la corresponde a 0.90mtrs. Para un periodo de retorno de 2 años; PR5años= 0.98 mtrs; PR 10Años =1.05mtrs; PR25años =1.16mtrs; PR50años= 1.2mtrs; PR100años =1.34mtrs.

W.S. Elev = esta es la cota a la que se sitúa la superficie de la lámina de agua, es decir la suma de cota de solera o rasante de canal más el calado o tirante ($Z + y$) que para este tramo es de 49.28mtrs para 2 años de periodo de retorno; PR5años= 49.45mtrs; PR10años= 49.60mtrs; PR 25años=49.80; PR50años=49.98mtrs; PR100años=50.16mtrs.

Crit W.S. = es la Cota a la que se sitúa el calado o tirante crítico, esto quiere decir que es la suma de cota de solera o rasante de canal más el calado o tirante crítico ($Z + y_c$). Para el periodo de retorno de 2 años = 49.28mtrs; PR5 años=49.45mtrs; PR 10 años = 49.60mtrs; PR 25 años= 49.80mtrs; PR50 años= 49.98 mtrs y para el periodo de retorno de 100años = 50.16mtrs.

E.G. Slope = pendiente de la línea de energía, especifica la variación de la cota de la línea de energía de una sección a la siguiente según la distancia entre ambas. Estos resultados muestran que para él Para 2 años es de 0.009420 m/m; PR 5años= 0.009412 m/m; PR 10 años= 0.009411m/m; PR 25años = 0.009485m/m; PR50 años=0.009507m/m, PR 100 años= 0.009592m/m.

Q Total = Caudal total que circula por la sección del río chiquito en un periodo de retorno específico el primero de los periodos analizado es a 2 años el cual se calculó en (90.55m³/seg) ; para los 5 años (103.82m³/seg); para los 10 años (115.55m³/seg); para los 25 años (133.131m³/seg); para los 50 años (148.224m³/seg); y para los 100 años (164.998m³/seg).

Top Width = Este parámetro es el ancho de la lámina de agua o de la sección del canal en la superficie libre de la misma, es decir la distancia entre los extremos o límites de la inundación de ambos márgenes del canal. Para la primera sección se registró en 12mtrs.

Vel Total = esta es la velocidad media del flujo del agua en la sección modelada, esto significa que es la suma de las velocidades de cada una de las tres partes de la sección (left overbank, channel y right overbank) y la cual se divide entre 3. Que para el caso de la primera sección a un periodo de retorno de 2 años (el menor caudal) es de 4.20m/seg; PR 5 años =

4.39m/seg; PR10años= 4.55m/seg; PR25 años= 4.77m/seg; PR50 años= 4.94m/seg; PR100años= 5.13m/seg.

Max Chl Dpth = este parámetro hace referencia al calado o también llamado tirante máximo presente en la sección, es decir distancia máxima entre la cota de la solera o rasante del canal y la cota de la lámina de agua. Este parámetro varía de acuerdo a los periodos de retorno y las secciones del rio chiquito analizadas en este estudio, para el caudal más bajo el cual corresponde a 2 años el tirante máximo es de 2.63m; PR5años=2.80m; PR10años= 2.95m; PR25 años= 3.15m; PR50años= 3.33m; PR 100años=3.51m.

Conv. Total = La capacidad hidráulica total de la sección, es decir cuánto caudal (agua) puede transportar la sección, la primera sección muestra una capacidad hidraulica analizada con un periodo de retorno de 2 años de 932.9m³/seg, esta capacidad es mayor al caudal modelado para este periodo de retorno el cual está en 90.55m³/seg, para el PR 5años esta capacidad hidraulica 1070.1m³/seg, teniendo como caudal máximo calculado para este periodo de retorno 103.82m³/seg; PR 10 años= 1191.1m³/seg; PR25 años = 1367.0m³/seg; PR 50 años= 1520.2m³/seg; PR100años= 1684.7m³/seg.

Min Ch Elev = Cota a la que se sitúa la solera o rasante de la sección (Z), para la primera sección esta cota es de 50.27mtr.

Flow Área = Esta es el Área efectiva de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección del mismo. Los resultados obtenidos para la primera sección son 21.57m²

Área = Área total de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección del mismo incluyendo las áreas o secciones que se fueron definidas como inefectivas de flujo. Para este caso particular de la sección es de 21.57m².

Flow = Caudal de paso

Avg. Velocity = velocidad media del flujo en una parte de la sección (left overbank, channel y right overbank), siendo para esta sección un valor de 4.20m³/seg

Hydr. Depth = Es la profundidad hidráulica de una parte de la sección (left overbank, channel y right overbank), esto quiere decir cociente entre el área efectiva de una parte de la sección entre el ancho de la lámina de agua (top width) de la misma parte. Como resultado se obtuvo 1.80m

En las siguientes tablas se presentan los resultados en tablas obtenidos de la modelación de los 6 periodos de retorno desde la sección 1 hasta la sección 9 en la primera zona de análisis para el río tejo y río chiquito es de anotar que el río chiquito se modeló hasta su confluencia con el río tejo dentro del casco urbano de la ciudad de Ocaña.

Tabla 18. *Condiciones hidráulicas sección 1 Río Chiquito*

CONDICIONES HIDRAULICAS PARA LA SECCION 1 (DESDE LA COTA 1198 HASTA LA ABSISA 0+031 LONGITUD DE CANAL PR2AÑOS)			
E.G. Elev (m)	50.18	Element	Channel
Vel Head (m)	0.9	Wt. n-Val.	0.03
W.S. Elev (m)	49.28	Reach Len. (m)	
Crit W.S. (m)	49.28	Flow Area (m ²)	21.57
E.G. Slope (m/m)	0.00942	Area (m ²)	21.57

Q Total (m3/s)	90.55	Flow (m3/s)	90.55
Top Width (m)	12	Top Width (m)	12
Vel Total (m/s)	4.2	Avg. Vel. (m/s)	4.2
Max Chl Dpth (m)	2.63	Hydr. Depth (m)	1.8
Conv. Total (m3/s)	932.9	Conv. (m3/s)	932.9
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)	14.59
Min Ch El (m)	46.65	Shear (N/m2)	136.58
Alpha	1	Stream Power (N/m s)	573.45

Fuente. Pasante 2018

Tabla 19. *Condiciones hidráulicas sección 2 Rio Chiquito*

CONDICIONES HIDRAULICAS PARA LA SECCION 2 RIO CHIQUITO PR 5 AÑOS			
E.G. Elev (m)	50.43	Element	Channel
Vel Head (m)	0.98	Wt. n-Val.	0.03
W.S. Elev (m)	49.45	Reach Len. (m)	
Crit W.S. (m)	49.45	Flow Area (m2)	23.64
E.G. Slope (m/m)	0.009412	Area (m2)	23.64
Q Total (m3/s)	103.82	Flow (m3/s)	103.82
Top Width (m)	12	Top Width (m)	12
Vel Total (m/s)	4.39	Avg. Vel. (m/s)	4.39
Max Chl Dpth (m)	2.8	Hydr. Depth (m)	1.97
Conv. Total (m3/s)	1070.1	Conv. (m3/s)	1070.1
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)	14.93
Min Ch El (m)	46.65	Shear (N/m2)	146.1
Alpha	1	Stream Power (N/m s)	641.71

Fuente. Pasante 2018

Tabla 20. *Condiciones hidráulicas sección3 Rio Chiquito*

CONDICIONES HIDRAULICAS PARA LA SECCION 3 DEL RIO CHIQUITO PR 10 AÑOS			
E.G. Elev (m)	50.65	Element	Channel
Vel Head (m)	1.05	Wt. n-Val.	0.03
W.S. Elev (m)	49.6	Reach Len. (m)	
Crit W.S. (m)	49.6	Flow Area (m2)	25.4
E.G. Slope (m/m)	0.009411	Area (m2)	25.4
Q Total (m3/s)	115.55	Flow (m3/s)	115.55
Top Width (m)	12	Top Width (m)	12

Vel Total (m/s)	4.55	Avg. Vel. (m/s)	4.55
Max Chl Dpth (m)	2.95	Hydr. Depth (m)	2.12
Conv. Total (m3/s)	1191.1	Conv. (m3/s)	1191.1
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)	15.23
Min Ch El (m)	46.65	Shear (N/m2)	153.97
Alpha	1	Stream Power (N/m s)	700.35

Fuente. Pasante 2018

Tabla 21. *Condiciones hidráulicas sección 4 Rio Chiquito*

CONDICIONES HIDRÁULICAS PARA LA SECCIÓN 4 DEL RIO CHIQUITO A UN PR25 AÑOS			
E.G. Elev (m)	50.97	Element	Channel
Vel Head (m)	1.16	Wt. n-Val.	0.03
W.S. Elev (m)	49.8	Reach Len. (m)	
Crit W.S. (m)	49.8	Flow Area (m2)	27.89
E.G. Slope (m/m)	0.009485	Area (m2)	27.89
Q Total (m3/s)	133.13	Flow (m3/s)	133.13
Top Width (m)	12	Top Width (m)	12
Vel Total (m/s)	4.77	Avg. Vel. (m/s)	4.77
Max Chl Dpth (m)	3.15	Hydr. Depth (m)	2.32
Conv. Total (m3/s)	1367	Conv. (m3/s)	1367
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)	15.64
Min Ch El (m)	46.65	Shear (N/m2)	165.85
Alpha	1	Stream Power (N/m s)	791.7

Fuente. Pasante 2018

Tabla 22. *Condiciones hidráulicas sección 5 Rio chiquito*

CONDICIONES HIDRAULICAS PARA LA SECCION 5 DEL RIO CHIQUITO PARA UNPR50 AÑOS			
E.G. Elev (m)	51.22	Element	Channel
Vel Head (m)	1.25	Wt. n-Val.	0.03
W.S. Elev (m)	49.98	Reach Len. (m)	
Crit W.S. (m)	49.98	Flow Area (m2)	29.99
E.G. Slope (m/m)	0.009507	Area (m2)	29.99
Q Total (m3/s)	148.22	Flow (m3/s)	148.22
Top Width (m)	12	Top Width (m)	12
Vel Total (m/s)	4.94	Avg. Vel. (m/s)	4.94
Max Chl Dpth (m)	3.33	Hydr. Depth (m)	2.5
Conv. Total (m3/s)	1520.2	Conv. (m3/s)	1520.2
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)	15.99
Min Ch El (m)	46.65	Shear (N/m2)	174.84
Alpha	1	Stream Power (N/m s)	864.15

Fuente. Pasante 2018

Tabla 23. *Condiciones hidráulicas sección 6 Rio chiquito*

CONDICIONES HIDRAULICAS PARA LA SECCION 6 DEL RIO CHIQUITO PR100AÑOS			
E.G. Elev (m)	51.5	Element	Channel
Vel Head (m)	1.34	Wt. n-Val.	0.03
W.S. Elev (m)	50.16	Reach Len. (m)	
Crit W.S. (m)	50.16	Flow Area (m2)	32.19
E.G. Slope (m/m)	0.009592	Area (m2)	32.19
Q Total (m3/s)	165	Flow (m3/s)	165
Top Width (m)	12	Top Width (m)	12
Vel Total (m/s)	5.13	Avg. Vel. (m/s)	5.13
Max Chl Dpth (m)	3.51	Hydr. Depth (m)	2.68
Conv. Total (m3/s)	1684.7	Conv. (m3/s)	1684.7
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)	16.36
Min Ch El (m)	46.65	Shear (N/m2)	185.08

Alpha	1	Stream Power (N/m s)	948.78
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)	
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)	

Fuente. Pasante 2018

En las siguientes tablas se muestran las condiciones hidráulicas del canal natural modeladas para el río Tejo a partir del levantamiento topográfico y batimetría del río desde su punto geográfico de ingreso a la ciudad de Ocaña y el cual se tomó desde la información oficial de PBOT municipal el cual fue revisado y ajustado en el año 2015 y se encuentra vigente, para este cuerpo hídrico la modelación hidráulica se realizó a un (PR) iguales a los usados con el río Chiquito.

Tabla 24. *Condiciones hidráulicas sección 1 Río Tejo*

CONDICIONES HIDRAULICAS PARA LA SECCION 2 LONGITUD DE CANAL 34MtrsPR2AÑOS			
E.G. Elev (m)	50.33	Element	Channel
Vel Head (m)	0.17	Wt. n-Val.	0.03
W.S. Elev (m)	50.16	Reach Len. (m)	34
Crit W.S. (m)	46.25	Flow Area (m2)	49.93
E.G. Slope (m/m)	0.000997	Area (m2)	49.93
Q Total (m3/s)	90.55	Flow (m3/s)	90.55
Top Width (m)	10	Top Width (m)	10
Vel Total (m/s)	1.81	Avg. Vel. (m/s)	1.81
Max Chl Dpth (m)	7.93	Hydr. Depth (m)	4.99
Conv. Total (m3/s)	2867.7	Conv. (m3/s)	2867.7
Length Wtd. (m)	34	Wetted Per. (m)	22.07
Min Ch El (m)	42.23	Shear (N/m2)	22.12
Alpha	1	Stream Power (N/m s)	40.11
Frctn Loss (m)	0.08	Cum Volume (1000 m3)	1.22
C & E Loss (m)	0.07	Cum SA (1000 m2)	0.37

Fuente. Pasante 2018

Tabla 25. *Condiciones hidráulicas sección 2 Rio Tejo*

CONDICIONES HIDRAULICAS PARA LA SECCION 2 LONGITUD DE CANAL 34MtrsPR5AÑOS			
E.G. Elev (m)	1179	Element	Channel
Vel Head (m)	0.2	Wt. n-Val.	0.03
W.S. Elev (m)	50.4	Reach Len. (m)	34
Crit W.S. (m)	46.55	Flow Area (m2)	52.31
E.G. Slope (m/m)	0.001154	Area (m2)	52.31
Q Total (m3/s)	103.82	Flow (m3/s)	103.82
Top Width (m)	10	Top Width (m)	10
Vel Total (m/s)	1.98	Avg. Vel. (m/s)	1.98
Max Chl Dpth (m)	8.17	Hydr. Depth (m)	5.23
Conv. Total (m3/s)	3055.7	Conv. (m3/s)	3055.7
Length Wtd. (m)	34	Wetted Per. (m)	22.55
Min Ch El (m)	42.23	Shear (N/m2)	26.26
Alpha	1	Stream Power (N/m s)	52.12
Frctn Loss (m)	0.09	Cum Volume (1000 m3)	1.29
C & E Loss (m)	0.08	Cum SA (1000 m2)	0.37

Fuente. Pasante 2018

Tabla 26. *Condiciones hidráulicas sección 3 Rio Tejo*

CONDICIONES HIDRAULICAS PARA LA SECCION 3 LONGITUD DE CANAL 34MtrsPR10AÑOS			
E.G. Elev (m)	1172	Element	Channel
Vel Head (m)	0.23	Wt. n-Val.	0.03
W.S. Elev (m)	50.6	Reach Len. (m)	34
Crit W.S. (m)	46.81	Flow Area (m2)	54.31
E.G. Slope (m/m)	0.001292	Area (m2)	54.31
Q Total (m3/s)	115.55	Flow (m3/s)	115.55
Top Width (m)	10	Top Width (m)	10
Vel Total (m/s)	2.13	Avg. Vel. (m/s)	2.13
Max Chl Dpth (m)	8.37	Hydr. Depth (m)	5.43
Conv. Total (m3/s)	3215	Conv. (m3/s)	3215
Length Wtd. (m)	34	Wetted Per. (m)	22.95
Min Ch El (m)	42.23	Shear (N/m2)	29.98
Alpha	1	Stream Power (N/m s)	63.78

Fuente. Pasante 2018

Tabla 27. *Condiciones hidráulicas sección 4 Rio Tejo*

CONDICIONES HIDRAULICAS PARA LA SECCION 4 LONGITUD DE CANAL 34MtrsPR25AÑOS			
E.G. Elev (m)	1910	Element	Channel
Vel Head (m)	0.28	Wt. n-Val.	0.03
W.S. Elev (m)	50.88	Reach Len. (m)	34
Crit W.S. (m)	47.17	Flow Area (m2)	57.16
E.G. Slope (m/m)	0.001494	Area (m2)	57.16
Q Total (m3/s)	133.13	Flow (m3/s)	133.13
Top Width (m)	10	Top Width (m)	10
Vel Total (m/s)	2.33	Avg. Vel. (m/s)	2.33
Max Chl Dpth (m)	8.65	Hydr. Depth (m)	5.72
Conv. Total (m3/s)	3444.3	Conv. (m3/s)	3444.3
Length Wtd. (m)	34	Wetted Per. (m)	23.52
Min Ch El (m)	42.23	Shear (N/m2)	35.61
Alpha	1	Stream Power (N/m s)	82.93

Fuente. Pasante 2018

Tabla 28. *Condiciones hidráulicas sección 5 Rio Tejo*

CONDICIONES HIDRÁULICAS PARA LA SECCIÓN 5 LONGITUD DE CANAL 34MtrsPR50AÑOS			
E.G. Elev (m)	1198	Element	Channel
Vel Head (m)	0.32	Wt. n-Val.	0.03
W.S. Elev (m)	51.11	Reach Len. (m)	34
Crit W.S. (m)	47.47	Flow Area (m2)	59.48
E.G. Slope (m/m)	0.001665	Area (m2)	59.48
Q Total (m3/s)	1230	Flow (m3/s)	148.22
Top Width (m)	10	Top Width (m)	10
Vel Total (m/s)	2.49	Avg. Vel. (m/s)	2.49
Max Chl Dpth (m)	8.88	Hydr. Depth (m)	5.95

Conv. Total (m3/s)	3632.4	Conv. (m3/s)	3632.4
Length Wtd. (m)	34	Wetted Per. (m)	23.98
Min Ch El (m)	42.23	Shear (N/m ²)	40.5
Alpha	1	Stream Power (N/m s)	100.92
Frctn Loss (m)	0.11	Cum Volume (1000 m ³)	1.52
C & E Loss (m)	0.09	Cum SA (1000 m ²)	0.37

Fuente. Pasante, 2018

Tabla 29. *Condiciones hidráulicas sección5 Rio Tejo*

CONDICIONES HIDRAULICAS PARA LA SECCION 6 LONGITUD DE CANAL 34MtrsPR100AÑOS			
E.G. Elev (m)	1202	Element	Channel
Vel Head (m)	0.36	Wt. n-Val.	0.03
W.S. Elev (m)	51.36	Reach Len. (m)	34
Crit W.S. (m)	47.93	Flow Area (m ²)	61.94
E.G. Slope (m/m)	0.001852	Area (m ²)	61.94
Q Total (m3/s)	165	Flow (m3/s)	165
Top Width (m)	10	Top Width (m)	10
Vel Total (m/s)	2.66	Avg. Vel. (m/s)	2.66
Max Chl Dpth (m)	9.13	Hydr. Depth (m)	6.19
Conv. Total (m3/s)	3834.2	Conv. (m3/s)	3834.2
Length Wtd. (m)	34	Wetted Per. (m)	24.48
Min Ch El (m)	42.23	Shear (N/m ²)	45.96
Alpha	1	Stream Power (N/m s)	122.42

Fuente. Pasante 2018

En las siguientes figuras se observan las geometrías de las secciones transversales para cada uno de los tramos en el río chiquito y río tejo estas secciones transversales fueron modeladas a partir de los datos topográficos y batimétricos de cada uno de los cuerpos hídricos los cuales después de revisados se introdujeron en el software ARCGIS y exportados a HECRAS 5.03 para completar el trabajo hidráulico de acuerdo a cada periodo de retorno previamente establecido por la metodología trabajada en el desarrollo de estas pasantías.

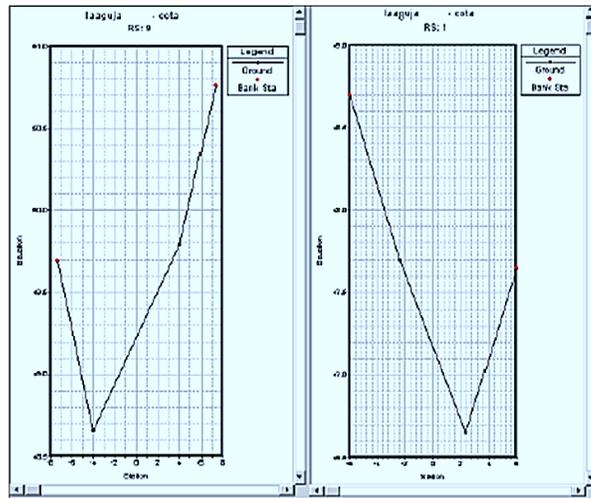


Figura 42. Geometría de las secciones transversales para la sección 1 rio chiquito
Fuente. Pasante 2018

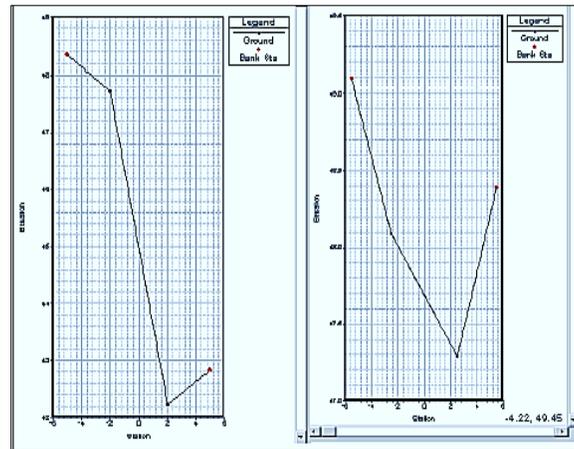


Figura 43. Geometría de las secciones transversales para la sección 2 rio chiquito
Fuente. Pasante 2018

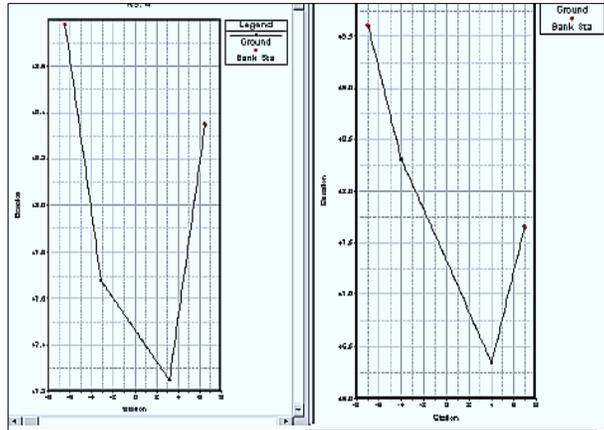


Figura 44. Geometría de las secciones transversales para la sección 3 río chiquito Fuente. Pasante 2018

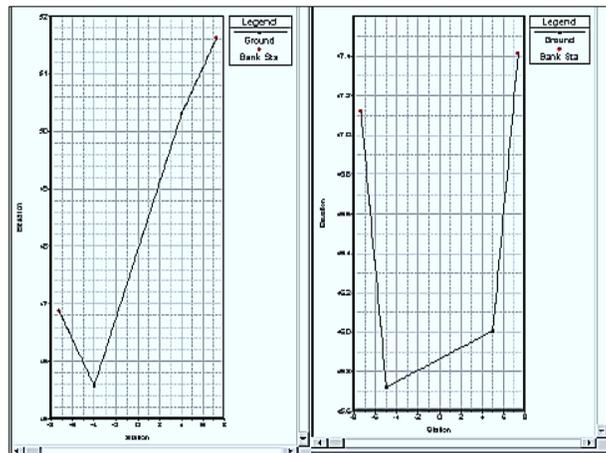


Figura 45 Geometría de las secciones transversales para la sección 4 río chiquito Fuente. Pasante 2018

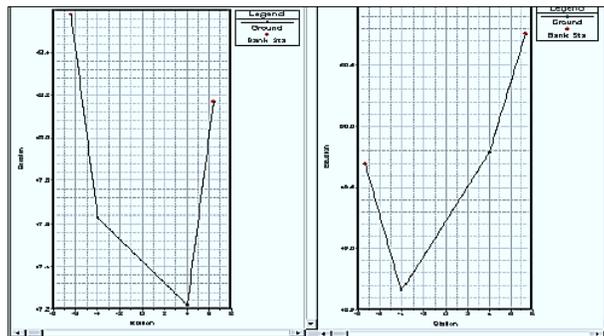


Figura 45. Geometría de las secciones transversales para la sección 5 río chiquito Fuente. Pasante 2018

A continuación se presenta el perfil longitudinal del río chiquito modelado a partir de la batimetría y topografía de este cuerpo de agua.

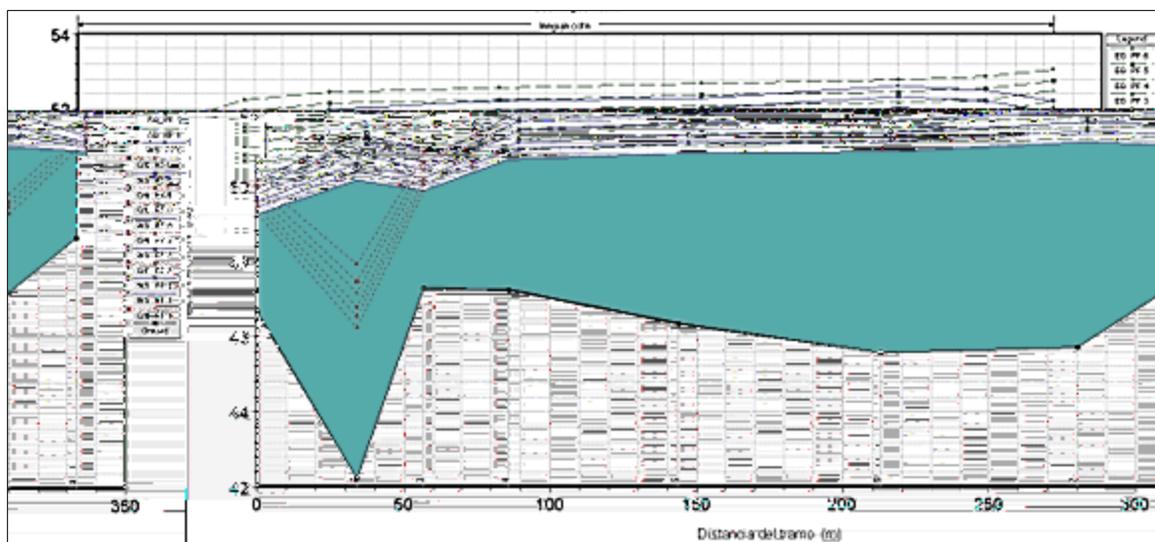


Figura 46. Perfil Longitudinal río chiquito calculado modelado a partir de datos espaciales
Fuente. Pasante 2018

Este perfil indica que la lámina de agua en la sección 1 llegaría a 3 mtrs con respecto al fondo del canal esta sección, para la sección 7 esta altura de la lámina de agua puede llegar a alcanzar 1,30mtrs,

6.5. Análisis hidráulico por tramos del río tejo

Tratando de generar un mejor y más detallado análisis del comportamiento hidráulico del cuerpo de agua denominado río Tejo se llevó a cabo la modelación conjunta en sus primeros 2132 mtrs con una pendiente ponderada de 0.013, los cuales comprenden desde la cota 1203 hasta la localización del puente primer puente vehicular en el recorrido del río dentro de la ciudad y cuyas coordenadas Este Norte Son: X989734.910014; Y1703467.09049; al final de la sección se introdujo el puente dado que esta estructura puede ser determinante en el comportamiento del flujo natural del agua.

Para la modelación de este primer tramo del río Tejo cota 1203 - puente vehicular” se realizaron trabajos con el soporte de los software HECGERAS y ArcGIS, el primero de los

programas nos permitió definir y digitalizar el eje central de cada uno de los ríos, los bancos hidráulicos, la zona fluvial o líneas de inundación y las secciones transversales de este primer tramo. Entonces fueron creados un total de 11 secciones transversales con un intervalo de 100mtrs y una longitud de 100mtrs,

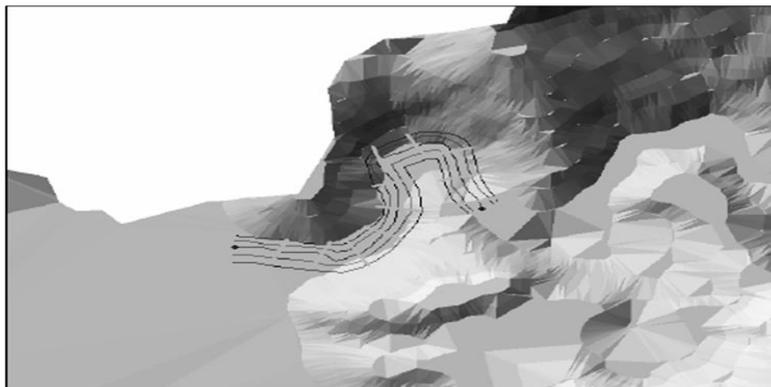


Figura 47. Primer tramo río tejo modelado
Fuente. Pasante 2018

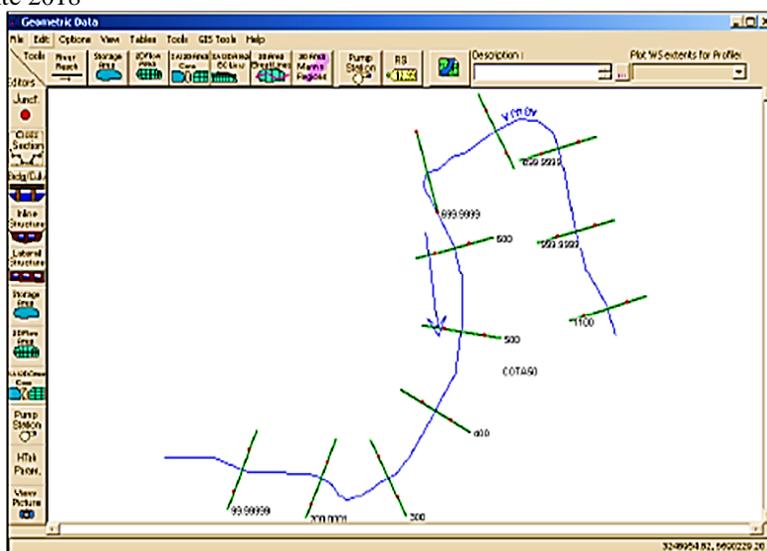


Figura 48. IP visualización de la importación de la geometría desde Hec GeoRAS a la interface de trabajo de Hec Ras

Fuente. Pasante 2018

Después de importar el modelo se procedió a definir los parámetros hidráulicos de esta primera parte de cada río iniciando por el coeficiente de manning para el centro y cada uno de los costados del tramo, para asignar estos parámetros se tuvo en cuenta la calidad de cada lado del tramo

Como resultado de la modelación se obtiene el perfil de la faja marginal de este tramo del río con los seis periodos de retorno analizados.

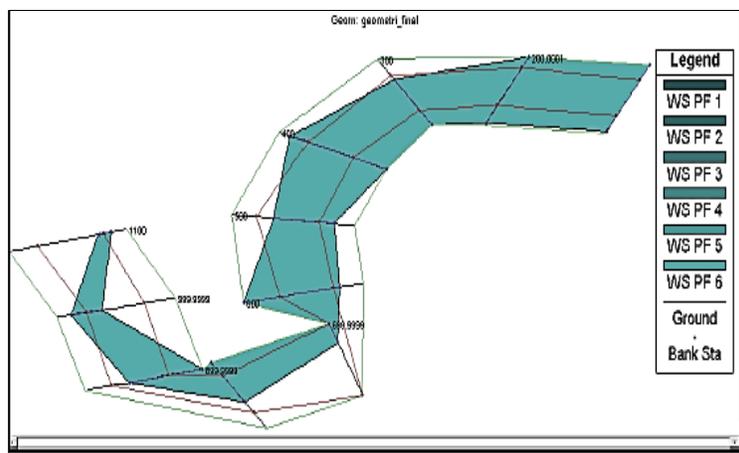


Figura 49. Faja marginal en los primero 1100mtrs del río desde la cota de inicio hasta el puente Fuente. Pasante 2018

A continuación se presenta el mapa inundación para el río tejo desde la cota de ingreso a la ciudad de Ocaña hasta el puente geolocalizado previamente, el mapa se construyó con los datos resultantes y analizados de la modelación con Hec GeoRAS, ArcGIS y HecRas.

Según los resultados que se obtuvieron del modelo fueron generados las denominadas manchas de inundación para la situación actual y cada periodo de retorno determinando la altura del agua y el ancho de la superficie libre de la lámina de agua.

La zona fluvial del río tejo la cual es el área incluido el cauce de este cuerpo de agua y sus riveras la cual se determinó a partir de la avenida periodo de retorno de 5 años dándole de esta manera continuidad y un claro sentido ambiental e hidráulico y en el cual son limitados sus usos para poder preservar el río como ecosistema, para el caso de las zonas llanas o de menor pendiente (según los perfiles topográficos) en las que la vegetación riberada asociada alcance anchuras superiores a 100mtrs respecto del eje del río a ambos lados del cauce, si esta

zona ya está ocupada debido a actividades antrópicas la zona fluvial quedara fijada en 20 mtrs respecto del eje del cauce.

Desde el punto de vista técnico en esta zona no se admite ningún uso urbanístico, excepto los trabajos de preservación y mejora de la funcionalidad hidráulica y ambiental, de forma excepcional se pueden llevar a cabo la implantación de infraestructuras canalizadas por la zona fluvial, siempre y cuando se respete la funcionalidad hidráulica, morfodinámica y ambiental. No se admiten en esta zona la implantación de las instalaciones para el transporte de materias peligrosas y/o sustancias prioritarias que representen un riesgo de contaminación.

Para el periodo de retorno de 2 años, la estimación de la lámina de agua no supera esta zona fluvial en el primer tramo del rio tejo lo cual indicaría que bajo una precipitación histórica promedio como la que se ha venido presentado durante los últimos 25 años esta zona no presentaría inundaciones dado que el rio cuenta con la capacidad hidraulica de contener el caudal.

En la siguiente imagen se aprecia la zona trabaja mediante el procedimiento anteriormente descrito, este mismo procedimiento se realizó para cada uno de los tramos en los que se dividió el rio tejo:

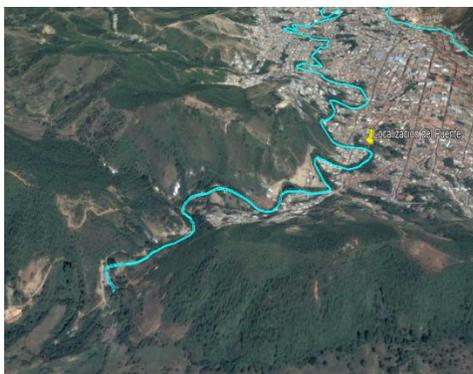


Figura 50. Tramo 1 del rio tejo en la modelación
Fuente. Tomado de Google Earth Pro 2018

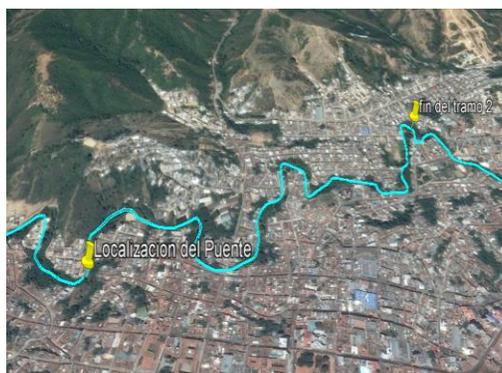


Figura 51. Tramo 2 del rio tejo en la modelación
Fuente. Tomado de Google Earth Pro 2018

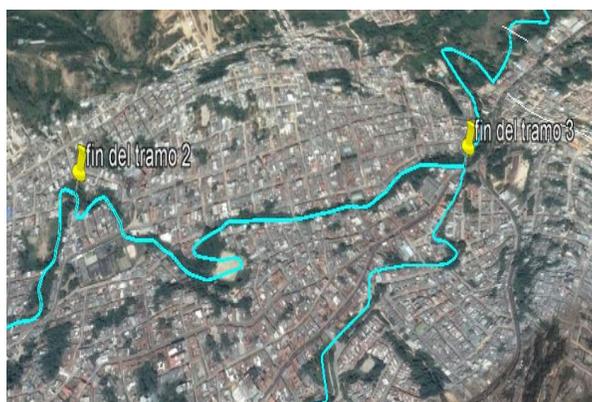


Figura 52. Tramo 3 del rio tejo en la modelación
Fuente. Tomado de Google Earth Pro 2018.

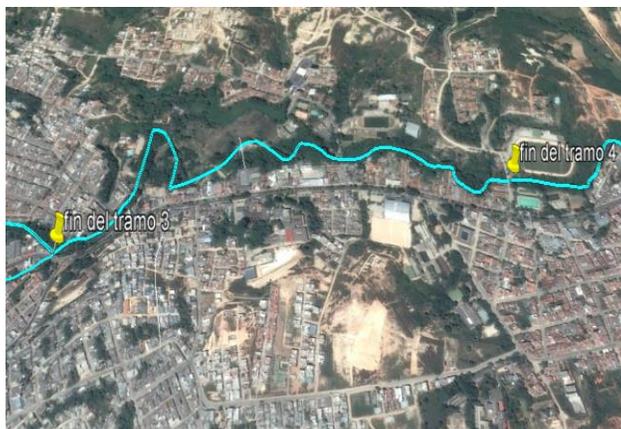


Figura 53.Tramo 4 del rio tejo en la modelación
Fuente. Tomado de Google Earth Pro 2018.

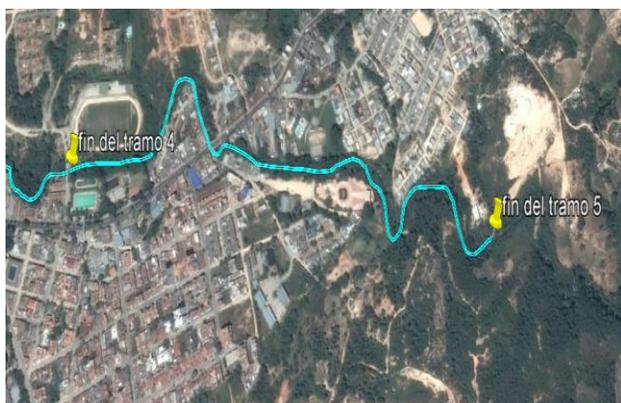


Figura 54.Tramo 5 del rio tejo en la modelación
Fuente. Tomado de Google Earth Pro 2018

Una vez se generó el raster de inundaciones para los dos rios tejo y chiquito este raster se exporto al software ARCGIS 10.3 y en este software se realizó la conversión del raster a un vectorial en formato Shapefile para de esta forma poder mediar las áreas de las inundaciones. Para crear de esta forma el mapa de amenazas de inundación

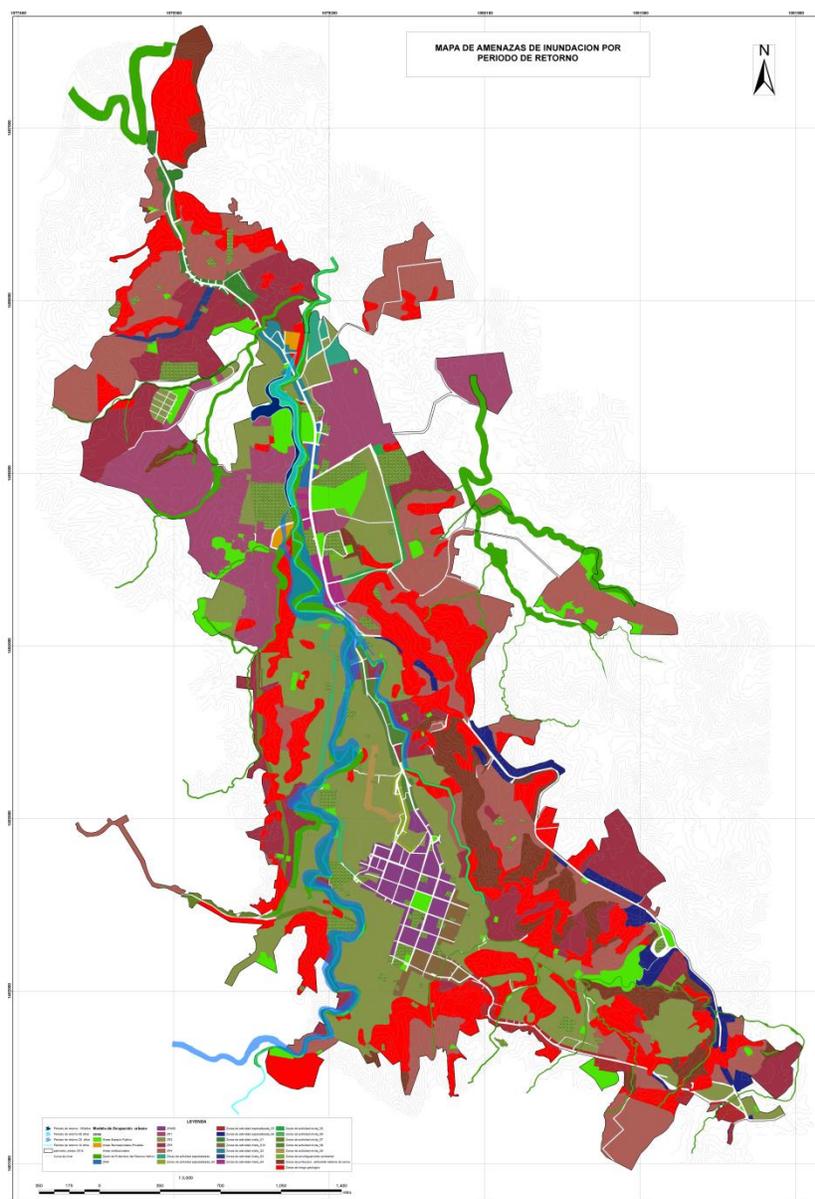


Figura 55. Mapa de inundaciones urbanas
Fuente. Pasante 2018

En la siguiente tabla se encuentran los caudales máximos a cada uno de los periodos de retorno y la estimación del área inundada por su lámina de agua, los caudales se

calcularon de acuerdo a la metodología previamente descrita en la parte superior de este documento

Tabla 30. *Periodos de retorno, caudales calculados, areas de inundacion*

PERIODO DE RETORNO	CAUDAL CALCULADO (m3/seg)	AREA DE INUNDACION (HA)
2 años	90.082228	00
5 años	103.8229	51.479978
10 años	115.553	66.146414
25 años	133.131	67.451479
50 años	148.224	82.925177
100 años	164.998	92.165755

Fuente. Pasante 2018

Conclusiones

La caracterización climática y las pruebas estadísticas e hidrológicas que fueron desarrolladas en esta investigación a las series de caudal presentan evidencias de cambio en el comportamiento de las series de niveles y caudales registrados en los ríos Tejo y Chiquito para los periodos de retorno (5,10,25,50 y 100 años).

El periodo de análisis se estableció desde 1992 hasta el año 2017, eso se debió al hecho técnico que los datos de precipitación en las estaciones IDEAM solo se encuentran completos hasta ese año, los datos del 2018 aún se están colectando por parte del instituto, durante la verificación fueron halladas estaciones con registros de precipitaciones incompletos, en estos casos se hizo necesario aplicar métodos estadísticos de completación para dicha serie diaria; Por último, se verificó la consistencia de la serie de precipitación de cada estación por el método gráfico de curva de doble masa, teniendo en cuenta que “la densidad de las estaciones dentro de una misma región hidroclimática no garantiza que presente un mismo comportamiento climatológico estacional, y en segundo lugar, el ajuste de los datos de cada serie por dicho método permite reducir los efectos de influencia externa.

El uso del método racional permitió calcular el caudal máximo que se formará a partir de una precipitación con respecto a la intensidad media del episodio de precipitaciones con un espacio temporal igual al tiempo de concentración del área de drenaje y a un coeficiente de escorrentía, además de las características morfométricas de las cuencas de los ríos Tejo y Chiquito y de la variable hidrometeorológica precipitación máxima registrada sobre las cuencas, se puede realizar el cálculo del caudal máximo para los diferentes periodos de retorno analizados en este documento técnico.

Recomendaciones

Todos los indicios muestran en el tramo dos del río Tejo altas velocidades de flujo y la presencia de puentes- hacen necesario que la evaluación, análisis y toma de decisiones se realice con base en los caudales obtenidos para el período de retorno de 100 años.

Se recomienda continuar con una continuación de esta pasantía, en la cual se realicen las siguientes actividades:

- Localizar las viviendas afectadas por inundación directa o por la delimitación de las franjas de protección correspondiente.

- Formular y presentar alternativas de solución del riesgo o su mitigación

- Caracterizar socio económicamente el área de estudio y organizar a la comunidad, garantizando su participación y comprometiéndola en las soluciones.

- Garantizar recursos inmediatos para el establecimiento de una red de monitoreo hidrometeorológico para adquisición de datos históricos, y para prevención de desastres (estaciones telemétricas con monitoreo en tiempo real).

- Se recomienda, a su vez, realizar un monitoreo periódico del río Tejo y Chiquito, una vez se disponga de nueva información hidroclimatológica y especialmente de sus caudales superficiales.

Referencias

- AGUAS Y AGUAS DE PEREIRA. Oferta y demanda hídrica en la subregión no. 1 del departamento de Risaralda con los municipios de Cartago y la Virginia. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín 2004.
- AQUATERRA, INGENIEROS CONSULTORES LTDA. Diseño de obras de control de erosión en la cabecera municipal de Santa Rosa de Cabal. Corporación Autónoma Regional de Risaralda CARDER 1995
- CONTRERAS TRUJILLO, CLAUDIA YANETH; NIÑO ROMERO, RAÚL. Procesamiento y calidad de la información hidrológica básica. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales subdirección de hidrología IDEAM 1999.
- ESPINOSA VAQUERO, ARMANDO. Inventario de desastres históricos de Risaralda. Facultad de Ingeniería de la Universidad del Quindío, Corporación Autónoma de Risaralda CARDER 1997
- GONZÁLEZ CASTAÑO, JUAN MANUEL; OROZCO BETANCURTH, JORGE IVÁN. Geología ambiental de Santa Rosa de Cabal. Corporación Autónoma de Risaralda CARDER 1991.
- JARAMILLO ROBLEDO, ALVARO. Clima andino y café en Colombia. Cenicafé Chinchiná Caldas 2005
- Corral, I. (2001), Topografía de obras. 1a edición. Barcelona: UPC Politext, 2001. IHO, (International Hydrographic Organization), (2008), Normas de la IHO para los levantamientos hidrográficos, Publicación Especial nº 44, 5ª Edición, Bureau Hidrográfico Internacional, Mónaco

IHO, (International Hydrographic Organization), (2005), Manual de Hidrografía, Publicación M-13, 1ª Edición, Bureau Hidrográfico Internacional, Mónaco

Manzanares, A. y Oliva, D. (2006), Diseño e implantación de una red básica mediante técnicas GPS y levantamiento a escala 1:500. PFC EUIT Topográfica. UPM, Madrid.

BALKIE P., CANNON T., DAVID I., WISNER B. 1996. Vulnerabilidad el entorno social, político y económico de los desastres. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. LA RED.

DECLARACIÓN DE MANIZALES. 2004. Conferencia Interamericana sobre reducción del riesgo de los desastres. Reflexiones y propuestas para mejorar la efectividad de la gestión. Noviembre 17, 18 y 19, Manizales, Colombia.

DNP, varios documentos del Programa para la Reducción de la Vulnerabilidad Fiscal del Estado ante Desastres Naturales: Plan de Implementación del Proyecto, Documento sobre las salvaguardas ambientales del Programa y Presentación sobre la Gestión del Riesgo en Colombia. Sin Publicar.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Con exposición fotográfica Tunjuelito festeja cambio de la red de alcantarillado. [En línea]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.bogota.gov.co/article/localidades/tunjuelito/con%20exposicion%20fotografica%20tunjuelito%20festeja>>. [Citado: 21 de marzo de 2014].

BLAIKIE, Piers. Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres. Colombia: La Red, 1996. 374 p.

SHAN, J. AND TOTH, C.K. "Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing." Florida: 1st Ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2008. I.S.B.N. 978-1-4200-5142-1.

MANUE, DAVID F.A. AND AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND
REMOTE SENSING“Digital Elevation Model Technologies and Applications: The Dem
User’s Manual” Minesota:2nd Ed. American Society for Photogrammetry and Remote
Sensing, 2007 I.S.B.N. 978-1-5708-3082-2.

Apéndices

Apéndice A. Registro Fotográfico









