

	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 ACADEMICO		1(126)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	BRAYAN CAMILO CRIADO SANJUAN IBETH TATIANA ILLERAS RINCÓN		
FACULTAD	FACULTAD DE INGENIERÍAS		
PLAN DE ESTUDIOS	PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA CIVIL		
DIRECTOR	HERMES ALFONSO GARCÍA QUINTERO		
TÍTULO DE LA TESIS	MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RIO ALGODONAL, TOMANDO COMO PUNTO DE CIERRE LA UBICACION GEOGRFICA DEL PREDIO DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA, HACIENDO USO DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES.		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>EL RIO ALGODONAL ES EL AFLUENTE HÍDRICO MÁS IMPORTANTE DE LA PROVINCIA DE OCAÑA YA QUE ABASTECE A LA MAYOR PARTE DE LA COMUNIDAD PARA EL CONSUMO DEL PRECIADO LÍQUIDO Y PARA EL RIEGO DE CULTIVOS EN LA ZONA, ES POR ESTA RAZÓN QUE SE REALIZÓ UNA MODELACIÓN HIDROLÓGICA PARA REPRESENTAR EL SISTEMA BIOFÍSICO DE LA CUENCA Y LA ALTERACIÓN OCACIONADA POR EL HOMBRE, SIMULANDO LA RESPUESTA HIDROLÓGICA BAJO DIFERENTES ESCENARIOS DE GESTIÓN O INTERVENCIÓN.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 126	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1



**“MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RIO ALGODONAL,
TOMANDO COMO PUNTO DE CIERRE LA UBICACION GEOGRFICA DEL
PREDIO DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA,
HACIENDO USO DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES”**

**BRAYAN CAMILO CRIADO SANJUAN
IBETH TATIANA ILLERAS RINCÓN**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA CIVIL
OCAÑA
2016**

**“MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RIO ALGODONAL,
TOMANDO COMO PUNTO DE CIERRE LA UBICACION GEOGRFICA DEL
PREDIO DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA,
HACIENDO USO DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES”**

**BRAYAN CAMILO CRIADO SANJUAN
IBETH TATIANA ILLERAS RINCÓN**

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

**Director
IC, Esp, MSc HERMES ALFONSO GARCÍA QUINTERO.
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA CIVIL
OCAÑA
2016**

CONTENIDO	pág.
<u>1. "MODELACION HIDROLOGICA DE LA CUENCA DEL RIO ALGODONAL, TOMANDO COMO PUNTO DE CIERRE LA UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL PREDIO DE LA UNIVERSIDAD FRANCICO DE PAULA SANTANDER OCAÑA, HACIENDO USO DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES"</u>	14
<u>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	14
<u>1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA</u>	15
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. Objetivo General	15
1.3.2. Objetivos Específicos	15
<u>1.4. JUSTIFICACION</u>	16
<u>1.5. DELIMITACIONES</u>	16
1.5.1. Delimitación Conceptual	16
1.5.2. Delimitación Operativa	16
1.5.3. Delimitación Temporal	17
1.5.4. Delimitación Geográfica	17
<u>2. MARCO REFERENCIAL</u>	18
<u>2.1. MARCO HISTORICO</u>	18
<u>2.2. MARCO CONCEPTUAL</u>	19
2.2.1. Cuenca hidrográfica	19
2.2.2. Hidrología	20
2.2.3. Modelación hidrológica	20
2.2.3.1. Modelo hidrológico	20
2.2.3.1.1 Tipos de modelos hidrológicos	21
2.2.4. Sistema de información Geográfico (SIG)	21
2.2.5. Software ArcGIS	21
2.2.6. Extensión HEC-GeoHMS	22
2.2.7. Extensión Hydrology	22
2.2.8. Extensión SWAT	23
2.2.9. Estudio hidrológico	23
<u>2.3. MARCO TEORICO</u>	24
<u>2.4. MARCO LEGAL</u>	24
2.4.1. Decreto 1541 de 1978	24
<u>3. DISEÑO METODOLOGICO</u>	31
<u>3.1. TIPO DE INVESTIGACION</u>	31
<u>3.2. POBLACION</u>	31
<u>3.3. MUESTRA</u>	31
<u>3.4. GESTION DE INFORMACION GEOESPACIAL, DATOS CLIMATOLOGICOS Y ESTUDIOS REFERENCIALES</u>	31
<u>3.5. ANALISIS DE INFORMACION</u>	31
<u>3.6. INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS</u>	31

<u>4. ADMINISTRACION DEL PROYECTO</u>	32
<u>4.1. RECURSO HUMANO</u>	32
<u>4.2. RECURSOS INSTITUCIONALES</u>	32
<u>4.3. GESTION DE DATOS ESPACIALES</u>	32
<u>4.4. RECURSOS FINANCIEROS</u>	32
<u>5. DESARROLLO DEL PROYECTO</u>	33
<u>5.1. GESTION, CONSULTA E INTERPRETACION DE LA INFORMACION EXISTENTE</u>	33
5.1.1. Topografía - DEM	33
5.1.2. Datos de caudal del rio algodonol	34
5.1.3. Datos meteorológicos	36
5.1.4. Características de suelos	38
5.1.5. Estudios realizados en la zona	38
<u>5.2. HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA LA REALIZACION DE MODELACION HIDROLOGICA</u>	39
5.2.1. Plataforma SIG ArcGIS	39
5.2.1.1 Extensión SWAT	39
5.2.1.1.1 ¿Qué hace la extensión SWAT?	40
5.2.1.1.2 Funcionamiento de la extensión SWAT	40
5.2.1.1.3 ¿En que se basa el modelaje de SWAT?	41
5.2.1.1.4 ¿Cuáles son los componentes de SWAT?	41
5.2.1.1.5 ¿Qué datos requiere SWAT?	41
5.2.1.1.6 ¿Qué se logra con la extensión SWAT?	41
5.2.1.2 Extensión HEC-GeoHMS	42
5.2.1.2.1 ¿Para qué sirve HEC-GeoHMS?	42
5.2.1.2.2 Componentes de HMS	42
5.2.1.3 Extensión Hydrology	43
5.2.1.3.1 ¿Qué proporciona Hydrology?	43
5.2.1.3.2 Herramientas de Hydrology	44
<u>5.3 CARACTERIZACION MORFOMETRICA DE LA CUENCA UTILIZANDO LAS TRES EXTENSIONES DEL SOFTWARE SIG ARCGIS 10.2</u>	44
5.3.1 Caracterización de la cuenca con la herramienta Hydrology de ArcGIS 10.2	47
5.3.2 Caracterización de la cuenca con la herramienta SWAT	53
5.3.3 Caracterización de la cuenca con la herramienta HEC-GeoHMS	54
5.3.4 Comparativo de las delimitaciones geométricas obtenidas por los diferentes modelos establecidos	59
5.3.5 Validación de datos propuestos por el software Hydrology con respecto a los que se obtienen analíticamente.	59
<u>5.4 ESTUDIO HIDROLOGICO Y CARACTERIZACION DEL AREA EN ESTUDIO CON LA HERRAMIENTA HYDROLOGY DE ARCGIS 10.2</u>	63
5.4.1 Descripción de la zona de estudio	63

5.4.2	La cuenca del rio algodonal parte alta	64
5.4.2.1	Localización	64
5.4.2.2	Extensión	65
5.4.2.3	Delimitación	65
5.4.2.4	La división político administrativa	66
5.4.3	Caracterización (morfología del área de estudio en la cuenca del rio algodonal)	68
5.4.3.1	Forma del área de estudio	68
5.4.3.2	Pendientes complejas del área de estudio	71
5.4.3.3	Unidades de suelos	72
5.4.3.4	Consolidación de bases de datos climatológicas	73
5.4.3.4.1	Precipitación media anual en la zona de trabajo	74
5.4.3.4.2	Introducción de las estaciones meteorológicas en ArcMap	74
5.4.3.5	Generación de mapa de precipitación	76
	<u>5.5 MODELACION HIDROLOGICA Y CALCULO DE CAUDALES MAXIMOS</u>	77
	<u>5.6 DIAGNOSTICO DE LA CUENCA</u>	83
5.6.1	Ubicación hidrográfica	85
5.6.2	Ubicación fisiográfica	87
5.6.3	Geomorfología	89
5.6.4	Clima de la cuenca	91
5.6.4.1	Temperatura	91
5.6.4.2	Precipitación	92
	<u>5.7 ESTIMACION DE CANTIDAD Y DISPONIBILIDAD DE AGUA</u>	94
	<u>5.8 PASÓ A PASO PROCESO DE DELIMITACION DE CUENCAS Y DETERMINACION DE SUS CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS</u>	104
	<u>CONCLUSIONES</u>	115
	<u>RECOMENDACIONES</u>	117
	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	118
	<u>INFOGRAFIA</u>	119
	<u>ANEXOS</u>	120

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Modelo de elevación digital (DEM)	35
Figura 2. ArcSWAT, extensión del software ArcGIS para modelación hidrológica de cuencas	36
Figura 3. HEC-GeoHMS, extensión del software ArcGIS para modelación hidrológica de cuencas	37
Figura 4. Hydrology, extensión del software ArcGIS para modelación hidrológica de cuencas	38
Figura 5. Ubicación del punto de cierre de la cuenca en la herramienta de código libre Google Earth pro	39
Figura 6. Conversión de coordenadas geográficas a coordenadas magna sirgas	40
Figura 7. Mapa de ubicación del punto de cierre de la cuenca en el software ArcGIS	41
Figura 8. Geoprocesamiento de Raster y archivo vectorial para obtener el DEM de la cuenca del río algodónal	42
Figura 9. Modelo de elevación digital de la cuenca del río algodónal parte alta	43
Figura 10. Modelo digital de elevación de la cuenca del río algodónal parte alta ubicada en el mapa del departamento de norte de Santander	44
Figura 11. Resultado final del proceso FLOW DIRECTION	45
Figura 12. Mapa de direcciones de flujo	46
Figura 13. Delimitación de la cuenca con el modelo Hydrology	47
Figura 14. Cuadro de dialogo “Watershed Delineator” de la extensión AcrSWAT	48
Figura 15. Delimitación de la cuenca con la extensión SWAT (AcrMap)	49
Figura 16. Preprocesamiento HEC-GeoHMS	50
Figura 17. Resultado final del preprocesamiento (subcuencas y drenajes)	51
Figura 18. Delimitación de la cuenca con el modelo HEC-GeoHMS	52
Figura 19. Superposición del mapa de cuencas del PBOT de Ocaña y la delimitación obtenida por el software Hydrology	53
Figura 20. Estimación del área y perímetro de la cuenca en estudio mediante el programa AutoCAD	54
Figura 21. Estimación de la longitud del cauce principal de la cuenca en estudio mediante el programa AutoCAD	55
Figura 22. Mapa de la cuenca del río algodónal	56
Figura 23. Modelo digital del terreno y drenajes principales de la zona de estudio en 3D	57
Figura 24. Mapa de localización geográfica del área de trabajo	58
Figura 25. Mapa de participación municipal en la zona de estudio	60
Figura 26. Mapa de morfología del área de estudio	61
Figura 27. Mapa de pendientes del terreno del área en estudio	62
Figura 28. Mapa de unidades taxonómicas de suelos del área en estudio	63
Figura 29. Mapa de localización de estaciones meteorológicas de interés para la zona en estudio	64

Figura 30. Mapa polígonos de THIESSEN	65
Figura 31. Mapa de áreas de inundación a un periodo de retorno de 100 años	66
Figura 32. Muestra a nivel general del área de estudio que va desde el denominado cerro pan de azúcar hasta lo que hemos denominado punto de cierre de la cuenca	67
Figura 33. Panorámica de apreciación de las diferencias del paisaje en el área de estudio	68
Figura 34. Panorámica zonas más susceptibles al fenómeno de inundación	69
Figura 35. Área de trabajo del software HEC RAS 4.1	70
Figura 36. Interfaz para digitalizar las secciones transversales del tramo del río	71
Figura 37. Digitalización de secciones transversales aguas arriba de un tramo x del río	72
Figura 38. Mapa de localización de minidistritos de riego de la cuenca en estudio	73
Figura 39. Mapa de ubicación hidrográfica de la cuenca en estudio, dentro de un plano de las diferentes cuencas del departamento norte de Santander	74
Figura 40. Mapa de unidades de paisajes de la cuenca en estudio	75
Figura 41. Mapa de procesos geomorfométricos de la cuenca en estudio	76
Figura 42. Mapa de temperaturas máximas de la cuenca	77
Figura 43. Mapa de precipitación media de la cuenca	78
Figura 44. Mapa de ubicación de estaciones para medición de caudales	79
Figura 45. Imagen multiespectral reclasificada de la laguna pan de azúcar, acuífero de recarga hídrica en el municipio de Abrego y punto de nacimiento del río frío y oroque	80
Figura 46. Mapa de evapotranspiración potencial en la cuenca	81
Figura 47. Mapa de evapotranspiración real en la cuenca	82
Figura 48. Mapa de índice de escasez	83
Figura 49. Imagen de geoportal ASTER GDEM, usado para la descarga de los modelos digitales de elevación	84
Figura 50. Modelo digital de elevación obtenida de la página ASTER GDEM e importación a la plataforma ARCGIS 10.2 para iniciar el proceso de digitalización	85
Figura 51. Resultado del geoproceto raster denominado extracción por mascara	90
Figura 52. Resultado del proceso FILL	92
Figura 53. Flow direction	94
Figura 54. Flow acomulation	98
Figura 55. Algebra de mapas	100
Figura 56. Resultado de la aplicación de algebra de mapas	101
Figura 57. Generación punto de desfogue	102
Figura 58. Stream order	103
Figura 59. Creación de TIN	105
Figura 60. Datos para HecRAS	107
Figura 61. Datos cargados en HecRAS	108
Figura 62. TIN de estudio definitivo para la cuenca	109
Figura 63. RASMAPING 1	110
Figura 64. RASMAPING 2	112
Figura 65. Edición final del TIN	113
Figura 66. Resultado final de áreas con posible inundación en la cuenca	116

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Caudales promedio anuales, periodo 2006-2015	36
Tabla 2. Registros de caudales y precipitación promedio anual de la cuenca del rio algodonal, en el periodo 2006-2014	37
Tabla 3. Valores totales mensuales de precipitación (mm) corriente algodonal, estación: 16055100, UFPS	38
Tabla 4. Valores totales mensuales de precipitación (mm) corriente algodonal, estación: 16055060, la Playa de Belén	40
Tabla 5. Valores totales mensuales de precipitación (mm) corriente algodonal, estación: 16055040, Centro de Abrego	43
Tabla 6. Valores totales mensuales de precipitación (mm) corriente algodonal, estación: 16055120, Bocatoma rio frio	46
Tabla 7. Principales parámetros morfométricos de la delimitación obtenida por el modelo Hydrology	52
Tabla 8. Principales parámetros morfométricos de la delimitación obtenida por el modelo SWAT	63
Tabla 9. Principales parámetros morfométricos de la delimitación obtenida por el modelo HEC-GeoHMS	64
Tabla 10. Cuadro comparativo de las diferentes delimitaciones obtenidas por los tres modelos escogidos	66
Tabla 11. Cuadro comparativo de principales parámetros morfométricos de la cuenca en estudio, proporcionados por el programa AutoCAD y la extensión Hydrology	68
Tabla 12. Coordenadas de la cuenca del rio algodonal	72
Tabla 13. Distribución porcentual por municipio de la zona en estudio	76
Tabla 14. Datos morfométricos principales de la cuenca en estudio	78
Tabla 15. Tabla de unidades taxonómicas, textura y áreas de la zona de estudio	80
Tabla 16. Cuadro de áreas de inundación a un periodo de retorno de 100 años	82
Tabla 17. Relación de minidistritos de riego localizados en el área de la cuenca en estudio	84
Tabla 18. Unidades de paisajes y sus respectivas áreas dentro de la cuenca en estudio	89
Tabla 19. Procesos geomorfometricos en la zona de estudio	92
Tabla 20. Datos de precipitación en la zona de la cuenca	94
Tabla 21. Calculo de volumen de agua en m3 por unidad de área de la cuenca en estudio, dividida en cuatro sub zonas	96
Tabla 22. Índice de escasez de la cuenca	97

LISTA DE GRAFICOS

	Pág.
Grafica 1. Caudales promedio mensuales del rio algodonal, en el periodo 2010-2014	36
Grafica 2. Procesos geomorfometricos en la zona de estudio	37
Grafica 3. Evapotranspiración potencial de la cuenca	49
Grafica 4. Evapotranspiración real de la cuenca	62
Grafica 5. Índice de escasez de la cuenca	76

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro director el ingeniero civil, Esp, MSc HERMES ALFONSO GARCÍA QUINTERO por su tiempo y dedicación; a la entidad CORPONOR por facilitarnos la licencia del software ARCGIS 10.2 la cual es la base de este proyecto de grado.

Y un Agradecimiento especial a la compañía LV INGENIERIA y a su equipo técnico el cual facilito imágenes de satélite multiespectrales y de radar para la digitalización de diferentes datos geográficos y facilito el tiempo de sus profesionales quienes acompañan técnicamente este proceso

1. "MODELACION HIDROLOGICA DE LA CUENCA DEL RIO ALGODONAL, TOMANDO COMO PUNTO DE CIERRE LA UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL PREDIO DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA, HACIENDO USO DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES"

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El río algodón es el afluente hídrico más importante que tiene la provincia de Ocaña ya que abastece a la mayor parte de la comunidad para el consumo del preciado líquido y para el riego de cultivos en la zona. Con el transcurso de los años se ha visto el deterioro de la calidad y cantidad de agua de este cauce, esto se puede atribuir a la mala o nula gestión de los recursos suelo, agua, flora, fauna que conforman la zona de influencia de la cuenca del río algodón, en este ámbito se puede afirmar que la expansión sin control de la frontera agropecuaria sobre todo en aguas arriba de la cuenca han desencadenado un deterioro en el ciclo natural del agua dentro de los límites de la cuenca; lo anterior unido a las anomalías que presenta el clima mundial con fenómenos como el del niño hacen pensar que la dinámica de la cuenca está cambiando con respecto a sus últimos 10 años en los que se ha estado monitoreando

Los antecedentes en los registros del caudal son alarmantes, el más reciente aforo realizado por la entidad CORPONOR el 15 de octubre del 2015 en la bocatoma del algodón arrojo que el cauce del río transporta un caudal de 1200 a 1500 litros por segundo, donde en comparación con años atrás, por ejemplo en el año 2006 alrededor de la misma fecha su caudal era de 4400 a 4500 litros por segundo, números que preocupan ya que si no cuidamos nuestro principal recurso hídrico este tendera a desaparecer, generando grandes consecuencias puesto que este afluente hídrico abastece a diversas comunidades de la región.

La modelación hidrológica es un ejercicio que permite representar el sistema biofísico de una cuenca o de un área geográfica específica y la alteración ocasionada por el hombre, simulando la respuesta hidrológica bajo diferentes escenarios de gestión o intervención. De esta manera, la modelación hidrológica y el estudio hidrológico ambientales contribuyen de manera decisiva a la salud de los ríos, el desarrollo económico y bienestar de las comunidades.

Los software de modelación se basan en un balance hídrico y en las características geomorfométricas de la cuenca o área de estudio para determinar el comportamiento del ciclo del agua dentro de la cuenca, bajo escenarios actuales y futuros permitiendo una visión holística de la cuenca. El software permite realizar los análisis necesarios en la planificación vinculada al cambio del uso del suelo, actividades de deforestación, establecimiento de centros poblados, establecimiento de obras hidráulicas, etc.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué beneficios traerá la aplicación de herramientas computacionales, en la modelación hidrológica de la cuenca del río Algodonal, tomando como punto de cierre la ubicación geográfica del predio de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Realizar la modelación hidrológica del área la cuenca del río Algodonal, tomando como punto de cierre la ubicación geográfica del predio de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, haciendo uso de herramientas computacionales.

1.3.2 Específicos.

Recolectar, analizar y evaluar la información secundaria existente relacionada con la cuenca topografía, agrología, hidrología, etc. e identificar las diferentes herramientas integradas a software SIG que se usan a nivel mundial para desarrollar estudios de modelación hidrológica.

Identificar los diferentes modelos computacionales existentes, SWAT, HEC-GeoHMS e Hydrology para realizar estudios de modelación hidrológica.

Caracterizar geomorfométricamente el área de estudio dentro de la cuenca del río Algodonal utilizando las extensiones del software SIG ArcGIS10.2: SWAT, HEC-GeoHMS e Hydrology.

Desarrollar un comparativo de las diferentes delineaciones geométricas obtenidas por las extensiones del software ARCGIS (SWAT, HEC-GeoHMS e Hydrology), tomando como criterios: forma de la cuenca delimitada, parámetros morfométricos, magnitudes y la versatilidad en la ejecución del modelo, eligiendo la herramienta computacional que arroje los resultados más confiables.

Elaborar el estudio hidrológico y su respectiva caracterización de una zona específica de la parte alta de la cuenca del río Algodonal, considerando como punto de cierre de la cuenca el puente de entrada de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Realizar la modelación hidrológica de la cuenca en estudio, con el fin de determinar las posibles áreas inundables a periodos de retorno de 25, 50 y 100 años.

Realizar un diagnóstico del estado actual del área de estudio para determinar cómo afecta esto el ciclo hidrológico y a su vez como afecta la disponibilidad del recurso hídrico.

Estimar la cantidad y tiempo de disponibilidad de recurso hídrico de la cuenca en estudio para el municipio de Ocaña.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Cada modelo hidrológico tiene dentro de su formulación características particulares que lo hacen más adecuado, con respecto a otros modelos, para cierto tipo de simulación; características que también puede afectar la respuesta del modelo a cierto tipo de cuenca. Es por este motivo que se realizara una comparacion de los diferentes modelos como son el SWAT, el HEC-GeoHMS y el Hydrology para seleccionar el mas adecuado para la realizacion de la modelacion hidrológica del area geografica dentro de la cuenca del rio algodonal parte alta

Los diferentes software de modelación hidrológica, funcionan en conjunto con una plataforma SIG , para este estudio se determinó realizar nuestro estudio en la plataforma SIG de código propietario ARCGIS 10.3, Con la modelación mediante estos software, se logra una herramienta que va permitir la realización del análisis y la prevención de las inundaciones; además es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones ya sea en 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.

Como también para formular planes de contingencia en cuanto a la reducción del recurso hídrico, asesoramiento al municipio en el aprovechamiento óptimo de sus recursos naturales, elaboración de planes de gestión de masas forestales, proyectos medioambientales, ofrecer información sobre el estado de la erosión en el término municipal o en zonas concretas.

1.5 DELIMITACIONES

1.5.1 Conceptual. La presente investigación está enmarcada en los siguientes conceptos: Cuenca, Hidrología, modelación hidrológica, software SWAT, Software Hydrology, software HEC-GeoHMS, Software ArcGIS, Sistema de información geográfica (SIG), estudio hidrológico.

1.5.2 Operativa. El estudio se realizara apoyándose con las diferentes herramientas computacionales para la modelación de cuencas, como son el software SWAT, el software HEC-GeoHMS y el software Hydrology, que son software de dominio público (descarga y uso gratuito), donde tomaremos el modelo que presente mejor desempeño, versatilidad y facilidad de implementación de acuerdo a los requerimientos de información y disponibilidad de la misma, para la realización de la modelación hidrológica de la cuenca. Estos software tienen la limitación que trabajan en conjunto con otro software de sistema de información geográfico como es el ArcGIS, el cual no es de dominio público y para su manejo, se debe adquirir su licencia.

Para la licencia del software ArcGIS, contamos con el apoyo de la entidad CORPONOR, la cual nos permitirá usar una de sus licencias para correr la modelación de la cuenca.

La información que se requiere para el estudio como lo son el estudio de suelos, el estudio hidrológico e hidráulico para el área en estudio, y la topografía, se tomaran del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el IDEAM y de los planes de ordenamiento territorial de los municipios de Ocaña, la playa y Abrego.

Si en el desarrollo del proyecto necesitamos de algún dato que no se encuentre en lo anterior mencionado, realizaremos los estudios necesarios para obtener la información correspondiente.

1.5.3 Temporal. La realización del proyecto tendrá duración de cuatro meses, contados a partir de la aprobación del mismo, como se muestra en el cronograma de actividades.

1.5.4 Geográfica. La realización del trabajo de grado será llevado a cabo en parte del área de la cuenca del Río Algodonal parte alta, considerando como punto de cierre de la cuenca el puente de entrada de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO HISTÓRICO

Un modelo hidrológico, busca representar los procesos involucrados en la distribución de la lluvia y la generación de caudales en una determinada cuenca. La modelación hidrológica comienza a principios del siglo XIX utilizándose para el diseño de obras hidráulicas y hasta mediados del siglo XX se limitó a expresiones matemáticas simples para representar mecanismos individuales involucrados en los procesos del ciclo hidrológico. En la década de los 60, con el advenimiento de la revolución digital, se realizó el primer intento por representar casi en su totalidad al ciclo hidrológico en una cuenca. Surge así el Standford Watershed Model-SWM de Crawford y Linsley en 1966 (Singh, 1995). Sin embargo, las máquinas disponibles eran caras y muy lentas respecto a los estándares actuales, por lo tanto los programas eran limitados en tamaño y complejidad (Beven, 2001). Como consecuencia, la modelación hidrológica fue planteada principalmente en forma agregada (Vieux, 2004). La aparición de computadoras más potentes, la mayor disponibilidad de datos distribuidos realmente provenientes de sensores remotos y las herramientas proporcionadas por los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han permitido el desarrollo de este campo.¹

La cuenca del algodonal se ha ido deteriorando con el pasar de los años debido al calentamiento global y al mal uso del suelo (deforestación, construcciones, etc.). Este deterioro se logra apreciar visual y estadísticamente. Las estadísticas son claras para una fuente hídrica tan importante para Ocaña y la región, ya que es la principal fuente de abastecimiento para el consumo de agua potable y riego de cultivos que tiene esta zona. A continuación se presentaran unos datos estadísticos por la corporación autónoma regional de la frontera nororiental (CORPONOR) de lecturas de caudales promedio anual del rio algodonal en el periodo 2006-2015, donde muestra el comportamiento del caudal en el transcurso de este lapso de tiempo:

Tabla 1. Caudales promedio anuales, periodo 2006-2015

AÑO	CAUDAL PROMEDIO (m3/s)
2006	4,40
2011	2,90
2012	3,50
2013	2,50
2014	1,30
2015	1,20

Fuente: aforos CORPONOR-UFPSO 2006-1014

¹ JORQUERA, Eliana; WEBER, Juan F. y REYNA, Santiago M. Revisión del estado del arte en la modelación hidrológica distribuida e integrada. (online). 1 ed. [s.l.]: Universidad Nacional de Córdoba, 2010 [citado 22 jun., 2015]. Disponible en: http://www.ina.gov.ar/pdf/ifrrhh/03_014_Jorquera.pdf

Como se puede observar, el caudal del río algodónal se está deteriorando con el transcurso del tiempo, datos que alarman y deberían ser incentivos para la población de la región, y así, cuidar y valorar la cuenca que nos brinda su recurso hídrico.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Cuenca Hidrográfica: la cuenca hidrográfica es la unidad natural definida por una divisoria de aguas en un territorio específico, las cuencas hidrográficas son unidades morfológicas superficiales, sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones también conocidas como la divisoria de aguas.

El parteaguas desde el punto de vista teórico es una línea imaginaria que une los máximos puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de drenaje la cual es la zona más baja

Todas las cuencas hidrográficas tienen tres zonas geográficas definidas y donde el impacto del agua es distinto aunque se mantiene una estrecha relación e interconexión entre ellas

- La primera, es la parte alta conocida como cabecera de la cuenca hidrográfica en esta zona se presenta la mayor captación de agua de lluvias y ayuda con la regulación y suministro de agua durante el resto del año a las otras partes de la cuenca todas las acciones antrópicas que se realicen en esa parte de la cuenca tendrán sus repercusiones en el resto de la cuenca.
- La segunda es la parte media de la cuenca hidrográfica en esta zona se presentan mayormente actividades de índole productivo y es la zona donde se ejerce mayor presión hacia la parte alta de la cuenca esta región es como una zona de amortiguación entre las acciones antrópicas de la parte alta de la cuenca y los efectos que se evidencian en la parte baja de la cuenca
- La tercera es la parte baja de la cuenca hidrográfica, en esta zona se evidencian los impactos positivos y negativos de las acciones que se desarrollan por el hombre

La cuenca hidrográfica funciona pues como un sistema indivisible e interdependiente en donde hay una estrecha relación entre los habitantes de la cuenca y las actividades que se desarrollan en cada una de las partes de esta

Una cuenca es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas². El uso de los recursos naturales se regula administrativamente separando el territorio por cuencas hidrográficas, y con miras al futuro las cuencas hidrográficas se perfilan como una de las unidades de división funcionales con mucha más

² (Lisnsley, Kohler, & Paulus, 1997)

coherencia, permitiendo una verdadera integración social y territorial por medio del agua. También recibe los nombres de hoya hidrográfica, cuenca de drenaje y cuenca imbrífera. Una cuenca hidrográfica y una cuenca hidrológica se diferencian en que la primera se refiere exclusivamente a las aguas superficiales, mientras que la cuenca hidrológica incluye las aguas subterráneas (acuíferos).

2.2.2 Hidrología. La Hidrología (del griego *hydor-*, agua) es la disciplina científica dedicada al estudio de las aguas de la Tierra, incluyendo su presencia, distribución y circulación a través del ciclo hidrológico, y las interacciones con los seres vivos. También trata de las propiedades químicas y físicas del agua en todas sus fases.³

El objetivo primario de la hidrología es el estudio de las interrelaciones entre el agua y su ambiente. Ya que la hidrología se interesa principalmente en el agua localizada cerca de la superficie del suelo, se interesa particularmente en aquellos componentes del ciclo hidrológico que se presentan ahí--esto es, precipitación, evapotranspiración, escorrentía y agua en el suelo. Los diferentes aspectos de estos fenómenos son estudiados en sus varias sub disciplinas. La Hidrometeorología, por ejemplo, se concentra en el agua localizada en la capa fronteriza inferior de la atmósfera, mientras que la hidrometría se encarga de las mediciones del agua superficial, especialmente precipitación y flujo de las corrientes. La hidrografía involucra la descripción y la confección de mapas de los grandes cuerpos de agua, tales como lagos, mares interiores y océanos. Por el otro lado, la hidrología del suelo se centra en el agua que se encuentra en la zona saturada debajo de la superficie del suelo, y en la física suelo-agua en la zona no saturada.⁴

2.2.3 Modelación hidrológica. La modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de avenidas que se ha extendido por todo el mundo, fundamentalmente en países desarrollados. En la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones; además, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en 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.⁵

2.2.3.1 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.

³ (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

⁴ CIENCIAS DE LA TIERRA. Hidrología (online) 1 ed. [s.l.]: Ciencias de la tierra, 2014 [citado 22 jun., 2015]. Disponible en: <http://www.jmarcano.com/planeta/hidrologia.html>

⁵ IDEAM. Modelación hidrológica (online). 2 rev. [Bogotá]: Ideam, 2013 [citado 23 jul., 2015]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>

En un modelo hidrológico, el sistema físico real que generalmente 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 - dependiendo de las metas y objetivos del 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.⁶

2.2.3.1.1 Tipos de modelos hidrológicos. Los modelos en cualquier ámbito de la ciencia se clasifican en: 1. Modelos físicos reducidos: Se basan en la reducción a una determinada escala del prototipo (realidad). Su fundamento teórico lo constituye el análisis dimensional completado con la teoría de la semejanza. 2. Modelos analógicos: Analizan un sistema a partir de otro regido por teorías similares. 3. Modelos matemáticos: Representan el sistema por un conjunto de ecuaciones y sentencias lógicas que expresan las relaciones entre variables y parámetros.

2.2.4 Sistema de información geográfica SIG. El desarrollo de los Sistemas de Información Geográficos (SIG) permite la integración de los resultados de la modelación hidrológica y las diferentes características físico-geográficas de las cuencas en un sistema de prevención hidrológica que posibilite el pronóstico de inundaciones y la correspondiente toma de decisiones. Los SIG constituyen un instrumento adecuado para responder a cuestiones relacionadas con la distribución espacial y las series temporales de la escorrentía.

Estos sistemas facilitan el tratamiento de la información hidrológica gracias a que incluyen procedimientos diseñados para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelación y presentación de datos geo-referenciados. Con ayuda de los SIG la modelación hidrológica acelera su desarrollo y aplicación pudiendo actuar a modo de plataforma para la experimentación rápida de nuevas ideas y conceptos, a la vez que sus resultados pueden ser incorporados al proceso de toma de decisiones y en la ordenación del territorio.⁷

2.2.5 Software ArcGIS. ArcGIS es un conjunto de productos de software en el campo de los sistemas de información geográfica o SIG. Se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. ArcGIS es una completa plataforma de información que permite crear, analizar, almacenar y difundir datos, modelos, mapas y globos en 3D, poniéndolos a disposición.

⁶ (wikipedia, 2015). [citado 26 jul., 2015].

⁷ ESTRADA SIFONTES, Valentina y PACHECO MOYA, Rafael Miguel. SIG (online). 1 ed. [Cuba]: 2012 [citado 26 jul., 2015]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382012000100008&script=sci_arttext

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios.⁸

2.2.6 Ex tensión HEC-GeoHMS. Son varios los modelos hidrológicos que existen, siendo el Sistema de Modelación Hidrológico del Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU. (HEC-HMS por sus siglas en inglés) el aplicado en la presente investigación, ya que es un programa computacional gratuito y de amplia utilización internacional en el estudio de avenidas, el cual provee una variedad de opciones para simular procesos de precipitación - escurrimiento y tránsito de caudales.⁹

Este modelo utiliza métodos de precipitación-escurrimiento para estimar los hidrogramas de escurrimiento directa generados por las precipitaciones en una cuenca o región durante un período especificado. Es un programa muy flexible que permite al usuario la selección de diferentes métodos para el cálculo de pérdidas, hidrogramas, flujo base y propagación en cauces. Posibilita realizar simulaciones de los procesos hidrológicos a nivel de eventos o en forma continua. Los primeros simulan el comportamiento de un sistema hídrico durante un evento de precipitación. La simulación continua puede comprender un período de tiempo con varios de estos eventos.

La aparición del módulo de interface geoespacial HEC-GEO-HMS (Geospatial Hydrology Modelling System Extension), desarrollado por el centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU.,¹⁰ como una extensión del SIG ARCVIEW, permite generar la información que caracteriza a la cuenca y los parámetros hidrológicos de entrada para el modelo HEC-HMS.

2.2.7 Extensión Hydrology. La extensión Hydrology, es una herramienta que viene incluida en el software ArcGIS, la cual nos permite modelar el flujo de agua a través de la superficie.

Hydrology contiene varias herramientas como: Basin, Fill, Flow Accumulation, Flow Direction, Flow Length, Sink, Snap Pour Point; Stream Link, Stream Order, Stream to Feature y Watershed, que proporcionan métodos para la descripción de los componentes físicos de una superficie. Estas herramientas hidrológicas permiten identificar sumideros,

⁸ (ESRI). [citado 26 jul., 2015]. Disponible en: <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>

⁹ FELDMAN, A. D., «Hydrologic Modelling System HECHMS, Technical reference manual.» U. S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, HEC, Davis, CA, 157, (2000).

¹⁰ Doan, J. H., «Geospatial Hydrologic Modelling System Extensión HEC-Geo-HMS, user's manual.» U. S. Army Corps of Engineering, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA., 281, (2003).

determinar la dirección del flujo, calcular la acumulación de flujo, delinear las cuencas hidrográficas, y crear redes de arroyos.¹¹

2.2.8 Extensión SWAT. Se puede definir como un software para el modelaje integral de cuencas que permite conocer la dinámica hídrica de las cuencas bajo escenarios actuales y futuros permitiendo una visión holística de la cuenca. El software permite realizar los análisis necesarios en la planificación vinculada al cambio del uso del suelo, actividades de reforestación, establecimiento de obras hidráulicas (como captación, embalses, canales, corrección de causas, entre otras). SWAT es una extraordinaria herramienta para el manejo de escenarios en cuencas incluyendo el monitoreo, modelaje y simulación continua de la dinámica de la cuenca.¹²

2.2.9 Estudio hidrológico. El estudio hidrológico es el mecanismo a través del cual se realiza, de la mejor manera posible, una estimación confiable de los caudales máximos diarios que circulan por un cauce natural. Esta información es de vital importancia, puesto que un error en los caudales implica un error en el estudio hidráulico, mediante el cual se estiman los niveles de inundación para los caudales dados de acuerdo con los periodos de retorno previamente establecidos.¹³

El estudio hidrológico, inicia con la determinación de las características morfométricas de la cuenca, que incluye: la delimitación, el área y la longitud de esta, altura máxima y mínima del cauce principal, índice de compacidad o Gravelius, curva hipsométrica, pendiente media, caracterización de la red de drenaje y el perfil altimétrico batimetría del cauce principal, suelos de la cuenca, pendientes del terreno, precipitación media

2.3 MARCO TEÓRICO

En las últimas décadas, muchos investigadores se han dedicado a entender la importancia de la geomorfología de la cuenca y su efecto en la respuesta de la cuenca. Rodríguez-Iturbe y Valdés (1979) realizaron un importante avance relacionando las características geomorfológicas con la respuesta hidrológica al usar las leyes empíricas de Norton para describir la geomorfología de la cuenca. Mesa y Mifflin (1986) y Naden (1992) presentan una metodología similar, calculando la respuesta de la cuenca mediante la convolución de una respuesta de la red de drenaje y una respuesta del resto de la cuenca. Mientras para la primera usan la misma solución, para la segunda cada uno sugiere diferentes funciones, lo que indica que aún se conoce poco de este tipo de flujo. Para cuantificar el rol individual de cada tipo de dispersión, Rinaldo y otros (1991) definen un coeficiente de dispersión geomorfológica que depende de las tasas de bifurcación, longitud y área de la red de drenaje. Olivera y Maidment (1999b) y Olivera y otros (2000) presentan un método basado en SIG

¹¹ (esti, s.f.). [citado 26 jul., 2015]. Disponible en: http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/Hydrologic_analysis_sample_applications/009z000005z000000/

¹² (uribe, 2010). [citado 26 jul., 2015]. Disponible en: <http://swat.tamu.edu/media/46967/swat2005-tutorial-spanish.pdf>

¹³ (instituto de Estudios Ambientales – IDEA, 2006). [citado 26 jul., 2015].

que obtiene automáticamente la geomorfología de la cuenca y los parámetros de flujo a partir de un DEM y otras coberturas raster que contienen datos como la velocidad y el coeficiente de dispersión de cada celda.

Uno de los primeros intentos para desarrollar una teoría de la infiltración fue hecha por Green y Ampt (1911) quienes, usando principios físicos simplificados, obtuvieron una fórmula que aún se emplea actualmente en el cálculo de la intensidad de infiltración. Las ecuaciones empíricas de Kostiakov (1932) y Horton (1933, 1935, 1939, 1940) también se emplean actualmente en algunos modelos de cuenca. Estudios iniciales de la evaporación en lagos fueron hechos por Richardson (1931) y Cummings (1935), mientras que Thornthwaite (1948) y Penman (1948) hicieron importantes contribuciones a los modelos de evapotranspiración. También se hicieron intentos para cuantificar pérdidas como intercepción y almacenamiento en depresiones del terreno según el tipo de cobertura vegetal (Horton 1939). El Soil Conservation Service (SCS), ahora llamado Natural Resources Conservation Service of the U.S. Department of Agriculture desarrolló el método que se conoce como el Número de Curva del SCS. Aunque inicialmente este método fue diseñado para modelar el proceso lluvia-escurrimiento diario, ha sido utilizado para la simulación hidrológica continua. Se inició también el estudio de la fase subterránea del ciclo hidrológico y se obtuvo una fórmula para estimar la permeabilidad del suelo (Fair y Hatch, 1933). Posteriormente, se combinaron las leyes de Darcy con la ecuación de continuidad para determinar la relación entre las alturas piezométricas y la duración y razón de descarga en un pozo Theis (1935) y se correlacionaron los niveles de agua subterránea con la precipitación Jacob (1943 y 1944). El estudio del agua subterránea y de la infiltración condujo a la separación del flujo base y del flujo interno (interflow) en un hidrograma (Barnes 1940: citado por Singh).¹⁴

2.4 MARCO LEGAL

2.4.1 Decreto 1541 de 1978.¹⁵ Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.

Artículo 1°.- Para cumplir los objetivos establecidos por el artículo 2 del Decreto-Ley 2811 de 1974, este Decreto tiene por finalidad reglamentar las normas relacionadas con el recurso de aguas en todos sus estados, y comprende los siguientes aspectos:

- 1) El dominio de las aguas, cauces y riberas, y normas que rigen su aprovechamiento sujeto a prioridades, en orden a asegurar el desarrollo humano, económico y social, con arreglo al interés general de la comunidad.
- 2) La reglamentación de las aguas, ocupación de los cauces y la declaración de reservas de agotamiento, en orden a asegurar su preservación cuantitativa para garantizar la disponibilidad permanente del recurso.

¹⁴ <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/524/A6.pdf?sequence=6>

¹⁵ CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Decreto 1541 (jul., 28 de 1978). Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.

- 3) Las restricciones y limitaciones al dominio en orden a asegurar el aprovechamiento de las aguas por todos los usuarios.
- 4) El régimen a que están sometidas ciertas categorías especiales de agua.
- 5) Las condiciones para la construcción de obras hidráulicas que garanticen la correcta y eficiente utilización del recurso, así como la protección de los demás recursos relacionados con el agua.
- 6) La conservación de las aguas y sus cauces, en orden a asegurar la preservación cualitativa del recurso y a proteger los demás recursos que dependan de ella.
- 7) Las cargas pecuniarias en razón del uso del recurso y para asegurar su mantenimiento y conservación, así como el pago de las obras hidráulicas que se construyan en beneficio de los usuarios.
- 8) Las sanciones y las causales de caducidad a que haya lugar por la infracción de las normas o por el incumplimiento de las obligaciones contraídas por los usuarios.

Artículo 2°.- La preservación y manejo de las aguas son de utilidad pública e interés social, el tenor de lo dispuesto por el artículo 1 del Decreto-Ley 2811 de 1974: En el manejo y uso del recurso de agua, tanto la administración como los usuarios, sean éstos de agua o privadas, cumplirán los principios generales y las reglas establecidas por el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, especialmente los consagrados en los artículos 9 y 45 a 49 del citado Código.

Artículo 3°.- Al tenor de lo dispuesto por los artículos 37 y 38 del Decreto-Ley 133 de 1976, al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, corresponde asesorar al Gobierno en la formulación de la política ambiental y colaborar en la coordinación de su ejecución cuando ésta corresponda a otras entidades.

La administración y manejo del recurso hídrico corresponde al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, salvo cuando esta función haya sido adscrita por la ley y otras entidades, en cuyo caso estas entidades deberán cumplir y hacer cumplir las disposiciones de este Decreto, en conformidad con la política nacional y las normas de coordinación que establezca el Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Ambiente, Inderena.

Artículo 4°.- En conformidad con lo establecido por los artículos 80 y 82 del Decreto-Ley 2811 de 1974, las aguas se dividen en dos categorías: aguas de dominio público y aguas de dominio privado. Para efectos de interpretación, cuando se hable de aguas, sin otra calificación, se deberá entender las de uso público.

Artículo 5°.- Son aguas de uso público:

Los ríos y todas las aguas que corran por cauces naturales de modo permanente o no; Las aguas que corran por cauces artificiales que hayan sido derivadas de un cauce natural; Los lagos, lagunas, ciénagas y pantanos; Las aguas que estén en la atmósfera; Las corrientes y depósitos de aguas subterráneas; Las aguas y lluvias; las aguas privadas, que no sean usadas por tres (3) años consecutivos, a partir de la vigencia del Decreto-Ley 2811 de 1974, cuando así se declara mediante providencia del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, previo el trámite previsto en este Decreto, y las demás aguas, en todos sus estados y forman, a que se refiere el artículo 77 del Decreto-Ley 2811 de 1974, siempre y cuando no nazcan y mueran dentro del mismo predio.

Artículo 6°.- Son aguas de propiedad privada, siempre que no se dejen de usar por el dueño de la heredad por tres (3) años continuos, aquellas que brotan naturalmente y que desaparecen por infiltración o evaporación dentro de una misma heredad.

Artículo 7°.- El dominio que ejerce la Nación sobre las aguas de uso público, conforme al artículo 80 del Decreto-Ley 2811 de 1974, no implica su usufructo como bienes fiscales, sino por pertenecer a ellas al Estado, a éste incumbe el control o supervigilancia sobre el uso y goce que les corresponden a los particulares, de conformidad con las reglas del Decreto-Ley 2811 de 1974 y las contenidas en el presente Decreto.

Artículo 8°.- No se puede derivar aguas fuentes o depósitos de agua de dominio público, ni usarlas para ningún objeto, sino con arreglo a las disposiciones del Decreto-Ley 2811 de 1974 y del presente reglamento.

Artículo 9°.- El dominio sobre las aguas de uso público no prescribe en ningún caso.

Artículo 10°.- Haya objeto ilícito en la enajenación de las aguas de uso público. Sobre ellas no puede constituirse derechos independientes del fondo para cuyo beneficio se deriven. Por lo tanto, nula toda acción o transacción hecha por propietarios de fundos en los cuales existan o por los cuales corran aguas de dominio público o se beneficien de ellas en cuanto incluyan tales aguas para el acto o negocio de cesión o transferencia de dominio.

Igualmente será nula la cesión o transferencia, total o parcial, del solo derecho al uso del agua, sin la autorización a que se refiere el artículo 95 del Decreto-Ley 2811 de 1974. (3)

Artículo 11°.- Se entiende por cauce natural la faja de terreno que ocupan las aguas de una corriente al alcanzar sus niveles máximos por efecto de las crecientes ordinarias; y por lecho de los depósitos naturales de aguas, el suelo que ocupan hasta donde llegan los niveles ordinarios por efectos de lluvias o deshielo.

Artículo 12°.- Playa fluvial es la superficie de terreno comprendida entre la línea de las bajas de aguas de los ríos y aquellas a donde llegan éstas, ordinarias y naturalmente en su mayor incremento.

Artículo 13°.- Para los efectos de la aplicación del artículo anterior, se entiende por líneas o niveles ordinarios las cotas promedio naturales de los últimos quince (15) años tanto para las más altas como para las más bajas.

Para determinar estos promedios se tendrán en cuenta los datos que suministren las entidades que dispongan de ellos y en los casos en que esta información sea mínima o inexistente se acudirá a las que puedan dar los particulares.

Artículo 14°.- Para efectos de aplicación del artículo 83, letra d) del Decreto-Ley 2811 de 1974, cuando el Instituto Colombiano de Reforma Agraria, Incora, pretenda titular tierras aledañas a ríos, lagos procederá, conjuntamente con el Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, a delimitar las franja o zona a que se refiere éste artículo, para excluirá de la titulación.

Tratándose de terrenos de propiedad privada situados en las riberas de ríos arroyos o lagos, en los cuales no se ha delimitado la zona a que se refiere el artículo anterior, cuando por mermas, desviación o desacatamiento de las aguas, ocurridos por causas naturales, quedan permanentemente al descubierto todo o parte de sus cauces o lechos, los suelos que se tendrán como parte de la zona o franja que alude al artículo 83, letra d) del Decreto-Ley 2811 de 1974, que podrá tener hasta treinta (30) metros de ancho.

Artículo 15°.- Lo relacionado con la variación de un río y formación de nuevas islas se regirá por lo dispuesto en el Título V, Capítulo II del Libro II del Código Civil, teniendo en cuenta lo dispuesto por el artículo 83, letra d) del Decreto-Ley 2811 de 1974.

Artículo 16°.- La adjudicación de baldíos excluye la de las aguas que contengan o corran por ellos, las cuales continúan perteneciendo al dominio público.

Artículo 17°.- El dominio privado de aguas reconocido por el Decreto-Ley 2811 de 1974 y por éste reglamento, debe ejercerse en función social, y estará sujeto a las limitaciones y demás disposiciones establecidas por el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente y por este reglamento.(3)

Artículo 32°.- Todos los habitantes pueden utilizar las aguas de uso público mientras discurren por cauces naturales, para beber, bañarse, abrevar animales, lavar ropas cualesquiera otros objetos similares, de acuerdo con las normas sanitarias sobre la materia y con las de protección de los recursos naturales renovables.

Este aprovechamiento común deber hacerse dentro de la restricción que estable el inciso 27 del artículo 86 del Decreto-Ley 2811 de 1974.

Artículo 33°.- Cuando se trate de aguas que discurren por un cauce artificial, también es permitido utilizarlos a todos los habitantes para usos domésticos o de abrevadero, dentro de las mismas condiciones a que se refiere el artículo anterior, y siempre que el uso a que se destinen las aguas no exija que se conserven en estado de pureza, ni se ocasionen daños al

canal o aquella, o se imposibilite o estorbe el aprovechamiento del concesionario de las aguas.

Artículo 34°.- Para usar las aguas de dominio privado con fines domésticos se requiere: Que con la utilización de estas aguas no se cauce perjuicio al fundo donde se encuentran; Que el uso doméstico se haga sin establecer derivaciones, sin emplear máquinas, ni aparatos ni alterar o contaminar el agua en forma que se imposibilite su aprovechamiento por el dueño del predio, y Que previamente se haya acordado con el dueño del fundo el camino y las horas para hacer efectivo ese derecho.

Artículo 35°.- Los usos de que trata los artículos precedentes, no confieren exclusividad y son gratuitos.

Artículo 87°.- Las personas interesadas en obtener permisos para extracción de materiales de arrastre de los cauces o lechos de las corrientes, depósitos de aguas deberán presentar solicitud al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, en la cual se exprese; Nombre de la corriente o depósito cuyo cauce o lecho se proyecta explotar; Sector del mismo en donde establecerá la exploración, precisándolo con exactitud; Clase de material que se pretenda extraer y su destino; Predios de propiedad particular riberaños al sector del cauce o lecho que se pretende explotar; Explotación similares, aprovechamientos de aguas, puentes, viaductos y demás obras existentes en la región, que puedan afectarse con la explotación; Sistema que se empleará en la explotación métodos para prevenir los daños al lecho o cauce, o a las obras públicas o privadas; Declaración de efecto ambiental; Los demás que en cada caso se consideren necesarios.

Artículo 88°.- A la solicitud deberá anexarse el plano del sector del cauce que se proyecte explotar y una memoria indicativa de las características del mismo, con especificaciones tales, que sea posible su localización en cualquier momento.

Artículo 89°.- Recibida la solicitud, el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, dispondrá: Que a costa del interesado se publique un extracto de la solicitud, por una vez, en el periódico de mayor circulación del Departamento o Municipio correspondiente, con el fin de que quienes se consideren perjudicados con el otorgamiento del permiso puedan hacer valer sus derechos. Dentro de los diez (10) días siguientes a la publicación del aviso, el interesado está en la obligación de entregar al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, un ejemplar del periódico, a fin de anexarlo al expediente; Que el interesado publique en aquellos lugares donde hubiere facilidad de transmisión radial, el aviso a que se refiere el literal anterior en dos (2) días; Que se dé traslado de la solicitud al Personero de Municipio donde se pretenda hacer la explotación para que informe si ésta puede perjudicar los intereses públicos y si el Municipio tiene establecido el impuesto a que se refieren los artículos 1°, inciso c) de la Ley 97 de 1913, y 1°, inciso a) de la Ley 81 de 1915, impuesto que en ningún caso puede ser confiscatorio, con el fin de hacer obligatorio su pago en la correspondiente resolución de permiso, y que se suministre los demás datos e informaciones y se practiquen las diligencias que se consideren necesarias para el estudio y decisión de la solicitud.

Artículo 90°.- Transcurridos quince (15) días después de publicado el extracto de la solicitud y cumplidos los demás requisitos a que se refiere el artículo anterior, el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, ordenará que se practique una visita ocular por funcionarios de su dependencia con el fin de estudiar los aspectos de orden técnico y demás circunstancias que permitan determinar la conveniencia o inconveniencia de otorgar el permiso, y para verificar; La delimitación del sector del cauce que puede ser objeto de explotación; La clase de material que se puede explotar; Las obras que se deben construir previamente a la explotación, necesaria para evitar perjuicios, bien sea al lecho o cauce, a los demás recursos naturales renovables o a terceros; La declaración de efecto ambiental; La ubicación de las zonas de explotación; La sección o secciones características del cauce en el sector a explotar y tipo de flujo de la corriente; La profundidad máxima de la explotación y el cálculo aproximado del volumen que se va a extraer; Los sistemas permisibles de extracción; Las zonas de tráfico y almacenamiento de material, y Las demás circunstancias que el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, considere importantes.

Artículo 91°.- Los permisos que se otorguen para las explotaciones a que se refiere este Capítulo, estarán sujetos a las siguientes condiciones; Que la explotación se realice solamente dentro de las zonas y hasta las profundidades máximas indicadas por el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena; Que los sistemas de explotación sean aprobados por el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, Que se ocupen las zonas determinadas en la resolución solamente para los fines de la explotación, y Que se construyan las obras y se cumplan las exigencias técnicas que el Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Ambiente, Inderena, determine para evitar perjuicios a las obras existentes en las márgenes o sobre el cauce, al equilibrio hidrodinámico de la corriente, al cauce, a los demás recursos naturales o a terceros.

Artículo 92°.- Los permisos a que se refieren los artículos anteriores se otorgarán por plazos máximos de diez (10) años, y pueden ser prorrogables, a juicio del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, sin exceder dicho plazo.

Artículo 93°.- Los permisos sobre ocupación y explotaciones de cauces y lechos podrán revocarse por las mismas causales establecidas en el artículo 62 del Decreto-ley 2811 de 1974 y el Título XI, Capítulo II, de este reglamento.

Artículo 94°.- En los lugares en donde no hay un representante del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, los Alcaldes Municipales podrán suspender provisionalmente las explotaciones que puedan causar peligro o perjuicio para las poblaciones, a las obras públicas o privadas, a las aguas y a sus cauces o lechos.

Artículo 95°.- El encabezamiento y la parte resolutive de las resoluciones que otorgan permiso de explotación de los lechos y cauce de los ríos y lagos se publicará en el **Diario Oficial** o en la "Gaceta Departamental", dentro de los quince (15) días siguientes a la ejecutoria de la respectiva providencia, a costa del interesado, quien dentro de los diez (10) días posteriores a la publicación deberá presentar al Instituto Nacional de los Recursos

Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, dos ejemplares del periódico en el cual se haya efectuado.

Artículo 97°.- Con el fin de garantizar el cumplimiento de lo establecido en la respectiva resolución de permiso de explotación del material de arrastre, el permisionario deberá suscribir a favor del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena. La vigencia de la póliza será por un tiempo igual al del permiso otorgado.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación utilizado para la realización de este proyecto será la descriptiva, en donde se aplicará el uso de las técnicas y herramientas computacionales, en busca de la modelación hidrológica de un área dentro de la cuenca del Río Algodonal Parte alta.

3.2 POBLACIÓN

La población que se tendrá en cuenta en este proyecto, son los municipios de Abrego, la playa de Belén y Ocaña, municipios que están en la zona de influencia de la cuenca del río algodonal parte alta

3.3 MUESTRA

En este proyecto no se tiene en cuenta una muestra, ya que se llevar a cabo con el total de la población.

3.4 GESTION DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL, DATOS CLIMATOLOGICOS Y ESTUDIOS REFERENTES

La gestión de la información geoespacial necesaria para la ejecución del proyecto, se obtendrá de Geoportales nacionales e internacionales donde se conseguirán archivos en formatos vectoriales y Ráster se gestionaran estudios complementarios que permitirán conocer las variables necesarias para la modelación hidrológica de la cuenca del río Algodonal.

3.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El análisis de información se realizara basado en los resultados arrojados por los SIG, implementados en el desarrollo de esta investigación, se fortalecerán estos análisis mediante el uso de la cartografía temática a diferentes escalas y la interrogación de las bases de datos con motor de lenguaje HSQL

3.6 INTERPRETACION DE RESULTADOS

La interpretación de los resultados se basara en las salidas gráficas generadas a partir de modelos vectoriales y Ráster los cuales se procesas en software ArcGIS y las extensiones SWAT, HEC-GeoHMS e Hydrology en la modelación hidrológica del área de estudio de la cuenca del rio algodonal parte alta

4. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

4.1. RECURSO HUMANO

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, intervendrán las siguientes personas:
BRAYAN CAMILO CRIADO SANJUAN – Proponente
IBETH TATIANA ILLERAS RINCÓN – Proponente
IC, Esp, MSc HERMES ALFONSO GARCÍA QUINTERO – Director

4.2 RECURSOS INSTITUCIONALES

Las instituciones que facilitarán la información relacionada con el tema de estudio son:
Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.
Biblioteca Argemiro Bayona Portillo
Alcaldía municipal de Ocaña y Abrego (oficina de planeación)
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)
IDEAM
CORPONOR

4.3 GESTION DE DATOS ESPACIALES

Los datos espaciales para la elaboración de esta tesis de llevo a cabo mediante geoportales nacionales e internacionales los cuales cumplen con las ICDE y la NTC 4611

4.4 RECURSOS FINANCIEROS

Los proponentes del proyecto financiarán con ayuda de la entidad CORPONOR la totalidad de los gastos que conlleva el desarrollo de este trabajo de la siguiente manera:

INGRESOS		
BRAYAN CAMILO CRIADO SANJUAN		\$400.000
IBETH TATIANA ILLERAS RINCÓN		\$400.000
CORPONOR		\$22.000.000
EGRESOS		
Licencia Software ArcGIS	\$22.000.000=	
Información	\$200.000=	
Papelería y fotocopias	\$150.000=	
Transporte	\$200.000=	
Digitación e impresión	\$100.000=	
Preparación informe final	\$ 50.000=	
Gastos varios	\$100.000=	
TOTAL EGRESOS		<u>\$22.800.000=</u>
SUMAS IGUALES	<u>\$22.800.000=</u>	<u>\$22.800.000=</u>

5. DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 GESTION, CONSULTA E INTERPRETACION DE LA INFORMACION EXISTENTE

Para el desarrollo adecuado del proyecto se consultaron diferentes fuentes de información, de manera que se adquirió la mayor cantidad de datos y referencias posibles. Para el estudio de la cuenca del río algodonal, se realizó un análisis de la información, teniendo en cuenta elegir la de la zona de trabajo exclusivamente:

- Información topográfica disponible para la zona de estudio.
- Información de caudales históricos del río algodonal.
- Información hidroclimatológica, conformada por las series temporales de las estaciones hidrológicas y meteorológicas ubicadas dentro de la zona y con datos disponibles.
- Información de caracterización del suelo de la cuenca del río algodonal
- Estudios realizados por otras entidades en la región.

A continuación se mostrara un breve resumen de la información requerida y como se logró obtener:

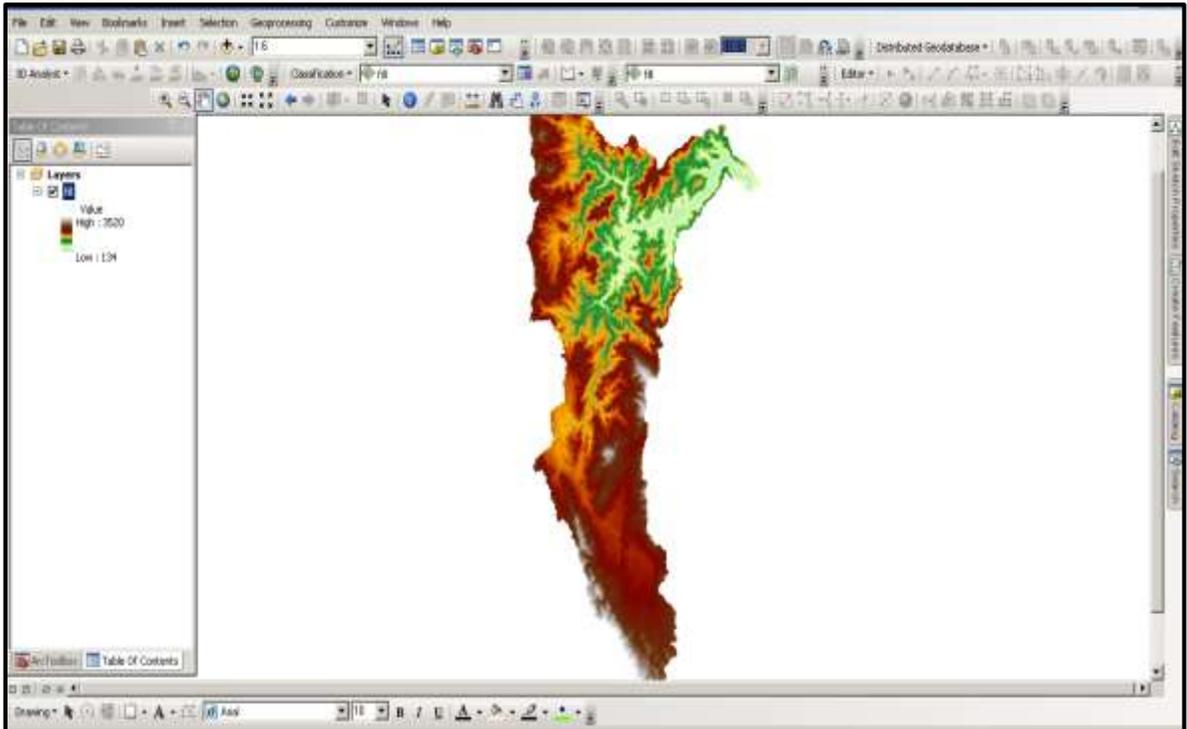
5.1.1 Topografía – DEM. El modelo de elevación digital (DEM) es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados.¹⁶

En los modelos digitales de elevación existen dos cualidades esenciales que son la exactitud y la resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, las cuales varían dependiendo del método que se emplea para generarlos y para el caso de los que son generados con tecnología LIDAR se obtienen modelos de alta resolución y gran exactitud (valores submétricos)

El DEM que contiene la cuenca del río algodonal para el desarrollo de este proyecto, se descargó de la página ASTER GDEM, que de manera gratuita nos permite descargar los modelos de elevación digital de cualquier lugar de la superficie terrestre, donde solo se debe tener en cuenta el cuadrante o los cuadrantes de interés para seleccionarlos por polígono y concretar la descarga.

¹⁶ (INSTITUTO REGIONAL DE ESTADISTICA Y GEOGRAFIA, S.F.) . [citado 21 oct. 2015]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>

Figura 1. Modelo de elevación digital (DEM)



Fuente: Autores Trabajo de grado

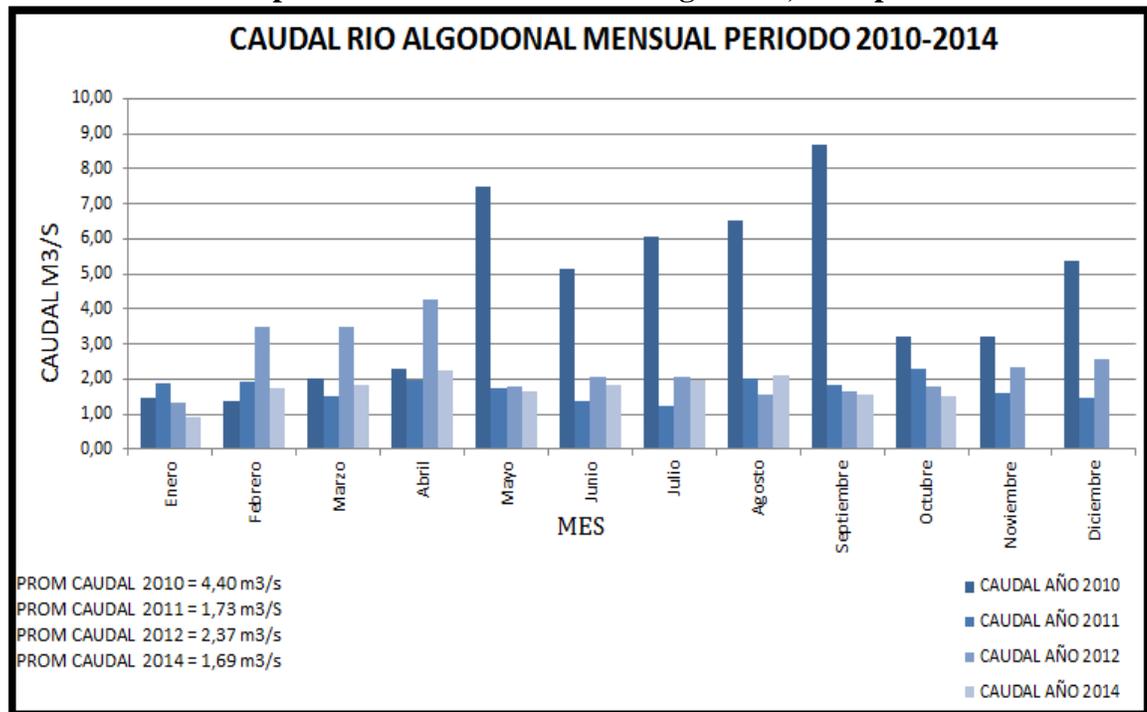
5.1.2 Datos de caudal del río algodonal. La información de caudales del río algodonal nos fue facilitada por la corporación autónoma regional de la frontera nororiental (CORPONOR) la cual nos suministró una tabla con datos de caudales promedio anual en el periodo de 2006-2014 y la empresa de servicios públicos de Ocaña (ESPO) la cual nos facilitó unas graficas que contenían registro de caudales mensuales en el periodo de 2010-2014.

Tabla 2. Registros de caudales y precipitación promedio anual de la cuenca del río algodonal, en el periodo 2006-2014

AÑO	CAUDAL PROMEDIO DISPONIBLE M3/SEG	ÁREA DE MONITOREO	PRECIPITACIÓN ANUAL PROMEDIO
2006	4.4	Tramo Abrego-Ocaña	1100 mm-2200mm
2011	2.98	Abrego	1200mm
2012	3.5	Abrego	1200mm
2013	2.5	Abrego	700 mm
2014	1.3	Tramo Ocaña	550 mm Estación Underground.com, weather-station, Ocaña Norte de Santander.

Fuente: aforos CORPONOR-UFPSO 2006-1014

Grafica 1. Caudales promedio mensuales del río algodonal, en el periodo 2010-2014



Fuente: Empresa de servicios públicos de Ocaña (ESPO)

5.1.3 Datos Meteorológicos. La información meteorológica de la cuenca del río algodón es muy importante para el desarrollo de este proyecto, ya que con la ayuda de estos registros el software puede hacer una simulación correcta a la zona de estudio con datos reales y obteniendo resultados útiles de interpretación de la cuenca.

Los datos meteorológicos fueron pedidos directamente al INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM), que es el instituto encargado de controlar esta información a nivel nacional; los cuales por medio de la web nos facilitaron la información de interés correspondiente de la zona en estudio.

Se solicitaron los datos de precipitación de cuatro estaciones pluviométricas que están ubicadas en la zona de estudio de la cuenca del río algodón, y sus datos contribuyen directamente sobre ella; estas estaciones fueron: estación pluviométrica 16055100 (universidad Francisco de Paula Santander Ocaña), estación pluviométrica 16055060 (la playa de Belén), estación pluviométrica 16055040 (centro de Abrego) y la estación pluviométrica 16050120 (río frío).

Tabla 3. Valores totales mensuales de precipitación (mm) corriente algodón, estación: 16055100, Univ. Fco. P. Santander.

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL			
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)													ESTACION : 16055100 UNIV FCO P SANTAND			
FECHA DE PROCESO : 2013/12/18																
LATITUD	0814 N	TIPO EST	CO	DEPTO	NORTE SANTANDER	FECHA-INSTALACION	1991-DIC									
LONGITUD	7319 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	OCAÑA	FECHA-SUSPENSIÓN										
ELEVACION	1150 m. s. n. m	REGIONAL	08 SANTANDERES	CORRIENTE	ALGDONAL											

AÑO EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	*	

1991	2	01												0.0	3	
1992	2	01	62.0	.0	.0	83.0	89.0	66.0	36.0	91.0	88.0	66.0	124.0	12.0	717.0	3
1993	2	01	8.0	11.0	94.0	112.0	108.0	31.0	30.0	55.0	140.0	46.7	46.0	.0	681.7	
1994	2	01	2.7	80.3	23.3	265.9	238.0	4.8	48.8	88.9	159.0	113.8	205.9	6.3	1237.7	
1995	2	01	3.7	.6	62.3	149.5	194.6	147.0	115.0	116.0	239.8	205.4	54.0	3.0	1290.9	
1996	2	01	1.0	1.0	47.0	115.0	104.0	167.0	136.0	72.5	167.5	239.2	68.5	29.3	1148.0	
1997	2	01	10.7	.2	15.4	91.6	91.3	39.5	16.6	23.1	156.8	57.8	119.5	.0	622.5	
1998	2	01	23.2	33.7	110.3	87.0	125.2	71.8	90.6	123.4	201.4	149.2	27.1	41.9	1084.8	
1999	2	01	1.4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.4	3
2000	1	01	28.4	15.4	2.4	28.6	141.5	45.2	33.0	33.2	397.0	139.9	49.5	83.4	997.5	
2001	1	01	3.5	.0	54.8	21.6	147.5	16.4	56.6	28.7	146.9	129.7	73.5	43.6	722.8	
2002	1	01	.0	4.0	40.7	146.6	47.9	49.3	24.6	19.0	205.7	111.2	19.3	14.2	682.5	
2003	1	01	.8	5.5	110.0	198.5	45.0	99.8	41.8	135.9	188.6	228.9	125.0	22.5	1202.3	
2004	1	01	.0	12.7	.0	195.4	79.3	15.8	49.3	39.2	137.2	222.3	118.1	35.6	904.9	3
2005	1	01	36.3	18.4	49.6	111.8	149.0	123.4	16.6	60.8	105.7	205.6	137.5	22.9	1037.6	
2006	1	01	79.0	1.1	90.7	125.6	188.5	90.0	38.5	68.2	144.9	159.7	195.6	1.7	1183.5	3
2007	1	01	3.4	.0	18.3	124.0	268.9	38.0	77.6	152.6	140.0	215.5	96.2	8.9	1143.4	
2008	1	01	.0	.3	56.0	91.5	116.2	29.6	87.7	125.3	186.0	142.7	218.3	23.0	1076.6	
2009	1	01	15.3	4.1	27.0	79.8	131.1	60.0	20.5	58.2	92.7	85.0	202.5	7.6	783.8	
2010	1	01	.2	34.0	97.8	99.1	280.8	108.2	115.1	172.1	156.0	97.4	238.3	93.3	1492.3	
2011	1	01	25.9	13.7	58.1	183.2	185.5	111.2	80.7	162.2	120.7	113.7	83.9	26.4	1165.2	3
2012	1	01	13.9	.0	48.7	219.9	3								282.5	3
MEDIOS			15.2	11.8	50.3	126.5	143.8	69.2	58.7	85.5	167.0	143.7	115.9	23.8	1011.4	
MAXIMOS			79.0	80.3	110.3	265.9	280.8	167.0	136.0	172.1	397.0	239.2	238.3	93.3	397.0	
MINIMOS			0.0	0.0	0.0	21.6	45.0	4.8	16.6	19.0	88.0	46.7	19.3	0.0	0.0	

Fuente: IDEAM

Tabla 4. Valores totales mensuales de precipitación (mm) corriente algodonal, estación: 16055060, la playa de Belén.

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL		
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)													ESTACION : 16055060 PLAYA LA		
FECHA DE PROCESO : 2015/10/26													1984-SEP		
LATITUD	0813 N	TIPO EST	CO	DEPTO	NORTE SANTANDER	FECHA-INSTALACION						1984-SEP			
LONGITUD	7314 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	LA PLAYA	FECHA-SUSPENSTION									
ELEVACION	1500 m.s.n.m	REGIONAL	08 SANTANDERES	CORRIENTE	ALGODONAL										
ANO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
1992	2	01	4.5	.4	.4	51.4	100.4	47.1	39.6	84.9	123.5	63.3	61.1	20.3	596.9
1993	2	01	21.7	12.1	5.1	121.6	191.6	18.6	11.0	55.3	173.4	22.1	51.7	.0	684.2
1994	2	01	13.6	34.9	12.9	81.2	90.1	4.8	2.4	73.4	59.4	196.0	191.7	2.2	764.6
1995	2	01	.0	3.0	68.9	64.5	107.9	39.5	127.8	199.6	223.1	266.5	11.0		1111.8
1996	2	01	8.4		21.0										29.4
1997	2	01	10.9	.0	3.9	40.6	57.8	74.0	24.1	4.8	57.0	33.9	28.2	.4	333.6
1998	2	01	12.2	48.1	54.7	75.7	135.5	27.7	50.8	124.8	137.9	205.8	29.9	39.7	942.8
1999	2	01	2.0	47.5	36.1	64.2	77.4	61.5	28.4	92.2	189.2	187.0	101.8	49.0	936.3
2000	1	01	56.4	17.9	3.9	36.4	94.8	28.2	66.5	29.8	217.0	98.2	70.0	31.3	750.4
2001	1	01	2.3	.1	27.7	5.8	86.0	6.3	51.8	20.3	101.2	86.0	117.6	37.5	542.6
2002	1	01	.7	1.9	11.5	57.0	106.8	64.4	1.8	19.7	76.3	141.4	25.9	26.8	534.2
2003	1	01	2.8	.5	54.1	158.2	35.0	117.7	46.1	115.9	230.7	195.4	90.8	30.4	1077.6
2004	1	01	2.3	3.8	2.6	118.6	74.0	17.8	32.6	24.4	198.0	173.4	74.3	28.8	750.6
2005	1	01	55.8	42.3	40.8	22.4	110.5	142.2	40.0	50.9	96.6	207.8	79.0	38.9	927.2
2006	1	01	91.2	1.7	79.6	63.9	115.5	103.7	23.3	40.1	88.9	189.8	152.9	7.6	958.2
2007	1	01	1.4	1.2	20.8	54.8	146.1						37.9	24.6	286.8
2008	1	01	.4	2.4	.0	59.2	87.2		84.9	148.1	117.5	97.0	197.3	36.1	830.1
2009	1	01	20.6	21.1	29.1	59.9	102.5	175.6	53.9	62.2	44.1	74.2			643.2
2010	1	01	.0	18.0	24.6	48.3	143.1	126.7	182.2	216.4	227.0	109.1	196.4	133.6	1425.4
2011	1	01	24.3	14.9	47.2	148.8	107.0	89.0	133.4	149.3	91.7	101.8	99.5	28.3	1035.2
2012	1	01	18.2	1.8	20.3	127.8	126.8	32.0	10.9	127.8	131.6	213.4	73.2	4.5	888.3
2013	1	01	1.2	4.8	15.6	23.8	106.2	24.4	2.3	108.9	72.0	117.2			476.4
2014	1	01	3.9	33.6	21.7	153.1	85.6	1.4	2.3	28.7	189.1	123.5	140.6	31.7	795.2
2015	1	01	3.3	8.6	31.1	25.6	37.0	.1	10.5	20.8					137.0
MEDIOS			15.2	13.7	26.4	71.4	101.1	57.3	46.7	81.7	135.5	138.2	91.5	30.1	808.8
MAXIMOS			91.2	48.1	79.6	158.2	191.6	175.6	182.2	216.4	230.7	266.5	197.3	133.6	266.5
MINIMOS			0.0	0.0	0.0	5.8	35.0	0.1	1.8	4.8	44.1	22.1	11.0	0.0	0.0

Fuente: IDEAM

Tabla 5. Valores totales mensuales de precipitación (mm) corriente algodonal, estación: 16055040, centro de Abrego.

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL		
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)													ESTACION : 16055040 ABREGO CENTRO ADMO		
FECHA DE PROCESO : 2015/10/26													1969-JUL		
LATITUD	0805 N	TIPO EST	CP	DEPTO	NORTE SANTANDER	FECHA-INSTALACION						1969-JUL			
LONGITUD	7313 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	ABREGO	FECHA-SUSPENSTION									
ELEVACION	1430 m.s.n.m	REGIONAL	08 SANTANDERES	CORRIENTE	ALGODONAL										
ANO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
1992	2	01	50.3	1.7	.1	62.5	176.4	100.0	45.3	77.7	116.5	92.1	103.2	7.1	832.9
1993	2	01	23.2	87.3	69.8	85.9	220.7	55.7	80.5	56.3	216.1	144.8	63.1	.0	1103.6
1994	2	01	26.6	53.4	17.4	93.0	149.3	38.6	73.1	58.3	133.5	158.5	196.2	3.1	943.0
1995	2	01	16.0	.0	21.1	240.6	143.3	97.7	193.2	301.6	206.7	195.6	33.8	4.6	1454.2
1996	1	01	.7	3.6	29.3	129.5	171.2	211.5	106.8	310.6	192.2	169.7	78.0	12.8	1416.1
1997	1	01	15.0	.0	9.0	99.7	158.7	90.9	28.5	6.2	131.0	52.6	10.7	.0	602.3
1998	2	01	14.6	27.9	63.2	74.4	147.0	79.7	133.0	115.3	336.1	246.6	48.1	31.8	1317.7
1999	1	01	.0	36.4	29.1	118.6	158.8	52.1	55.1	100.3	307.3	203.3	80.3	28.6	1169.9
2000	1	01	12.0	13.2	.4	102.4	224.2	73.8	77.6	37.1	200.8	108.0	50.7	45.5	945.7
2001	1	01	3.3	.0	62.4	48.9	120.9	32.5	79.2	2.3	227.9	151.2	64.2	18.5	811.3
2002	1	01	2.1	6.6	28.2	91.9	134.7	127.6	3.5	50.4	187.3	144.4	15.3	20.8	812.8
2003	1	01	2.4	1.2	32.4	166.1	29.8	246.4	57.6	271.6	276.6	238.3	91.6	17.1	1431.1
2004	1	01	1.1	22.0	4.6	164.3	129.5	63.7	135.0	77.6	251.9	136.8	88.4	15.9	1090.8
2005	1	01	33.5	23.9	64.9	84.5	227.0	184.8	110.7	68.1	129.2	217.2	145.4	28.0	1317.2
2006	1	01	20.9	26.7	35.8	116.6	176.5	109.4	50.3	109.8	270.8	154.8	134.9	7.8	1214.3
2007	1	01	2.2	.4	36.5	70.2	290.0	22.0	80.0	310.8	221.8	329.4	37.3	6.8	1407.4
2008	1	01	.1	13.3	9.4	64.1	190.0	27.0	231.8	268.9	232.7	214.0	123.3	15.8	1399.6
2009	1	01	21.4	9.0	43.8	54.8	226.2	114.9	15.1	159.9	107.4	97.6	140.2	16.5	1006.8
2010	1	01	.0	17.4	71.3	133.5	138.4	132.3	167.4	237.3	260.5	106.4	197.4	109.3	1571.2
2011	1	01	9.3	11.2	40.8	163.4	241.2	125.4	173.2	210.2	220.6	210.7	156.8	29.6	1592.3
2012	1	01	.0	.8	27.0	253.9	139.5	22.8	25.4	232.7	163.5	220.6	81.3	3.7	1171.2
2013	1	01	.0	24.4	15.7	41.8	57.5	57.7	9.5	114.4	153.3	172.7	66.9	24.3	738.2
2014	1	01	2.8	12.0	24.7	124.7	119.5				153.3	175.7	66.9	24.3	703.9
MEDIOS			11.2	17.1	32.0	112.4	164.3	93.9	85.5	144.4	203.8	171.3	90.2	20.6	1146.8
MAXIMOS			50.3	87.3	71.3	253.9	290.0	246.4	231.8	310.8	336.1	329.4	197.4	109.3	336.1
MINIMOS			0.0	0.0	0.1	41.8	29.8	22.0	3.5	2.3	107.4	52.6	10.7	0.0	0.0

Fuente: IDEAM

Tabla 6. Valores totales mensuales de precipitación (mm) corriente algodonal, estación: 16050120, rio frio.

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL		
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)													ESTACION : 16050120 BOCATOMA RIO FRIO		
FECHA DE PROCESO : 2015/10/26													1966-AG		
LATITUD	0802 N	TIPO EST	PH	DEPTO	NORTE SANTANDER	FECHA-INSTALACION						1966-AG			
LONGITUD	7313 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	ABREGO	FECHA-SUSPENSION									
ELEVACION	1700 m. s. n. m	REGIONAL	08 SANTANDERES	CORRIENTE	FRIO										
ANO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
1992	2	01	6.0	.0	.0	62.0	308.0	100.0	27.0	67.0	11.8	79.0	100.0	13.0	773.8
1993	2	01	5.0	.0	74.0	88.0	164.0	41.0	58.0	3	187.0	351.0	102.0	.0	1070.0
1994	2	01	20.0	241.0	58.0	101.0	229.0	87.0	.0	96.0	70.0	174.0	207.0	25.0	1308.0
1995	2	01	105.0	.0	48.0	206.0	207.0	99.0	188.0	292.0	296.0	267.0	34.0	26.0	1768.0
1996	2	01	.0	17.0	80.0	186.0	223.0	173.0	136.0	266.0	152.0	245.0	28.0	68.0	1574.0
1997	2	01	12.0	11.0	28.0	225.0	115.0	39.0	8.0	15.0	195.0	47.0	85.0	5.0	785.0
1998	2	01	39.0	58.0	112.0	161.0	246.0	111.0	170.0	152.0	329.0	290.0	75.0	54.0	1797.0
1999	2	01	.0	81.0	92.0	133.0	222.0	85.0	150.0	140.0	329.0	248.0	101.0	71.0	1652.0
2000	1	01	8.0	19.0	.0	179.0	345.0	97.0	54.0	51.0	405.0	140.0	48.0	50.0	1396.0
2001	1	01	.0	.0	.0	121.0	255.0	43.0	98.0	40.0	303.0	332.0	101.0	30.0	1323.0
2002	1	01	.0	9.0	94.0	165.0	216.0	132.0	.0	32.0	255.0	138.0	26.0	27.0	1097.0
2003	1	01	27.0	24.0	67.0	237.0	82.0	120.0	97.0	278.0	274.0	307.0	212.0	38.0	1763.0
2004	1	01	32.0	1.0	1.0	162.0	124.0	90.0	145.0	3	230.0	230.0	157.0	22.0	1210.0
2005	1	01	49.0	29.0	61.0	204.0	388.0	223.0	175.0	180.0	158.0	206.0	146.0	28.0	1847.0
2006	1	01	71.0	2.0	76.0	207.0	210.0	122.0	117.0	240.0	267.0	311.0	220.0	19.0	1862.0
2007	1	01	7.0	1.0	56.0	156.0	244.0	33.0	125.0	357.0	218.0	238.0	107.0	.0	1542.0
2008	1	01	.0	17.0	36.0	141.0	237.0	71.0	204.0	355.0	279.0	234.0	279.0	20.0	1873.0
2009	1	01	20.0	17.0	109.0	89.0	193.0	123.0	25.0	94.0	152.0	158.0	142.0	44.0	1166.0
2010	1	01	.0	.0	73.0	109.0	181.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	363.0
2011	1	01	9.0	7.0	81.0	309.0	297.0	70.0	151.0	.0	176.0	174.0	186.0	112.0	1572.0
2012	1	01	.0	.0	71.0	388.0	208.2	69.0	50.0	164.0	190.0	231.0	158.0	50.0	1579.2
2013	1	01	.0	42.0	20.0	136.0	58.0	106.0	3.0	168.0	99.0	152.0	115.0	15.0	914.0
2014	1	01	.0	76.0	47.0	175.0	202.0	.0	.0	28.0	268.0	274.0	94.0	25.0	1189.0
2015	1	01	5.0	2.0	33.0	66.0	93.0	16.0	87.0	.0	.0	.0	.0	.0	302.0
MEDIOS			17.3	28.4	57.3	167.0	210.3	87.4	89.9	153.6	220.2	219.4	123.8	33.7	1408.2
MAXIMOS			105.0	241.0	112.0	388.0	388.0	223.0	204.0	357.0	405.0	351.0	279.0	112.0	405.0
MINIMOS			0.0	0.0	0.0	62.0	58.0	0.0	0.0	15.0	11.8	47.0	26.0	0.0	0.0

Fuente: IDEAM

5.1.4 Características de suelos. Las características del suelo son una parte fundamental para realizar una modelación hidrológica de una cuenca, puesto que de estos factores depende la capacidad del transporte de sedimentos y la capacidad de absorción del terreno.

El plan de ordenamiento territorial (POT) de los municipios de Ocaña y Abrego, contienen la información necesaria del uso y tipo del suelo, para luego realizar dos capas (Shp) en el software ArcGIS, una de uso o cobertura del suelo y la otra del tipo de suelo, que serán utilizadas por el modelo escogido (SWAT; HEC-GeoHMS o Hydrology) para hacer la modelación de la cuenca del rio algodonal.

Los POT fueron suministrados por las oficinas de planeación de su respectivos municipios, donde nos facilitaron los POT del 2002 por ser los más completos realizados hasta la fecha y los que contienen la información que se solicitó.

Los planos suministrados por las oficinas de planeación de sus respectivos municipios con los que se trabajó, se encuentran anexados al proyecto.

5.1.5 Estudios realizados en la zona. No existen registros de que se haya realizado estudios de modelación hidrológica de la cuenca del rio algodonal, tomando como punto de cierre la ubicación geográfica del predio de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña; tanto

a nivel municipal, departamental ni nacional, haciendo el desarrollo de este proyecto más interesante al ser pionero en su campo.

Sin embargo, la asociación Promotora medioambiental (ASPROMA), ha hecho para la corporación autónoma regional de la frontera nororiental (CORPONOR) “estudios de ordenación y manejo ambiental de la cuenca hidrográfica del río algodónal” y “servicios de muestreo y aforo en el río algodónal”. A demás, la subdirección de recursos naturales, grupo técnico POMCH 2010, realizó un “PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ALGODONAL”. Estos documentos son de gran ayuda y utilidad para contextualizar y formar la base de este proyecto.

5.2 HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA LA REALIZACION DE MODELACIONES HIDROLOGICAS.

5.2.1 Plataforma SIG ArcGIS. ArcGIS es un conjunto de productos de software en el campo de los sistemas de información geográfica o SIG. Se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. ArcGIS es una completa plataforma de información que permite crear, analizar, almacenar y difundir datos, modelos, mapas y globos en 3D, poniéndolos a disposición.

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios.¹⁷

La plataforma ArcGIS, para realizar modelaciones hidrológicas, necesita de extensiones que bien se encuentran incluidas en la plataforma como es el caso de Hydrology o extensiones que puedes descargar fácilmente de internet como es el caso de SWAT, BASINS, HEC-GeoHMS, HEC-RAS, SewerGems, entre otras.

Actualmente, existen muchas extensiones para realizar una modelación hidrológica con el software ArcGIS, los cuales funcionan correctamente y arrojan resultados confiables. Para el desarrollo de este proyecto nos enfocaremos en tres modelos reconocidos para la caracterización y modelación de cuencas, como lo son el modelo SWAT, el modelo Hydrology y el modelo HEC-GeoHMS. Cada uno de estos modelos funciona como una extensión del software de sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS.

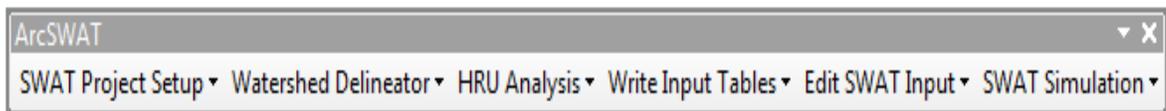
5.2.1.1 Extensión SWAT. SWAT son las siglas de herramienta para la evaluación del suelo y agua para una cuenca hidrográfica; el modelo a escala fue desarrollado por Dr. Jeff Arnold para el USDA el servicio Agrícola de investigación (ARS). SWAT fue desarrollado para predecir el impacto de las prácticas de manejo del suelo en la generación de agua, sedimentos

¹⁷ (ESRI). [citado 26 jul., 2015]. Disponible en: <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>

y producción de sustancias agrícolas químicas, en cuencas grandes y complejas con variedad de suelos, uso de tierra y condiciones de manejo sobre un tiempo prolongado.

SWAT es un modelo continuo de tiempo, es decir un modelo conformado a largo plazo, que no está diseñado para simular un solo acontecimiento de flujo detallado. El SWAT requiere información específica sobre el clima y tiempo, propiedades de suelos, topografía, vegetación y prácticas de manejo de tierra que acontecen en las cuencas para utilizar estas como datos de entrada. Los procesos físicos asociados con el movimiento del agua, movimiento de sedimentos, desarrollo de cosecha, ciclo de nutrientes, etc. son modelados directamente por SWAT.¹⁸

Figura 2. ArcSWAT, extensión del software ArcGIS para modelación hidrológica de cuencas



5.2.1.1.1 ¿Qué hace la extensión SWAT? Se puede definir como un software para el modelaje integral de cuencas que permite conocer la dinámica hídrica de las cuencas bajo escenarios actuales y futuros permitiendo una visión holística de la cuenca.

El software permite realizar los análisis necesarios en la planificación vinculada al cambio del uso del suelo, actividades de reforestación, establecimiento de centros poblados, establecimiento de obras hidráulicas (como captación, embalses, canales, corrección de causas, etc.).

SWAT es una extraordinaria herramienta para el manejo de escenarios en cuencas incluyendo el monitoreo, modelaje y simulación continua de la dinámica de la cuenca.

5.2.1.1.2 Funcionamiento de la extensión SWAT

Es un software que funciona en conjunto con otro software, especialmente con un sistema de información geografía.

- La versión ArcSWAT funciona en ArcGIS
- La versión MWSWAT funciona en MapWindows
- Existen varios módulos que funcionan independientes e incluso en la lista de ejecutables uno funciona en el sistema operativo Linux.

ArcGIS es más completa y versátil a diferencia de MapWindows.

¹⁸ (uribe, 2010). [citado 19 oct., 2015]. Disponible en: <http://swat.tamu.edu/media/46967/swat2005-tutorial-spanish.pdf>

5.2.1.1.3 ¿En qué se basa el modelaje de SWAT? Se basa en un balance hídrico para determinar la entrada, la salida y el almacenamiento de agua en la cuenca. Para el modelamiento, la cuenca hidrográfica es dividida en subcuencas y unidades de respuesta hidrológica (HRU), los cuales son obtenidas del cruce de los diferentes tipos de suelo, pendiente y coberturas presentes. Este modelo está basado en principios físicos, en otras palabras no solo genera resultados con el uso de ecuaciones sino que también necesita ser alimentado con información de la zona de estudio, tales como el clima, las propiedades físicas del suelo, la topografía, la cobertura vegetal y prácticas de manejo, construyéndose en una herramienta cuyo principal objetivo es predecir el efecto de las decisiones en cuanto al manejo y el aprovechamiento de los recursos naturales.

5.2.1.1.4 ¿Cuáles son los componentes de SWAT?

- Weather – Clima.
- Surface runoff – Escorrentía superficial.
- Return flow – Flujo de retorno.
- Percolation – Percolación.
- Evapotranspiration – Evapotranspiración.
- Transmission losses – Perdidas de transmisión.
- Pond and reservoir storage – Depósitos y almacenamiento de agua.
- Crop growth and irrigation – crecimiento del cultivo y riego.
- Groundwater flow – Flujo de agua subterránea.
- Reach routing – Alcance del enrutamiento.
- Nutrient and pesticide loading – Carga de nutrientes y pesticidas.
- Water transfer – Transferencia de agua.

5.2.1.1.5 ¿Qué datos requiere SWAT?

Requiere los siguientes datos para poder desarrollar su modelación:

- Topografía – DEM. Se puede trabajar con SRTM o con AsterGDEM, entre otros.
- Agrología
- Uso del suelo – coberturas de la tierra
- Datos de caudal de ríos y salida de represas.
- Datos meteorológicos:
 - Precipitación

5.2.1.1.6 ¿Qué se logra con la extensión SWAT? La herramienta nos va permitir: dar asesoramiento al municipio en el aprovechamiento óptimo de sus recursos naturales, elaboración de planes de gestión de masas forestales, proyectos medioambientales, ofrecer información sobre el estado de la erosión en el término municipal o en zonas concretas, ser una fuente de consulta para agricultores e instituciones de cara a evitar, lo máximo que sea posible, la pérdida de suelo fértil por erosión en sus terrenos.

5.2.1.2 Extensión HEC-GeoHMS. La Modelación Hidrológica Extensión Geoespacial (HEC-GeoHMS) se ha desarrollado como un conjunto de herramientas hidrología geoespacial para ingenieros e hidrólogos con experiencia SIG limitado. Usos HEC-GeoHMS ArcGIS y la extensión Spatial Analyst para desarrollar una serie de entradas de modelado hidrológico para Hidrológica Sistema de Modelado del Centro de Ingeniería Hidrológica, HEC-HMS. ArcGIS y su extensión Spatial Analyst están disponibles en el Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales, Inc. (ESRI).¹⁹

Analizando los datos digitales del terreno, HEC-GeoHMS transforma las vías de drenaje y los límites de las cuencas hidrográficas en una estructura de datos hidrológicos que representa la red de drenaje. El programa permite a los usuarios visualizar la información espacial, características del documento de cuencas, realizan el análisis espacial, y delinean subcuencas y arroyos. Trabajar con HEC-GeoHMS a través de su interfaz, menús, herramientas, botones, y ayuda en línea sensible al contexto permite al usuario crear convenientemente entradas hidrológicas para HEC-HMS.

Figura 3. HEC-GeoHMS, extensión del software ArcGIS para modelación hidrológica de cuencas



5.2.1.2.1 ¿Para qué sirve HEC-GeoHMS?. HEC-GeoHMS se usa para procesar los datos de la cuenca después de haber realizado una preparación y compilación inicial de los datos del terreno. La preparación de los datos del SIG pueden ser realizado con cualquier software estándar de SIG (ArcView, ArcGIS, etc.). HEC-GeoHMS no es una herramienta para preparación datos SIG. Ejemplos de datos necesarios para trabajar con HEC-GeoHMS incluyen un modelo de elevación digital (DEM), la localización digital de los cauces y de las estaciones de aforo. Cuando la preparación de los datos esta lista, HEC-GeoHMS procesa al terreno y la información especial para generar una serie de entradas hidrológicas, que le darán al usuario un modelo inicial para Hec-HMS. El usuario puede estimar los parámetros hidrológicos a partir de las características de la cuenca y los cauces, precipitación media y datos de caudales. Además, el usuario de Hec-HMS tendrá plena libertad para modificar los elementos hidrológicos y su conectividad para representar más fielmente las condiciones reales.²⁰

5.2.1.2.2 Componentes de HMS. Para simular la respuesta hidrológica de una cuenca, HEC-GeoHMS utiliza los siguientes componentes: modelos de cuenca, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada. Una simulación calcula la transformación de

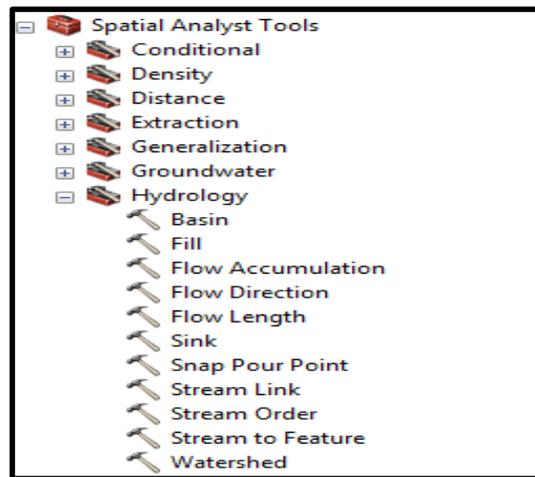
¹⁹ (US Army Corps of Engineers, s.f.). [citado 20 oct., 2015]. Disponible en: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/>

²⁰ (Nania, 2007) Manual basico de HEC-HMS 3.0.0 y HEC-GeoHMS 1.1 [citado 20 oct., 2015]. Disponible en : http://www.ugr.es/~lnania/_private/ManualBasico_HEC-HMS300_HEC-GeoHMS11_Espanol.pdf

lluvia a caudal en el modelo de la cuenca, dada la entrada del modelo meteorológico. Las especificaciones de control definen el periodo de tiempo durante el cual se realizara la simulación y el intervalo de tiempo a utilizar. Los componentes de los datos de entrada, tales como las series temporales, tablas y datos por celdas son requeridos como parámetros o condiciones de contorno tanto en el modelo de la cuenca como en el meteorológico.

5.2.1.3 Extensión Hydrology. La extensión Hydrology, es una extensión que viene incluida en el software ArcGIS, la cual nos permite modelar el flujo de agua a través de la superficie. Hydrology contiene varias herramientas como: Basin, Fill, Flow Accumulation, Flow Direction, Flow Length, Sink, Snap Pour Point; Stream Link, Stream Order, Stream to Feature y Watershed, que proporcionan métodos para la descripción de los componentes físicos de una superficie. Estas herramientas hidrológicas permiten identificar sumideros, determinar la dirección del flujo, calcular la acumulación de flujo, delinear las cuencas hidrográficas, y crear redes de arroyos.²¹

Figura 4. Hydrology, extensión del software ArcGIS para modelación hidrológica de cuencas



La Información que nos proporciona Hydrology sobre la forma de la superficie de la tierra es útil para muchos campos, tales como la ordenación del territorio, la agricultura y la silvicultura. Estos campos requieren una comprensión de cómo el agua fluye a través de un área y cómo los cambios en esa zona pueden afectar a ese flujo.

5.2.1.3.1 ¿Qué proporciona Hydrology?. Hydrology Proporciona una amplia posibilidad de recursos relacionados con el análisis espacial de datos. Con esta herramienta se pueden crear, consultar y analizar datos Ráster; combinar varias capas Ráster; aplicar funciones matemáticas, construir y obtener nueva información a partir de datos ya existentes, etc. Hydrology nos permite: obtener información nueva de los datos existentes; hallar

²¹ (esri, s.f.). [citado 26 jul., 2015]. Disponible en: http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/Hydrologic_analysis_sample_applications/009z000005z000000/

ubicaciones adecuadas; realizar análisis de distancia y coste del trayecto; identificar la mejor ruta existente entre dos puntos; realizar análisis estadísticos e Interpolar valores de datos para un área de estudio determinada.

La extensión Hydrology del software ArcGIS, proporciona un rico conjunto de análisis y modelación de herramientas espaciales para tanto raster (cell-based) y datos de entidad (vectoriales). Hay varias maneras de acceder a la funcionalidad de Hydrology. Con el geoprocésamiento, las operaciones en la caja de herramientas de análisis espacial se pueden realizar a través de un cuadro de diálogo de la herramienta.

5.2.1.3.2 Herramientas de Hydrology. En los temas siguientes se explica las funciones de análisis hidrológicos para ayudar a modelar el movimiento de agua a través de una superficie, los conceptos y términos clave en relación con los sistemas de drenaje y procesos superficiales, cómo las herramientas se pueden utilizar para extraer información hidrológica de un modelo de elevación digital (DEM), y muestra las aplicaciones de análisis hidrológicos.

Las herramientas de Hydrology pueden aplicarse individualmente o utilizarse en secuencia para crear una red de corriente o delimitar las cuencas hidrográficas:

- **Basin:** Crea un raster delineando todas las cuencas de drenaje.
- **Fill:** Rellena los sumideros en un raster de superficie para eliminar pequeñas imperfecciones en los datos.
- **Flow Accumulation:** Crea un raster de flujo acumulado en cada celda. Un factor de peso se puede aplicar opcionalmente.
- **Flow Direction:** Crea un raster de dirección del flujo de cada célula a su vecino más empinada cuesta abajo.
- **Snap Pour Point:** Puntos de fluidez a la celda de la acumulación de flujo más alto dentro de una distancia especificada.
- **Stream Link:** Asigna valores únicos a secciones de una red de raster lineal entre las intersecciones.
- **Stream Order:** Asigna un orden numérico a segmentos de un raster que representa las ramas de una red lineal.
- **Watershed:** Determina la zona contribuyendo por encima de un conjunto de celdas en un raster.

5.3 CARACTERIZACION MORFOMETRICA DE LA CUENCA UTILIZANDO LAS TRES EXTENSIONES DEL SOFTWARE SIG ARCGIS 10.2.

La caracterización geométrica de cuencas es importante conocerlas para lograr una idea concreta de lo que ha sido la historia de la cuenca en estudio, y para precisar su situación actual. Con los tres modelos escogidos (**SWAT, HEC-GeoHMS E HYDROLOGY**), realizaremos una caracterización de la cuenca donde escogeremos el modelo que nos arroje los resultados más confiables tomando como criterios: forma de la cuenca delimitada, parámetros morfométricos y magnitudes.

El primer paso para delimitar nuestra cuenca es ubicar el punto de cierre escogido para este proyecto, el cual en este caso es el puente de entrada de la UFPSO.

Utilizando la herramienta de dominio público GOOGLE EARTH, ubicamos nuestro punto de cierre de la cuenca y lo guardamos para utilizarlo luego con el software ArcGIS.

Figura 5. Ubicación del punto de cierre de la cuenca en la herramienta de código libre google earth pro.



Los puntos de desfogue y el punto de cierre están ubicados en las coordenadas geográficas $8^{\circ} 14'4,11'' -73^{\circ} 19'17,27''$ (punto de cierre) y $8^{\circ} 14'41,28'' -73^{\circ}19'14,76''$ (punto de desfogue), se procedió luego a la validación de las coordenadas geográfica y a transformas a coordenadas planas

El punto de cierre a escala 1:25000 se encuentra en la plancha cartográfica 76IIID con coordenadas planas Gauss – Krueger, N 1402430,062 E 1083302,795 y el punto de desfogue está ubicado en la misma plancha cartográfica 76IIID con coordenadas planas Gauss – Krueger, N 1403572,219 E 1083377,459

El punto de cierre cumple una función de ubicación de referencia y el punto de desfogue es el punto geográfico asignado sobre el inicio del pixel sustraído del DEM sobre el cual se dio origen al área de estudio

Figura 6. Conversión de coordenadas geográficas a coordenadas magna sirgas.



Figura 7. Mapa de ubicación del punto de cierre de la cuenca en el software ArcGIS.



Fuente: Autores Trabajo de grado

Teniendo nuestro punto de cierre de la cuenca se puede proceder a delimitar de forma automática el área que nos interesa en este proyecto con las diferentes extensiones escogidas (SWAT, HIDROLOGY Y HEC-GeoHMS) para Desarrollar un comparativo de las diferentes delineaciones geométricas obtenidas por los software, tomando como criterios:

parámetros morfométricos, magnitudes y la versatilidad en la ejecución del modelo, eligiendo la extensión que arroje los resultados más confiables para la modelación de la cuenca.

5.3.1 Caracterización de la cuenca con la herramienta Hydrology de ArcGIS 10.2

El insumo base para iniciar este estudio es denominado DEM (**modelo digital de elevación**, como ya se mencionó con anterioridad el DEM fue gestionado a través del geoportal del ASTER GDEM, geoportal del proyecto que lleva su mismo nombre, un proyecto desarrollado por ministerio de economía, comercio e industria del Japón y la administración nacional de aeronáutica y del espacio NASA , ASTER es un radiómetro japonés este es uno de los cinco instrumentos de observación de la tierra que viajan a bordo del satélite norte americano TERRA , este recoge las imágenes del espectro visible Los puntos de elevación del terreno han sido tomados cada 30mtrs

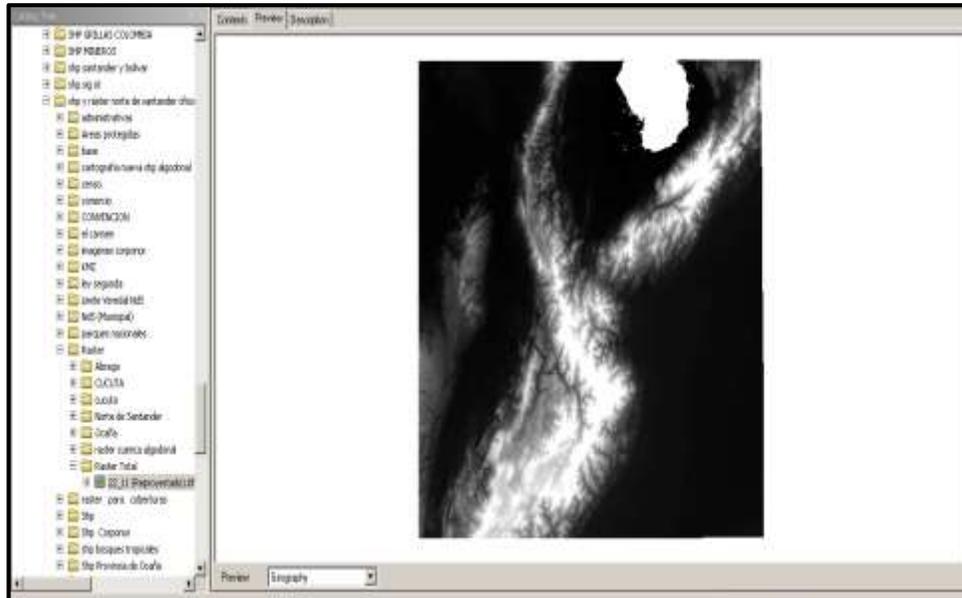
El modelo digital de elevación nos entrega la información en crudo sin procesar y mediante el uso adecuado del software SIG se puede realizar el estudio de la morfometría y el estudio hidrológico de la zona que representa el DEM , los modelos digitales de elevación se pueden generar también desde una serie de procesos en el software SIG pero para este estudio se decidió gestionar el DEM desde la página antes mencionada

Procesamiento del modelo digital de elevación DEM

La siguiente es la visualización del modelo digital de elevación en la interfaz de Arc catalogo este DEM pertenece a la zona norte de Colombia, luego de verificar el tamaño del pixel número de bandas y radiometría para verificar que este cumpliera con toda la información que se requería se procedió a su procesamiento digital mediante la extensión ARCTOLBOX de Arc Gis

Usando un polígono de los límites de la cuenca del río algodónal sobre el modelo digital de elevación del departamento de norte de Santander para extraer únicamente el modelo digital de elevación del área oficial de la cuenca del algodónal. Este Geoproceso se llevó a cabo teniendo como referencia espacial el sistema de referencia geográfico MAGNA, pero luego se procedería a re proyectar el DEM resultante de este proceso a un sistema de referencia proyectado

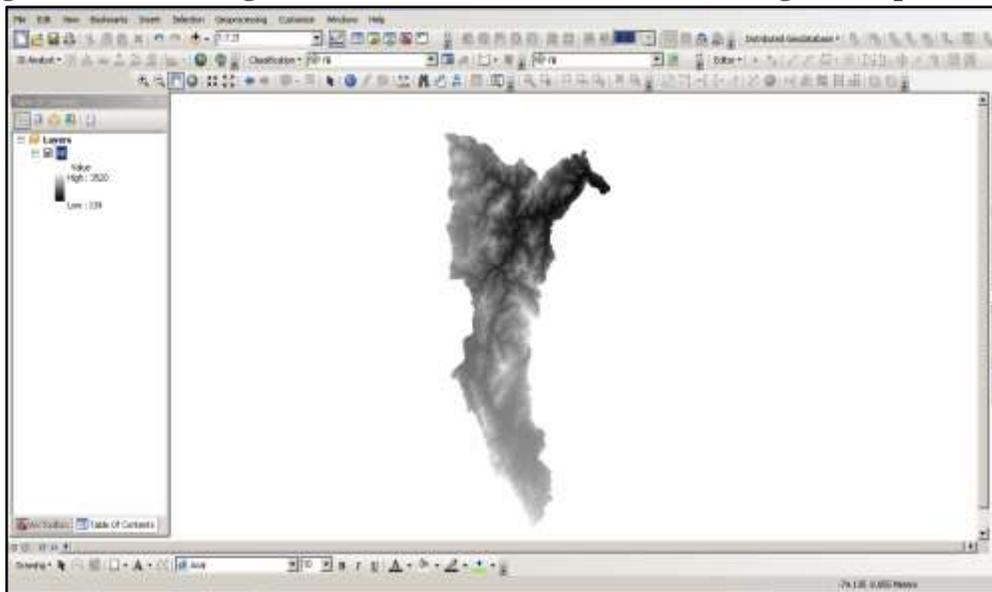
Figura 8. Geoprocesamiento de Ráster y archivo vectorial para obtener el DEM de la cuenca del rio algodonal



Fuente: Autores Trabajo de grado

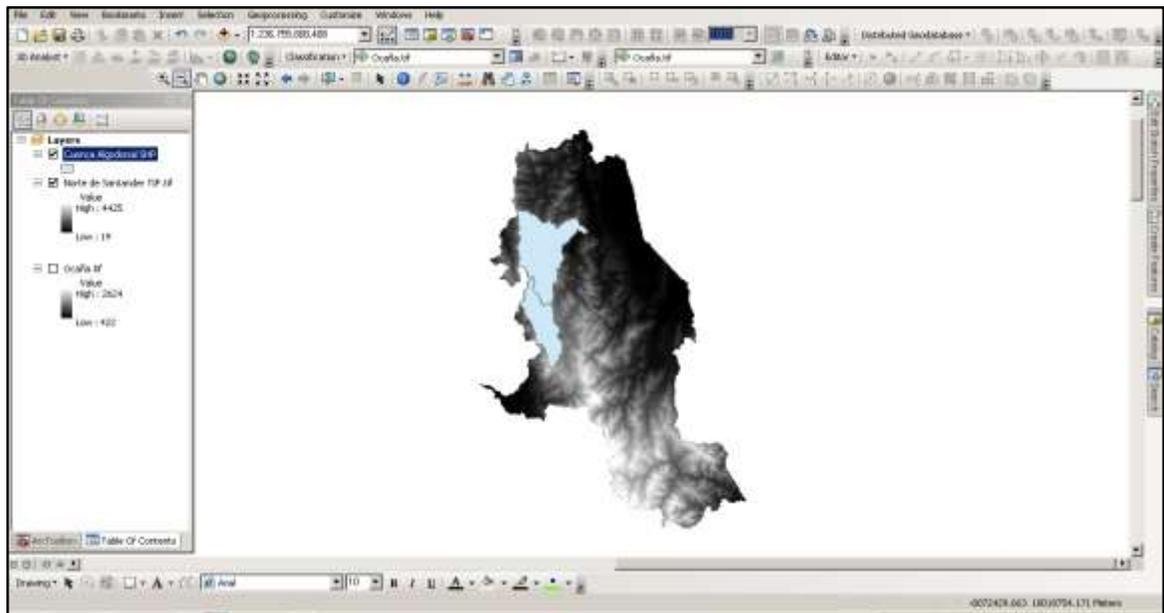
Como resultado de este Geoproceso se obtiene el modelo digital de elevación de la cuenca, este archivo Ráster contiene información de elevación, hidrografía y será a partir de este que se delimitara el área de estudio

Figura 9. Modelo digital de elevación de la cuenca del rio algodonal parte alta



Fuente: Autores Trabajo de grado

Figura 10. Modelo digital de elevación de la cuenca del rio algodonal parte alta ubicada en el mapa del departamento de norte de Santander

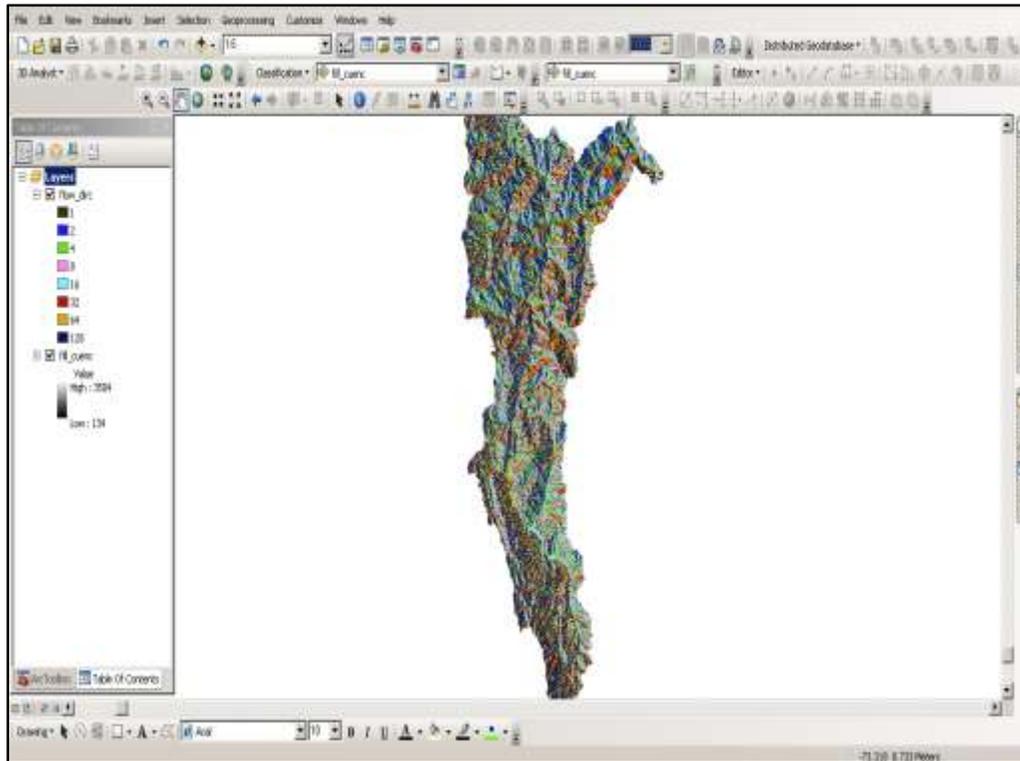


Fuente: Fuente: Autores Trabajo de grado

El modelo digital de elevación de la cuenca del rio algodonal muestra que la altura mínima de esta cuenca es de 134mtrs y máxima 3520mtrs a este DEM debe ser sometido a un proceso de corrección de sumideros por donde puede escapar agua de la red Hidrica y por lo tanto afectar nuestro proceso de modelación hidrológica, posterior a este proceso se realiza uno denominado flow accumulation este proceso es el que nos permite visualizar la distribución de la red de drenaje existentes en la zona, las celdas que presentan mayores valores de acumulación son las que definen dicha red de drenajes a partir de este Geoproceso no solo podemos delimitar esta red si no que posteriormente generamos un mapa de flujos acumulados.

Flow Direction: Para este proceso de cálculo de la dirección de flujo de cada una de las celdas del DEM. La capa resultante indica en forma numérica la dirección hacia donde fluiría el agua.

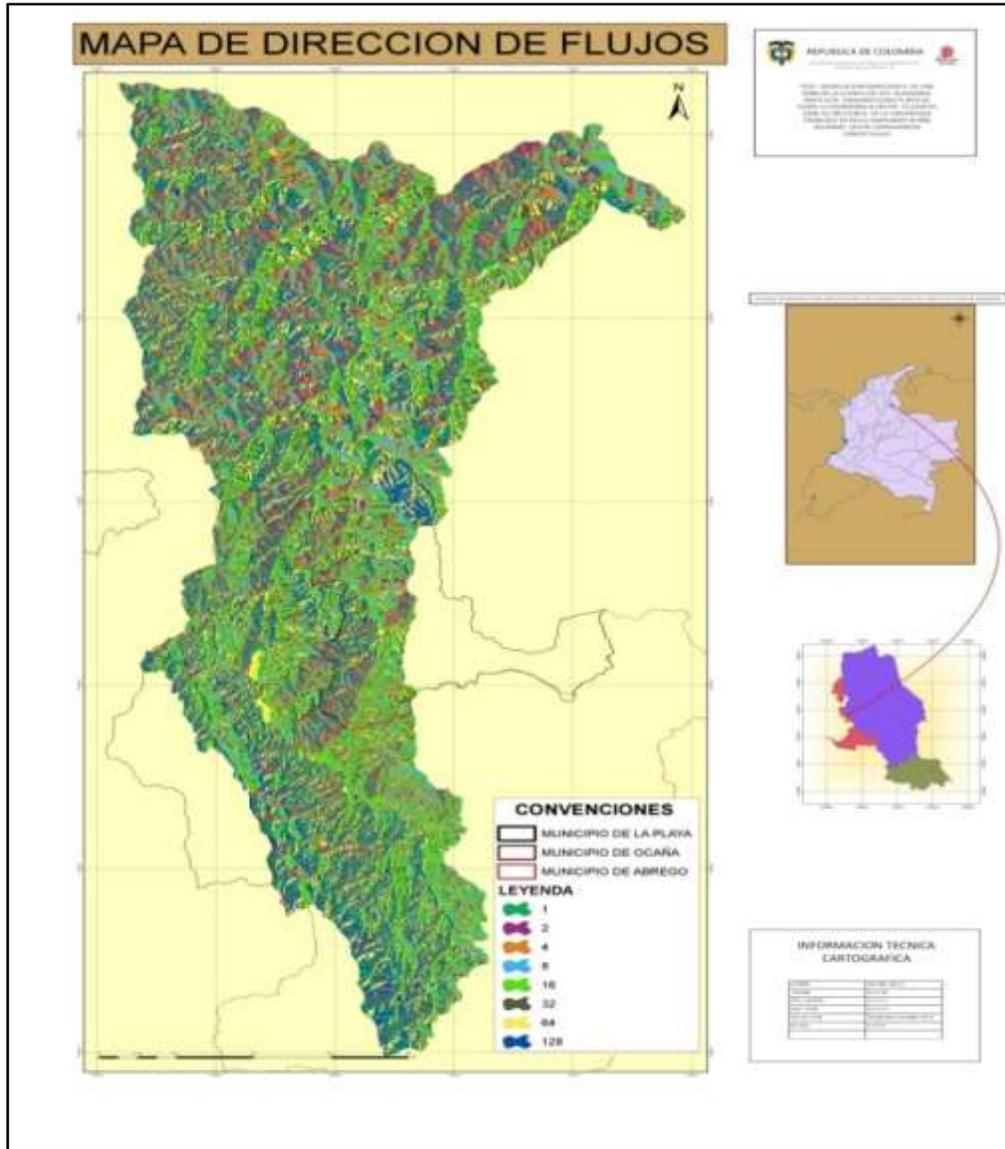
Figura 11. Resultado final del proceso flow direction



Fuente: Autores Trabajo de grado

Con esta herramienta se realiza lo que se denomina un mapa de dirección de flujo de la cuenca del río algodonal el cual sirve para estimar donde fluye el agua en qué dirección teniendo en cuenta la inclinación o pendiente del terreno.

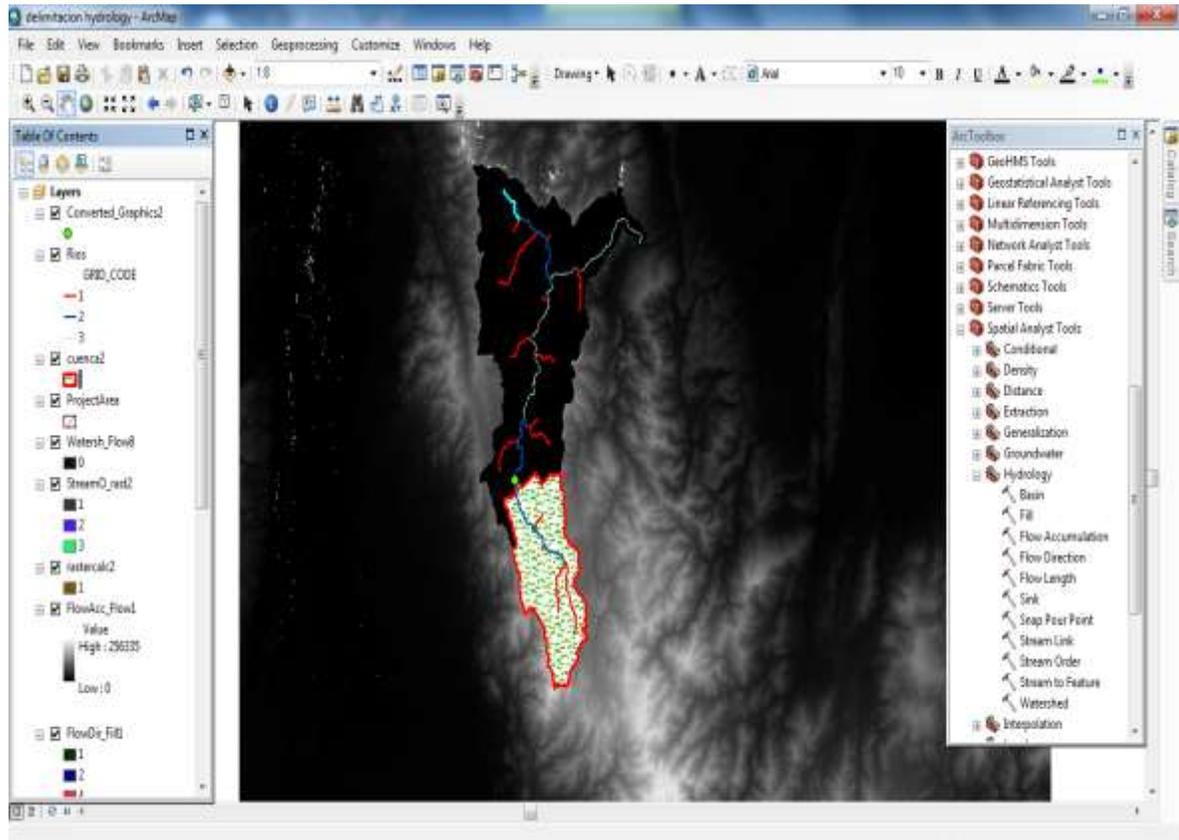
Figura 12. Mapa de direcciones de flujo



Fuente: Autores Trabajo de grado

Luego de haber ejecutado las pestañas correspondientes para hacer la caracterización, obtenemos como resultado final la delimitación geométrica de la parte de la cuenca del río algodonal en estudio, como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Delimitación de la cuenca con el modelo Hydrology



Fuente: Autores Trabajo de grado

A continuación indicamos los principales parámetros geométricos obtenidos de la delimitación de la cuenca.

Tabla 7. Principales parámetros morfométricos de la delimitación obtenida por el modelo Hydrology

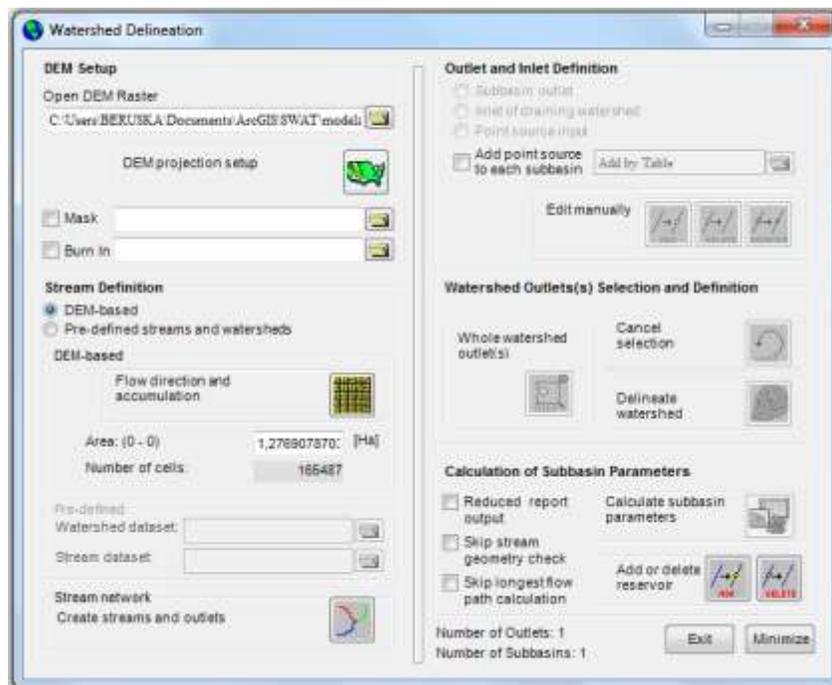
PARAMETRO	MAGNITUD
AREA (ha)	55.943,57964
PERIMETRO (Km)	134,03835
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Km)	36,4853

Fuente: Autores Trabajo de grado

5.3.2 Caracterización de la cuenca con la herramienta SWAT

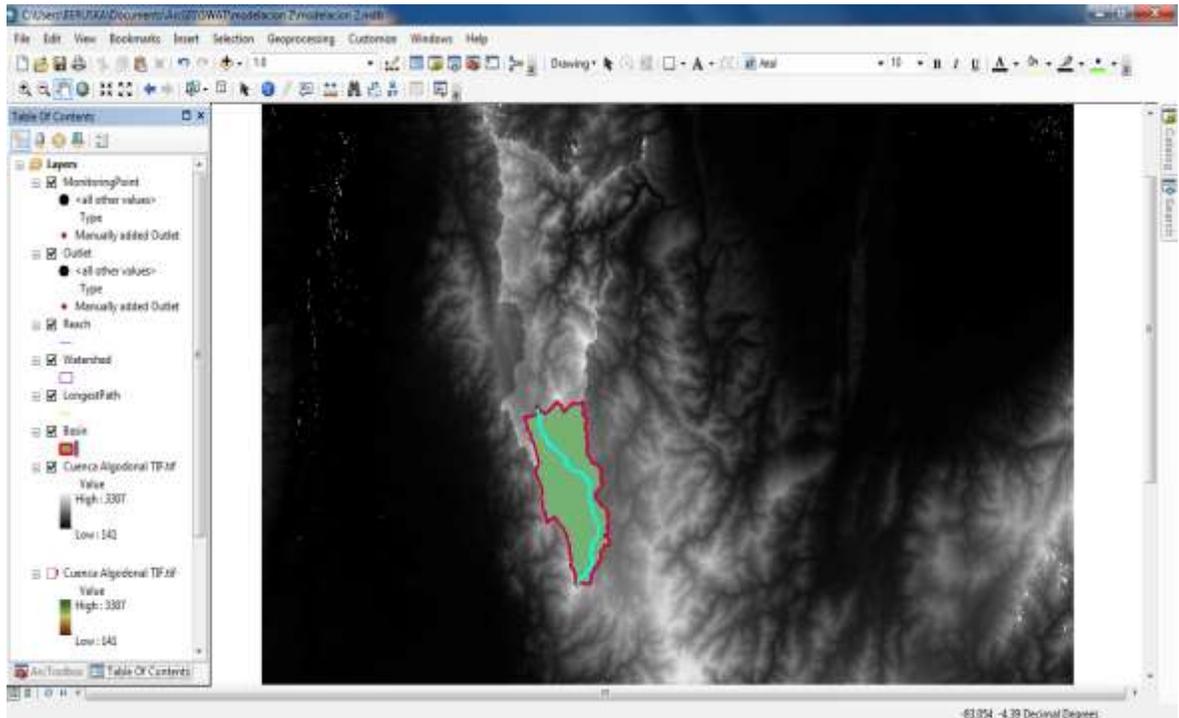
Para realizar una delimitación geométrica de cuenca hidrográfica utilizando el modelo SWAT, instalamos y activamos la extensión ArcSWAT en el software ArcGIS. Luego cliqueamos la pestaña “Watershed Delineator” y “Automatic Watershed Delineation” lo cual nos abrirá una ventana donde se insertan los datos que el modelo requiere para hacer el respectivo proceso, como se muestra en la figura 14.

Figura 14. Cuadro de dialogo “Watershed Delineator” de la extensión ArcSWAT



Luego de insertar los parámetros que requiere la ventana de delimitación de cuencas de la extensión ArcSWAT, cliqueamos la opción “Deliniate Watershed”, la cual nos delimitara la cuenca que establecimos con punto de cierre la ubicación geográfica del predio de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en la figura 15. Para finalizar el proceso de delimitación de cuenca, luego de haber llenado y ejecutado los parámetros que requiere el modelo, se cliquee la opción “Calculate Subbasin Parameters”, la cual nos calcula los parámetros finales de la cuenca, generando un reporte de la delimitación (Watershed Reports).

Figura 15. Delimitación de la cuenca con la extensión SWAT (Arc Map)



Fuente: Autores Trabajo de grado

A continuación indicamos los principales parámetros de morfometría obtenidos después de la delimitación de la zona de estudio en la cuenca del río algodonal parte alta

Tabla 8. Principales parámetros morfométricos de la delimitación obtenida por el modelo SWAT

PARAMETRO	MAGNITUD
AREA (ha)	54.959.0243
PERIMETRO (Km)	131.4152
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Km)	57,4959

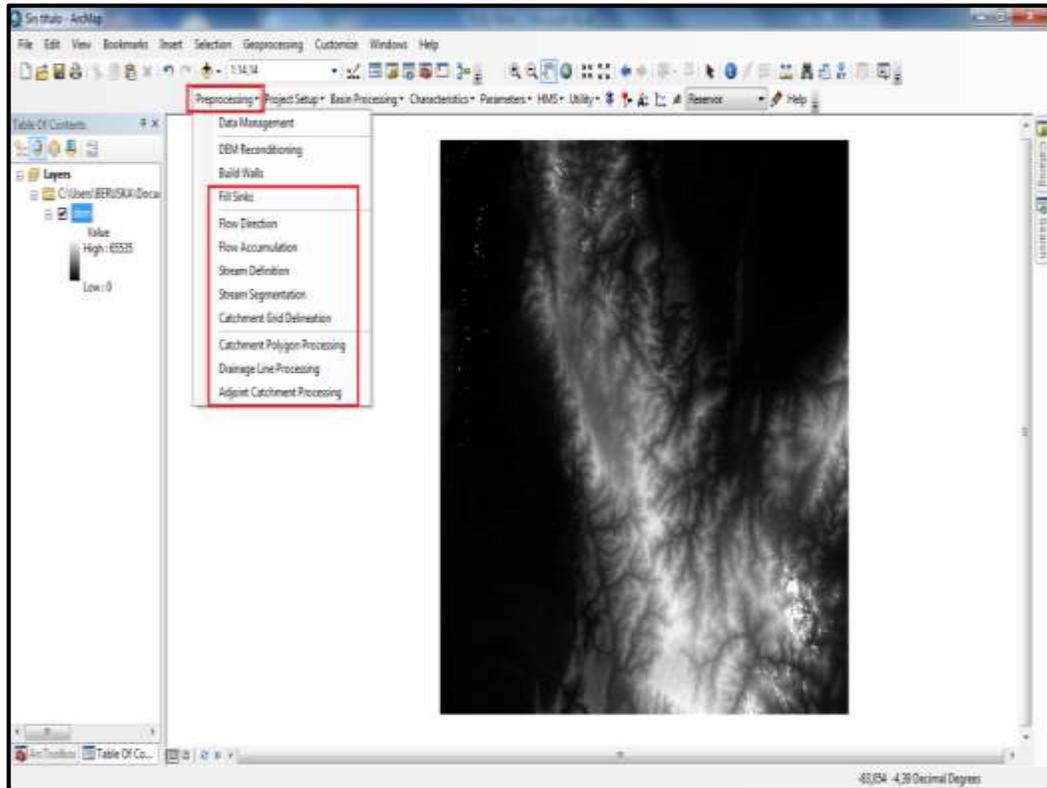
Fuente: Autores Trabajo de grado

5.3.3 Caracterización de la cuenca con la herramienta HEC-GeoHMS

Para realizar una delimitación geométrica de una cuenca utilizando el modelo HEC-GeoHMS, instalamos y activamos la extensión HEC-GeoHMS en el software ArcGIS.

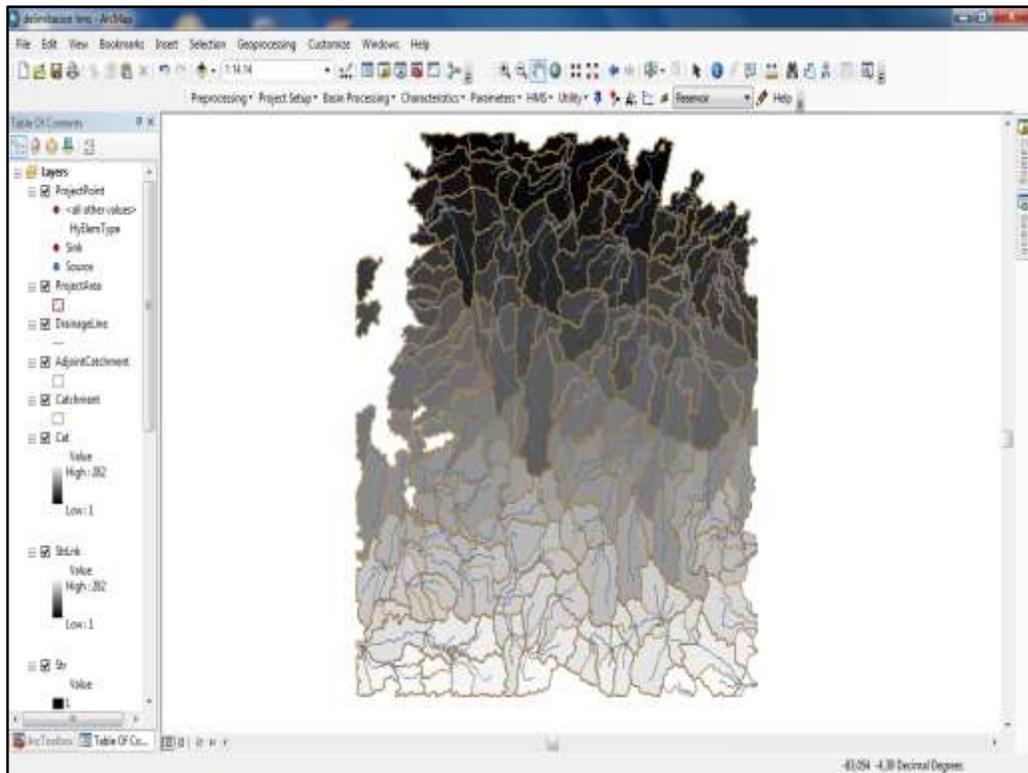
Luego cargamos el DEM a la plataforma y procedemos a realizar un preprocesamiento del terreno desplegando la opción “Preprocessing”, donde a continuación, se ejecutan las pestañas correspondientes en su respectivo orden como se ilustra en la figura 16 y obteniendo como resultado final múltiples polígonos que conforman subcuencas y sus respectivas líneas de drenaje como se muestra en la figura 17.

Figura 16. Pre procesamiento HEC-GeoHMS



Fuente: Autores Trabajo de grado

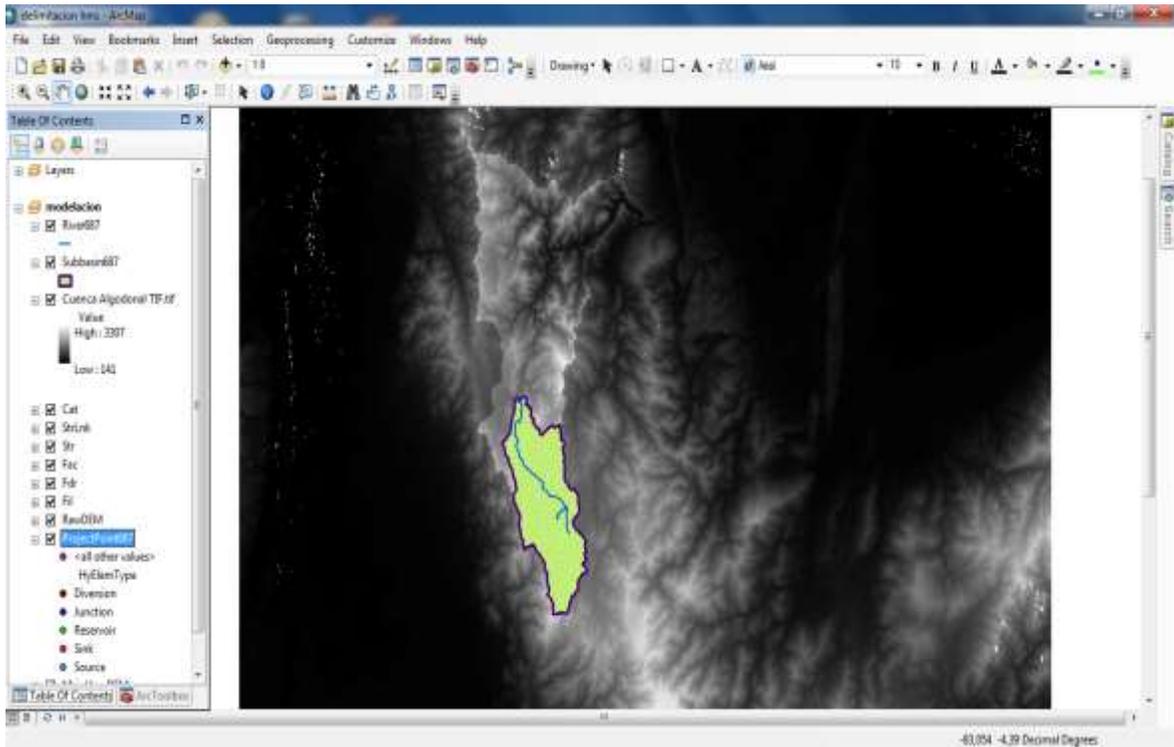
Figura 17. Resultado final del Pre procesamiento (subcuencas y drenajes)



Fuente: Autores Trabajo de grado

Después de haber realizado el preprocesamiento del terreno, se procede a ubicar y marcar el punto de cierre de la cuenca con el botón “Add Project Points” y por último generamos el proyecto con las opciones “Project Setud” y “Generate Project” respectivamente, las cuales nos delimitara la cuenca que establecimos con punto de cierre la ubicación geográfica del predio de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en la figura 18.

Figura 18. Delimitación de la cuenca con el modelo HEC-GeoHMS



Fuente: Autores Trabajo de grado

A continuación indicamos los principales parámetros geométricos obtenidos de la delimitación de la cuenca.

Tabla 9. Principales parámetros morfométricos de la delimitación obtenida por el modelo HEC-GeoHMS

PARAMETRO	MAGNITUD
AREA (ha)	60.251,0764
PERIMETRO (Km)	139,0840
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Km)	39,8083

Fuente: Autores Trabajo de grado

Tabla 10. Cuadro comparativo de las diferentes delimitaciones obtenidas por los tres modelos escogidos

EXTENSION	PARAMETRO	MAGNITUD	FORMA DE LA CUNCA DELIMITADA
EXTENSION ARCSWAT	AREA (ha)	54.959,0243	
	PERIMETRO (Km)	131,4152	
	LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Km)	57,4959	
EXTENSION HEC-GeoHMS	AREA (ha)	60.251, 0764	
	PERIMETRO (Km)	139,0840	
	LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Km)	39,8083	
EXTENSION HYDROLOGY	AREA (ha)	55.943.57964	
	PERIMETRO (Km)	134.03835	
	LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Km)	36,4852	

5.3.4 Comparativo de las delimitaciones geométricas obtenidas por los diferentes modelos establecidos

El objetivo de este comparativo es escoger el software que mejor se ajuste a este proyecto, tomando como parámetros de selección: forma de la cuenca delimitada, parámetros morfométricos, magnitudes y la versatilidad en la ejecución del modelo, eligiendo la herramienta computacional que arroje los resultados más confiables para la modelación de la cuenca.

Teniendo en cuenta los criterios que se ilustraron en la tabla 10 y asesorándonos por un experto en la materia, se decidió realizar la caracterización del área de estudio y el estudio hidrológico con el software ArcGIS 10.2.1 y su extensión Hydrology, dado que este es un software robusto de soporte técnico mundial e hydrology es una herramienta muy poderosa desde el punto de vista de procesamiento de datos hidrológicos, es importante mencionar que este software es el más aceptado a nivel mundial para este tipo de estudios y el cual se complementa muy bien con otros software de agua y suelo como Hec-Ras.

Las extensiones SWAT y HEC-GeoHMS son herramientas muy buenas con una versatilidad de uso excelente que nos proporcionaron resultados muy aceptables, pero al final debíamos escoger solo uno de los tres propuestos y ese es el **HYDROLOGY**.

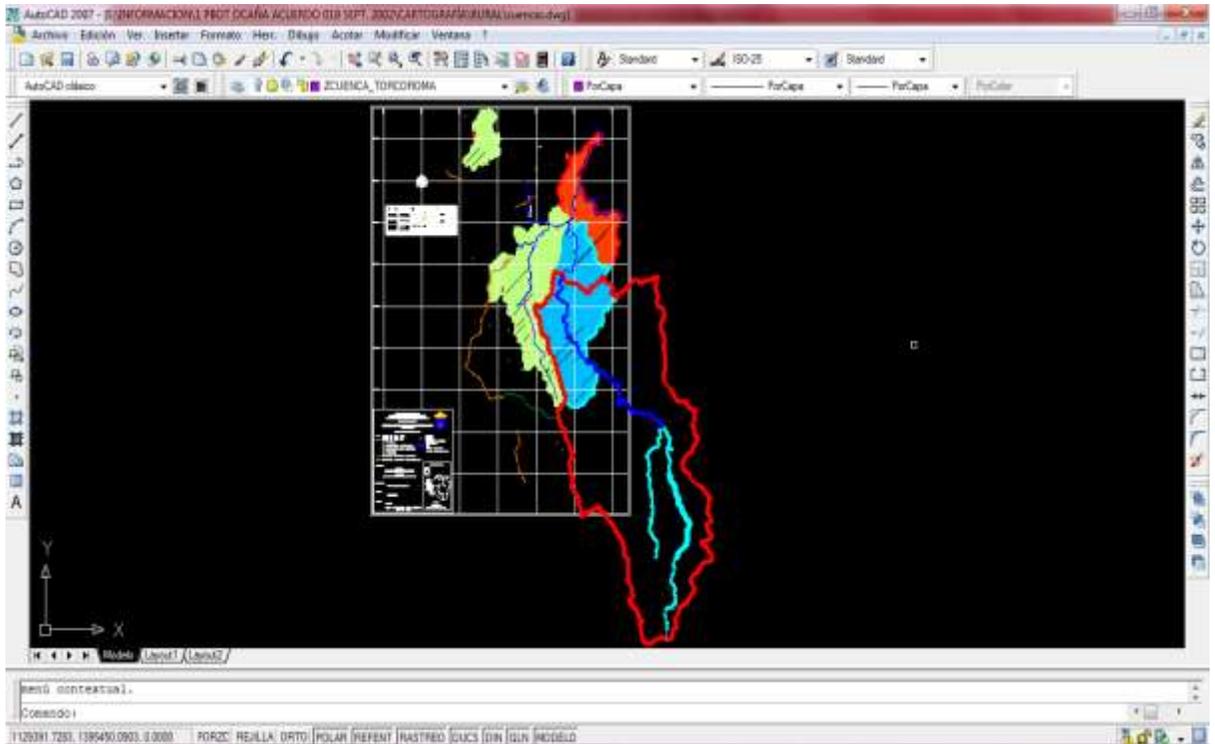
5.3.5 Validación de datos propuestos por el software hydrology con respecto a los que se obtienen analíticamente.

Para tener seguridad en que el software escogido (hydrology) es relativamente confiable, validaremos los datos usando el software AutoCAD y así demostrar que sus mediciones son certeras.

Tomamos un plano del PBOT que nos proporcionó la oficina de planeación de Ocaña, donde se encuentra en formato DWG las cuencas que limitan el municipio. Luego convertimos los shape de la delimitación de cuenca obtenida por el Hydrology en formato DWG con la herramienta ArcToolbox, luego Conversion Tools seguido de To CAD y por ultimo Export to CAD.

Teniendo esto, seguimos a superponer las diferentes capas en el programa AutoCAD y así verificar que la delimitación obtenida por el software coincida con los datos oficiales que tiene el PBOT

Figura 19. Superposición del mapa de cuencas del PBOT de Ocaña y la delimitación obtenida por software Hydrology en el programa AutoCAD.



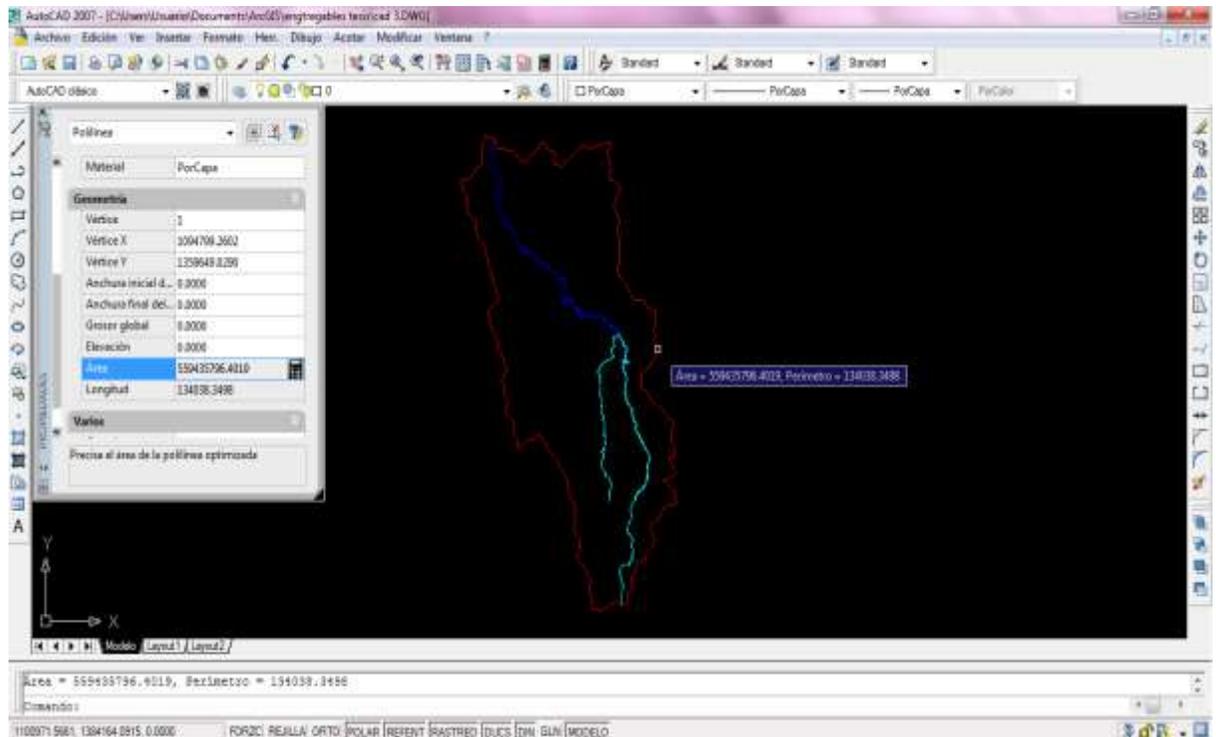
Fuente: Autores Trabajo de grado

Como podemos observar en la figura 19, la capa de color AZUL corresponde a la cuenca del río Algodonal que pertenece al municipio de Ocaña, la zona VERDE corresponde a la cuenca del río Tejo y la zona ROJA a la cuenca del río Catatumbo; donde se aprecia que la superposición de las capas coincide, es decir que la delimitación de la cuenca con la extensión Hydrology del software ArcGIS es correcta.

• Perímetro y área:

El perímetro y área se ha hallado después de que la imagen se haya colocado en el programa AutoCAD

Figura 20. Estimación del área y perímetro de la cuenca en estudio mediante el programa AutoCAD.



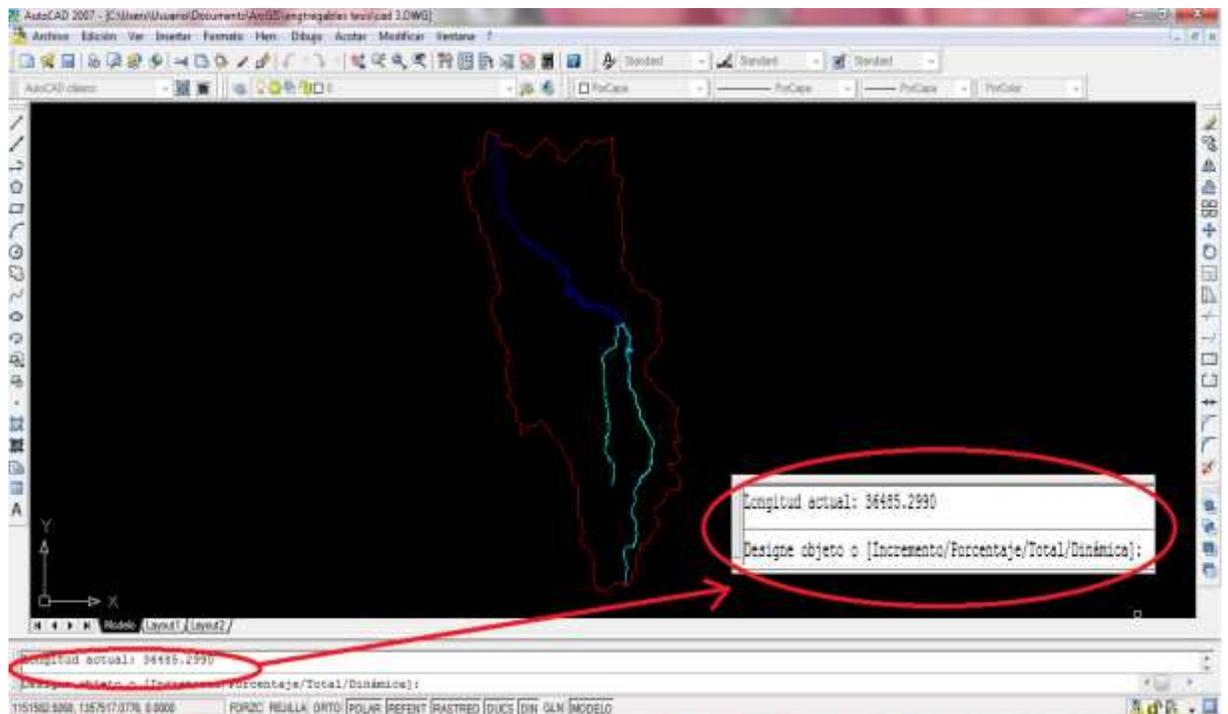
Fuente: Autores Trabajo de grado

Como se puede mostrar, el área y el perímetro es el valor de la delimitación de la cuenca mostrada. Sabemos que el área y el perímetro dado por AutoCAD, está dado en metros cuadrados y metros respectivamente, es decir que realizando la conversión el área en kilómetros cuadrados es igual a 5594,3580 (Km²) y el perímetro en kilómetros sería igual a 134,0383 (km).

- **Longitud del cauce principal:**

Como ya se explicó en la figura anterior, la distancia de la longitud se ha dado en el programa AutoCAD

Figura 21. Estimación de la longitud del cauce principal de la cuenca en estudio mediante en el programa AutoCAD



Fuente: Autores Trabajo de grado

Como se puede apreciar, la línea de color AZUL OSCURO representa el cauce principal. Como ya sabemos que el programa AutoCAD nos da el valor en metros, realizando la conversión de la longitud a kilómetros sería igual a 36,4863 (km).

A continuación, procedemos a comparar los datos obtenidos por la extensión Hydrology y el programa AutoCAD de los parámetros área, perímetro y longitud del cauce principal de la cuenca en estudio (tabla 11) donde comprobaremos su exactitud.

Tabla 11. Cuadro comparativo de principales parámetros morfométricos de la cuenca en estudio, proporcionados por el programa AutoCAD y la extensión hydrology.

PARAMETRO	AUTOCAD	HYDROLOGY
AREA (Km2)	5594,3580	5594,3580
PERIMETRO (Km)	134,0383	134,03835
LONG. DEL CAUCE PRINCIPAL (Km)	36,4863	36,4852

Fuente: Autores Trabajo de grado

Según las ecuaciones encontradas en el libro de hidrología para ingenieros de LINSLEY, tenemos lo siguiente:

- **Coefficiente de capacidad o índice de Gravelius (Kc):**

$$Kc = 0,28 \frac{p}{\sqrt{A}}$$

$$Kc = 0,28 \frac{134,0383}{\sqrt{5594,3580}}$$

$$Kc = 0,5018$$

- **Índice de conformación (factor de forma):**

$$Ff = \frac{A}{L^2}$$

$$Ff = \frac{5594,3580}{36,4852^2}$$

$$Ff = 4,203$$

- **Densidad de drenaje:**

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

$$Dd = \frac{36,4852}{5594,3580}$$

$$Dd = 0,0065$$

5.4 ESTUDIO HIDROLÓGICO Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO CON LA HERRAMIENTA HYDROLOGY DE ARCGIS 10.2

El estudio hidrológico es el mecanismo a través del cual se realiza, de la mejor manera posible, una estimación confiable de los caudales máximos diarios que circulan por un cauce natural. Esta información es de vital importancia, puesto que un error en los caudales implica un error en el estudio hidráulico, mediante el cual se estiman los niveles de inundación para los caudales dados de acuerdo con los periodos de retorno previamente establecidos.

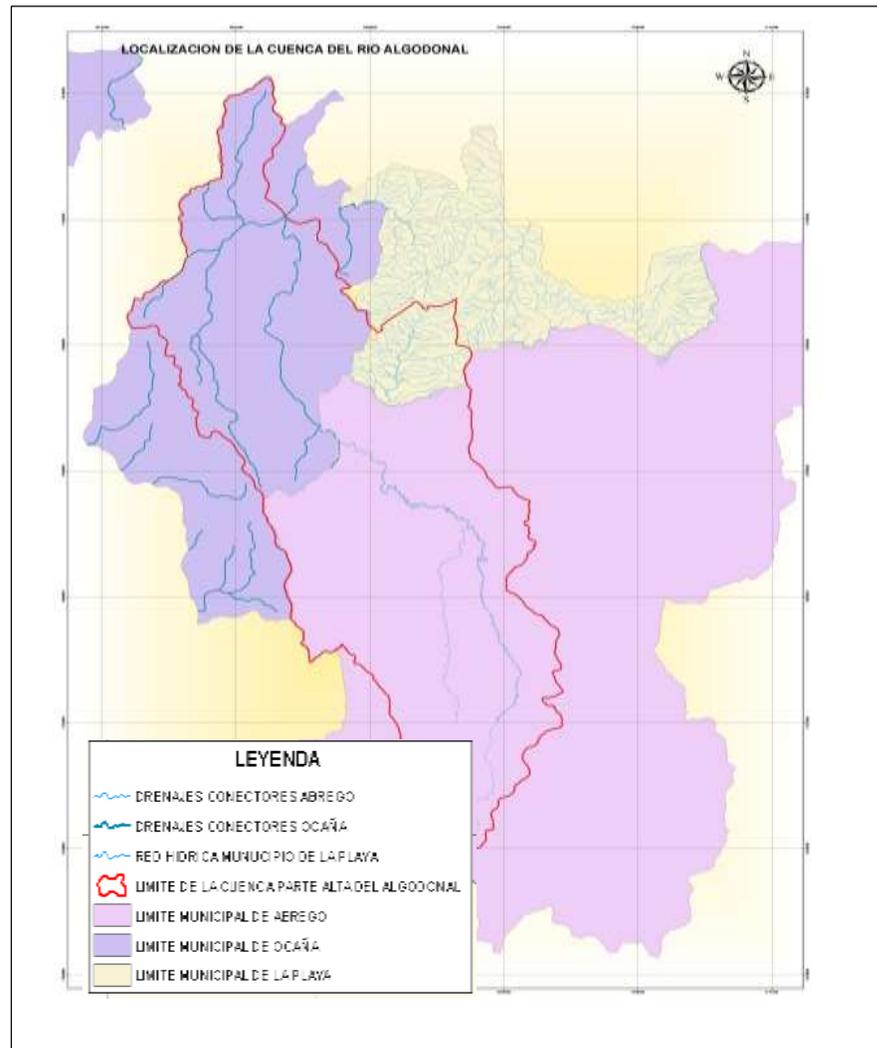
Para la realización del estudio hidrológico, fue necesario recopilar la información disponible para la zona. Luego, se buscó la mejor metodología para la estimación de caudales máximos, de acuerdo con la información y objetivo del proyecto. Desde este punto de vista se analizaron diversas metodologías, se evaluaron y se compararon entre sí.

5.4.1 Descripción de la zona de estudio. La zona o área de estudio de escogido para el desarrollo de esta tesis de grado se encuentra dentro del área de la cuenca del río algodonal parte por esta razón se realiza a continuación una descripción de la zona de la cuenca hidrográfica para luego proceder con la zona de estudio que nos ocupa en el objeto de este estudio

5.4.2 La cuenca del río algodonal parte alta

5.4.2.1 Localización. La cuenca del Río Algodonal parte alta se encuentra localizada como se observa en la figura 22 al occidente del departamento de Norte de Santander. Al norte limita con las cuencas de los Ríos Catatumbo y Río de Oro (departamento del Cesar), al sur y occidente limita con la cuenca del Río Lebrija Regidor, la cuenca del Río de Oro y la del Río San Alberto, estas dos últimas en el área de jurisdicción del departamento del Cesar, al oriente limita con la cuenca del Río Tarra.²²

Figura 22. Mapa de la Cuenca del río algodonal



Fuente: Autores Trabajo de grado

²² (Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental CORPONOR. Subdirección de Recursos Naturales, Grupo Técnico POMCH 2010, s.f.). (PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ALGODONAL). [citado 21 oct., 2015]

La cuenca del Río Algodonal está ubicada en las coordenadas que se relacionan en la tabla 12.

Tabla 12. Coordenadas de la cuenca del Río Algodonal.

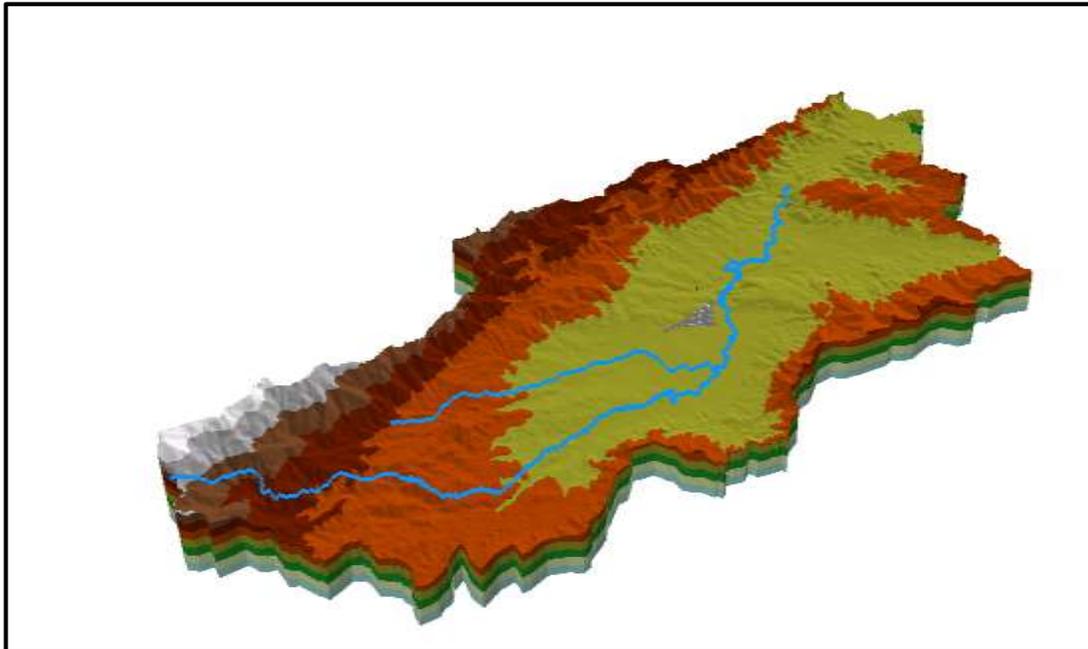
Delimitación	Planas		Geográficas	
	X	Y	Latitud	Longitud
Norte	1083090	1421230	08° 24'26'',10563	76° 19'35'',41165
Sur	1094355	1359565	07° 50'58'',35814	73° 13'31'',48436
Este	1073670	1402000	08° 14'00'',76747	73° 24'44'',36086
Oeste	1102965	1372465	07° 57'57'',60893	73° 08'49'',52800

Fuente: grupo diagnostico POMCHRA, Río Algodonal 2006.

5.4.2.2 Extensión. El área total de la cuenca es de 73606,423 hectáreas (has), correspondiente al 0,34 % del territorio del departamento Norte de Santander; y un perímetro aproximado de 178874421 km presenta una forma geométrica elongada, Se encuentra entre los 950 metros en la confluencia Ríos Tejo y Algodonal, y los 3.680 metros en el extremo sur de la cuenca en el sector denominado Páramo de Jurisdicciones.

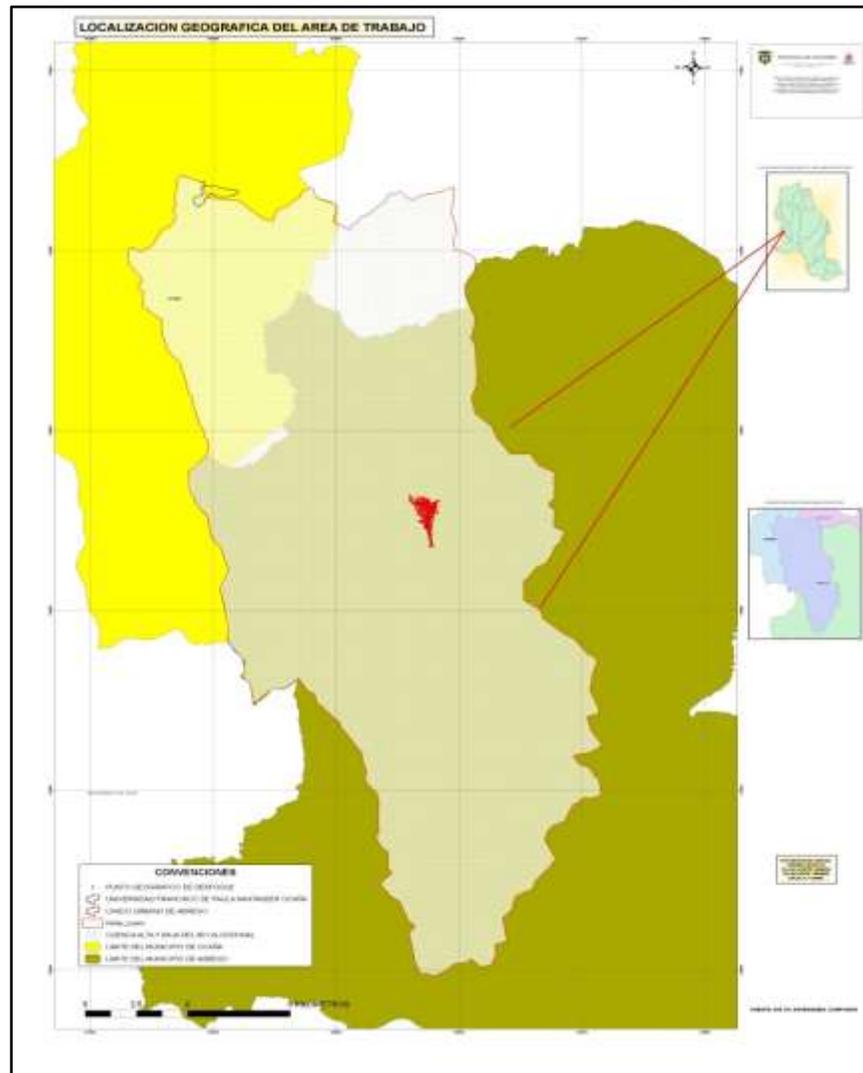
5.4.2.3 Delimitación. El área de la cuenca del Río Algodonal está delimitada por las divisorias de aguas y por el límite departamental en algunos sectores del occidente, correspondientes a los límites de los municipios de Ábrego, Ocaña y La Playa

Figura 23. Modelo digital de terreno y drenajes principales de la zona de estudio en 3D



Fuente: Autores Trabajo de grado

Figura 24. Mapa de localización geográfica del área de trabajo

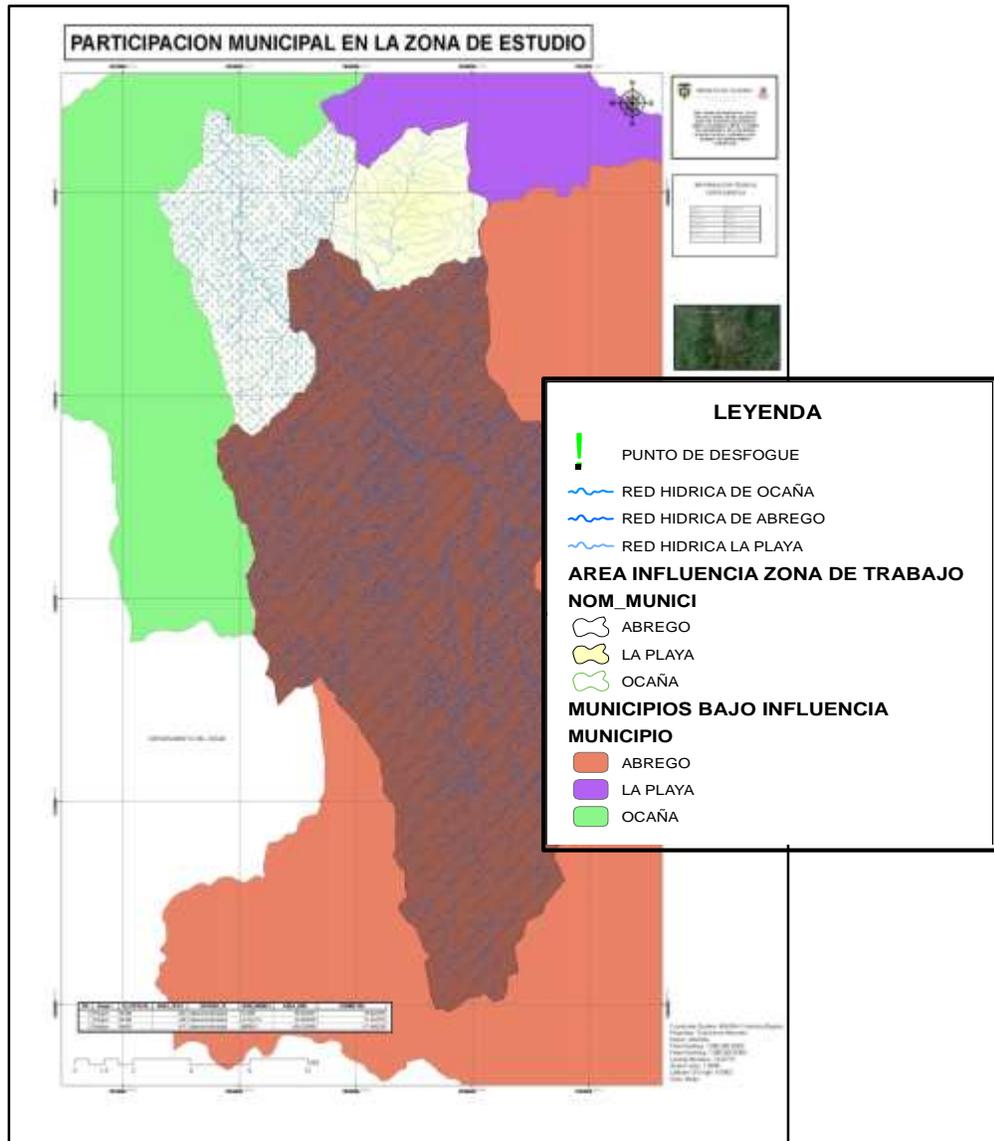


Fuente: Autores Trabajo de grado

5.4.2.4 La división político administrativa. En el área de estudio dentro de la cuenca se identificó la influencia de tres municipios de la Provincia de Ocaña: Ábrego, Ocaña y La Playa de Belén, todos incluidos parcialmente. En la siguiente salida grafica se muestra la participación de cada municipio dentro del área de trabajo en la cuenca y el porcentaje de la cuenca correspondiente a la jurisdicción de cada municipio.

La mayor participación del área de estudio de estos tres municipios pertenece al municipio de Abrego con un total de 426,22km² seguido por el municipio de Ocaña con un área de 88,29km² y por último el municipio de la playa con un área de 44,90km²

Figura 25. Mapa de participación municipal en la zona de estudio



Fuente: Autores Trabajo de grado

Tabla 13. Distribución porcentual por municipio de la zona en estudio.

FID	Shape *	ID_ESPACIA	AREA_OFICI	ENTIDAD_TE	NOM_MUNICI	AREA_KM2	PERIMETRO
0	Polygon	54498	463	Cabecera Municipal	OCAÑA	88.292557	70.924337
1	Polygon	54398	248	Cabecera Municipal	LA PLAYA	44.904829	31.424751
2	Polygon	54003	917	Cabecera Municipal	ABREGO	426.225985	117.495235

Fuente: Autores Trabajo de grado

5.4.3 Caracterización (morfología del área de estudio en la cuenca del río algodonal.)

Como ya mencionamos anteriormente la primera fase del estudio hidrológico que se realiza a una cuenca hidrográfica o a un área dentro de esta es la determinar su morfología, la morfología de la cuenca queda definida por tres tipos de parámetros:

- ✓ Forma
- ✓ Relieve
- ✓ Parámetros relativos a la red hidrológica

5.4.3.1 Forma del área de estudio

La forma del área de estudio seleccionada influye sobre los escurrimientos y sobre la marcha del histograma resultante de una precipitación dada, dentro de estos parámetros de forma tenemos:

- ✓ Perímetro de la cuenca: este hace referencia a la longitud del límite exterior de la cuenca o del área de estudio y depende de la superficie y forma de esta
- ✓ Área: este es quizás el parámetro más importante en cuanto morfometría siendo este el determinante de la escala de varios fenómenos hidrológicos; tales como el volumen del agua que recibe la zona gracias a la precipitación, caudales etc.
- ✓ Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad: este es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el del área de estudio o de la cuenca

El área de estudio presenta las siguientes características morfométricas en cuanto a área de drenaje y perímetro estos datos podrían calificar el área como una cuenca hidrográfica, la cual no se encuentra ordenada por CORPONOR y la cual hace parte de la cuenca del río

algodonales parte alta, su cauce principal es el algodonales pero el de mayor extensión es el río Oroque.

Como autores del trabajo de investigación y como parte de nuestro trabajo en campo realizamos visitas a diferentes zonas del área geográfica de estudio con el fin de conseguir información geoespacial de forma directa y de avalar la información que se obtenía de la información cartográfica base

Salida a campo para la captura de datos y metadatos por parte del equipo de estudiantes autores de la tesis de grado

Foto 1.



Foto 2.



Foto 3.



Foto 4.



Salida de campo al cerro pan de azúcar complejo lagunar en el cual surgen los ríos río frío y río Oroque los cuales se unen aguas abajo en la cuenca y dan origen al río algodonales, fotografía del tipo de suelo predominante en la zona de pan de azúcar donde se aprecian los procesos de solifluxión en grado severo

Tabla 14. Datos morfométricos principales de la cuenca

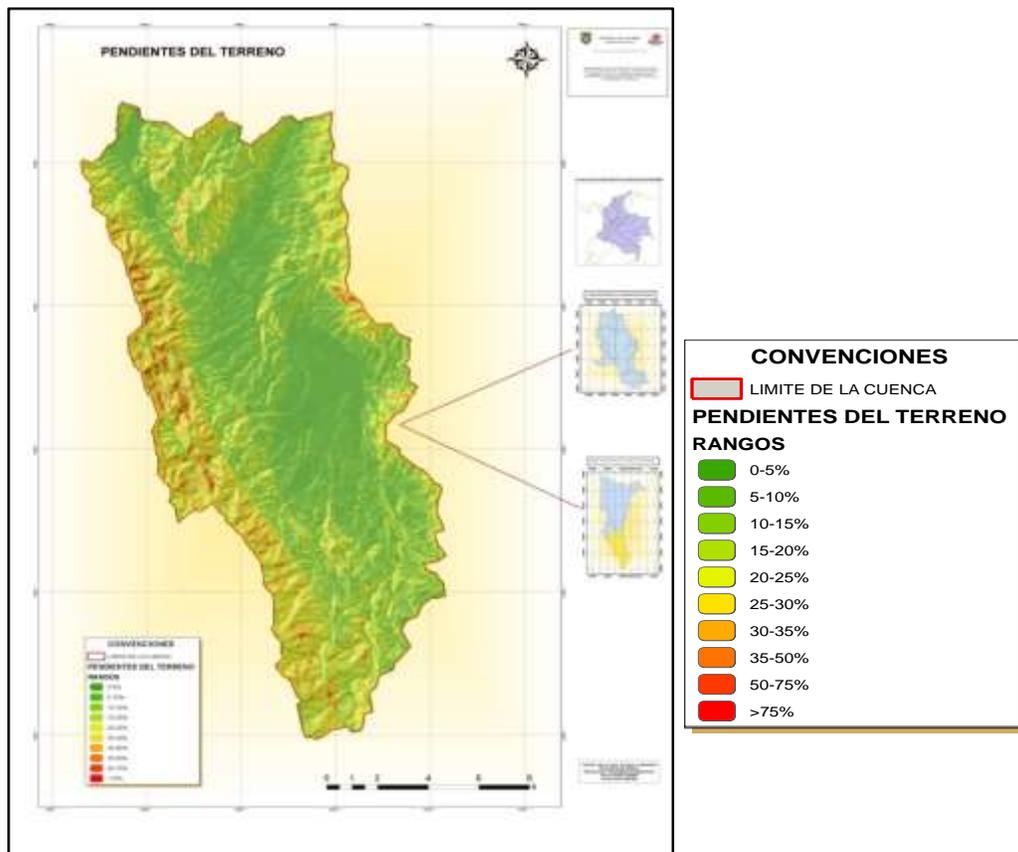
PARAMETRO	UNIDAD	MAGNITUD
AREA	Km2	5.594,3580
PERIMETRO	Km	134,03835
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	Km	36,4852
INDICE DE GRAVELIUS		0,5018
FACTOR DE FORMA		4,203
DENSIDAD DE DRENAJE		0,0065

Fuente: Autores Trabajo de grado

5.4.3.2 Pendientes complejas del área de estudio

La salida grafica la cual es procesada a partir de un DEM de 30mtrs de resolución del área de estudio dentro de la cuenca del rio algodonal parte alta y luego de su posterior reclasificación basado en la metodología IGAC para la obtención de pendientes complejas se determinaron rangos de pendientes desde los 0-5% hasta >75%

Figura 27. Mapa de pendientes del terreno del área en estudio

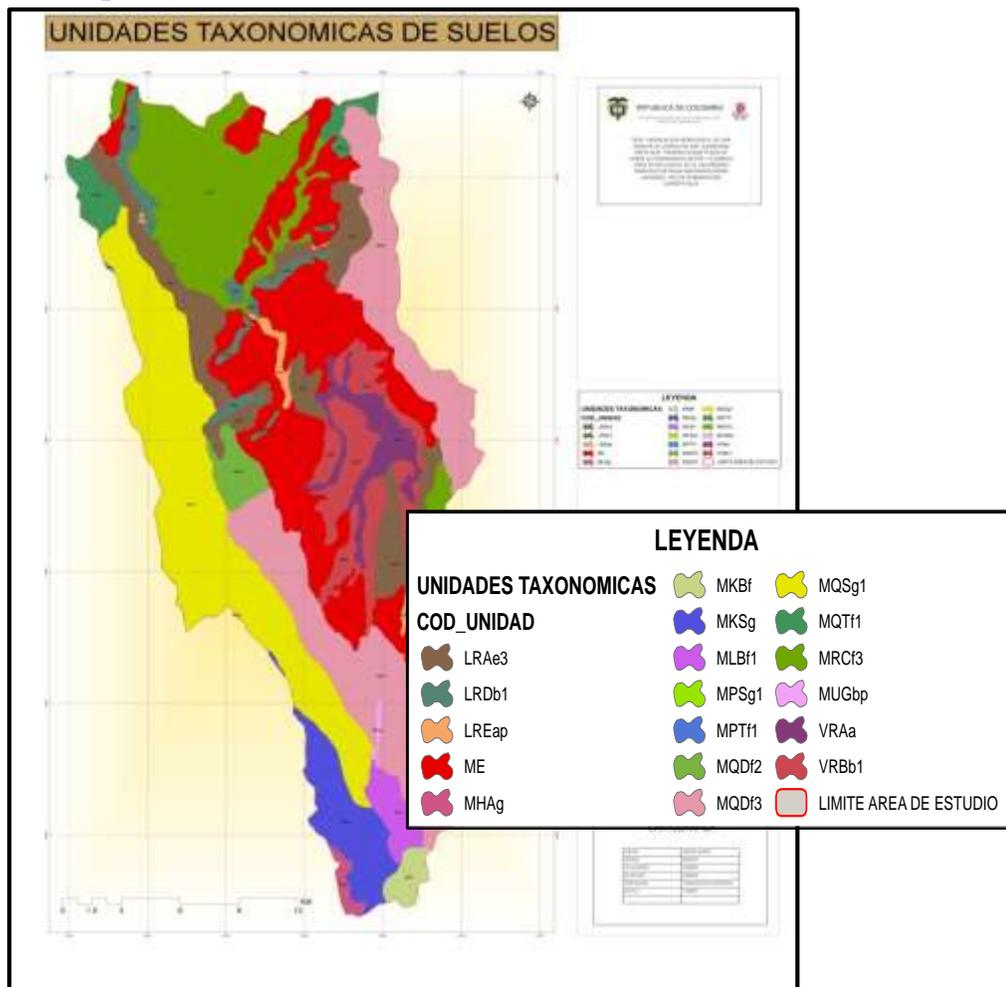


Fuente: Autores Trabajo de grado

Las pendientes complejas entre el 0-3 % son denominadas a nivel o casi a nivel Del 3-8% son pendientes onduladas o suavemente onduladas, aquellas de 8-16 % son pendientes quebradas o suavemente quebradas 16-30 pendientes onduladas, del 30 al 65 % son escarpadas y las mayores a 65% muy escarpadas.

5.4.3.3 Unidades de suelos. Basados en los estudios de suelos de norte de Santander, realizado por el IGAS en el año 2010 realizamos la temática de unidades taxonómicas de suelos con el fin de establecer las características de los suelos enmarcados en la frontera geográfica del área de estudio.

Figura 28. Mapa de unidades taxonómicas de suelos del área en estudio



Fuente: Autores Trabajo de grado

Tabla 15. Tabla de unidades taxonómicas, textura y áreas de la zona de estudio

TABLA DE UNIDADES TAXONOMICAS, TEXTURA Y AREAS EN Ha				
FID	Shape *	COD_UNIDAD	TEXTUR_	AREA
0	Polygon	LRAe3	FA	5096.612351
1	Polygon	LRDb1	FArL - FAr	1342.62967
2	Polygon	LREap	F - A	326.131077
3	Polygon	ME	FGr - Ar	12970.312609
4	Polygon	MHAg	F - FAr	244.870334
5	Polygon	MKBf	FA	474.111792
6	Polygon	MKSg	AF	2136.33544
7	Polygon	MLBf1	FA - F	816.508183
8	Polygon	MPSg1	FArA - FAr	3.396296
9	Polygon	MPTf1	F - FAr	6.550374
10	Polygon	MQDf2	FGr - FArGr	1033.089382
11	Polygon	MQDf3	FAGr	9944.770485
12	Polygon	MQSg1	FA	8932.631793
13	Polygon	MQTf1	FAr - FGr	997.966473
14	Polygon	MRCf3	FArAGr	6588.542465
15	Polygon	MUGbp	FArA - Ar	160.915935
16	Polygon	VRAa	F	1464.846801
17	Polygon	VRBb1	FArA - Ar	3398.85652

Fuente: Autores Trabajo de grado

Las características de los suelos influyen sobre el comportamiento de drenaje de un área específica y sobre el desarrollo normal del ciclo del agua en una cuenca hidrográfica, posterior a establecer las unidades taxonómicas se elaboró el mapa de clases agrologicas presentes en el área de estudio.

5.4.3.4 Consolidación de bases de datos climáticas

Se realizó el trabajo con series históricas de 10 años de las variables: humedad relativa, precipitación, temperatura, en la verificación de la coherencia estadística y física de los datos se realizó la revisión de la secuencia lógica y la coherencia espacial y temporal de la serie de datos, los datos extraños fueron confrontados con el registro de estaciones vecinas y con la ocurrencia de fenómenos climáticos de gran escala tipo niño o niña.

Se utilizaron planos de correlación –distancia para agrupar las estaciones con patrones similares de estacionalidad y volúmenes de lluvia en cada agrupación o clúster se llevó a cabo el test (SNHT), el cual se usa para detectar heterogeneidades en series para las series de temperatura se usó la técnica de dobles masas, las series que presentaron heterogeneidad fueron rechazadas de las bases de datos.

5.4.3.4.1 Precipitación media anual en la zona de trabajo

El área de estudio en la cuenca del río Algodonal parte alta está ubicada en el segundo sector de tres con los que cuenta el departamento, es denominado el sector central de la cuenca alta del Catatumbo, este sector incluye a los municipios de Ocaña, la Playa, norte de Abrego.

Para elaborar la temática de precipitación en nuestra zona de interés se procedió de la siguiente manera

1. Se gestionaron los datos de las estaciones climatológicas ubicadas en los siguientes lugares: aeropuerto de Aguas Claras, Bocatoma Río Frio, la Playa, Abrego centro poblado, Vereda La María

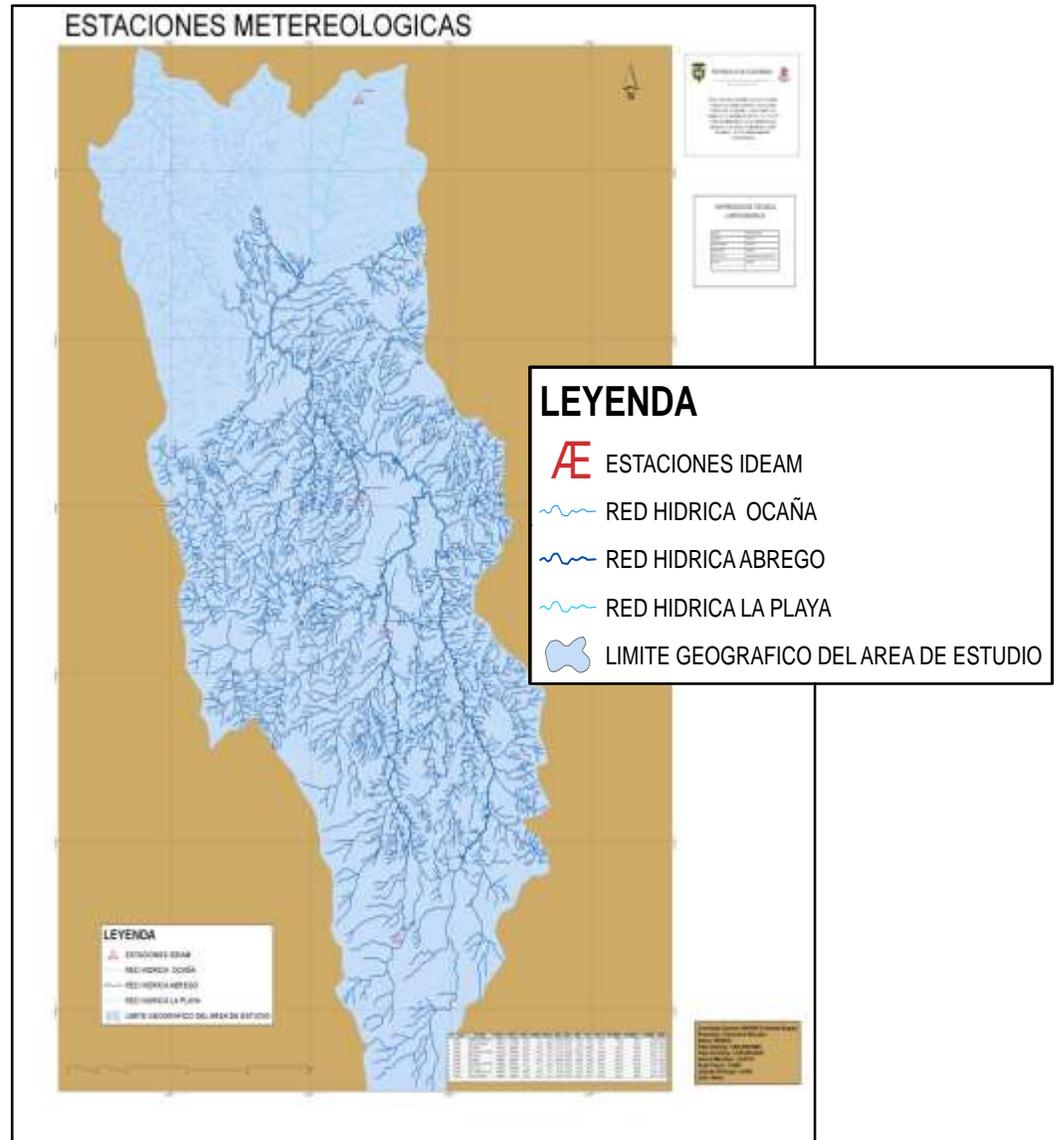
Estos datos de las diferentes estaciones fueron gestionados de forma oficial ante el IDEAM, por medio de su catálogo de estaciones y se realizó la siguiente metodología.

5.4.3.4.2 Introducción de las estaciones meteorológicas en ARCMAP

Como los datos de las estaciones fueron recepcionados en lo que denominamos “crudos” se les debe dar un tratamiento previo para poder ser agregados en ARCMAP, antes del procesamiento de estos datos y poderlo convertir a formato SHP, se procede a localizar las estaciones meteorológicas de nuestro interés.

En la siguiente salida gráfica se muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas extraídas del IDEAM las cuales son parte del insumo para la elaboración de nuestra modelación hidrológica

Figura 29. Mapa de localización de estaciones meteorológicas de interés para la zona en estudio



RID	Shape *	ESTACIóN	COORD_X	COORD_Y	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
0	Point	ABREGO CENTRO AD	1385422	1093428	10.05	17.17	25.25	108.36	138.26	88.52	82.92	133.94	226.02	66.94	21.09	1072.77
1	Point	ALTO EL VENADO	1387307	1111796	17.82	26.9	34.99	127.69	154.21	53.6	36.6	118.1	242	141.5	56.59	1293.89
2	Point	TEORAMA	1424120	1086003	29.81	33.91	49.66	114.23	116.21	82.26	108.96	127.1	178.66	125.96	81.07	1223.06
3	Point	APTO AGUAS CLARA	1411202	1078684	27.91	19.24	35.8	110.53	155.76	104.36	93.35	127.96	178.47	79.32	50.45	1161.33
4	Point	BROTARE	1422250	1071321	26.87	21.55	52.87	104.21	109.86	77.48	82.67	95.95	155.54	93.87	41.95	1132.6
5	Point	LA MARIA	1366991	1095304	32.39	60.34	89.4	262.82	254.32	129.66	89.69	150.07	302.15	178.68	67.9	1939.01
6	Point	BOCATOMA RIO FRIO	1379895	1095277	14.41	24.77	43.02	141.61	204.03	75.05	93.26	144.62	254.39	107.64	38.74	1382.08
7	Point	LA PLAYA	1402013	1093393	7.59	14.7	21.91	76.19	96.72	49.76	37.46	87.62	146.65	66.03	23.2	792.94
8	Point	ESC. AGRICOLA CAC	1346754	1113734	29.66	35.38	60.7	98.19	108.38	53.09	48.83	63.59	149.41	99.98	43.14	956.97
9	Point	AGUAS CLARAS	1400407	1052952	17.49	36.12	51.22	130.23	176.72	157.87	114.71	145.02	203.47	96.49	53.37	1342.78

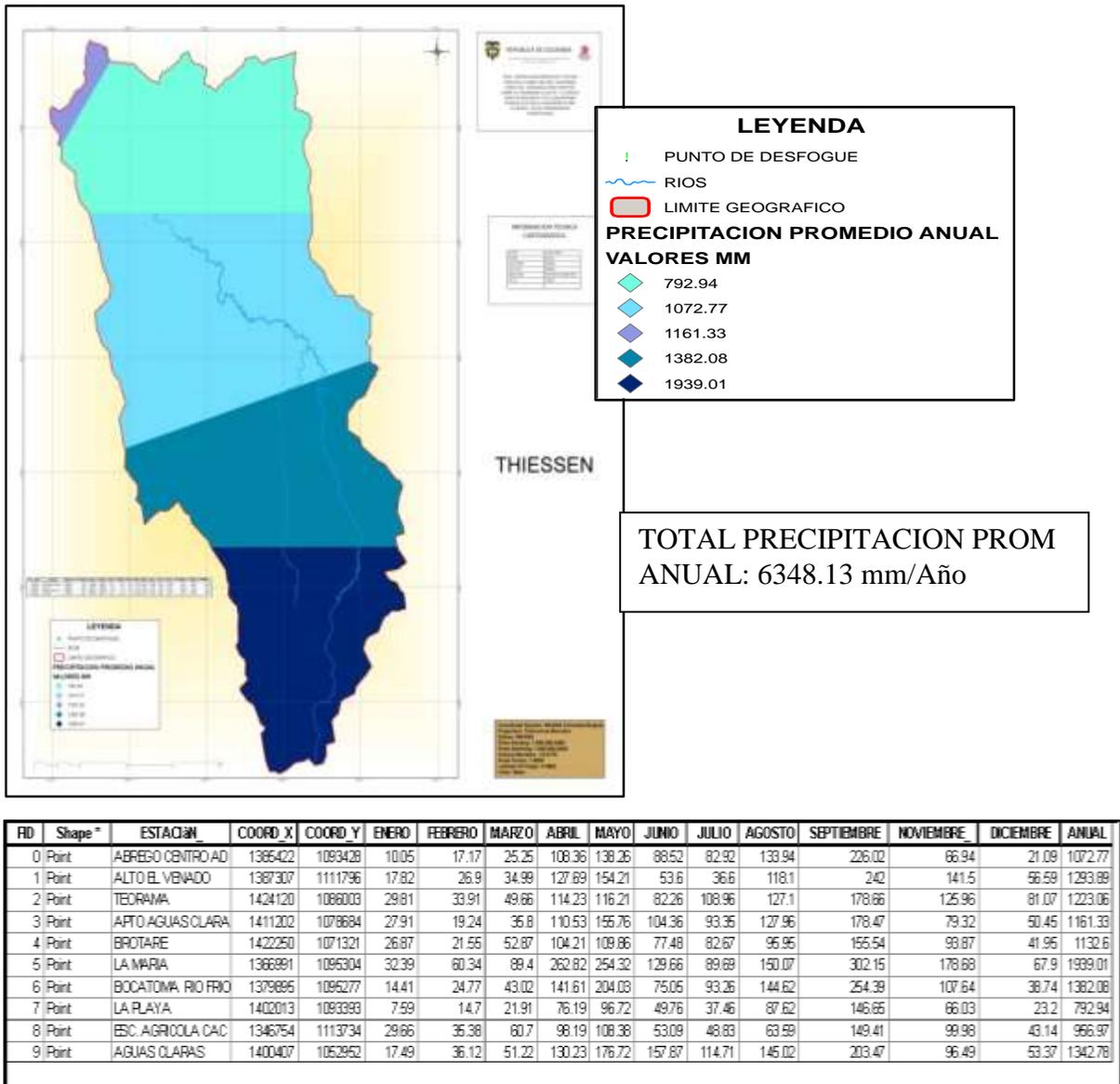
Fuente: Autores Trabajo de grado

5.4.3.5 Generación del mapa de precipitación

Para la generación de esta temática fue necesario aplicar la siguiente metodología:

- Unión de datos de precipitación con la tabla de estaciones meteorológicas
- Generación de superficie de precipitación para esto se utilizó como método de interpolación la media ponderada por el inverso de la distancia (IDW).
- Generación de mapa de polígonos de Thiessen

Figura 30. Mapa Polígonos de THIESSEN



Fuente: Autores Trabajo de grado

Basados en la información arrojada por la salida grafica de thiesen y después de realizar el análisis podemos determinar que durante el año 2015 los valores en mm/año de precipitación en la zona de estudio van desde los 792 mm hasta los 1939 en la parte alta de la zona y que la zona de influencia de la universidad incluido el punto que designamos como punto de cierre se presentaron precipitación que van desde 792 a los 1161mm/año,

Las áreas donde más se presenta precipitación en el año dentro del área de estudio son la parte alta de la cuenca específicamente las veredas el páramo y la vereda la maría la parte media del área de estudio sigue en orden de importancia por factor de acumulación y la parte baja de la cuenca es la zona donde se presenta el tercer nivel más alto de precipitación en el área geográfica perteneciente al municipio de Ocaña, el área que registra menor precipitación históricamente es la que esta geográficamente localizada en el municipio de la playa de belén.

El objetivo de esta parte de nuestra investigación es el evaluar geográficamente las áreas susceptibles a evaluación dentro de nuestra zona de estudio con relación a distintos periodos de retorno de precipitación máxima, para esto integramos técnicas de información geográfica para el cálculo de gastos máximos, se empleó el modelo hidráulico de cauces abiertos, HEC RAS 4.0 para modelar la superficie inundada.

5.5 MODELACION HIDROLOGICA Y CALCULO DE CAUDALES MAXIMOS

Como insumos se empleó la cartografía de la hidrografía y el modelo de elevación de la zona de estudio DEM a 30 mtrs de resolución los resultados indican una superficie de inundación de 1764,73 Ha para un periodo de retorno de 100 años, la zona con mayor afectación hace parte del municipio de Abrego en lo que se denomina como el valle de Abrego , estas son áreas destinadas a la producción agrícola y a la expansión urbanística en el sector norte del casco urbano de este territorio. Se pudo establecer mediante nuestro estudio que a los periodos de retorno de 25 – 50 años no se presentaran problemas de inundación.

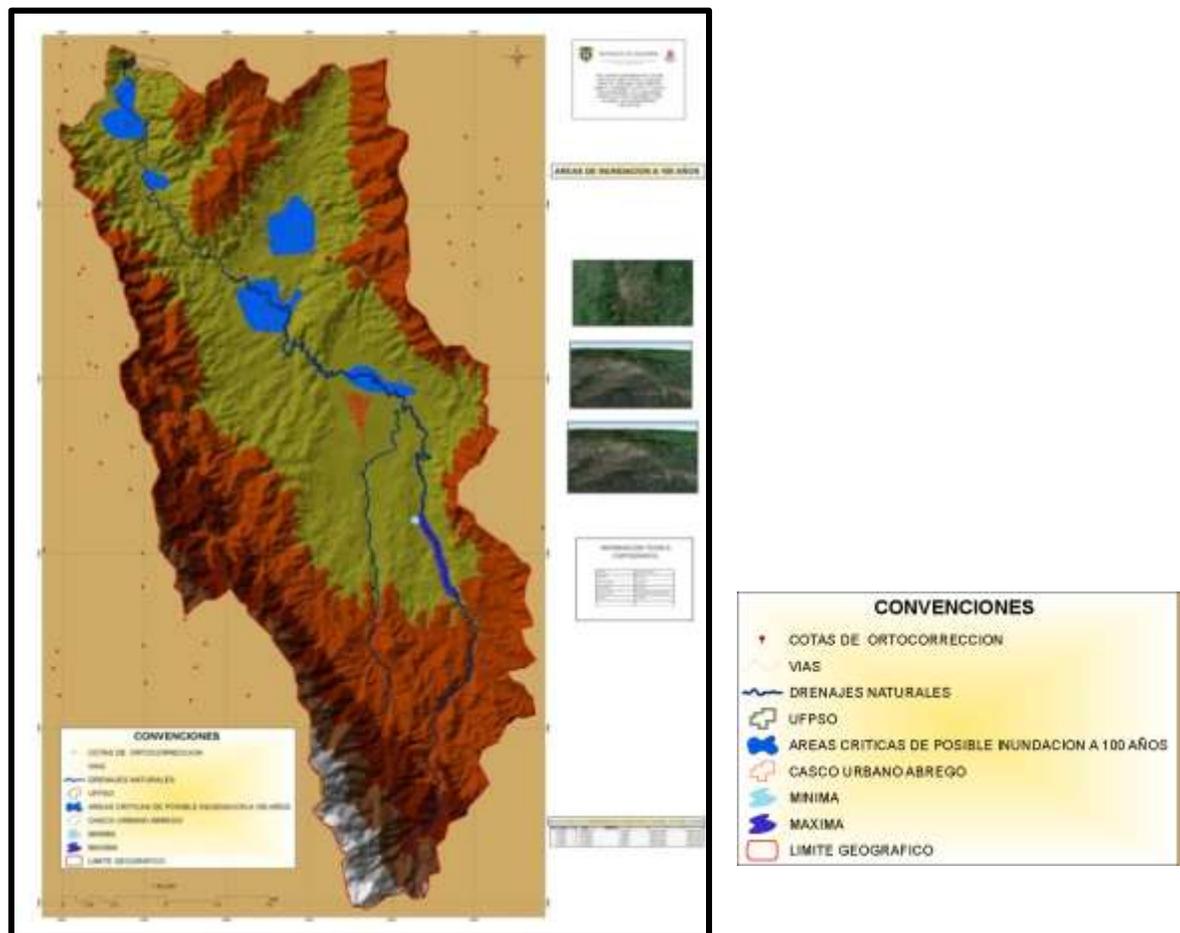
Para la estimación de caudales la zona de estudio fue dividida en sub cuencas las cuales sirven como unidades de análisis para calcular los caudales para diferentes periodos de retorno 25 , 50, 100 años; se estima el escurrimiento superficial máximo en cada unidad de análisis aplicando la metodología de Ven Te Chow 1994, este modelo permite la estimación de caudales aplicando SIG , ya que este determina con mayor precisión las características físicas de la cuenca, la red Hidrica, características morfométricas, precipitación, uso del suelo , tipo de suelo, tiempo de retraso, pendiente y longitud del cauce. De esta forma el modelo nos permite una aproximación para la estimación de la magnitud y distribución del escurrimiento y gastos de caudal dentro de las unidades hidrológicas en el área de estudio

Tabla 16. Cuadro de áreas de inundación a un periodo de retorno de 100 años

FID	Shape *	Id	AREA	PERIMETRO	X	Y
0	Polygon	0	270.209334	2.702093	1095263.41696	1386838.72025
1	Polygon	0	568.962045	5.68962	1089923.30703	1390774.64429
2	Polygon	0	447.006766	4.470068	1091227.07147	1394630.65779
3	Polygon	0	92.807653	0.928077	1084554.46248	1397232.34758
4	Polygon	0	385.770904	3.857709	1083029.44356	1400661.99837

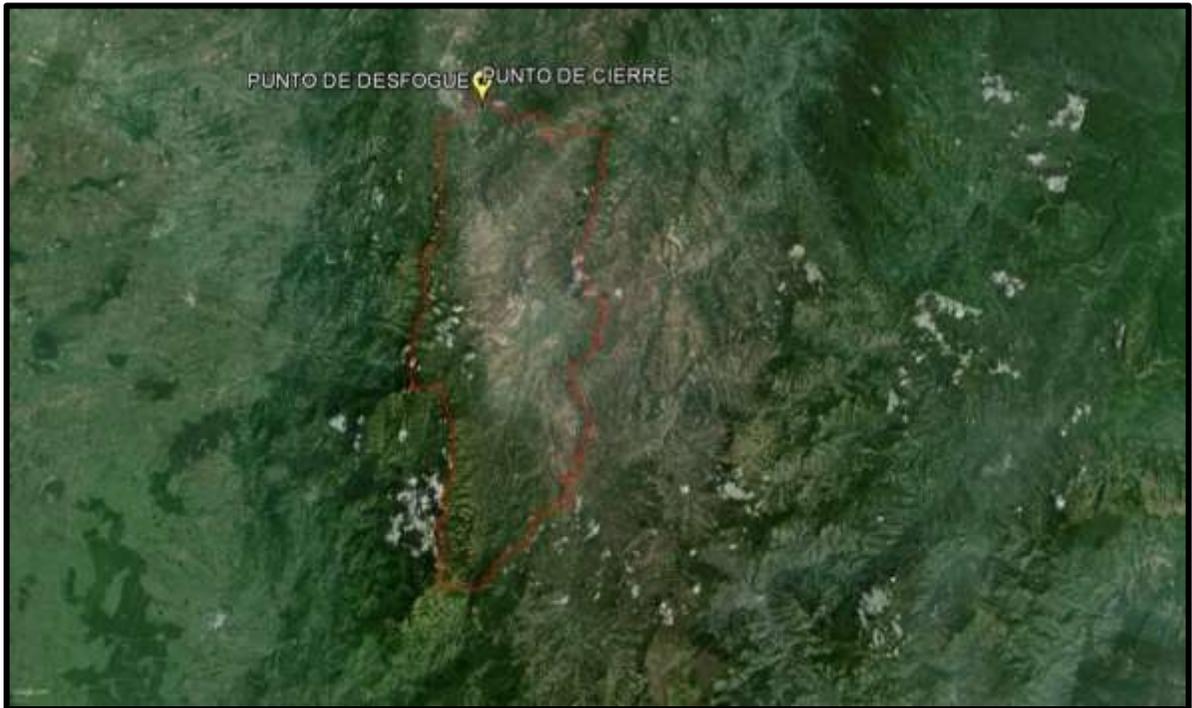
Fuente: Autores Trabajo de grado

Figura 31. Mapa de áreas de inundación a un periodo de retorno de 100 años



Fuente: Autores Trabajo de grado

Figura 32. Muestra a nivel general del área de estudio que va desde el denominado cerro pan de azúcar hasta lo que hemos denominado punto de cierre



Fuente: Autores Trabajo de grado

Figura 33. Panorámica donde se puede observar las diferencias del paisaje en el área de estudio; al centro del área de estudio encontramos lo que se denomina el valle de Abrego



Fuente: Autores Trabajo de grado

Figura 34. Panorámica donde se muestra la zona más susceptible al fenómeno de inundación como lo determino el estudio hidrológico a 100 años realizado con el uso del software SIG ARCGIS; es lo que se denomina el valle de Abrego.



Fuente: Autores Trabajo de grado

En lo que respecta al software para realizar la modelación hidráulica de inundación se usaron : las extensiones Hec GeoRAS con el software ARCGIS y la extension Hydrology, lo primero que se hizo fue la delimitación de la cuenca o del área de estudio con la herramienta watershed, empleando datos geográficos hidrografía y curvas de nivel escala 1:50000, posteriormente con la extension HEC-GEORAS se procesaron los datos geométricos incluyendo la digitalización de la red hidrológica, tomando como base la cartografía de IGAC escala 1:50000 todos los ríos fueron digitalizados en dirección a la desembocadura de la cuenca y vectorizando tramo por tramo cada intercesión con otro río .

Luego elaboramos secciones transversales (cut lines) de los ríos en el HEC GEORAS, para la aplicación de nuestro modelo hidráulico estas secciones transversales también llevan un orden en su construcción pues necesariamente deben ser digitalizadas de izquierda a derecha, en el sentido del río del parte aguas a la desembocadura de este. Ninguna de estas secciones transversales se debe intersectar y cada sección del drenaje o río deberá contener como mínimo dos secciones transversales y estar lo más perpendicular posible al tramo del río del cual se desee conocer el corte transversal de la sección.

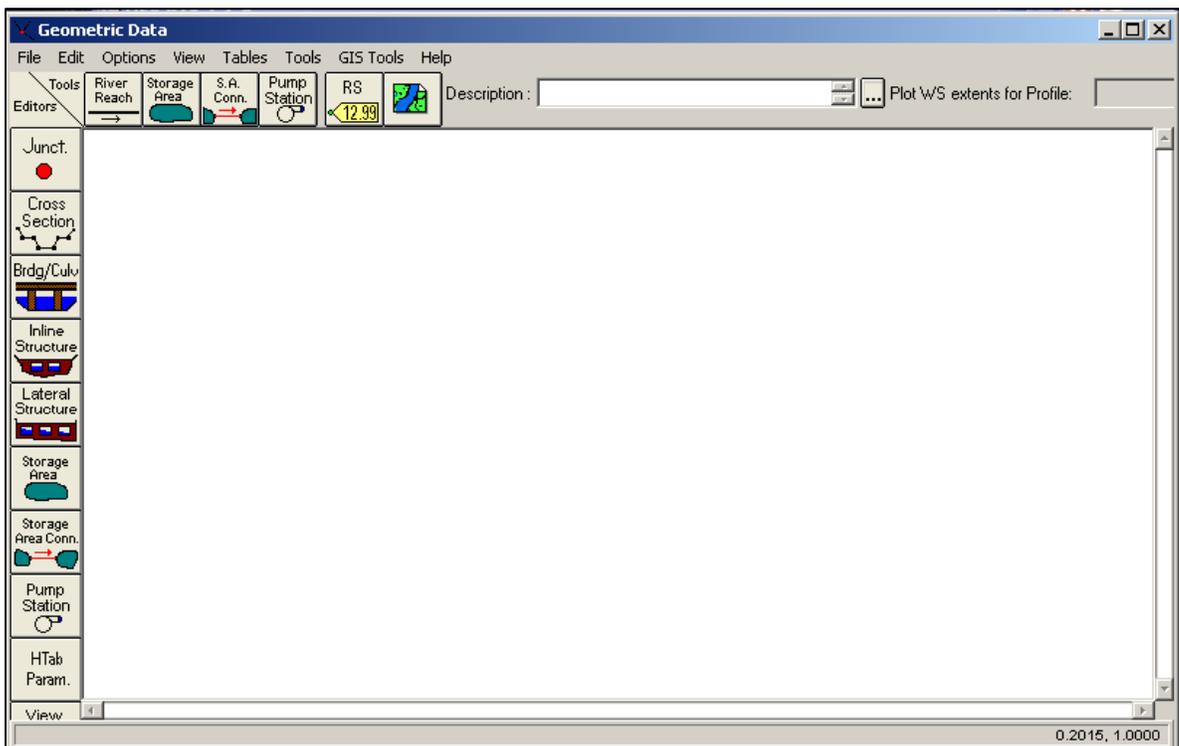
Una vez generados estos insumos del modelo se llevó a cabo la importación al modelo hidráulico HEC RAS para dar inicio a la revisión pues el programa detecta errores en los ríos por intersección, una vez detectados y corregidos estos errores geométricos se ingresan los valores a HEC RAS, (coeficiente “n” de manning y los gastos expresados en m³/s para

cada una de las secciones de los ríos y unidades de estudio en el área de trabajo así como para cada periodo de retorno todo esto previamente calculado en el modelamiento hidrológico .

El coeficiente de rugosidad es derivado tanto de las características de cobertura de la vegetación y uso del suelo como de las propiedades edafológicas en el área de estudio y la relación con el factor N (el valor de escurrimiento en el modelo VEN TE CHOW). Como se mencionó anteriormente HEC RAS es un modelo unidimensional de régimen permanente, gradualmente variado que genera como resultado el perfil de la superficie que está libre de agua, calculando de esta forma el nivel y velocidad de agua junto con el área mojada en cada tramo o sección transversal del río.

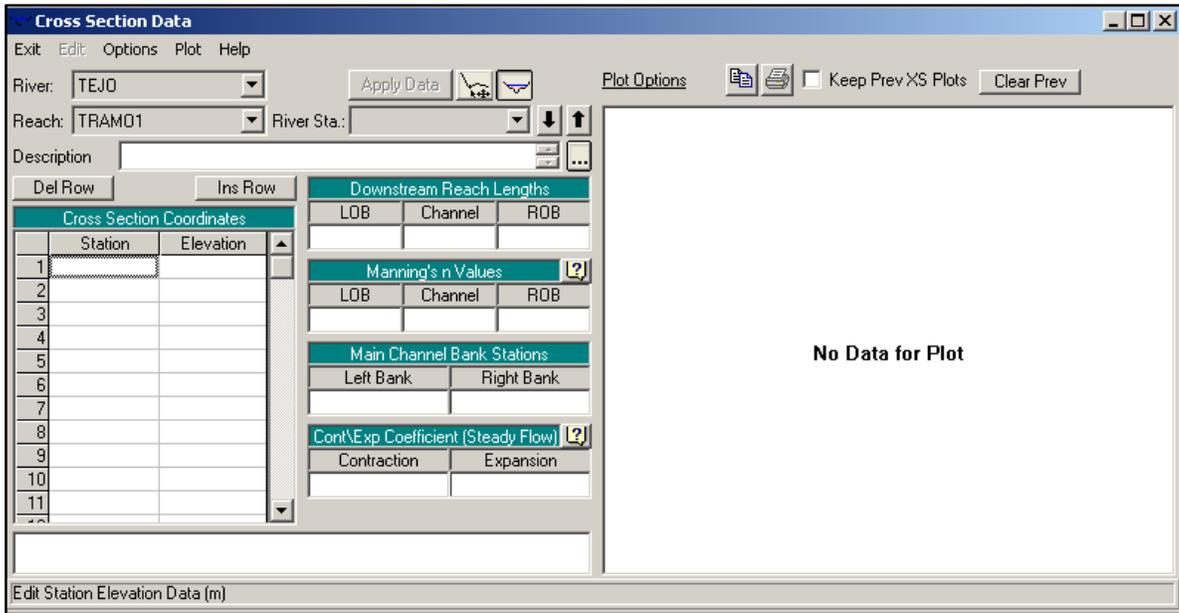
Estos datos ya procesados en el modelo hidráulico HEC RAS 4.1 se exportan en formato CAD a la plataforma SIG ARGIS 10.2 para posteriormente convertirlos a formato vectorial shp, se generaron capas geográficas correspondientes a las superficies inundadas y profundidad de inundación, con estas se creó el mapa que muestra las áreas susceptibles de inundación.

Figura 35. Área de trabajo del software HEC RAS4.1



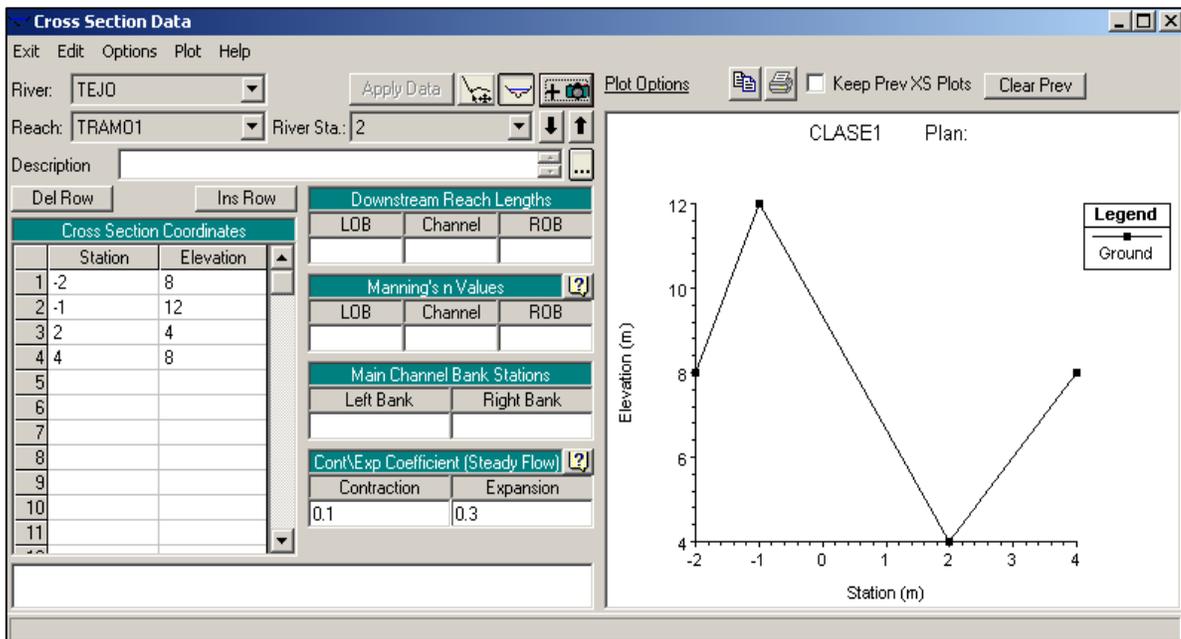
Fuente: Autores Trabajo de grado

Figura 36. Interfaz para digitalizar las secciones transversales del tramo del río



Fuente: Autores Trabajo de grado

Figura 37. Digitalización de secciones transversales aguas arriba de un tramo x del río

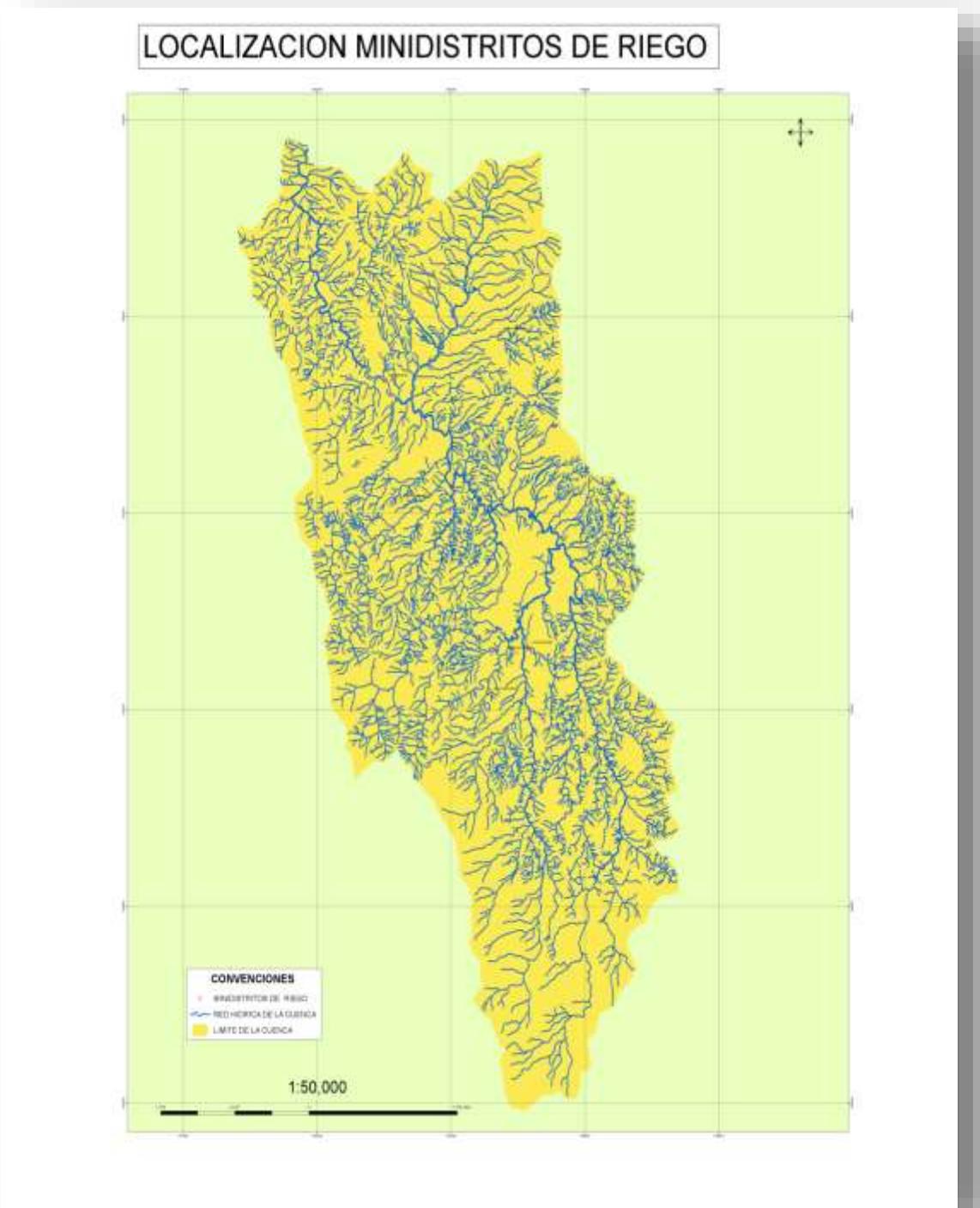


Fuente: Autores Trabajo de grado

5.6 DIAGNOSTICO DE LA CUENCA

Esta es una cuenca de carácter exorreica o tributaria sus cauces más importantes son el río frío y río Oroque, los cuales confluyen para formar el algodónal el cual es el afluente más importante de la cuenca, en el área de influencia de la cuenca se encuentran ubicados un total de 7 minidistritos de riego los cuales ejercen una gran presión sobre el recurso hídrico de esta cuenca. Un total de áreas irrigadas de 2617Ha de un total de 55943.57Ha lo que corresponde al 4.67% del área total de la cuenca, este dato corresponde a el área irrigada mediante captaciones legales. (**Ver salida grafica 38**)

Figura 38. Mapa de localización de minidistritos de riego de la cuenca en estudio



Fuente: Autores Trabajo de grado

Tabla 17. Relación de minidistritos de riego localizados en el área de la cuenca en estudio

RELACION DE MINIDISTRITOS DE RIEGOS LOCALIZADOS EN EL AREA DE LA CUENCA DE ESTUDIO											
VEREDA	ESCALA	ASOCIACION	FUENTE	FUNCIONA	USUARIOS	AREA_REGAD	AREA_IRRIGADA	ALTURA	AÑO	NOMBRE	MUNICIPIO
ASUDRA	Mediana	ASUDRA	RÍO FRIO, RIO ORCSI		607	1150	1150	1431	2007	Asudra	Abrego
ASUDRA	Mediana	ASUDRA	RÍO FRIO, RIO ORCSI		607	1150	1150	1431	2007	Asudra	Abrego
EL CAMPANA	Pequeña	ASOCAMPANA	QUEBRADA EL ROCSI		25	37	37	1523	2007	CampanaRÍO	Abrego
MACIEGAS	Pequeña	ASOMACIEGA	QUEBRADA MACIEGA		15	0	0	1418	2007	Maciega	La Playa
SAN JAVIER	Pequeña	ASOSANJAVIER	QUEBRADA LA ENCSI		61	114	114	1465	2007	San Javier	Abrego
LOS HIGUERONES	Pequeña	ASOHIGUERONES	QUEBRADA LOS CUNO		30	30	30	1435	2007	Higuerones	Abrego
CAPITANLARGO	Pequeña	ASOCAPITANLARGO	QUEBRADA CAPITANLARGO		59	300	118	1412	2007	Capitanlargo	Abrego
LA LABRANZA	Pequeña	ASOLABRANZA	RÍO ALGODONAL	NO	35	40	18	1394	2007	La Labranza	Abrego

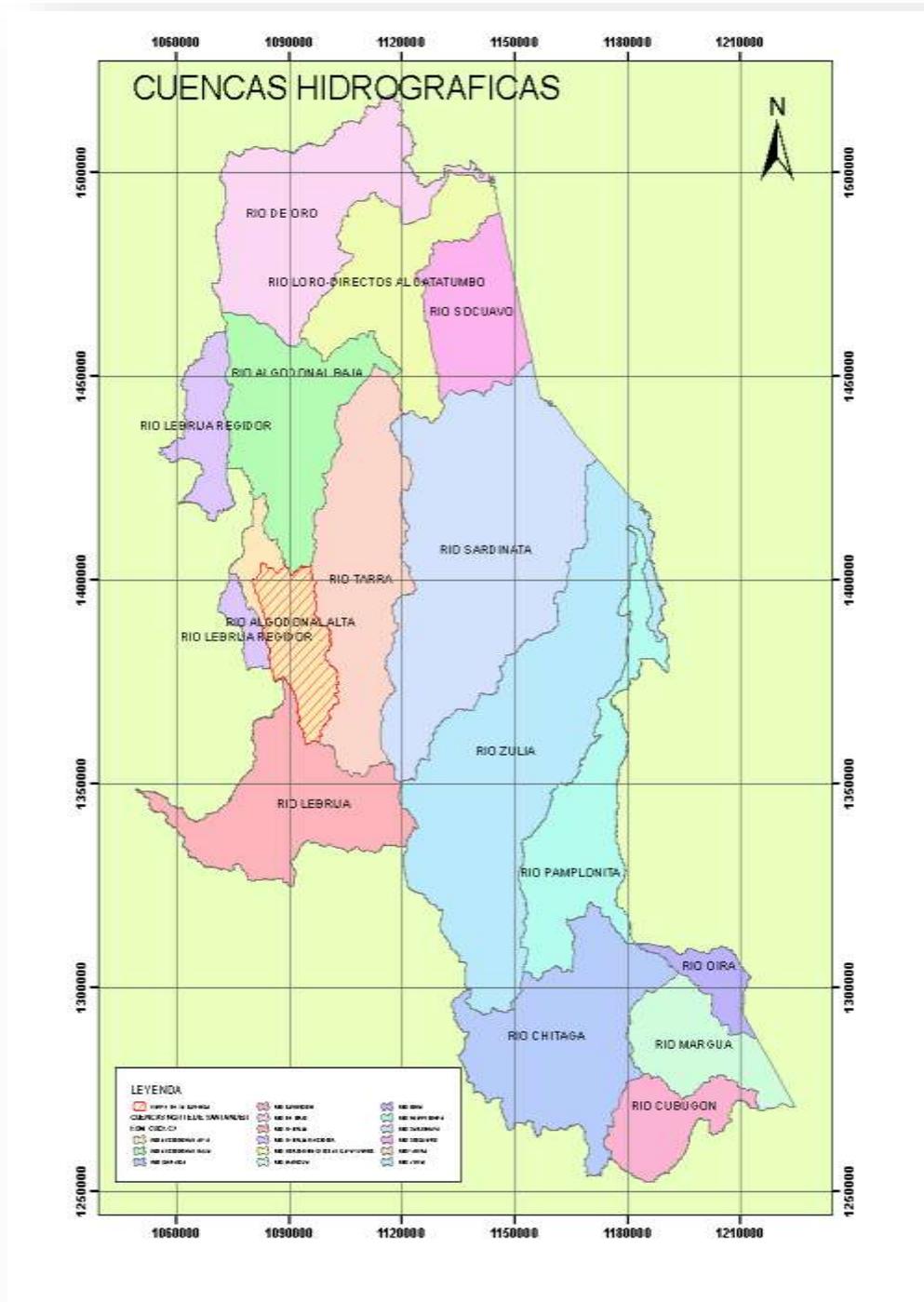
Fuente: Autores Trabajo de grado

Dentro del área de la cuenca se encuentra ubicado el casco urbano del municipio de Abrego el cual capta el recurso hídrico para el consumo humano del río algodónal, el casco urbano del municipio de Ocaña no hace parte del área de estudio de la cuenca sin embargo este municipio capta su mayor cantidad de agua para el abastecimiento de la población esto es otra de las presiones ambientales sobre el recurso agua de la cuenca.

5.6.1 Ubicación hidrográfica

La cuenca motivo del presente estudio pertenece a la cuenca del río Catatumbo Y a la sub cuenca del río algodónal parte alta, limita con la cuenca del río Lebrija regidor al oriente y con la parte baja de la subcuenca del algodónal al norte al occidente con la sub cuenca del río Tarra y al sur con la sub cuenca del río Lebrija (ver salida grafica 39).

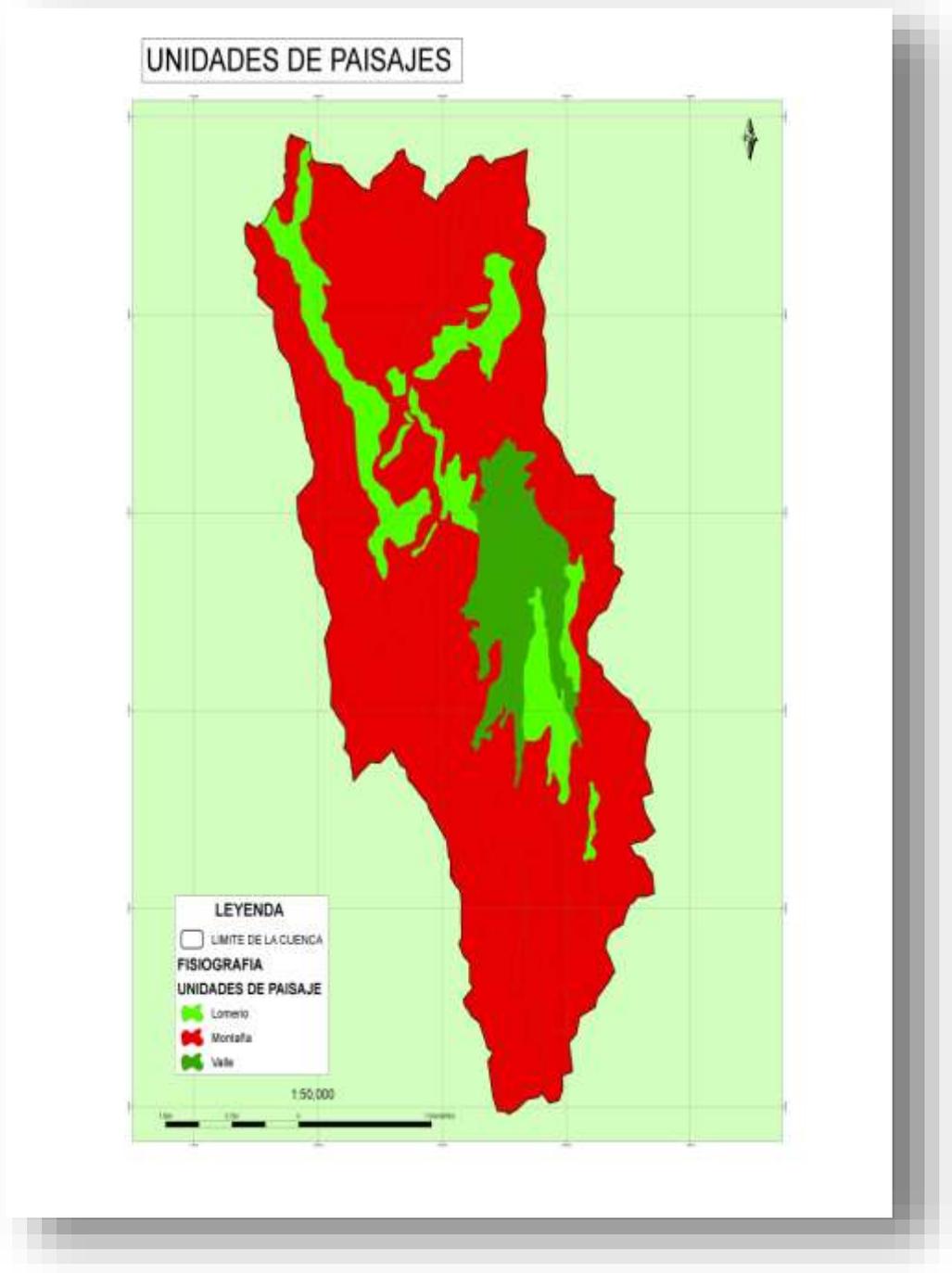
Figura 39. Mapa de ubicación hidrográfica de la cuenca en estudio dentro de un plano de las diferentes cuencas del departamento norte de Santander



Fuente: Autores Trabajo de grado

5.6.2 Ubicación fisiográfica

Figura 40. Mapa de unidades de paisajes de la cuenca en estudio



Fuente: Autores Trabajo de grado

En la cuenca se encuentran definidas cuatro unidades de paisajes según el estudio de suelos del IGAC y las cuales se pueden observar en la salida gráfica “unidades de paisajes” lomerío, montaña y valle siendo la unidad predominante la de montaña hacia el centro del área de la cuenca se localiza las unidades de lomerío y valle la siguiente tabla registra el área en Ha de las unidades de paisaje en la cuenca.

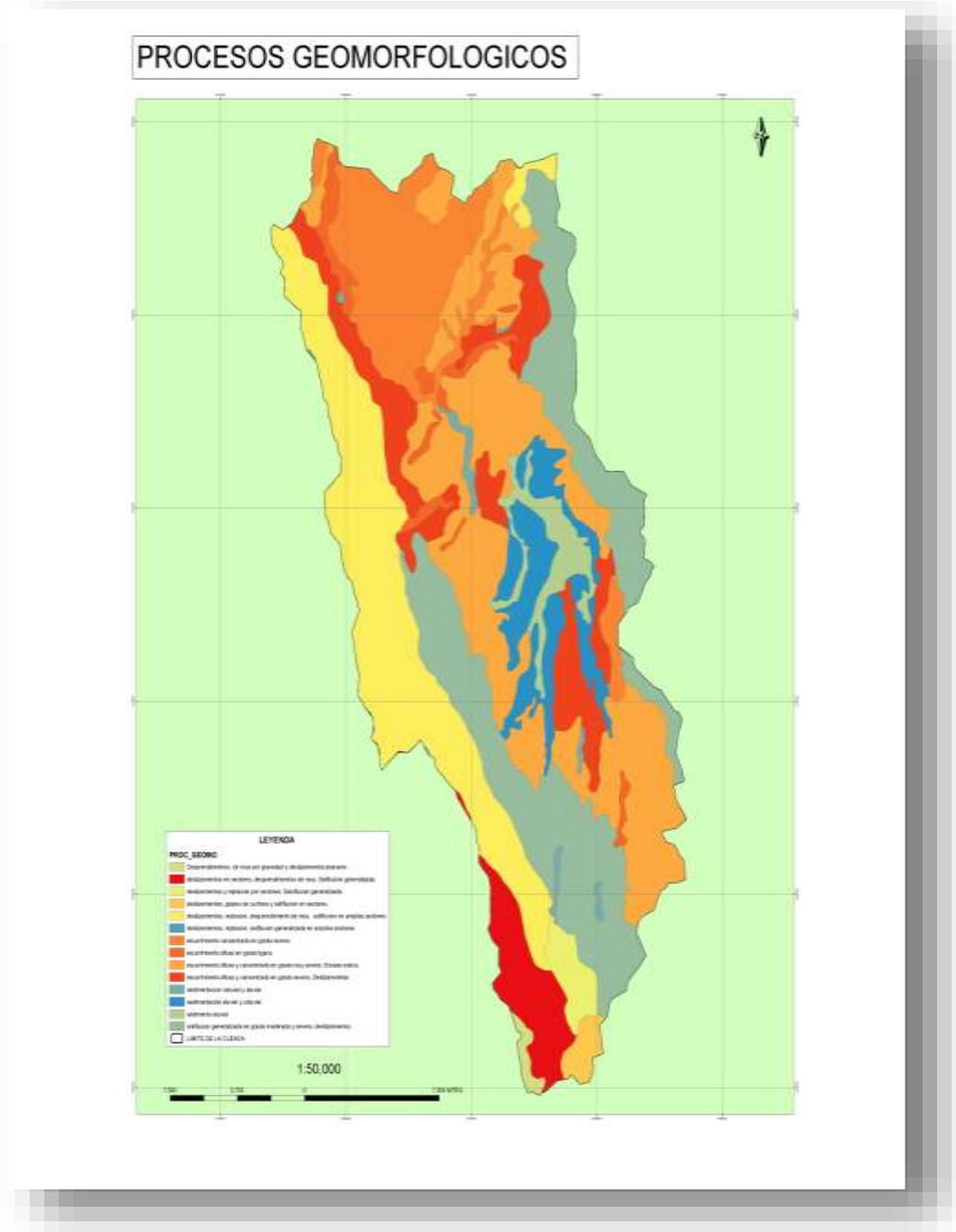
Tabla 18. Unidades de paisajes y sus respectivas áreas dentro de la cuenca en estudio

UNIDADES DE PAISAJES Y SUS AREAS	
PAISAJE	AREA (Ha)
Lomerio	6765.37
Montaña	44310
Valle	4863.7

Fuente: Autores Trabajo de grado

5.6.3 Geomorfología

Figura 41. Mapa de procesos geomorfométricos de la cuenca en estudio



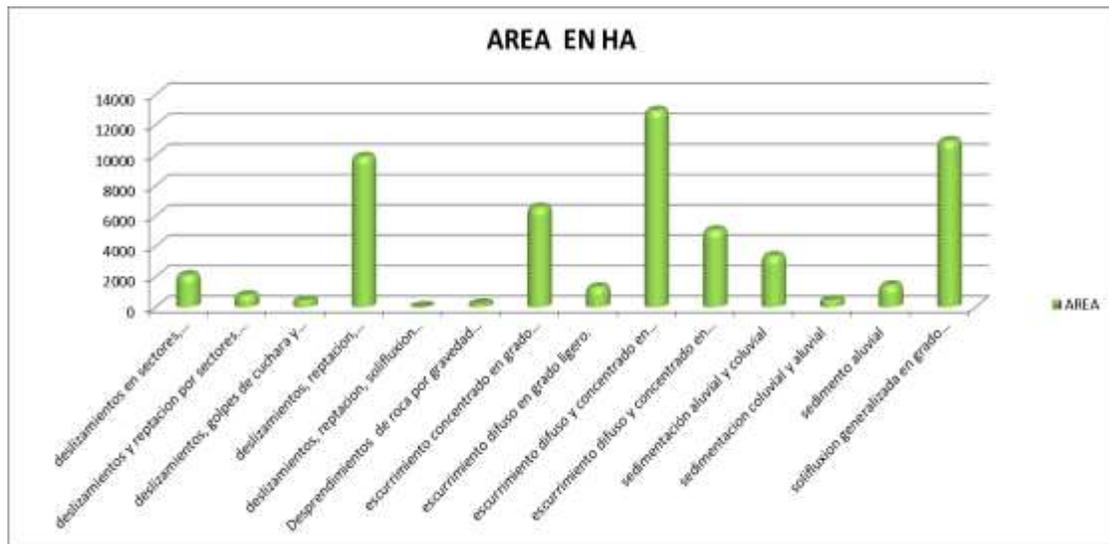
Fuente: Autores Trabajo de grado

Tabla 19. Procesos geomorfológicos en la zona de estudio

PROCESOS GEOMORFOLOGICOS EN LA ZONA DE ESTUDIO	
PROCESO GEOMORFOLOGICO	AREA
deslizamientos en sectores, desprendim	2136.33544
deslizamientos y reptacion por sectores.	816.508183
deslizamientos, golpes de cuchara y solif	474.111792
deslizamientos, reptacion, desprendimie	9930.598266
deslizamientos, reptacion, solifluxion ge	9.946669
Desprendimientos de roca por gravedad	244.870334
escurrimiento concentrado en grado sev	6588.542465
escurrimiento difuso en grado ligero.	1342.62967
escurrimiento difuso y concentrado en g	12970.31261
escurrimiento difuso y concentrado en g	5096.612351
sedimentación aluvial y coluvial	3398.85652
sedimentacion coluvial y aluvial	487.047012
sedimento aluvial	1464.846801
solifluxion generalizada en grado moder	10977.85987

Fuente: Autores Trabajo de grado

Grafica 2. Procesos geomorfometricos en la zona de estudio



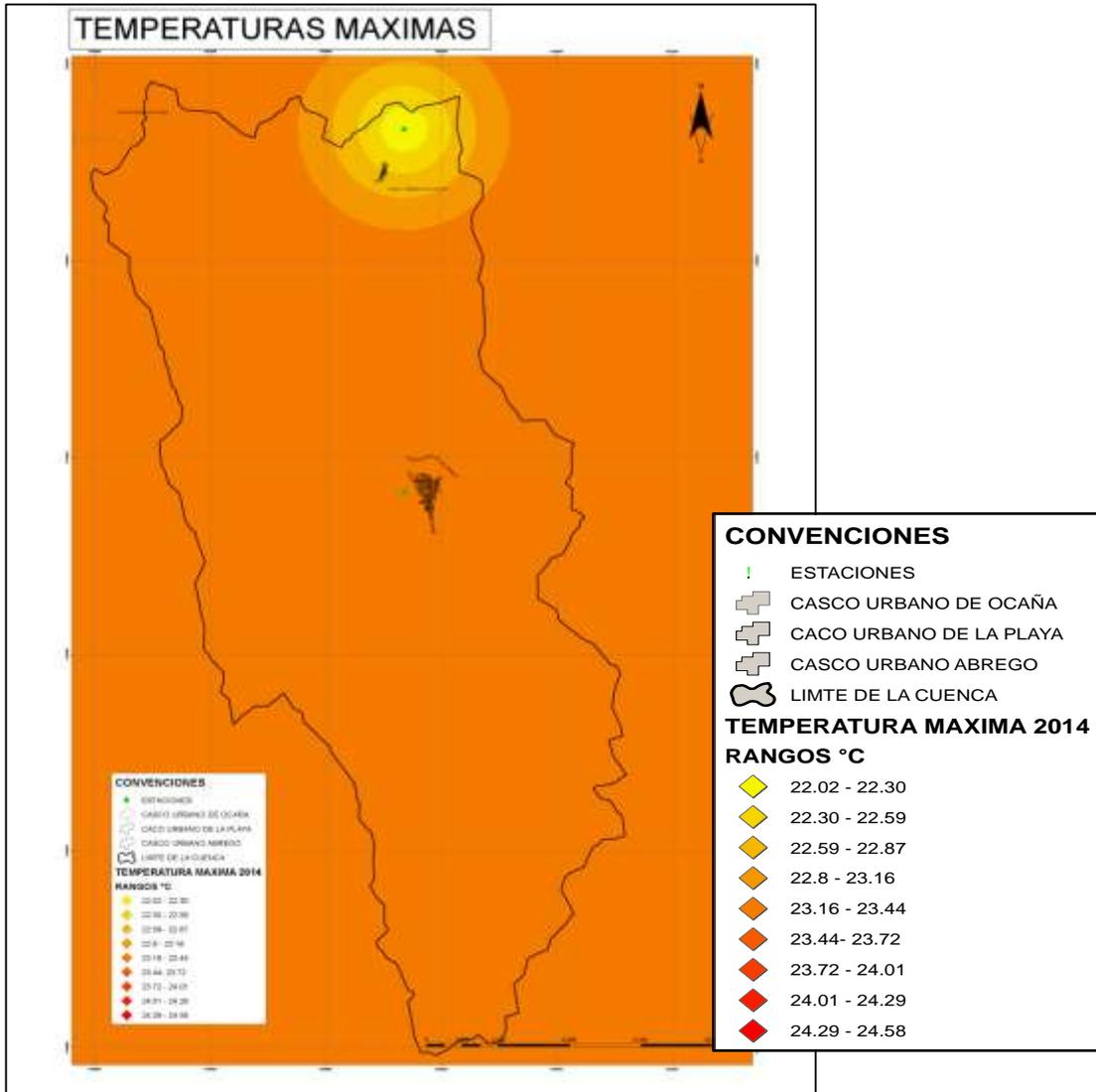
Fuente: Autores Trabajo de grado

El proceso geomorfológico que se presenta en mayor porcentaje del área de la cuenca él es de escurrimiento difuso y concentrado en grado muy severo con procesos de erosión de carácter eólico (ver tabla 19 y grafica 2)

5.6.4 Clima de la cuenca

5.6.4.1 Temperatura. Basados en la información de las estaciones meteorológicas del catálogo entregado por el día y las cuales contienen la información climatológica del año 2014, se llevaron a cabo la digitalización de las isotermas y el ponderado estadístico para la cuenca en estudio (ver salida grafica 42)

Figura 42. Mapa de temperaturas máximas de la cuenca



Fuente: Autores Trabajo de grado

Al realizar la ponderación estadística de los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas del IDEAM, se puede observar sobre la salida grafica de temperaturas máximas que la zona de la cuenca donde se encuentra ubicado el casco urbano del municipio de la playa de belén presento unos rangos de temperaturas entre los 22°C hasta los 23.4°C, el resto de la cuenca sus temperaturas máximas durante el 2014 estuvieron entre 23.1° - 23.7°C.

5.6.4.2 Precipitación

En el área de estudio de la cuenca se realizó la medición de la precipitación presentada en el año 2014 y se elaboraron los polígonos de Thiessen con un total de 4 estaciones.

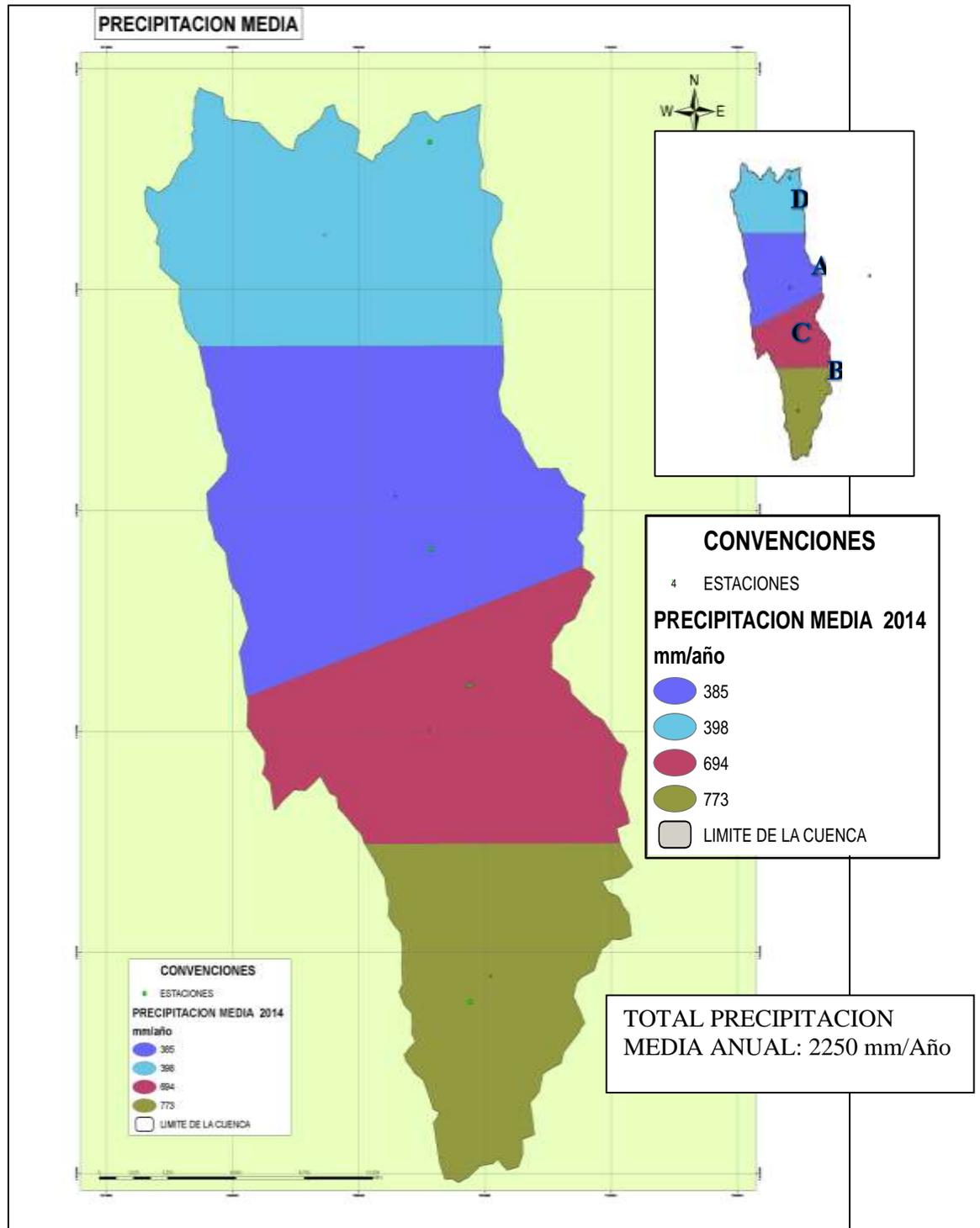
Tabla 20. Datos de precipitación en la zona de la cuenca

DATOS DE PRECIPITACION EN EL AREA DE ESTUDIO DE LA CUENCA PARA EL AÑO 2014																	
ESTACION	CODIGO	ELEV_MSNM	COORD_X	COORD_Y	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
ABREGO CENTRO AD	1604504	1430	1385422	1093428	50	88	70	241	224	246	193	385	336	250	196	59	385
LA MARIA	1604005	1800	1366991	1095304	84	176	227	531	428	279	227	541	773	522	450	160	773
BOCATOMA RIO FRIO	1605012	1700	1379895	1095277	105	241	184	399	502	266	195	694	626	491	509	168	694
LA PLAYA	1604506	1500	1402013	1093393	56	87	69	158	192	170	128	398	236	343	192	49	398

Fuente: Autores Trabajo de grado

De esta forma el área de estudio se dividió en cuatro polígonos para poder ponderar el agua precipitada formando sub zonas de análisis y de esta manera obtener la cantidad de agua llovida sobre unidad de área

Figura 43. Mapa de precipitación media de la cuenca



Fuente: Autores Trabajo de grado

La cuenca se dividió entonces en cuatro sub zonas denominadas (A, B, C, D) y se realizaron las conversiones según las hectáreas de cada sub zona y saber de esta forma los m³/año, el cálculo de precipitación mostro que la sub zona donde más volumen de agua en m³ se precipito por unidad de área es la zona C con un total de 694mm lo que corresponde según el área de la sub zona a **9'144.789.42m³** (ver tabla 21)

Tabla 21: Cálculo de volumen de agua en m³ por unidad de área de la cuenca en estudio, dividida en cuatro sub zonas.

ZONA	AREA Ha	MM	TOTAL M3
A	18263.08	385	7031285.8
B	10720.37	773	8286846.01
C	13176.93	694	9144789.42
D	13783.17	398	5485701.66

Fuente: Autores Trabajo de grado

En la zona B, en la cual está ubicado el cerro jurisdicciones y donde se localiza la denominada laguna pan de azúcar donde nacen los ríos Oroque y frio y que es un ecosistema de bosque sub paramo llovió un total de **8'286.846.01m³** de agua en teoría en esta zona debería presentarse la mayor cantidad de agua precipitada dado que este es el lugar de almacenamiento natural de la cuenca y por lo tanto el lugar geográfico donde se requiere que se genere la mayor cantidad de agua lluvia.

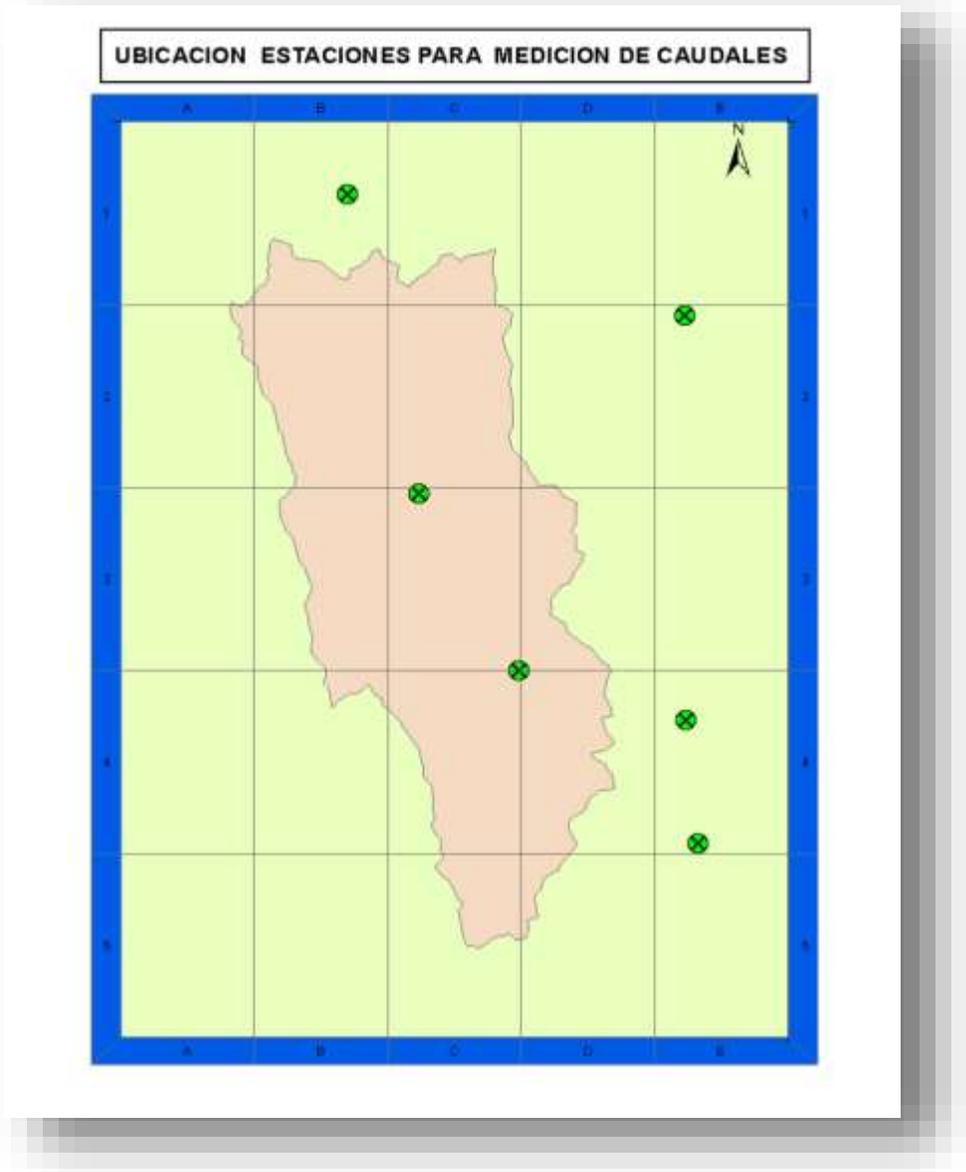
5.7 ESTIMACIÓN DE CANTIDAD Y DISPONIBILIDAD DE AGUA

Este inventario del recurso hídrico, se calcula con el balance entre las entradas (precipitación), almacenamiento (infiltración, retención) y salidas (infiltraciones profundas o salidas subterráneas del sistema, (evaporación y escurrimiento superficial).

Si el agua está estancada se mide en m³ y si esta corre se realiza la medición de caudal m³/s.

Para el estudio de disponibilidad de agua en nuestra cuenca de estudio se realizó el análisis de las estaciones con lignigrafos ubicadas en esta zona.

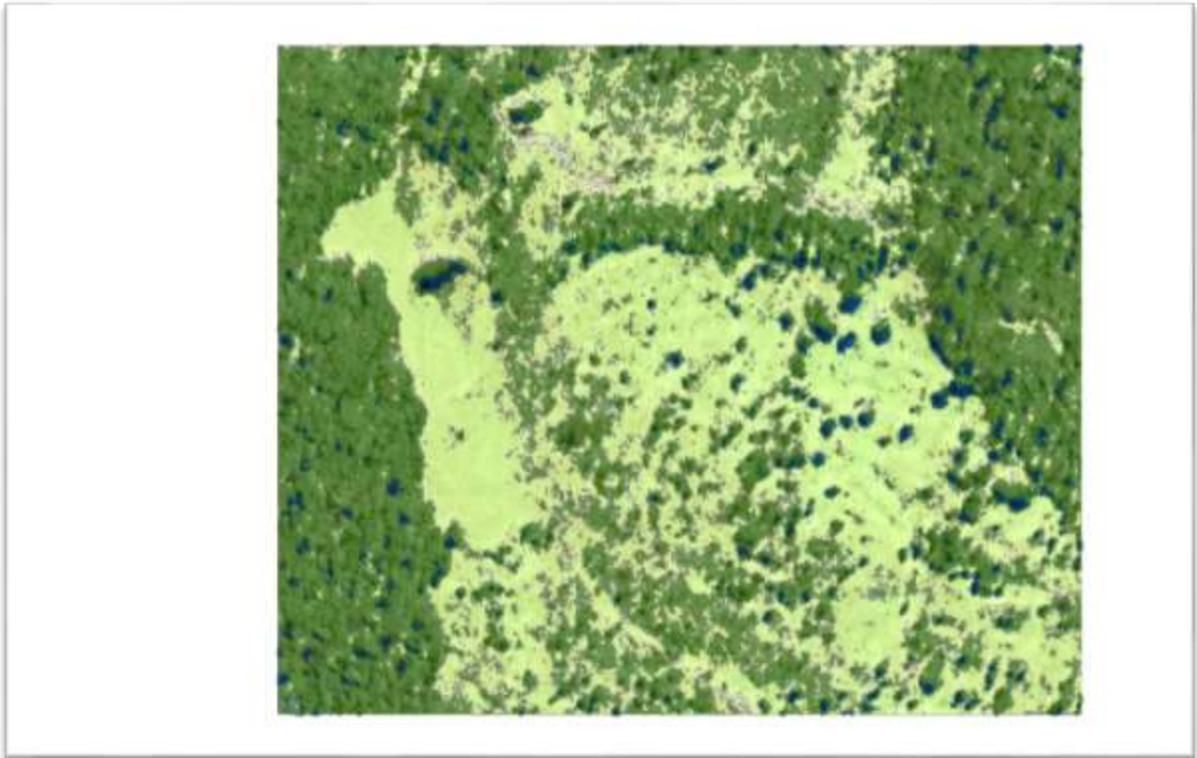
Figura 44: Mapa de ubicación de estaciones para medición de caudales



Fuente: Autores Trabajo de grado

Para que exista un equilibrio natural en los ecosistemas y se prevenga de esta forma un impacto ambiental negativo, el ser humano debe aprovechar solo una fracción de los escurrimientos naturales del recurso agua, sin embargo en la zona de estudio se ha detectado que los volúmenes de agua usados superan a los del escurrimiento y a la descarga de los acuíferos (cerro pan de azúcar), situación que generara la escasez del recurso.

Figura 45. Imagen multiespectral reclasificada de la laguna pan de azúcar acuífero de recarga Hídrica en el municipio de ABREGO y punto de nacimiento del rio frio y rio Oroque

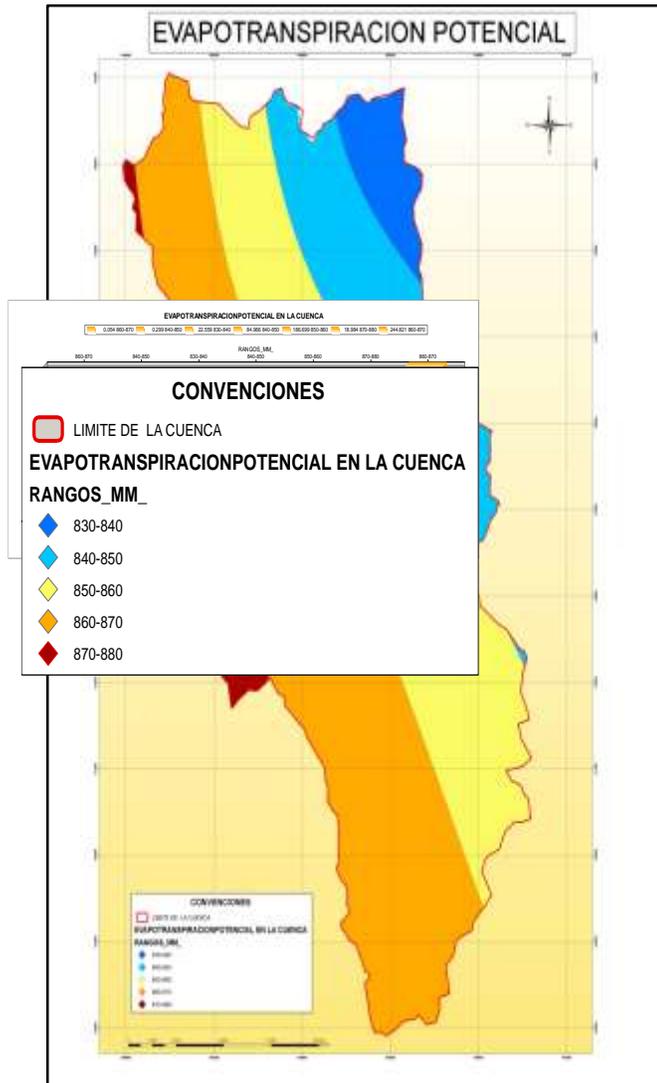


Fuente: dirección técnica LV INGENIERIA

El área de la cuenca o zona seleccionada para el estudio depende en su mayor porcentaje de la disponibilidad de agua del río algodonal, que durante los últimos 10 años se ha presentado una dramática disminución en los caudales de este cuerpo de agua, lo cual radica en gran manera en la afectación que se está causando al lugar de recarga Hídrica en el cerro jurisdicciones y que se nota de forma grave en los nacimientos del complejo lagunar.

Para lograr un cálculo exacto o por lo menos aproximado se sugiere a las entidades territoriales realizar un balance hídrico de forma seria en el área geográfica de la cuenca del río algodonal, lo cual implicara una fuerte inversión en recursos humanos, económicos y tecnológicos.

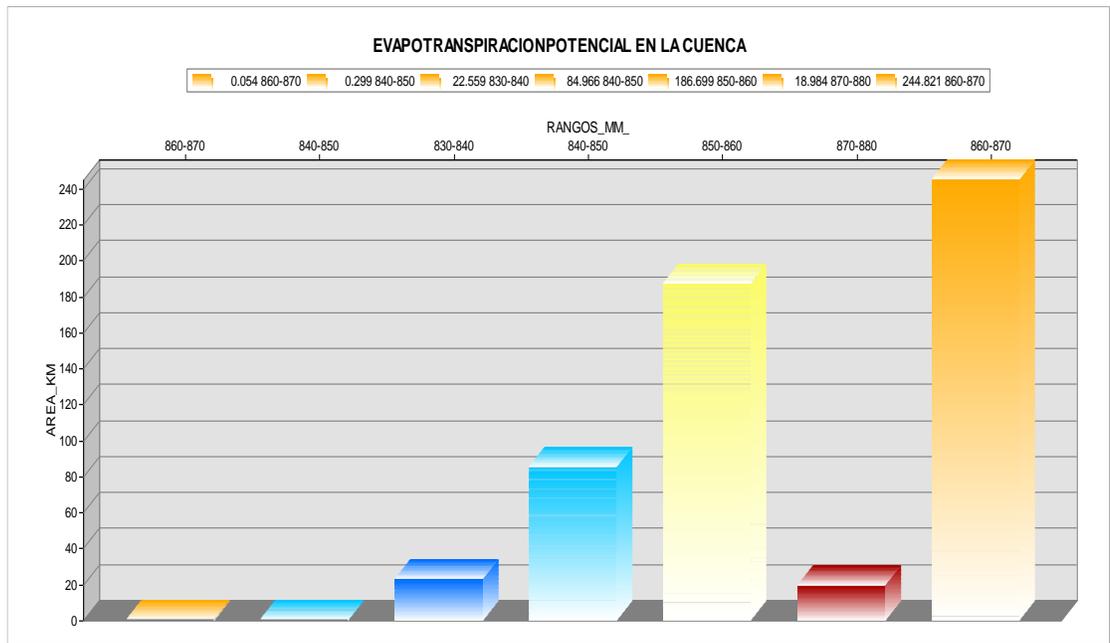
Figura 46. Mapa de evapotranspiración potencial en la cuenca



Fuente: Autores Trabajo de grado

Esto es lo contrario de la precipitación este es el paso de agua de la superficie hacia la atmosfera, este concepto involucra el agua evaporada de la superficie del suelo además del agua que transpiran las plantas de la zona de estudio, después de realizar la ponderación de los datos de las estaciones climatológicas nos permitió establecer que en la zona de la cuenca se presentaron 7 rangos de evapotranspiración potencial.

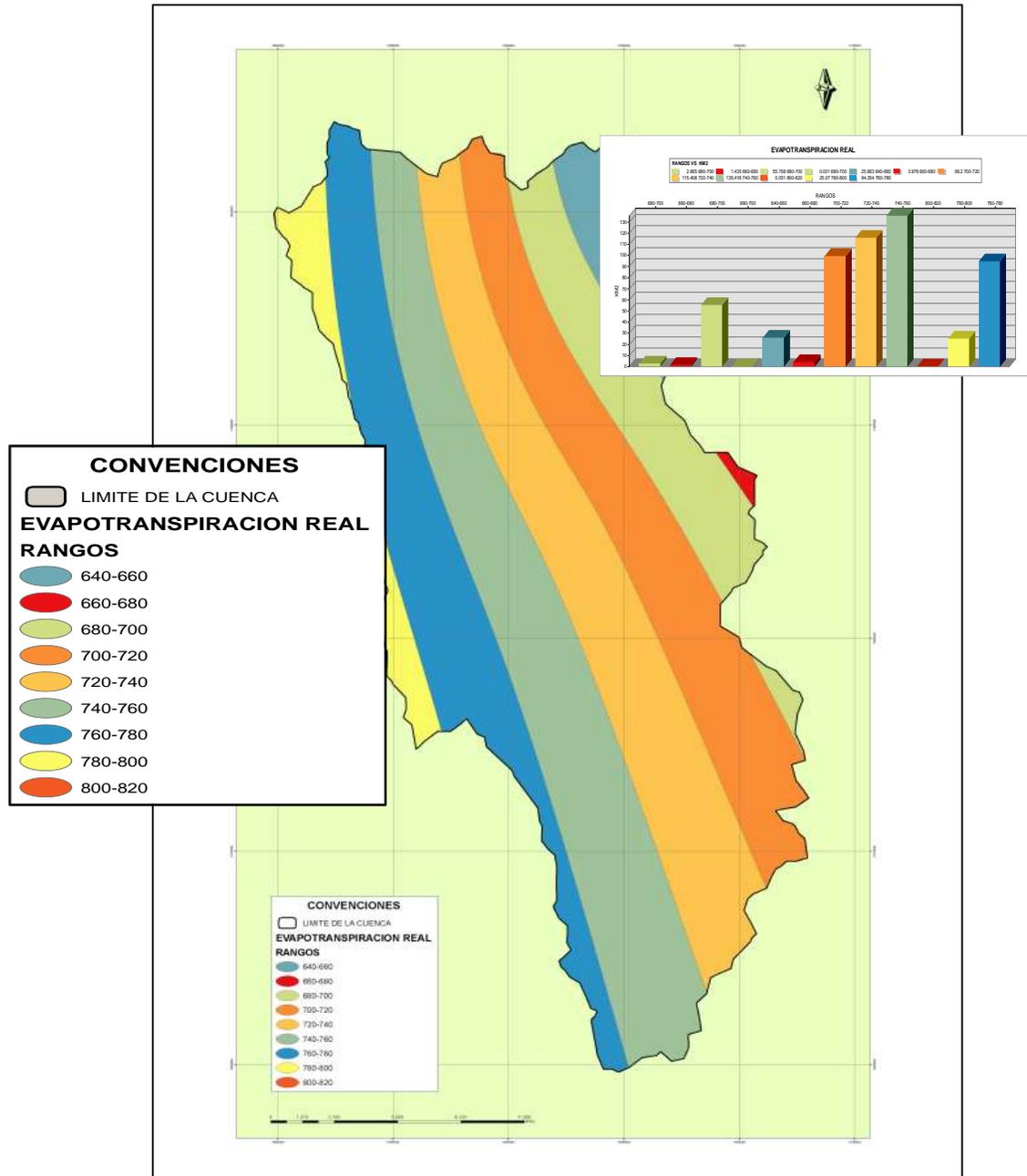
Grafica 3. Evapotranspiración potencial en la cuenca



Fuente: Autores Trabajo de grado

La zona de la cuenca que presenta mayor evapotranspiración potencial está ubicada al centro oriente del territorio con un total de 559.43km²

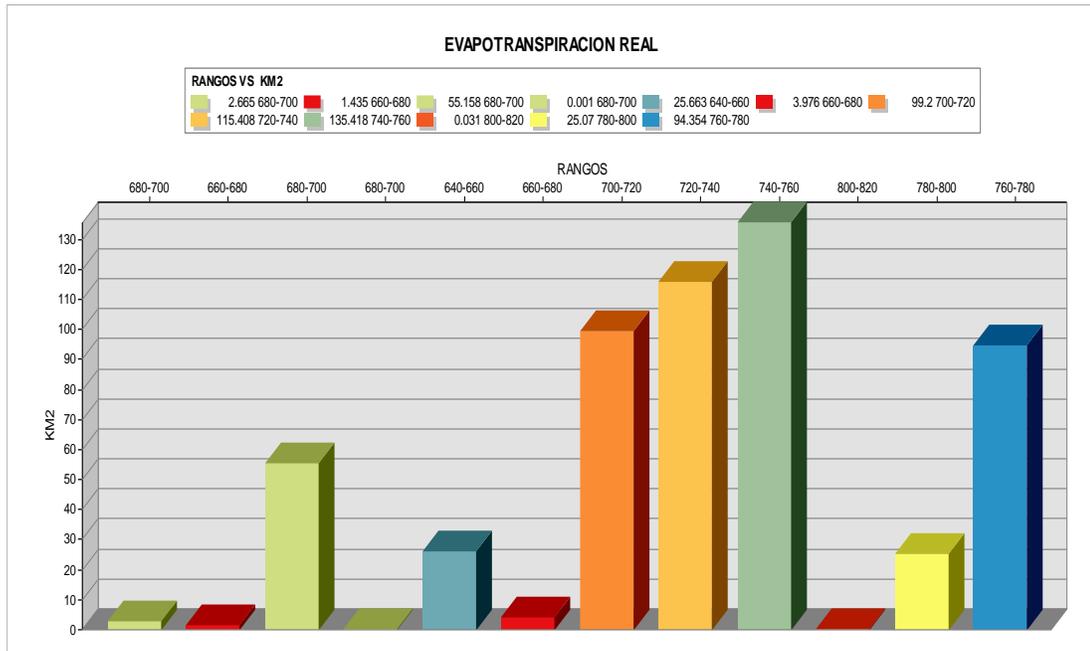
Figura 47: mapa de evapotranspiración real en la cuenca



Fuente: Autores Trabajo de grado

La grafica de barras N.4 muestra la relación entre los km2 y los rangos de evapotranspiración real que se presentó en el año 2015 en el área de la cuenca

Grafica 4. Evapotranspiración real en la cuenca



Fuente: Autores Trabajo de grado

Playdera (2003), sugiere que la evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación correcta del balance hídrico es decir comprende el ciclo en sus diferentes fases la forma en que el agua se recibe por precipitación y se reparte entre los procesos de evaporación, infiltración y escorrentía.

El balance hídrico pues es una expresión muy simple pero la cuantificación de sus términos es complicado dado la falta de medidas directas y la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas en acuíferos y de las variaciones del agua almacenadas en las cuencas.

- En general se puede afirmar que: del agua que cae en un determinado sitio (precipitación). (PT)
- Parte regresa a la atmosfera en forma de evapotranspiración. (ET)
- Otra parte escurre por la superficie de la cuenca (escorrentía superficial) (ES).

Entonces este escurrimiento fluye a la red de drenaje, hasta alcanzar los cauces principales y finalmente el mar el resto se infiltra en el terreno incorporándose a la red de agua subterránea o acuífero INFILTRACION (I).

Estas magnitudes deben cumplir con la siguiente ecuación la cual se conoce como balance hídrico o hidrológico:

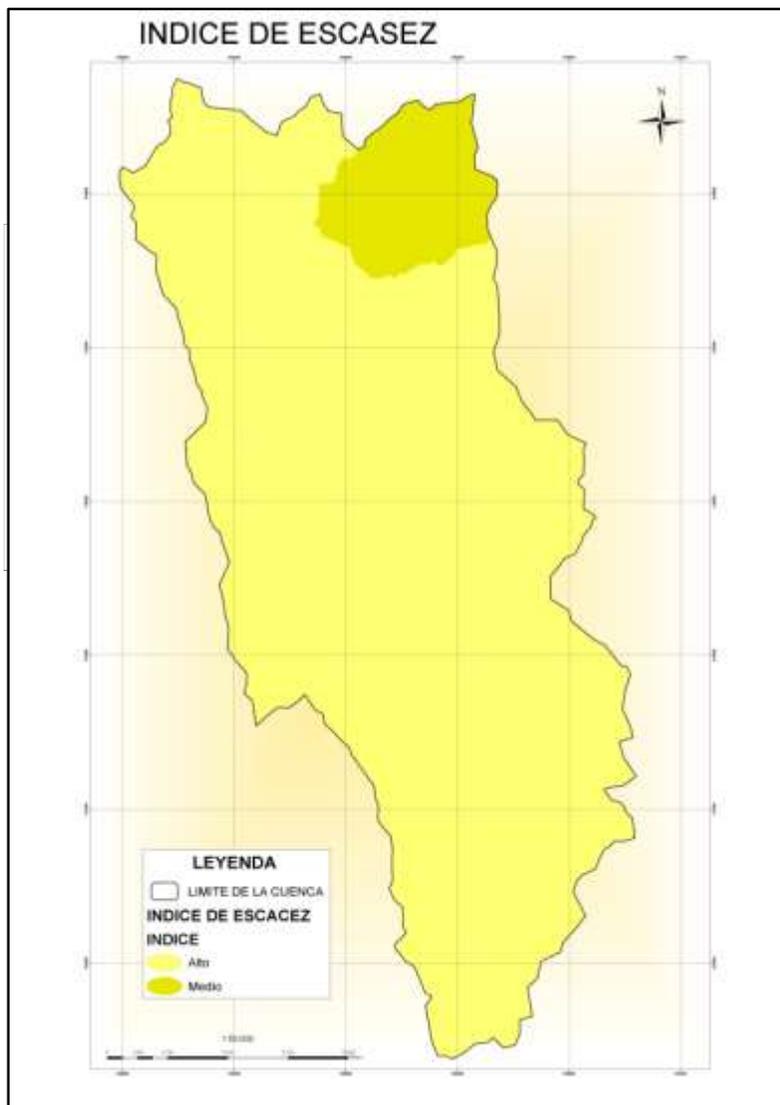
$$P = ETR + ESC + I$$

La fórmula general que se utiliza para balance hídrico es la siguiente

$$CAPTACION - EVAPORACION = ESCORRENTIA SUPERFICIAL + INFILTRACION$$

Con la ayuda del software SIG ArcGIS, se realizó el balance hídrico y determinar de esta forma el índice de escasez de la cuenca

Figura 48. Mapa de índice de escasez de la cuenca



Fuente: Autores Trabajo de grado

En todo ciclo cerrado el principio fundamental indica que la masa no se destruye ni se crea, esta premisa aplica para el ciclo hidrológico de esto se tiene la ecuación del balance hídrico antes escrita

ENTRADAS – SALIDAS = CAMBIOS EN ALMACENAMIENTO

Con el uso del software SIG ArcGIS, se generó el balance hídrico a partir de la información de las estaciones meteorológicas del catálogo del IDEAM el cual nos permitió la ponderación de los datos en series de 10 años, para realizar este análisis se utilizó el índice de severidad de Palmer el cual permite evaluar condiciones locales de excesos o deficiencias hídricas acumuladas durante un periodo determinado según las condiciones edafoclimáticas de la cuenca.

Este modelo de Palmer se basa en un balance hídrico a nivel mensual el cual requiere como variables las anteriormente mencionadas, las categorías del índice de Palmer generadas para cada estación se reclasificaron y se calculó la frecuencia mensual de valores correspondientes a cada nueva categoría durante los 10 años,

Con los valores de frecuencia obtenidos para las condiciones de excesos y deficiencias se calcula la diferencia porcentual de cada una de estas con respecto a la condición normal para definir de esta manera el escenario más frecuente (húmedo, normal o seco) en cada una de las estaciones.

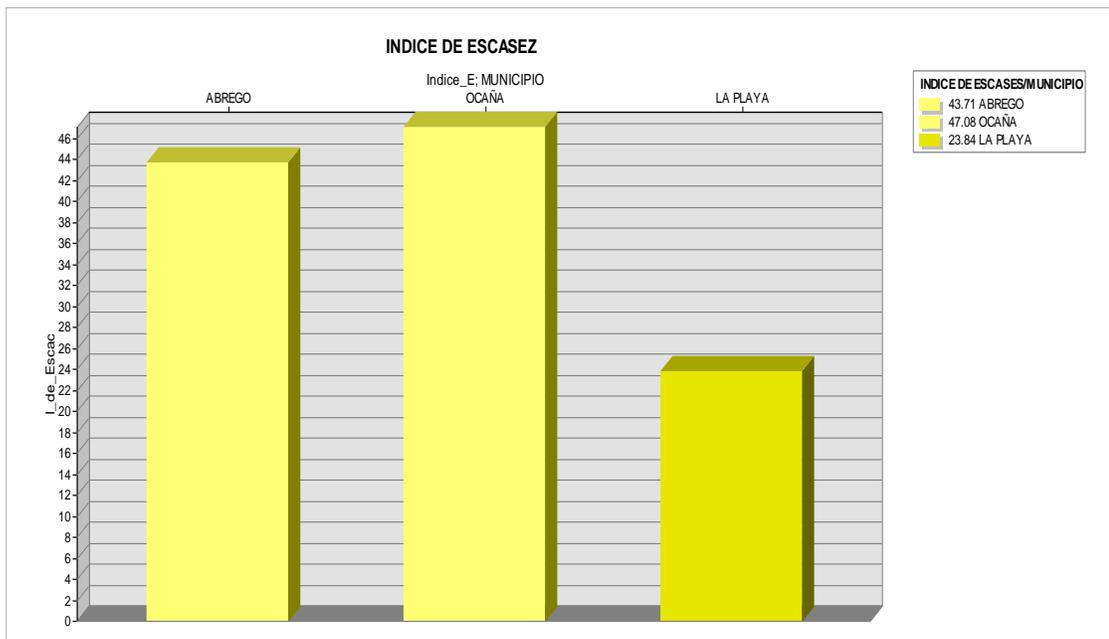
Posterior a esto y teniendo en cuenta el comportamiento zonal en cada una de las estaciones de la unidad de análisis se estableció un rango con valores máximos y mínimos de las diferencias porcentuales de frecuencias, entonces cada estación se evaluó con respecto al rango anterior para definir la categoría de susceptibilidad a excesos y las deficiencias hídricas de acuerdo a la siguiente clasificación

- Susceptibilidad alta
- Susceptibilidad media
- Susceptibilidad baja

Las categorías de susceptibilidad encontradas en cada estación se interpolaron utilizando el método IDW para identificar las zonas con mayor susceptibilidad a condiciones de exceso de humedad o sequía.

Como resultado se generó la salida gráfica temática índice de escasez la cual nos entrega las estimaciones de la escasez hídrica para los municipios que hacen parte de la cuenca en estudio, esto basado en las necesidades hídricas y la oferta de la cuenca

Grafica 5. Índice de escasez de la cuenca



Fuente: Autores Trabajo de grado

Tabla 22. Índice de escasez de la cuenca

MUNICIPIO	OFERTA HIDRICA	RENDIMIENTO	DEMANDA TOTAL	INDICE DE ESCASEZ	CLASES	AREA MUNICIPAL KM2
ABREGO	114238485,9	114,238,485	49940371,21	43.71	Alto	422.892537
LA PLAYA	10540809,81	10,540,809	2513541,44	23.84	Medio	44.81794
OCAÑA	31922171,44	31,922,171	15029717,57	47.08	Alto	90.511601

Fuente: Autores Trabajo de grado

El análisis estableció que de los municipios que componen el área de la cuenca estudiada Abrego y la playa presentan un índice de escasez alto y para el caso del municipio de la playa de belén el índice de escasez es medio, específicamente para el municipio de Ocaña se realizó el análisis de hasta cuanto tendría disponibilidad de agua con estas condiciones de oferta y demanda y calculamos el consumo de agua por habitantes en el casco urbano bajo la premisa que en Ocaña en el casco urbano se tengan un total de 120 mil habitantes

con un dato de captación de recurso hídrico de 180ltrs/segundo durante 20 horas de captación todos los días de la semana.

Esto significa que cada habitante en el casco urbano del municipio podría estar consumiendo un total de 3240ltrs/mes de agua lo que implica que solo en consumo humano se requieren un total de 4'665,600m³/año eso unido a los usos del agua en cuestiones agropecuarias exigen una demanda de 15'029.717,57m³/año frente a una oferta Hídrica en la cuenca para este municipio de 31'922.171m³/año

Un cálculo estimado sugiere entonces que la oferta Hídrica de la cuenca para el municipio de Ocaña solo estaría vigente a 6,8 años

5.8 PASÓ A PASO PROCESO DE DELIMITACION DE CUENCAS Y DETERMINACION DE SUS CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

1. GESTION DE LA INFORMACION GEOFISICA DEL LUGAR DE ESTUDIO

Para la delimitación de cuencas hidrográficas mediante el uso de software SIG se procedió a la descarga de archivos de modelos Ráster denominado como DEM modelos digitales de elevación procedentes del proyecto ASTERGDEM con una valor de pixel de 30x30 y 15*15

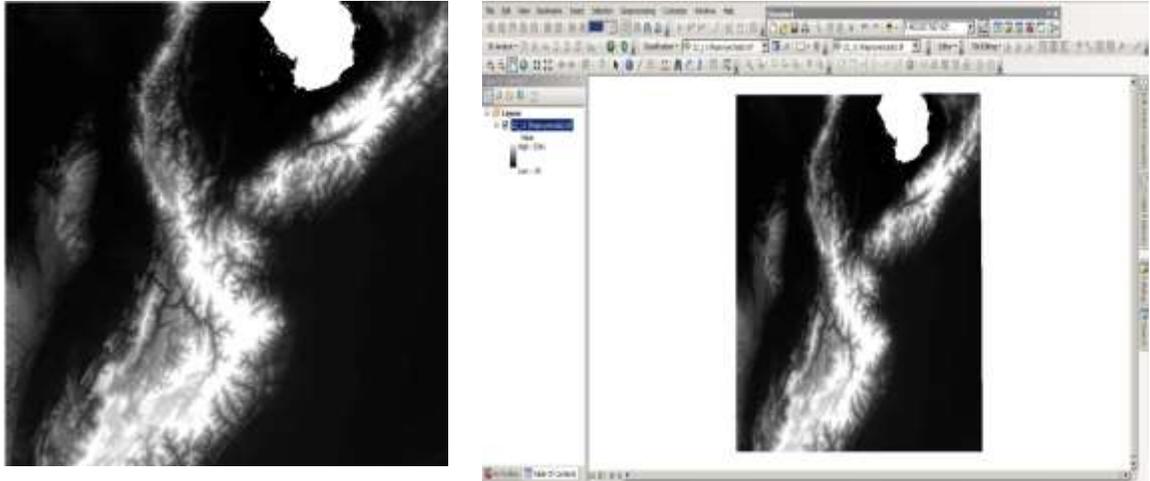
Figura 49. Imagen del geoportal ASTER GDEM, usado para la descarga de los modelos digitales de elevación



Fuente: Autores Trabajo de grado

Después de obtenidos los DEM se procede a su procede a incorporar el DEM en la plataforma de ARCGIS, para realizar las labores de procesamiento de la información

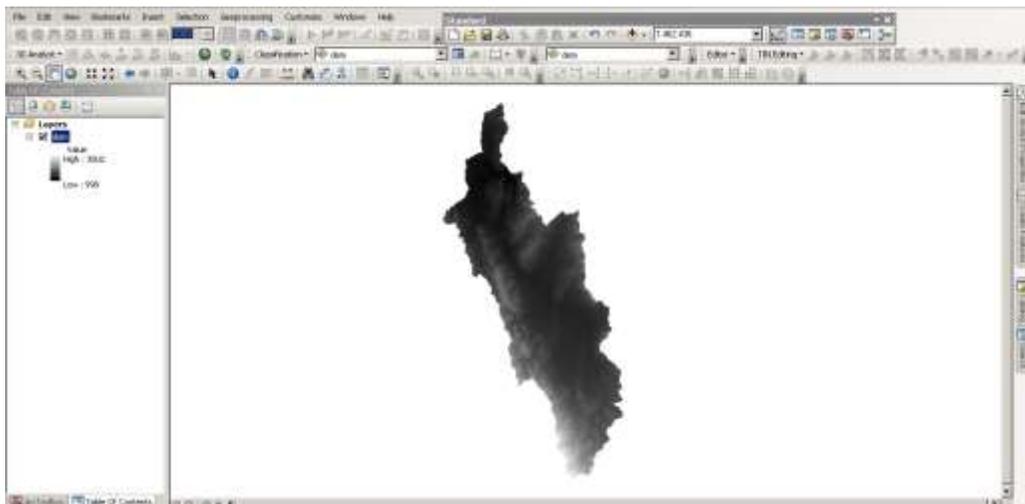
Figura 50. Modelo digital de elevación obtenida de la página ASTER GDEM e importación a la plataforma ARCGIS 10.2 para iniciar el proceso de digitalización



Fuente: Autores Trabajo de grado

Una vez obtenido el DEM se le debe asignar un sistema de referencia de coordenadas mediante un proceso que se llama reproyección en el software **ARCGIS 10.2**, dejándolo en el sistema MAGNA y luego se procede a realizar un Geoproceso Ráster con la ayuda de la herramienta de Arc toolbox Ráster surface extracción by mask, para obtener únicamente el DEM de la zona que nos interesa trabajar en este caso el DEM de la cuenca del río algodonales, esta acción se realiza incorporando o sobreponiendo un modelo vectorial del límite de la cuenca del río algodonales límite oficial probado por corponor.

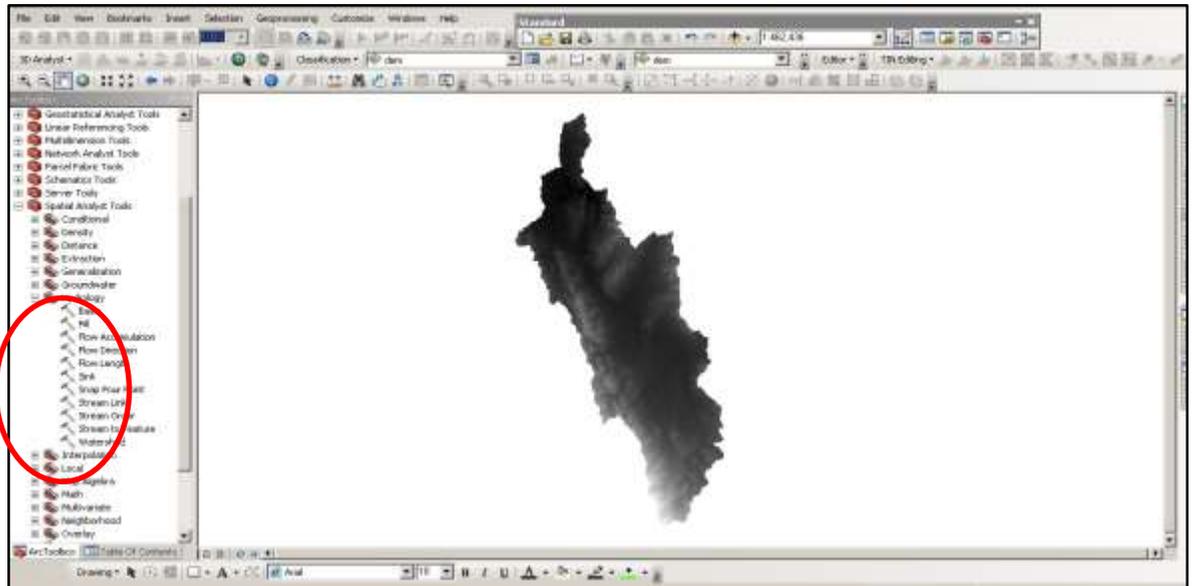
Figura 51. Resultado del Geoproceso Ráster denominado extracción por máscara



Fuente: Autores Trabajo de grado

A partir de este modelo digital de elevación se inicia el proceso de delimitación del área de trabajo la cual será una parte de la cuenca del río algodonal está a acción se inicia con el uso de una herramienta del Arctoolbox de nombre Hidrology en donde lo primero que hacemos es el FILL, esta herramienta permitirá la corrección de los denominados sumideros los cuales son errores en los tamaños de los pixeles.

Figura 52. Resultado del proceso FILL



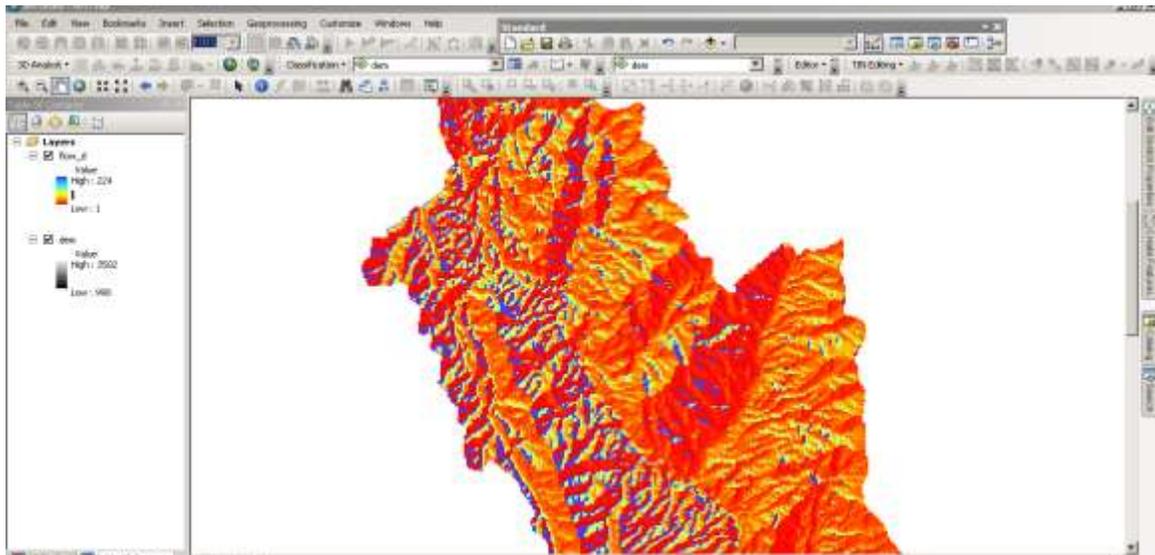
Fuente: Autores Trabajo de grado

Como resultado de este proceso obtenemos un DEM sin errores en la información permitiéndonos obtener información confiable, paso seguido realizamos un flow direction lo que nos permitirá establecer la dirección de flujo en el área de la cuenca

2. FLOW DIRECTION

Se activa la herramienta de flujo de direcciones de Arctoolbox y se ingresa el fill generado en el paso anterior y como resultado se obtienen las direcciones de flujo

Figura 53. Flow direction



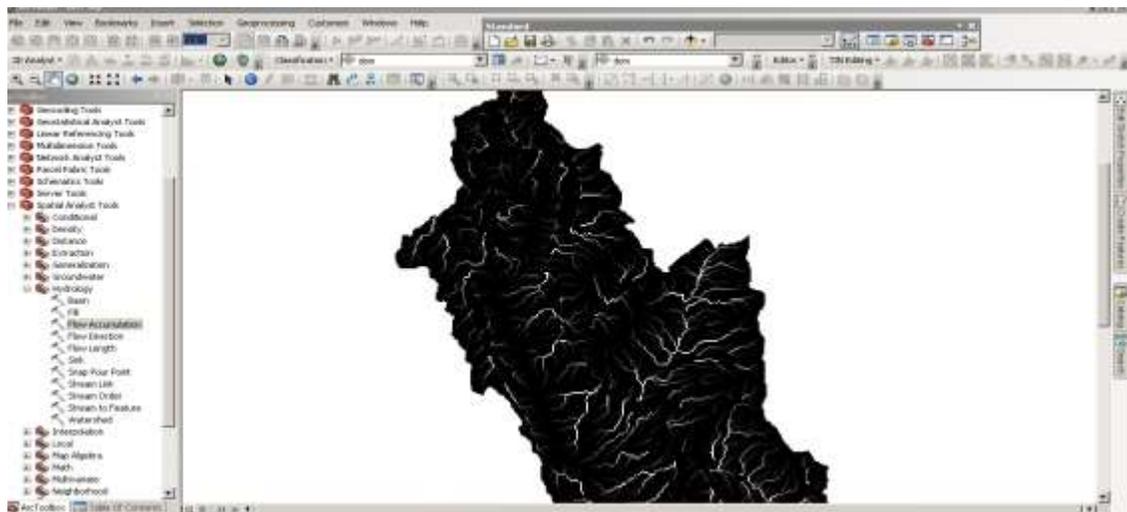
Fuente: Autores Trabajo de grado

Esta dirección de flujo le permitirá al software entender por razones de topografía del terreno en donde se encuentran los meandricos y se procede a determinar la acumulación de flujos.

3. FLOW ACUMULATION

Sobre el flow direction se calcula el flow accumulation o dirección de acumulación de los flujos y como resultados se obtiene una gama de pixeles las cuales son representación de los drenajes naturales.

Figura 54. Flow accumulation

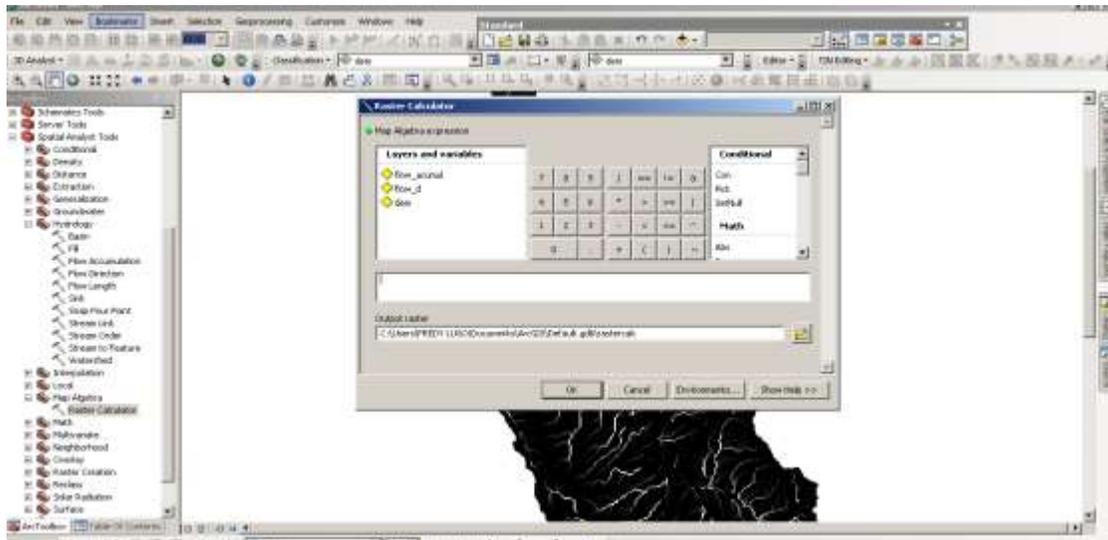


Fuente: Autores Trabajo de grado

4. ALGEBRA DE MAPAS

Luego se recalculan la profundidad de los drenajes por medio de la aplicación de algebra de mapas

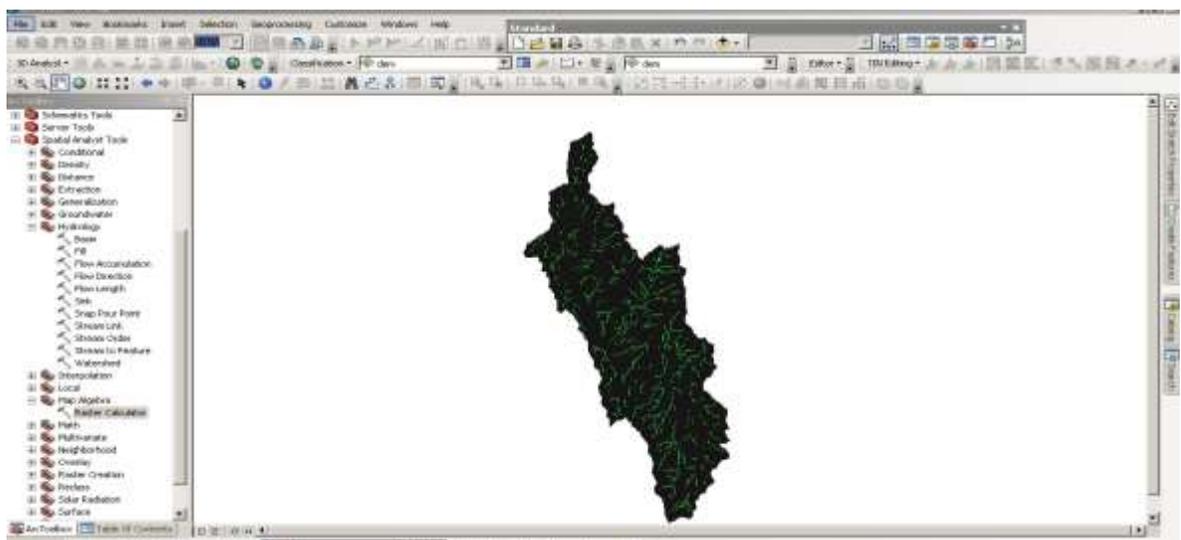
Figura 55. Algebra de mapas



Fuente: Autores Trabajo de grado

El cálculo se realizar buscando corregir los órdenes de la red de drenajes para clasificar según Horton, obteniendo como resultado

Figura 56. Resultado de la aplicación de algebra de mapas

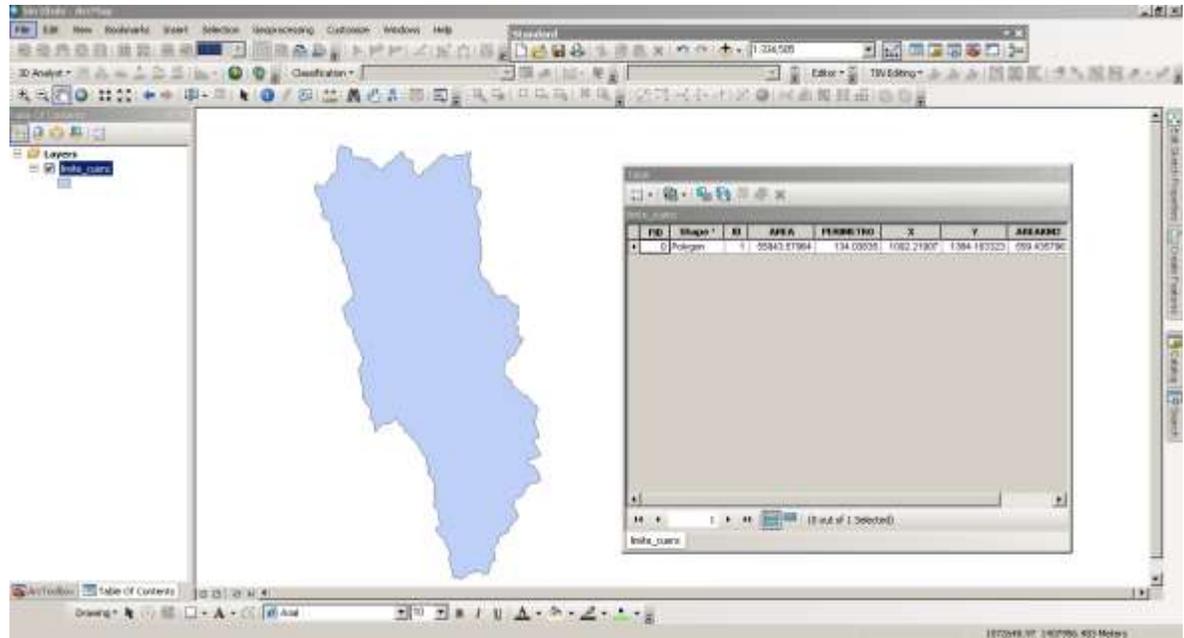


Fuente: Autores Trabajo de grado

5. GENERACIÓN PUNTO DE DESFOGUE

Se procede a generar el punto de desfogue del área de trabajo y se crea un snap poin, para iniciar la delimitación y proseguir con el uso de la herramienta watershed, el cual dara origen al límite de la cuenca y luego este límite en formato Ráster es convertido a shp para calcular su área_ perímetro y demás características morfométricas.

Figura 57. Generación punto de desfogue



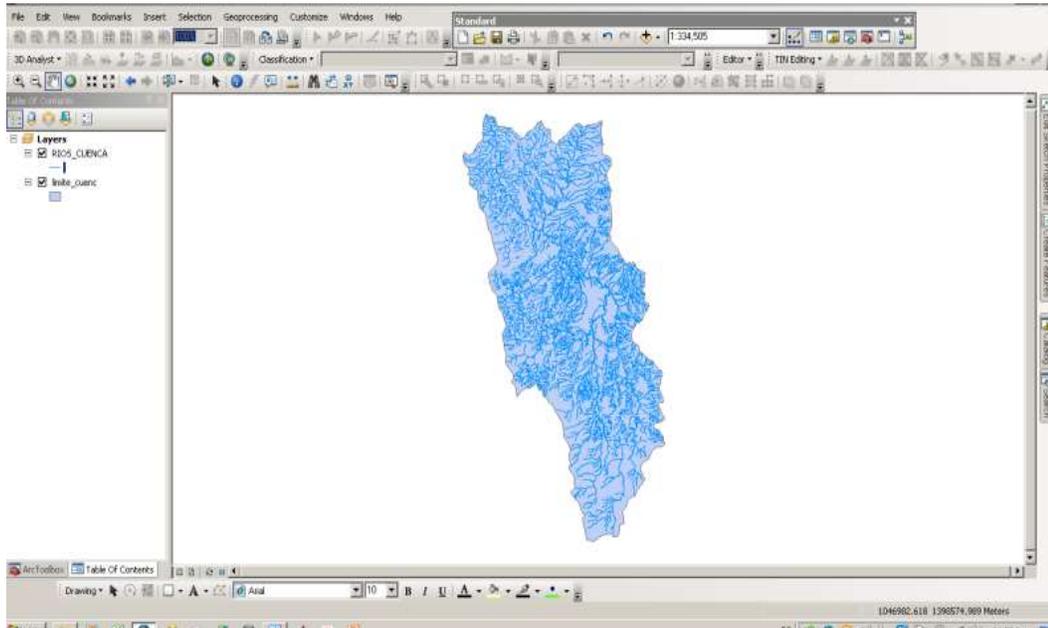
Fuente: Autores Trabajo de grado

Se recalcula las características como área, perímetro, centroides x y, y se inicia el proceso de creación del dbf del archivo vectorial.

6. STREM ORDER

Esta herramienta se usa para la creación del orden de drenajes y determinar el orden de los cauces y por ende el orden de la cuenca, para posteriormente conocer la densidad de drenajes y longitud de esta red.

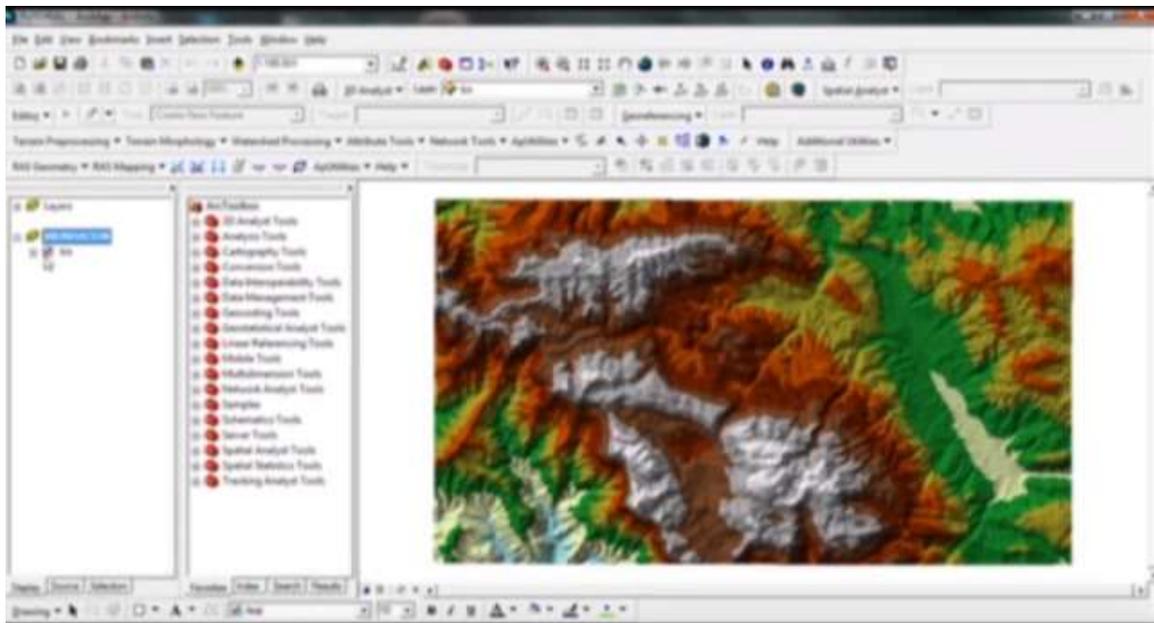
Figura 58. Stream order



Fuente: Autores Trabajo de grado

A partir del modelo digital de elevación se crea un TIN que es un modelo digital de terreno el cual servirá para anexar e interpolar la información de los caudales y la red Hidrica que se trabajó en Hec ras y generar los modelos de inundación en la zona de estudio.

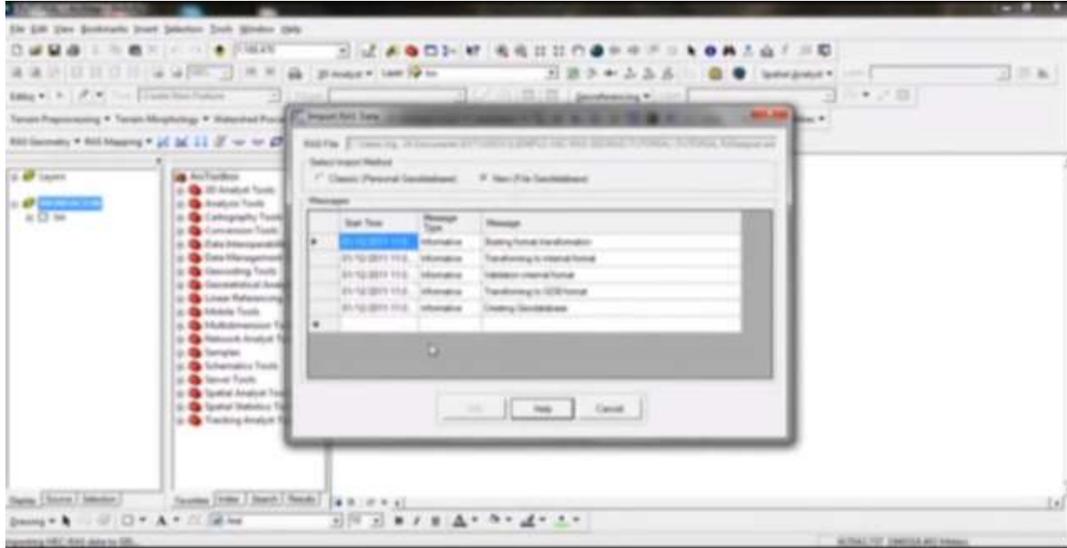
Figura 59. Creación de TIN



Fuente: Autores Trabajo de grado

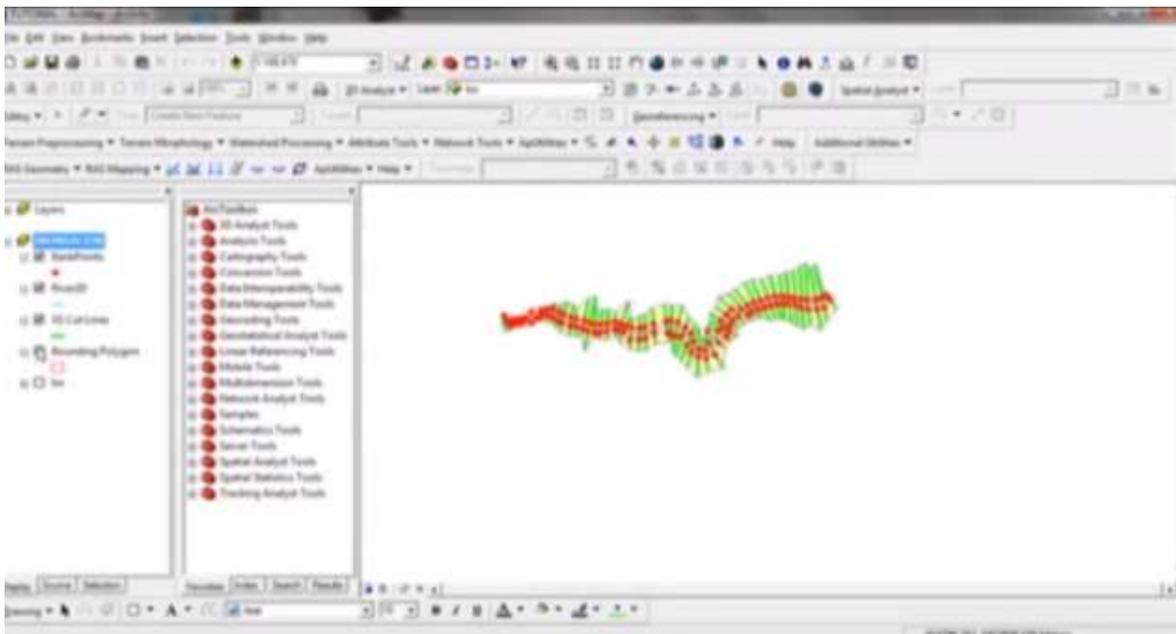
7. SE CARGAN LOS ARCHIVOS GENERADOS EN HECRAS

Figura 60. Datos para HecRAS



Fuente: Autores Trabajo de grado

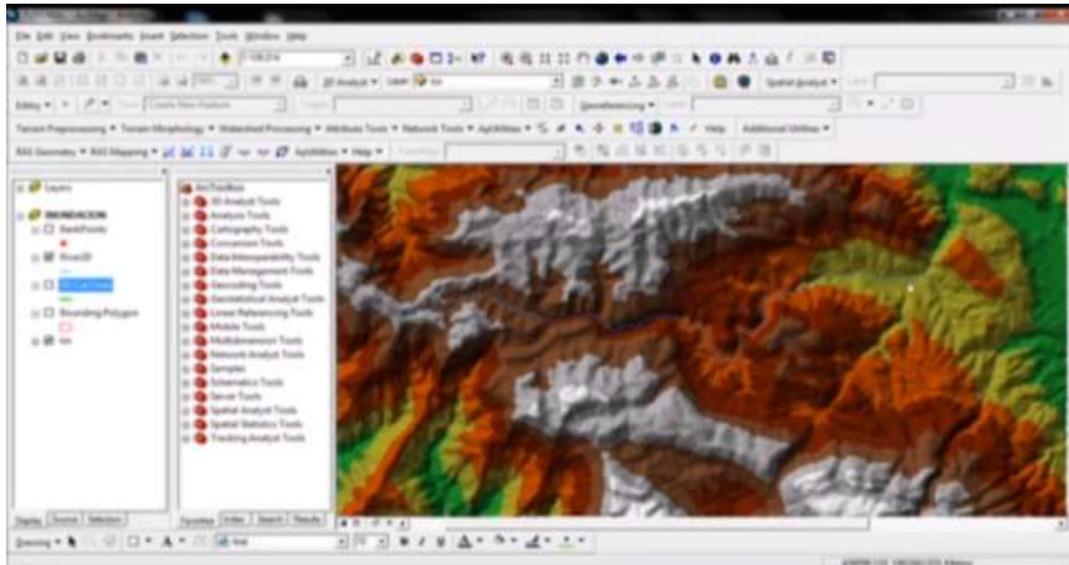
Figura 61. Datos cargados en HecRAS



Fuente: Autores Trabajo de grado

8. CREACION DE LAYERS. Como resultado tenemos los layers creados en xml y convertidos a shp para el trabajo en ArcGIS y activamos el TIN de estudio.

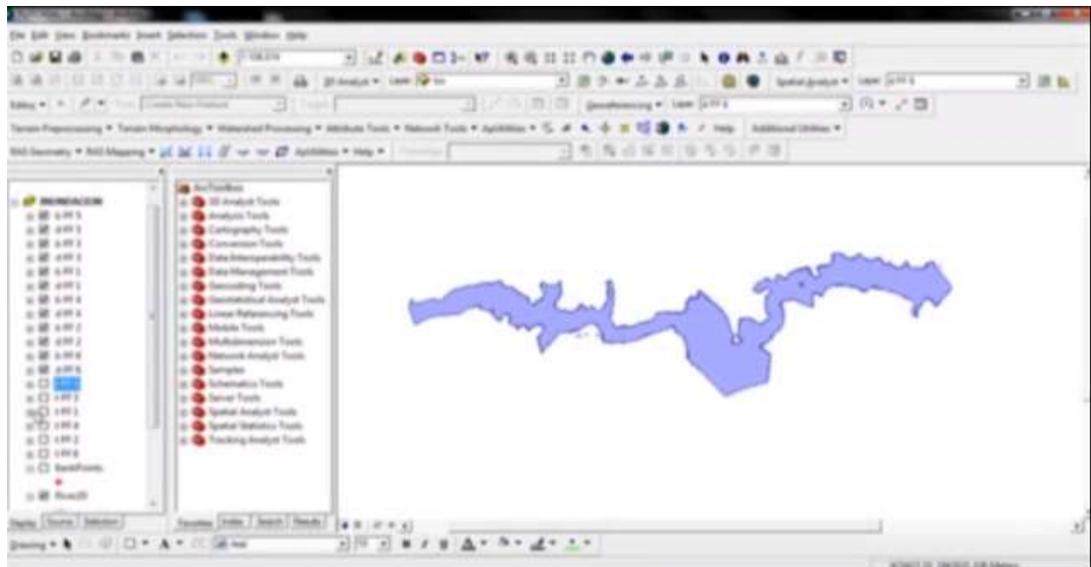
Figura 62. TIN de estudio definitivo para la cuenca.



Fuente: Autores Trabajo de grado

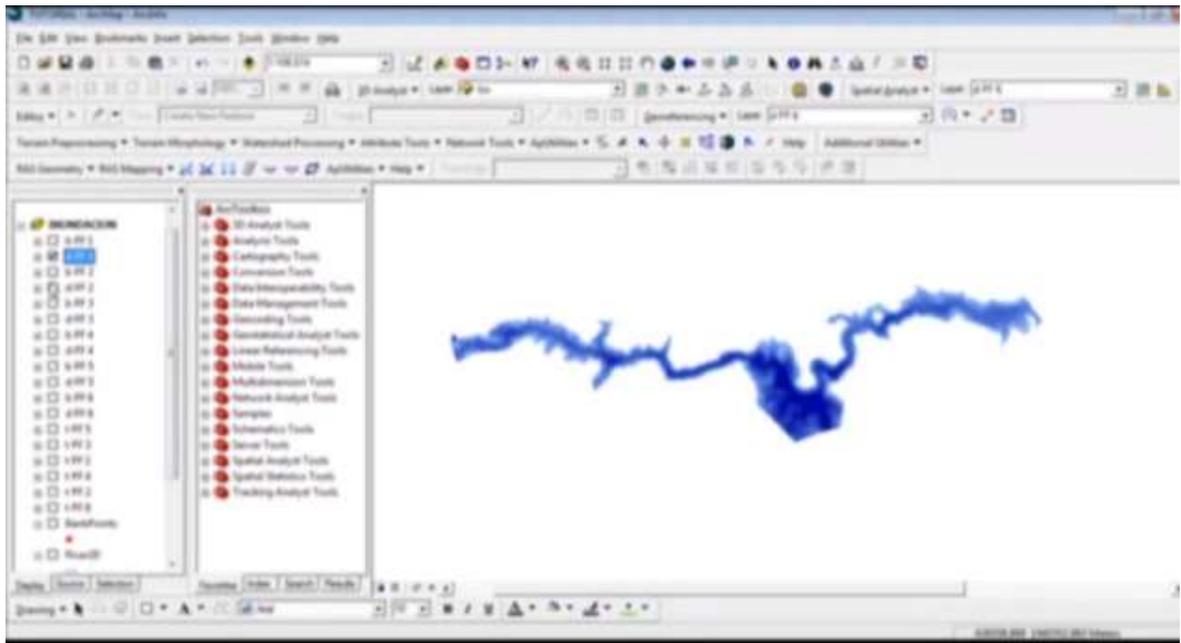
9. RASMAPING. Luego importamos a ArcGIS el **RASMAPING** con los diferentes periodos de retorno en el área de la cuenca

Figura 63. RASMAPING 1



Fuente: Autores Trabajo de grado

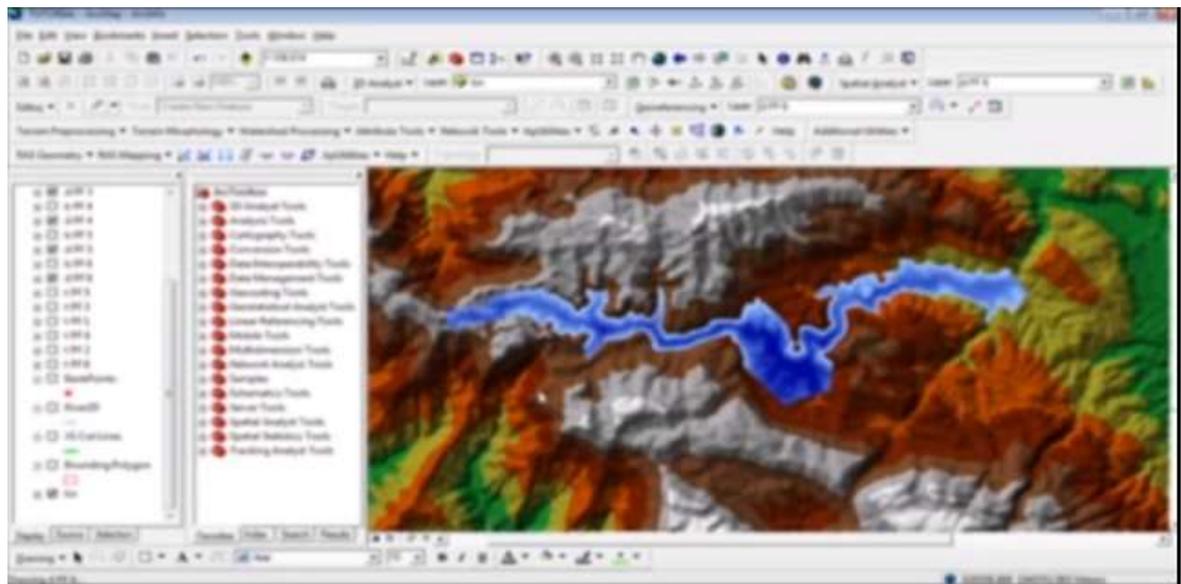
Figura 64. RASMAPING 2



Fuente: Autores Trabajo de grado

10. AREAS DE POSIBLE INUNDACION

Figura 65. Edición final del TIN



Fuente: Autores Trabajo de grado

Después de la edición del TIN y los layers obtenemos la salida grafica de inundación es con la representación de periodo de retorno o GRID a 100 años con una profundidad de inundación de 270m

Figura 66. Resultado final de áreas con posible inundación en la cuenca



Fuente: Autores Trabajo de grado

CONCLUSIONES

Los autores de esta investigación quieren presentar a ustedes las siguientes conclusiones las cuales pretenden dar unas pautas para desarrollar una profundización en este tipo de investigación:

El estudio y modelación de cuencas hidrográficas o áreas hidrológicas se debe realizar con el uso de herramientas **SIG** lo cual permite realizar un estudio robusto técnicamente y que de credibilidad a sus conclusiones técnicas, esto debido a que los SIG permiten realizar análisis para toma de decisiones en cualquier área del conocimiento, sin embargo los sistemas de información geográfica basan su entrega de información en los datos espaciales que usted le suministre por lo tanto si usted suministra datos erróneos y viciados el software entregara información viciada o errónea la cual causara un mal análisis de parte del profesional que interprete esta información.

Los sistemas de información geográficos (SIG) están enfocados para el análisis de los datos, y para que esto sea posible la información ha de ser íntegra y completa. Por todo ello, cuentan con avanzadas herramientas de limpieza que permiten testear y corregir cualquier geometría inválida.

Durante el desarrollo del trabajo se probaron 3 extensiones las cuales se usan sobre la plataforma ArcGIS 10.2 , para realizar estudios ambientales a nivel hidrológico de cuencas hidrográficas, de estas tres extensiones se tomó la decisión de desarrollar el estudio hidrológico basado con la extensión Hydrology dado que después de mucho indagar con profesionales del IDEAM, IGAC Y LA CAR , tenemos argumentos científicos y técnicos para soportar nuestra decisión.

Para validar la información suministrada por la extensión Hydrology del software ArcGIS en la determinación de la morfometría de la cuenca, se pudo comprobar analíticamente y mediante el uso del programa AutoCAD que los datos son confiables, ya que realizando las comparaciones de los datos obtenidos, el margen de error calculado es nulo.

El área de estudio designada a partir de un punto de cierre seleccionado de forma arbitraria y con un punto de desfogue basado en la interpretación de pixeles en un DEM A 30 MTRS de resolución espacial se delimito en un total de 55943.57Ha, y un perímetro de su parte aguas de 134.03km eso significa un total de 5594,3km² de área, esta área significa que a pesar de estar dentro del área que se ha ordenado por el gobierno nacional como una cuenca hidrográfica y que se conoce como cuenca del rio algodonal parte alta, nuestra área de estudio también puede catalogarse como cuenca hidrográfica por su extensión geográfica.

El mayor % del área de la cuenca o zona de trabajo delimitada cuenta con suelos denominados por el IGAC desde el punto de vista agrológico como clase VII –VII lo cual le brinda una características importantes a nivel edafológico que en el momento de realizar un estudio y análisis hidrológico son de vital importancia y se debe tener en cuenta dado que sin estos parámetros no se podría correr el modelo hidrológico en el software ARCGIS,

estas características edafológicas y/o agrologicas nos permitieron entender el comportamiento de la escorrentía superficial los cuales alimentan a los drenajes naturales del área de estudio, al ser suelos superficiales con fuerte presencia de roca superficial y poca profundidad efectiva con pendientes complejas que van de los rasgos de 0 -3% en los que se denomina el valle de Abrego hasta rangos de pendientes superiores al 75% en la denominada la vereda la maría y el cerro pan de azúcar.

Al calcular la longitud del cauce principal de la zona de trabajo el cual es el rio algodonal se calculó que su longitud es de 47,74km los cuales inician desde su punto geográfico de nacimiento el cual es la confluencia de los ríos Oroque y rio frio hasta el punto de desfogue localizado en la coordenada 8,245795 -73,320055, sin embargo el algodonal no es el drenaje más extenso dentro del área de estudio, siendo este el drenaje de rio Oroque el cual nace en el denominado cerro pan de azúcar a 2600mtrs de altura y el cual tributa sus aguas a el rio algodonal desde su punto de confluencia con el rio frio.

Se pudo establecer mediante nuestro estudio que a los periodos de retorno de 25 – 50 años no se presentaran problemas de inundación sin embargo cuando se realizó el periodo de retorno a 100 años se estableció un total de área susceptible a inundación de 1764,73Ha, las cuales están distribuidas según lo indica la salida grafica No. 28 Y que la zona más afectada será lo que se conoce como el valle de Abrego y un área adyacente al predio de la universidad francisco de paula Santander.

Un cálculo estimado basado en los datos de captura de caudal en el rio algodonal por parte de la empresa ESPO (180 Lt/s) y con una población en el casco urbano estimada de 120.000 habitantes permite sugerir que la disponibilidad de agua en el municipio de Ocaña procedente del rio algodonal podría estar entre 6,8 a 10 años, es decir que contaríamos con el recurso hídrico hasta el año 2023-2026 aproximadamente.

La cuenca del rio algodonal está en estado de deterioro y todo por nuestras acciones como la codicia, las captaciones ilegales, la extracción de materiales de arrastre del rio, actividades agrologicas, la tala indiscriminada de árboles, el poco cuidado que le tenemos a los nacaderos del rio y otras grotescas acciones más, hacen que contemos con muy poco recurso hídrico por parte de esta cuenca. No se puede saber si estemos a tiempo de salvar la cuenca pero si se puede saber con el resultado de este proyecto de grado que le quedan pocos años del preciado líquido a la cuenca del rio algodonal a este paso.

RECOMENDACIONES

Los autores de esta investigación quieren presentar a ustedes las siguientes recomendaciones las cuales pretenden dar unas pautas para desarrollar una profundización en este tipo de investigación:

Se sugiere a las administraciones municipales de : Ocaña, la playa y el municipio de Abrego los cuales hacen parte del área de estudio que aúnen esfuerzos en este tipo de estudios, que se cuente con profesionales idóneos en este tipo de temas y manejo de estas herramientas computacionales, en búsqueda de poder determinar planes de gestión del riesgo y planes de contingencia frente a posible ocurrencia de catástrofes que involucren los recursos agua , suelo y coberturas.

Con la idea de no generar un desabastecimiento del recurso hídrico en el municipio, nuestra recomendación es generar una alarma temprana para que las entidades correspondientes, tomen las medidas necesarias para la conservación del preciado recurso.

Se recomienda aunar esfuerzos a nivel departamental y municipal para generar estudios y diseños para la creación de embalses o represas, tratando de asegurar el recurso hídrico para futuras generaciones, dado que con la tasa de consumo de agua (dato entregado por ESPO) y con la oferta tan limitada basados en el índice de escasez de la cuenca del río algodonal actualmente, es una opción para tener en cuenta.

Plantear al gobierno nacional la adquisición del cerro pan de azúcar como un área estratégica de conservación, donde no se permita ningún tipo de actividad agrícola ni ganadera, puesto que este es el sitio donde nace el río algodonal y este se encuentra en estado de deterioro como consecuencia de las diferentes actividades de las personas que habitan ese lugar.

Por medio de datos oficiales de la empresa ESPO donde nos brindaron el consumo que tiene actualmente la ciudad de Ocaña: planta de tratamiento del algodonal con 180 L/s Con una captación de 20 horas al día aproximadamente y la planta de tratamiento del llanito con 60L/s con las mismas 20 horas de captación al día, este consumo es muy alto y sugerimos a la alcaldía de la ciudad de Ocaña tomar las medidas necesarias para inspeccionar el sistema de acueducto de la ciudad y así lograr detectar posibles pérdidas y conexiones herradas que puedan estar causando tan alto consumo.

Evitar drásticamente la extracción de material de arrastre de la cuenca del río algodonal, ya que esta actividad genera un drástico deterioro del cauce y un impacto ambiental en la zona, puesto que al dragar el río se generan pérdidas de agua por infiltración.

BIBLIOGRAFIA

CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Decreto 1541 (jul., 28 de 1978). Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.

DOAN, J. H., «Geospatial Hydrologic Modelling System Extensión HEC-Geo-HMS, user's manual.» U. S. Army Corps of Engineering, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA., 281, (2003).

DUEÑAS, C., «Marco normativo vigente ante el riesgo de inundaciones.» In: Jornadas Parlamentarias sobre prevención de riesgos relacionados con el agua: VI- La protección civil ante el riesgo de inundaciones, Cámara del Senado. Madrid, 7, (1997).

ESTRADA, V., «Esquema Hidrometeorológico Integral para HEC-HMS.» Ponencia XVI Fórum de Ciencia y Técnica. EIPIH Raudal, Holguín, Cuba, (2009).

FELDMAN, A. D., «Hydrologic Modelling System HECHMS, Technical reference manual.» U. S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, HEC, Davis, CA, 157, (2000).

MARTÍNEZ, M., «Modelación hidrológica para la obtención de hidrogramas de avenidas en cuencas montañosas de la zona oriental de Cuba. Caso de estudio: Las Coloradas,» Tesis en opción al título de Ingeniería Hidráulica, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, (2008).

NANÍA, L. S., «Manual Básico de HEC-HMS 3.0 y HEC-GEO-HMS 1.1.» Universidad de Granada, Dpto. de Mec. de Estructuras e Ingeniería Hidráulica, Área de Ingeniería Hidráulica, (2007).

PACHECO, R. M., «Modelación Hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba.» Tesis en opción al título de Máster en Ingeniería Hidráulica, CIH, ISPJAE, La Habana, (2011).

Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrologia Aplicada*. Santa fe de bogota: McGraw-hill interamericana s.a.

Lisnsley, R., Kohler, M., & Paulus, J. (1997). *Hidrologia para ingenieros*. Bogota, Colombia: McGRAW-HILL LATINOAMERICANA S.A.

REFERENCIAS DOCUMENTALES ELECTRONICAS

CIENCIAS DE LA TIERRA. Hidrología (online) 1 ed. [s.l.]: Ciencias de la tierra, 2014 [citado 22 jun., 2015]. Disponible en: <http://www.jmarcano.com/planeta/hidrologia.html>

ESTRADA SIFONTES, Valentina y PACHECO MOYA, Rafael Miguel. SIG (online). 1 ed. [Cuba]: 2012 [citado 26 jul., 2015]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382012000100008&script=sci_arttext

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/524/A6.pdf?squence=6>

IDEAM. Modelación hidrológica (online). 2 rev. [Bogotá]: Ideam, 2013 [citado 23 jul., 2015]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>

JORQUERA, Eliana; WEBER, Juan F. y REYNA, Santiago M. Revisión del estado del arte en la modelación hidrológica distribuida e integrada. (online). 1 ed. [s.l.]: Universidad Nacional de Córdoba, 2010 [citado 22 jun., 2015]. Disponible en: http://www.ina.gov.ar/pdf/ifrrhh/03_014_Jorquera.pdf

Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental CORPONOR. Subdirección de Recursos Naturales, Grupo Técnico POMCH 2010. (s.f.). *PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ALGODONAL*. Recuperado el 21 de Octubre de 2015

EPA United States Environmental Protection Agency. (20 de SEPTIEMBRE de 2013). *BASINS User Information and Guidance*. Recuperado el 19 de OCTUBRE de 2015, de <http://water.epa.gov/scitech/datait/models/basins/userinfo.cfm>

ESRI. (s.f.). *ArcGIS Resources*. Recuperado el 19 de Octubre de 2015, de <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>

esri. (s.f.). *ArcGIS Resources*. Recuperado el 5 de noviembre de 2015, de ArcGIS Help 10.1: http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/Hydrologic_analysis_sample_applications/009z0000005z000000/

instituto de Estudios Ambientales – IDEA. (noviembre de 2006). *ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DE LA CUENCA DEL RÍO SAN EUGENIO*. Recuperado el 19 de 10 de 2015

INSTITUTO REGIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. (S.F.). *Modelos Digitales de Elevación (MDE) - Descripción*. Recuperado el 21 de OCTUBRE de 2015, de ¿Qué es un modelo digital de elevación?: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>

Nania, L. (29 al 31 de enero de 2007). *Manual basico de HEC-HMS 3.0.0 y HEC-GeoHMS 1.1*. Recuperado el 20 de octubre de 2015, de http://www.ugr.es/~lnania/_private/ManualBasico_HEC-HMS300_HEC-GeoHMS11_Espanol.pdf

uribe, n. (20 de 4 de 2010). *SWAT (soil and water assessment told)*. Recuperado el 19 de 10 de 2015, de CONCEPTOS BASICOS Y GUIA RAPIDA PARA EL USUARIO: <http://swat.tamu.edu/media/46967/swat2005-tutorial-spanish.pdf>

US Army Corps of Engineers. (s.f.). *Centro de Ingeniería Hidrológica*. Recuperado el 19 de octubre de 2015, de <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/>

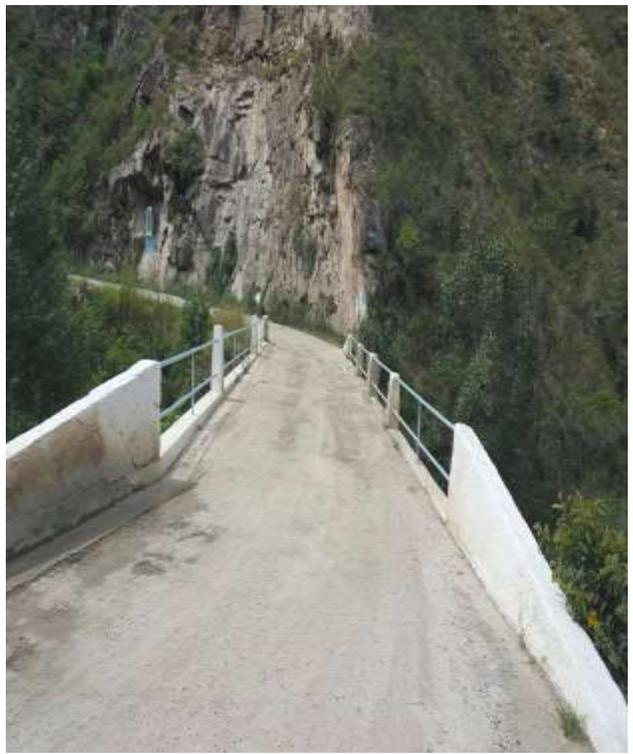
wikipedia. (14 de 09 de 2015). Recuperado el 19 de 10 de 2015, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Hidrolog%C3%ADa>

ANEXOS

Registro fotográfico visita al cerro pan de azúcar, lugar del nacimiento del rio frio y rio Oroque que luego se unen y forman el rio algodonal



Registro fotográfico de salida de campo para toma de coordenadas geográficas en puntos estratégicos dentro de la zona de estudio tomado a criterio de los autores del proyecto.





Cartera de campo: Toma de coordenadas de la zona de la cuenca en estudio

CARTERA DE CAMPO / 19 de Nov. del 2015

Ibeth Tatiana Illeras Rincón
Brayan Camilo Criado Sanguin

VERTICE	COORDENADAS GEOGRAFICAS			PLANA CARTESIANA			DESCRIPCION GENERAL
	LATITUD	LONGITUD	ALTURA	NORTE	ESTE	ALTURA	
1				1380994,809	1095795,305	1474,057 m	Entrada Vereda la Maria, U.S.
2				1385581,652	1094429,354	1409,873 m	Parque central de Abrego, U.S.
3				1392974,758	1087571,142	1321,821 m	Puente via la Playa, U.S.
4				1400816,443	1092645,726	1453,324 m	Parque los estoraques, U.S.
5				1402421,460	1083299,032	1204,526 m	Puente entrada U.F.P.S.O
6				1404007,032	1083647,607	1201,981 m	Punto de desfogue cuenca
7				1403550,685	1083713,925	1210,403 m	Galpones U.F.P.S.O.
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							

NOTA: Las coordenadas aquí plasmadas, son datos reales tomados con un GPS en diferentes puntos localizados estratégicamente a criterio de los autores del proyecto dentro del área de la cuenca en estudio.

Fuente: Autores Trabajo de grado

Cuadro 1. Cronograma de actividades.

ACTIVIDAD	SEMANA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Recolectar, analizar y evaluar la información secundaria existente relacionada con variables topográfica, estudio de suelos, hidrológica e hidráulica para el área en estudio.																	
Identificar los diferentes modelos computacionales existentes, SWAT, HEC-GeoHMS e Hydrology para realizar estudios de modelación hidrológica.																	
Caracterizar geomorfométricamente el área de estudio dentro de la cuenca del río algodonal utilizando las extensiones del software ArcGIS 10.2: SWAT, HEC-GeoHMS e Hydrology.																	
Desarrollar un comparativo de las diferentes delineaciones geométricas obtenidas por las extensiones del software ArcGIS (SWAT, HEC-GeoHMS e Hydrology), tomando como criterios: forma de la cuenca delimitada, parámetros morfométricos, magnitudes y versatilidad en la ejecución del modelo, eligiendo la herramienta computacional que arroje los resultados más confiables.																	
Elaborar el estudio hidrológico y su respectiva caracterización de una zona específica de la parte alta de la cuenca del río algodonal, considerando como punto de cierre, la ubicación																	

