

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	<small>Documento</small>	<small>Código</small>	<small>Fecha</small>	<small>Revisión</small>
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
<small>Dependencia</small>	<small>Aprobado</small>		<small>Pág.</small>	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(134)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	ANDRÉS FELIPE RICO MEJÍA OSCAR FERNANDO PEÑARANDA ARÉVALO		
FACULTAD	CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERÍA AMBIENTAL		
DIRECTOR	YEENY LOZANO LÁZARO		
TÍTULO DE LA TESIS	DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS INUNDABLES EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ABREGO POR MEDIO DEL CALCULO DE PERIODOS DE RETONO SEGÚN LO ESTABLECIDO EN EL RAS 2000		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>EL PRESENTE TRABAJO, PERMITE LA VISUALIZACIÓN DE LAS ZONAS INUNDABLES DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE ÁBREGO – NORTE DE SANTANDER, DETERMINADAS A PARTIR DE LA CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA DEL MUNICIPIO, EL CÁLCULO DE PERÍODOS DE RETONRO DE 25 – 50 AÑOS Y LA DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS:	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



**DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS INUNDABLES EN LA ZONA
URBANA DEL MUNICIPIO DE ABREGO POR MEDIO DEL CALCULO
DE PERIODOS DE RETONO SEGÚN LO ESTABLECIDO EN EL RAS
2000.**

AUTORES

ANDRÉS FELIPE RICO MEJÍA

OSCAR FERNANDO PEÑARANDA ARÉVALO

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Ambiental

Director:

YEENY LOZANO LÁZARO

Co-Director:

JUAN DAVID HERRERA GALVIZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

INGENIERÍA AMBIENTAL

Ocaña, Colombia

Agosto, 2017

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos

A nuestro Director Yeeny Lozano Lázaro y Co-Director: Juan David Herrera Galviz quienes fueron nuestra guía y ejemplo a seguir, gracias por confiar en nuestras capacidades como profesionales y personas.

A Alejandra Cerón Morales, Psicóloga y Mg en Familia, quien nos brindó su asesoría en el desarrollo de la investigación.

Índice

Capítulo 1. Determinación de las zonas inundables en la zona urbana del municipio de Ábrego por medio del cálculo de periodos de retorno según lo establecido en el RAS 2000.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4. Justificación.....	3
1.5. Delimitaciones.....	4
 Capítulo 2. Marco Referencial.....	 7
2.1. Marco Histórico, Internacional Y Nacional.....	7
2.2. Marco Contextual.....	10
2.3 Marco Conceptual.....	12
2.4 Marco Teórico.....	19
2.5. Marco Legal.....	23
 Capítulo 3. Diseño Metodológico.....	 33
3.1. Tipo de Investigación.....	33
3.2. Población.....	33
3.5 Técnicas E Instrumentos De Recolección De Información.....	34
3.6 Análisis de Información.....	35
 Capítulo 4: Administración del Proyecto.....	 37
4.1 Recursos.....	37
4.1.1 Recursos Humanos.....	37
4.1.2 Recursos Financiero.....	37
4.1.3 Recursos Institucional.....	38
 Capítulo 5. Resultados de la Investigación.....	 40
5.1. Objetivo específico 1 Caracterizar desde su perfil biofísico la zona de estudio denominada valle de Abrego, a través de la información secundaria que se encuentre disponible para la zona.....	40
5.1.1. Localización Geográfica del municipio de Abrego.....	40

5.1.2. Organización y división territorial municipal.....	42
5.1.3. Hidrografía.....	44
5.1.4. Suelos.....	47
5.1.5. Unidades de Paisaje	49
5.1.6. Climas.....	50
5.1.7. Litología Superficial	52
5.1.9. Características de Drenaje	56
5.1.10. Grado De Erosión	57
5.1.11. Precipitación promedio en la zona de estudio	58
5.1.12. Consolidación de la base climática.....	59
5.1.13. Control de calidad de las series climáticas	59
5.1.15. Geología de la cuenca del rio algodonal.....	62
5.2. Objetivo específico 2. Estudio hidráulico de la zona urbana de Abrego para determina los periodos de retorno a 25-50 años por medio del modelo Hec Ras 4.1.....	64
5.2.1. Delimitación De La zona De Estudio directa	67
5.2.2 Modelación Hidrológica.....	69
5.2.3. Delimitación de la planicie de inundación	73
5.2.4. Topografía y modelo digital de terreno	74
5.2.5. Procesamiento Geodésico.....	81
5.2.6. Modelo digital de terreno	81
5.2.7. Modelación Hidrológica Y Cálculo De Caudales Máximos	86
5.2.8. Características Geomorficas Del Área Natural De Drenaje (Microcuenca).....	90
5.2.9. Proceso De La Delimitación De Las Áreas De Drenaje En La Zona Directa De Estudio	92
5.2.10. Parámetros que expresan las forma	96
5.2.11. Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión (según Strahler). Curva A: Juventud-erosión, Curva B: Madurez-equilibrio, Curva C: Vejez-sedimentación.....	99
5.2.12. Tiempo de Concentración del área de drenaje.....	102
5.3. Objetivo específico 3. Determinar las zonas de riesgo por inundación en la zona urbana de Abrego junto con propuestas de mitigación.	102
5.3.1. Modelación hidrológica.....	103
5.3.2. Estimación de Áreas Inundables.....	103

Recomendaciones119

Referencias.....120

Lista de Tablas

Tabla 1	34
Tabla 2	37
Tabla 3	38
Tabla 4	38
Tabla 5	45
Tabla 6	46
Tabla 7	76
Tabla 8	108
Tabla 9	109
Tabla 10	114

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de Localización del Proyecto dentro del Municipio de Abrego Norte de Santander.	5
Figura 2. Casco urbano del municipio de Abrego Norte de Santander y la red hídrica del denominado valle de Abrego.	11
Figura 3. Localización geográfica del municipio de Abrego dentro del departamento de Abrego.	41
Figura 4. División Veredal del Municipio de Abrego.	43
Figura 5. Grupo Diagnóstico POMCHRA, Río Algodonal.	44
Figura 6. Microcuencas que conforman el municipio de Abrego.....	47
Figura 7. Mapa de las unidades de suelos en el municipio de Abrego.	48
Figura 8. Mapa de unidades de paisaje en el municipio de Abrego..	50
Figura 9. Climas de Abrego.	52
Figura 10. Litología superficial.....	53
Figura 11. Topografía del municipio.	55
Figura 12. Mapa de las características de drenajes del municipio de Abrego.	57
Figura 13. Mapa de erosión de los suelos del municipio de Abrego.	58
Figura 14. Mapa de Isoyetas en la cuenca del rio algodonal.	62
Figura 15. Mapa de geología de la cuenca del rio algodonal.....	63
Figura 16. Delimitación de la zona directa donde se realizó el estudio por medio del Software ERDAS Image 2014.	67
Figura 17. Exportación de los puntos GPS para definir área de estudio directa.....	68
Figura 18. Digitalización del tramo del rio algodonal bajo estudio.....	68

Figura 19. Imagen definitiva de la zona de estudio.	69
Figura 20. IP de la interface de trabajo del software HECRAS usado para la modelación hidráulica del tramo del rio algodonal en zona urbana del municipio de Abrego Norte de Santander.	71
Figura 21. Mapa de la definición de la ronda hídrica de protección en el tramo del rio Algodonal objeto del estudio.	73
Figura 22. Visual del terreno donde se desarrolló el levantamiento topográfico y batimétrico para el tramo seleccionado del rio Algodonal. Fuente: GOOGLE EARTH PRO, 2017.	75
Figura 23. Plano del levantamiento topográfico del tramo del rio algodonal en el municipio de Abrego zona urbana.	80
Figura 24. Perfil de elevación del tramo del rio.	82
Figura 25. Planicie de inundación definida a partir de la información topográfica y el MDT del valle de Abrego.	83
Figura 26. Mapa del límite de la cuenca del rio Algodonal.	91
Figura 27. Proceso de transformación del archivo raster a partir de la herramienta watershed de Arctoolbox.	92
Figura 28. Aplicación del método de algebra de mapas sobre un raster de acumulación.	93
Figura 29. Resultado del proceso de asignación de puntos de control a la red hídrica de la zona de estudio.	94
Figura 30. Delimitación del área superficial del drenaje.	95
Figura 31. Histograma de frecuencia.	98
Figura 32. Curva hipsométrica de la cuenca del área natural de drenaje.	99
Figura 33. Grafica de la altura media de la cuenca o del área natural de drenaje.	100
Figura 34. Uso de la herramienta Aspect bajo Spatial Analyst / Surface	104

Figura 35. Raster de aspecto.	104
Figura 36. Determinación de zonas de valle <2mtr o menos.....	105
Figura 37. Importación del archivo shp “tramo del Rio” el cual se dividió en los segmentos calculados.....	105
Figura 38. Rotación del tramo del rio para proceso de modelación.	106
Figura 39. Modelación Hidrológica.....	106
Figura 40. Modelación en IBER, desde otro punto de vista.	107
Figura 41. Delimitación de las zonas de inundación.	107
Figura 42. Localización de infraestructura afectada.	108
Figura 43. Localización de puntos de sedimentación.	114
Figura 44. Zonas estratégicas que requieren restauración, recuperación.....	116

Lista de Fotografías

Fotografía 1. Visita ocular para el levantamiento topográfico del tramo del río algodónal objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia.....	84
Fotografía 2. Medición de la anchura del cauce en distintos puntos del río algodónal. Fuente: Elaboración propia.....	84
Fotografía 3. Medición de la anchura del cauce en distintos puntos del río algodónal. Fuente: Elaboración propia.....	85
Fotografía 4. Geolocalización de los puntos de sedimentación en el tramo del río Algodonal. Fuente: Elaboración propia.....	85

Capítulo 1. Determinación de las zonas inundables en la zona urbana del municipio de Ábrego por medio del cálculo de periodos de retorno según lo establecido en el RAS 2000.

1.1. Planteamiento del problema

Para realizar una determinación de las zonas inundables en zona urbana en el municipio de Abrego es importante conocer en primer lugar contexto internacional, nacional y algunas referencias teóricas.

En primer lugar de acuerdo a Naciones Unidas en el año 2012, las zonas inundables son aquellas que se anegan durante la ocurrencia de eventos extraordinarios, como suele ocurrir con los aguaceros intensos donde se presentan en un determinado tiempo, crecientes de ocurrencia poco frecuente o las avalanchas, pero las Naciones Unidas no incluyen dentro de estas zonas inundables los cauces mayores o rondas de los ríos los cuales ocupados de forma frecuente del orden de una vez cada 10 años.

Siguiendo en este orden de ideas, en un contexto nacional, advierte el estudio de aguas publicado por; el departamento nacional de planeación en el año 1985 determinando como en Colombia presenta inundaciones de formas sistemáticas y periódicas donde esta a su vez se encuentra. Otro aspecto importante a mencionar en este estudio es la inquietud, cuestionamientos y problemáticas que se pueden dar en las inundaciones, realizando dos divisiones a nivel nacional cada una con características diferentes. A continuación se procede a explicar esos dos grupos. El primer grupo hace referencia a las inundaciones que se presentan en extensas zonas de vocación agrícola, son estas las zonas que permanecen bajo el agua por prolongados periodos de

tiempo tienen como consecuencia de la imposibilidad de drenaje natural durante el desarrollo de la época invernal, por otro lado se encuentran las características avenidas de los ríos con periodos de retorno de varios años y que ocasionan cuantiosas pérdidas , un ejemplo del primer tipo de problemática se puede observar en la denominada depresión Momposina dado que hacia esta drenan los ríos Magdalena Cauca San Jorge y Cesar y de donde se desprende el canal del dique.

De acuerdo a la información suministrada por el estudio de aguas es importante mencionar aspectos locales puesto que de acuerdo a esas problemáticas sugeridas por el estudio frente a las inundaciones, avalanchas y otros sucesos que pueden pasar para el interés de la investigación, conocer las inundaciones en Abrego. Para esto se hace hincapié en el comité regional para la prevención y atención de desastres (CREPAD) 2010, el cual emitió una señal de peligro de desbordamiento de varios ríos que se encuentran en la denominada provincia de Ocaña, donde representa grave peligro para numerosas familias localizadas en la zona, la ola invernal que se presentó durante este año hizo que los caudales de diferentes ríos y quebradas aumentaran y lo cual generaría un desbordamiento de estos ríos su desbordamiento afectando la calidad de vida de las personas que viven en las áreas riverseñas y bajas de las cuencas hidrográficas

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son las zonas de inundación en la zona urbana del municipio de Abrego, Norte de Santander según los periodos de retorno a 25 -50 años a partir del estudio Hidráulico de la cuenca Rio Algodonal a nivel urbano?

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar las zonas inundables en la zona urbana del municipio de Abrego por medio del cálculo de periodos de retorno según lo establecido en el RAS 2000.

1.3.2 Objetivos específicos

Caracterizar desde su perfil biofísico la zona de estudio denominada valle de Abrego, a través de la información secundaria que se encuentre disponible para la zona

Realizar el estudio hidráulico de la zona urbana de Abrego para determina los periodos de retorno a 25-50 años por medio del modelo Hec Ras 4.1.

Determinar las zonas de riesgo por inundación en la zona urbana de Abrego junto con propuestas de mitigación.

1.4. Justificación

El municipio de Abrego se encuentra localizado dentro de una región que los pobladores de Norte de Santander conocen con el nombre de la provincia de Ocaña, esta provincia de Ocaña se vio fuertemente amenazada por la ocurrencia potencial de inundaciones gracias a la fuerte ola invernal que se presentó en el año 2010 a causa de la anomalía climática de la niña que ocurrió durante ese año. Es por dichas estadísticas que se hace importante conocer las zonas de inundación para apoyar procesos de intervención.

El CREPAD, emitió para el año 2010 una señal de peligro de desbordamiento de varios ríos que se encuentran localizados dentro de la denominada provincia de Ocaña la cual la

componen los municipios de : Abrego, El Carmen, Teorama, Convención, La playa, La esperanza; Cáchira y Ocaña.

La anomalía climática del fenómeno de la niña consiste básicamente en un aumento de las precipitaciones históricas en un área indicada lo cual redonda en un posible aumento del caudal de los ríos y quebradas lo que potencialmente se puede convertir en inundaciones potenciales de algunas zonas específicas , la susceptibilidad entonces de estas zonas a las anomalías climáticas dependen de algunas características biofísicas de estas tales como: suelos, precipitación, evapotranspiración, vegetación, topografía.

El municipio de Abrego cuenta dentro de su geografía con una zona de valle la cual es irrigada por el rio Algodonal y por las aguas de los ríos Frio y Oroque junto con un gran número de cuerpos de agua de mediana importancia para las actividades agrícolas que se desarrollan de gran manera en este valle. (Modificación Excepcional Del Plan Básico de Ordenamiento Territorial Del municipio de Abrego) esto junto a su topografía plana dan origen al valle son escenarios potenciales para la ocurrencia de inundación de estas zonas, afectando las producciones agropecuarias y los bienes de los habitantes de este lugar.

De lo anterior se desprende la importancia técnica y social de brindar una herramienta técnica la cual pueda servir como insumo de discusión y análisis para que las autoridades locales y entidades pertinentes puedan determinar acciones de prevención para mitigar los impactos que puedan generar estas posibles ocurrencias.

1.5. Delimitaciones

Las delimitaciones presentes en esta investigación se centran en cuatro grupos, los cuales pueden ser insumo o recursos que permita un óptimo desarrollo durante su fase ejecución

1.5.1 Delimitaciones geográficas

La investigación se desarrollara en el municipio de Abrego Norte de Santander específicamente en la zona que se denomina valle de Abrego como lo indica la siguiente temática.

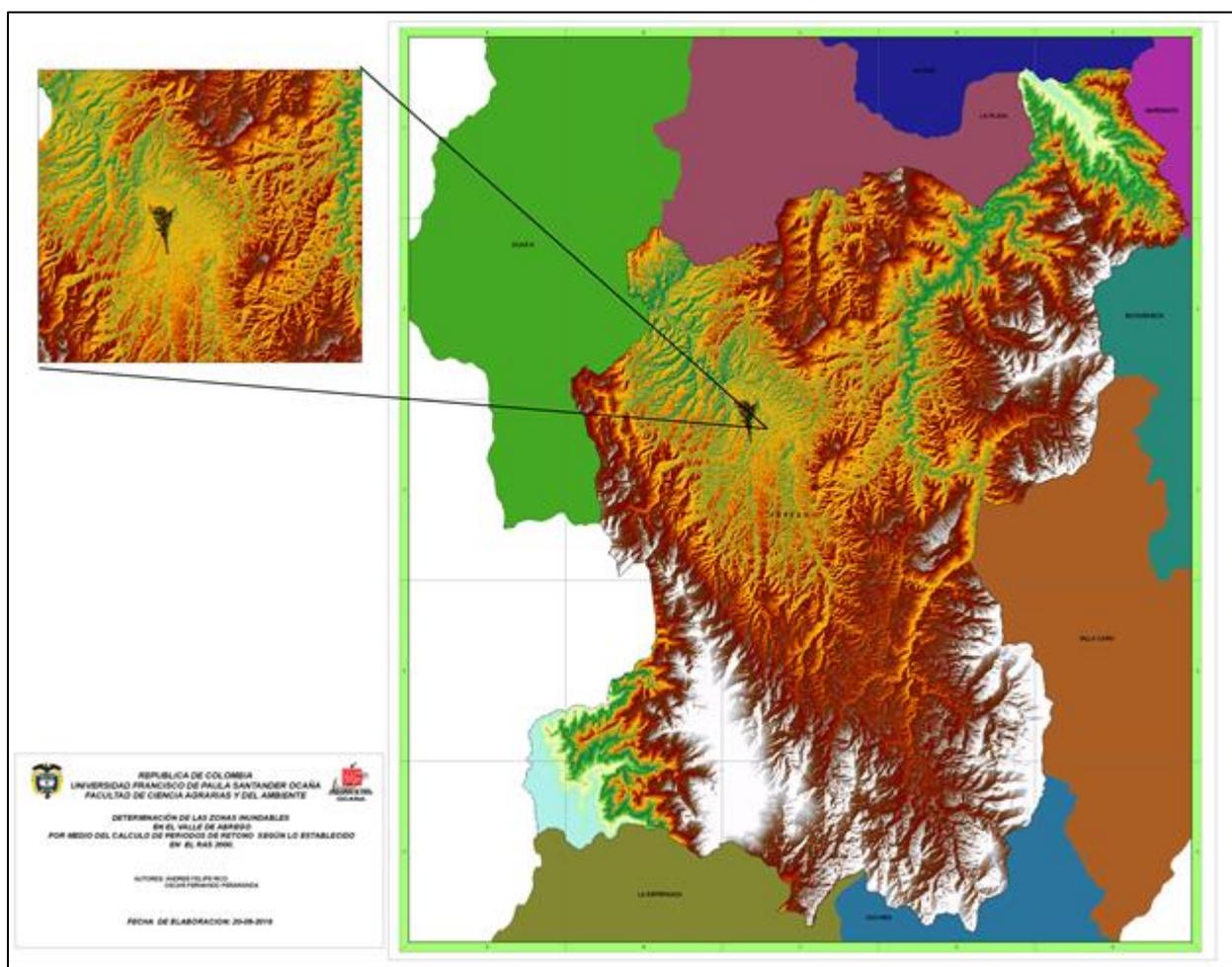


Figura 1. Mapa de Localización del Proyecto dentro del Municipio de Abrego Norte de Santander. Fuente:

Elaboración propia.

1.5.2 Delimitación temporal

Se tiene presupuestado desarrollar el proyecto en un total de 4 meses teniendo como fecha de inicio el día de la aprobación de esta propuesta por parte del comité académico.

1.5.3 Delimitación Operativa

Este proyecto está dentro de lo establecido por la modificación excepcional del plan básico de ordenamiento territorial del municipio de Abrego al año 2015, lo estipulado a nivel técnico para el cálculo de periodos de retorno y las cotas de inundación por periodos de retorno.

1.5.4 Delimitación Conceptual

El proyecto esta conceptualmente dentro de lo estipulado en el plan nacional de la gestión del riesgo, cotas de inundación determinadas por el IDEAM para cada municipio del territorio nacional, el cálculo de periodos de retorno en cuencas urbanas que se presenta en el RAS2000.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1. Marco Histórico, Internacional y Nacional

Desde el desarrollo de los primeros centros urbanos en la historia, ha existido la tendencia de hacerlo cerca de los cuerpos de agua, tanto los de agua dulce, debido a que este es un recurso indispensable para los seres vivos, así como de las zonas costeras, de manera de aprovechar los recursos pesqueros y el tráfico marítimo (<http://eficiencia.energia-ural.com/2016/03/10/estudios-de-zonas-inundables/>)

Según (Guerra; Correa, 2010) las principales fuentes de agua dulce, aptas para consumo humano se encuentran en lo que se conoce como ríos y lagos. El que los asentamientos humanos se hayan desarrollado cerca de las riveras de ríos, lagos y costas, han generado problemas de inundaciones por estos cuerpos de agua, con pérdidas materiales y de vidas humanas.

Los estudios sobre el cambio climático generado por el calentamiento global, muestra una alteración de los patrones de lluvias y sequías a nivel mundial, haciéndolos más extremos. Esta problemática ha tenido como resultado el desarrollo de estudios de zonas inundables de una región (Gil Martínez, 2011).

En el caso de los estudios sobre zonas inundables hoy en día son de gran importancia a la hora de establecer el ordenamiento de un territorio, determinando el correspondiente uso de la tierra. Estos estudios también dan información sobre las obras civiles que se pueden ejecutar, como las obras de canalización, construcción de presas, entre otras. (Pérez Juárez, 2014).

Según Serway Beicher (2012) la tecnología con la que se dispone hoy en día , así como los estudios de los patrones climáticos, ha generado del desarrollo de una serie de herramientas para caracterizar una región de acuerdo a su riesgo de inundación, para que de esta manera se puedan tomar decisiones al respecto.

Entre estas herramientas contamos con el desarrollo modelos teóricos matemáticos los cuales son capaces de simular de forma precisa, por medio del uso de ordenadores de gran capacidad de cálculo y mediante la incorporación de datos recolectados, como la topografía del terreno, datos meteorológicos, etc., se puede predecir el comportamiento de los cuerpos de agua a través de toda la zona en estudio y de esta forma minimizar los riesgos (Tipler. A, 2012).

Según (Ardila León, 2012) Las inundaciones son fenómenos de tipo natural los cuales ocurren cuando las aguas de los Ríos, Quebradas, Riachuelos, salen del lecho del escurrimiento debido a la falta de capacidad de transporte de uno de estos sistemas y pasa a ocupar el espacio que la población utiliza para vivienda, transporte, comercio, industria entre otros.

Existen a nivel internacional un sinnúmero de estudios que abordan esta problemática como eje central de investigación, siendo las entidades gubernamentales generalmente, las llamadas a realizar este tipo de estudios y en otros casos, las universidades en asocio con dichas entidades; así mismo, a nivel académico existen gran cantidad de publicaciones tanto a nivel de tesis, monografías o simplemente artículos que exponen y estudian estos casos específicos (Ardila León, 2012).

En latinoamericana se han venido desarrollando este tipo de estudios en áreas con alto grado de susceptibilidad a este tipo de riesgo entre los cuales caben destacar: “Análisis de riesgo

por inundaciones y deslizamientos de tierra en la microcuenca del arenal de Montserrat”

(cárdenas, 2011), “Teledetección aplicada a la reducción del riesgo por inundaciones”

“Aplicación de sistemas de información geográfica para el modelamiento de zonas con riesgo de inundación. Caso estudio Río Lurin”, “Sistema de información geográfica para la gestión de riesgo por deslizamiento de tierras e inundación del eje Araira – El Salmerón del municipio Zamora del estado Miranda”

En el caso colombiano, los estudios de gran envergadura se han elaborado através de las entidades estatales como el IDEAM, antiguo INGEOMINAS, IGAC, DANE, y FOPAE, enmarcados en algunos de los proyectos como lo son:

- Geomorfología y susceptibilidad a la inundación del valle fluvial del Magdalena, en el cual con un mayor nivel de resolución evalúa la susceptibilidad de inundación de zonas aledañas al Río Magdalena a través de un análisis de la geomorfología de la zona, de la dinámica fluvial del valle del Río Magdalena y de imágenes satelitales.
- Programa de investigación y zonificación geotécnica regional y urbana la zonificación geológica y geotécnica de la Cuenca del Río Cesar, que permitió evaluar las inundaciones y desbordamientos en el curso del río y proponer alternativas de solución para evitar afectación en la población y sus bienes.
- Monitoreo de zonas inundadas con tecnologías geoespaciales, convenio realizado entre Colombia Humanitaria y el IGAC, cuyo objetivo es adquirir imágenes de sensores remotos para generar, mapear y monitorear la capa geográfica afectada por inundación mediante el uso de tecnologías geoespaciales, con el fin de fortalecer las entidades miembro del Sistema Nacional de la Prevención y Atención de Desastres

Según el documento (APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN Y LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA INTERPRETACIÓN DE ZONAS INUNDABLES. CASO DE ESTUDIO: RÍO SOAPAGA, SECTOR PAZ DE RÍO, BOYACÁ, 2012) En los últimos años Colombia ha sufrido periodos de lluvia intensos que han generado un sinnúmero de emergencias y damnificados, convirtiéndose en un problema de relevancia nacional, que ha llevado a reestructurar los sistemas de gestión del riesgo y a su vez, las técnicas para la observación y prevención de este tipo de desastres. Debido a que las inundaciones abarcan generalmente grandes extensiones de terreno y la labor en campo para determinar las áreas de afectación se hace en muchos casos compleja, dadas las difíciles condiciones de acceso y seguridad, el uso de la teledetección y los sistemas de información geográfica surgen como una alternativa para observar este fenómeno ya que proporcionan un medio indirecto de análisis y evaluación de los efectos causados.

2.2. Marco Contextual

El denominado valle de Abrego, esta bañado por dos ríos (Río Oroque y Río Frío). La gente de Abrego se caracteriza por su nobleza, empuje y ganas de trabajar, dedicados a cumplir con responsabilidad con el compromiso de seguir siendo una de las poblaciones más cultas de Colombia, destacados por la conservación de las costumbres y arraigos. Convencidos de los privilegios que la Naturaleza ha entregado a estas tierras con la presencia del Río Oroque y el Río Frío, convirtiéndose en la principal despensa de la Provincia de Ocaña. Visita nuestro Municipio, enamórate de él, con el encanto de sus mujeres y disfruta del excelente clima. Aprovechando los recursos naturales disponibles se cuenta con un distrito de riego que abarca una gran extensión, cubriendo la mayor parte de cultivos de Cebolla, Tomate, Fríjol, Tabaco,

Yuca, Plátano y toda una serie de productos que alimentan la región. Ábrego cuenta con 136 veredas que se unifican en ocho corregimientos: Playoncitos, El Tabaco, Capitanlargo, La Paz, Casitas, Unión Campesina, El Soltadero, El Chorro, convirtiéndolo en uno de los Municipios más extensos del País, en el cual habitan 38.095 personas que día a día procuran entregar toda su capacidad para trabajar por cumplir sus ideales y ayudar al desarrollo de la región. El proceso de Desarrollo y modernización implementado en la actual administración, ha permitido que proyectos como la terminación del nuevo acueducto, la construcción de la Avenida Circunvalar, el diseño del Nuevo Parque Principal, la construcción de minidistritos de riego en diferentes Veredas, han permitido mejorar el nivel de vida de los habitantes de Abrego, supliendo las necesidades básicas y propendiendo por el bienestar de sus gentes (<http://www.abrego-nortedesantander.gov.co/presentacion.shtml>)

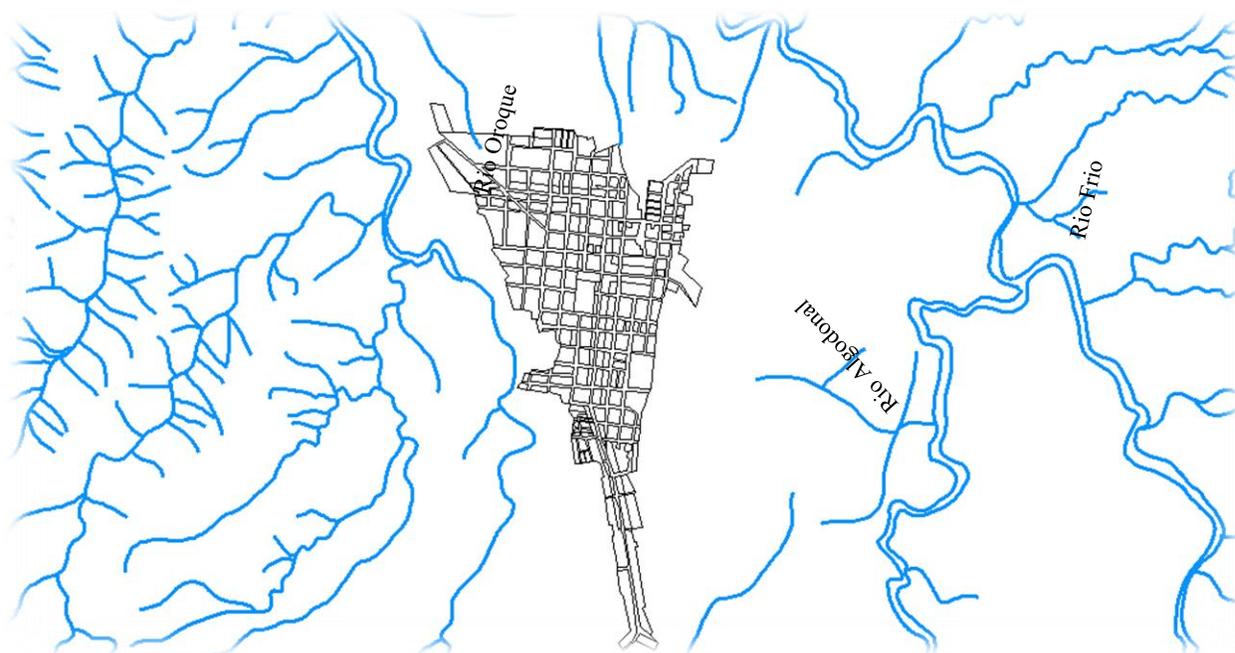


Figura 2. Casco urbano del municipio de Abrego Norte de Santander y la red hídrica del denominado valle de Abrego. Fuente: Elaboración propia.

Hidrografía Del Municipio De Abrego

Según el PBOT del municipio de Abrego, el municipio presenta zonas de amenazas por remoción en masa e inundación. Entre estas se tienen las zonas de amenaza por remoción en masa, la llanura de desborde de los ríos Tarra, El Algodonal, Frío y Oroque, el mismo documento dispone de áreas de interés paisajístico y ambiental las cuales son franjas de suelo de por lo menos 100 metros a la redonda, medidos a partir de la periferia de nacimientos y no inferior a 30 metros de ancho, paralela al nivel máximo de aguas a cada lado de los cauces de ríos, quebradas y arroyos permanentes o no, y alrededor de lagos, lagunas, ciénagas, pantanos, embalses y humedales en general, tanto para la parte urbana como para la rural.

2.3 Marco Conceptual

De acuerdo a los lineamientos establecidos a nivel nacional para la gestión de riesgos desastres de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) se toma como directriz de gestión la ley 1523/2012 la cual define los siguientes conceptos técnicos (Ley 1523 de 2012):

Adaptación. Comprende el ajuste de los sistemas naturales o humanos a los estímulos climáticos actuales o esperados o a sus efectos con el fin de moderar perjuicios o explotar oportunidades beneficiosas, En el caso de los eventos hidrometeorológicos la Adaptación al Cambio Climático corresponde a la gestión del riesgo de desastres en la medida en que está encaminada a la reducción de la vulnerabilidad o al mejoramiento en la respuesta a los cambios observados o esperados del clima y su variabilidad.

Amenaza. Según (URRUTIA, 2010) este es el peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.

Esto permite tener un panorama general de cómo se encuentra el territorio frente a situaciones internas o externas que pongan en peligro la vida, infraestructura y bienes de la población de forma coordinada con el trabajo en el territorio.

Frecuencia. Consiste en reunir, además de la información disponible sobre las amenazas, la cronología de los desastres ocurridos en el pasado, esta Información se puede obtener de fuentes oficiales o institucionales, con observaciones de campo, con revisión de información científica disponible y de la memoria histórica de la comunidad y de los demás actores del territorio. Los datos obtenidos mediante este análisis, permiten considerar tanto los eventos del pasado como la recurrencia (Oficina de las Naciones Unidas, estudio de mitigación del riesgo en zonas inundables de países de América Latina 2012).

Territorio afectado. Según Ortiz (2012), El territorio es el elemento físico compuesto por las porciones de tierra, los ríos, los mares, golfos, puertos, canales, bahías, entre otros, que se encuentran dentro del territorio, los cuales presentan diferentes afectaciones frente a la ocurrencia de fenómenos amenazantes.

Vulnerabilidad. Este hace referencia al grado de Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir

efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.

La vulnerabilidad es un factor esencial para realizar el análisis de riesgo en el territorio, dado que implica el estudio de los efectos de un fenómeno sobre los elementos y/o componentes necesarios para el funcionamiento de la sociedad. Esto abarca los aspectos económicos, sociales, ambientales, físicos, políticos e institucionales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013).

Factores Ambientales. Corresponden a la manera como la comunidad “explota” los elementos de su entorno natural, debilitándose a sí misma y los ecosistemas y su capacidad para absorber sin traumatismos los diferentes eventos amenazantes.

Factores Sociales. Corresponden a los aspectos políticos, organizacionales, institucionales, educativos, y culturales del departamento en su desarrollo histórico, actual y futuro. (Pág., 30- Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo.

Riesgo: Es la probabilidad de ocurrencia de unas consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un tiempo de exposición determinado. Se obtiene de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos (Gutiérrez, 2012)

Análisis y evaluación del riesgo. Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos,

con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación. (Gelvez, 2012)

Conocimiento del riesgo. Según Ibarra (2010) este es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre.

Gestión del riesgo. Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible (Ley 1523 de 2012).

Prevención de riesgo. Medidas y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuestas con anticipación con el fin de evitar que se genere riesgo. Puede enfocarse a evitar o neutralizar la amenaza o la exposición y la vulnerabilidad ante la misma en forma definitiva para impedir que se genere nuevo riesgo. Los instrumentos esenciales de la prevención son aquellos previstos en la planificación, la inversión pública y el ordenamiento ambiental territorial, que

tienen como objetivo reglamentar el uso y la ocupación del suelo de forma segura y sostenible (Plan nacional de la gestión del riesgo ; 2012)

Desastre. Es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, que exige del Estado y del sistema nacional ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción (Ley 1523 de 2012).

Riesgo de desastres. Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, Biosanitarios o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.

Inundación. Las inundaciones pueden definirse como la ocupación por el agua de zonas o áreas que en condiciones normales se encuentran secas. Se producen debido al efecto del ascenso temporal del nivel del río, lago u otro. En cierta medida, las inundaciones pueden ser eventos controlables por el hombre, dependiendo del uso de la tierra cercana a los causes de los ríos (Universidad Nacional Autónoma de Honduras, 2013).

Cada año las inundaciones producen mayores desastres porque el hombre deteriora progresivamente las cuencas y cauces de los ríos y quebradas, deposita en ellos basura, tapona drenajes naturales limitando las ciénagas, aumenta la erosión con talas y quemas, y habita u ocupa lugares propensos a inundaciones. La cantidad de agua que llueve cada año en el país es aproximadamente igual, pero por las razones antes expuestas los daños que producen son cada vez mayores.

La suma de los perjuicios causados anualmente por las inundaciones la convierten en una de las calamidades que producen más pérdidas y deterioro social.

Erosión fluvial. Las aguas pluviales constituyen un agente erosivo de primera magnitud. El agua continental fluye, en gran parte, en forma de ríos que discurren sobre la superficie, o de corrientes subterráneas, desgastando los materiales que hay por donde pasan y arrastrando los restos o sedimentos en dirección hacia las partes más bajas del relieve, dejándolos depositados en diversos lugares, formando terrazas, conos de deyección y, en definitiva, modelando el paisaje, el agua de las corrientes fluviales puede crear cascadas, grutas, desfiladeros, meandros, cañones, deltas, estuarios, entre otros. En ocasiones inunda determinadas regiones más o menos amplias del territorio causando desastres económicos y víctimas, a pesar de lo cual, los seres humanos casi siempre se han asentado en las márgenes de los ríos, lagos o manantiales, con el fin de garantizar un suministro adecuado de agua (Belmonte, 2012).

La acción erosiva de los ríos. La erosión debida a las aguas corrientes sigue las mismas etapas en que se divide de forma natural el curso de un río. Hay una primera etapa en que la erosión mecánica provocada por el agua y los materiales que arrastra es muy intensa en el curso alto del río. En la segunda etapa, de transporte, la erosión mecánica sigue activa pero empieza a

actuar la erosión química. Esta tiene lugar en el curso medio. Finalmente, en el curso bajo predomina la sedimentación de los materiales transportados, la acción mecánica se reduce muchísimo y prácticamente sólo actúa la erosión química (Belmonte, 2012).

Estudio hidrológico. Consiste en analizar la operación de un sistema hidrológico y predecir su salida, es decir, realizar un modelo hidrológico. Un modelo, es una aproximación al sistema real; sus entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables y su estructura es un conjunto de ecuaciones que conectan las entradas y las salidas, recordemos que un río es una corriente de agua que fluye por un cauce desde las tierras altas a las tierras bajas y vierte en el mar o en una región endorreica (río colector) o a otro río (afluente). Los ríos se organizan en redes. Una cuenca hidrográfica es el área total que vierte sus aguas de escorrentía a un único río, aguas que dependen de las características de la alimentación. Una cuenca de drenaje es la parte de la superficie terrestre que es drenada por un sistema fluvial unitario. Su perímetro queda delimitado por la divisoria o interfluvio.

Los trazados de los elementos hidrográficos se caracteriza por la adaptación o inadaptación a las estructuras litológicas y tectónicas, pero también la estructura geológica actúa en el dominio de las redes hidrográficas determinando su estructura y evolución.

El estudio hidrológico, inicia con el análisis morfométrico de la cuenca, que incluye: la delimitación de la cuenca, la medición del área y la longitud, altura máxima y mínima, índice de compacidad, factor de forma, curva hipsométrica, pendiente media, caracterización de la red de drenaje y el perfil altimétrico del cauce principal, entre otros.

Sistemas de Información Geográfica. (SIG). Un sistema de Información Geográfica (SIG) es un conjunto de hardware, software, datos geográficos y personal capacitado organizados para capturar, manejar, manipular, almacenar, consultar, transformar, analizar, modelizar y presentar todo tipo de información que pueda tener una referencia geográfica. Puerta, Rengifo y Bravo (2011), mencionan que los SIG proveen información real acerca de una región, se instauran como la herramienta más usada al momento de construcción de mapas de coberturas, procesos de ordenación de cuencas, entre otros permitiendo la separación de información en distintas capas temáticas y almacenarlas de manera independiente (Acuña, 2010). Por otro lado, Mullo (2001) plantea que los SIG en el tratamiento de la geoinformación, permiten realizar varios procesos como transferir información, codificar y digitalizar unidades del paisaje por medio de la geomorfología, geología, usos del suelo y coberturas, facilitando la representación cartográfica de la realidad de acuerdo a escalas específicas según el detalle de análisis que se quiera obtener.

2.4 Marco Teórico

Los modelos hidrológicos pueden dividirse en dos categorías: físicos y abstractos. Los primeros incluyen modelos a escala y análogos; los modelos a escala, representan el sistema en escala reducida, tal como un modelo hidráulico del vertedero de una presa; y los modelos análogos, usan otro sistema físico con propiedades similares a las del prototipo, los modelos de carácter abstracto representan el sistema en forma matemática, es decir, la operación del sistema se describe por medio de un conjunto de ecuaciones que relacionan variables de entrada y salida. Estas variables pueden ser funciones del espacio y del tiempo, y también pueden ser variables

probabilísticas o aleatorias, que no tienen un valor fijo en un punto particular del espacio y del tiempo, pero que están descritas a través de distribuciones de probabilidad.

En el caso de la cuenca hidrográfica de un río (hasta un punto específico de su trayectoria), de un lago, de una laguna, etc. es el territorio cuyas aguas afluyen hacia ese punto del río, lago, laguna, etc. Aunque las aguas proceden inicialmente de las lluvias, esas aguas afluentes son tanto las que discurren superficialmente como aquellas que, después de una trayectoria subterránea, emergen y se incorporan al flujo superficial antes del punto de control. También existen las cuencas subterráneas, que se forman cuando el agua se queda atrapada entre los estratos. Estos dos tipos de cuencas tienen límites distintos, que quedan definidos por las divisorias de aguas (Universidad de Piura, 2013).

Las características de una cuenca y de las corrientes que forman el sistema hidrográfico, pueden representarse cuantitativamente mediante índices de forma y relieve de la cuenca, y de la conexión con la red fluvial. Muchos de los índices son razones matemáticas, por lo que pueden utilizarse para caracterizar y comparar cuencas de diferentes tamaños.

- A. Número de orden de un cauce
- B. Densidad de drenaje
- C. Área
- D. Perímetro
- E. Pendiente de los cauces
- F. Método de las áreas compensadas
- G. Índice de compacidad
- H. Pendiente de la cuenca

En cuanto a la medición de la precipitación, se han desarrollado gran variedad de instrumentos para obtener información de la precipitación. La información obtenida puede ser de diversa índole; se puede mencionar: la distribución del tamaño de las gotas de lluvia, el tiempo de inicio y de término de la precipitación y la cantidad e intensidad de la precipitación, siendo esta última la que más interesa para la determinación de las tormentas de diseño. La medición de la precipitación se efectúa en las estaciones pluviométricas, las cuales se clasifican de acuerdo al tipo de instrumento utilizado. (Universidad de Piura, 2013).

En lo concerniente a caudal, o escorrentía, se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. Su unidad de medición es en metros cúbicos por segundo (m^3/s) o litros por segundo (l/s).

Existen varias herramientas tecnológicas las cuales en la actualidad las cuales pueden ser usadas para realizar la modelación de las avenidas torrenciales entre las más usadas a nivel mundial para este tipo de estudio se encuentra SWAT El SWAT (Soil and Water Assessment Tools) la cual es una herramienta de evaluación de suelo y agua, un modelo que se desarrolló para la gestión de los recursos hídricos y evaluación del suministro del agua y las fuentes de contaminación difusas a lo largo de los ríos.

Este modelo es utilizado en muchos países de mundo, por su amplia variedad de condiciones ambientales que utilizan (Arnold, J; Fohrer, N. 2005). Además, es una herramienta útil para evaluar los cambios ambientales como el uso del suelo y la variabilidad climática, divide la cuenca en unidades de respuestas hidrológicas (URH), con base a los tipos de suelos, uso del suelo y características de la pendiente a partir de información espacial (DEM, imágenes

de satélite y fotografías aéreas). Esta herramienta a partir de estas URH y datos climáticos (temperatura y precipitación diaria) estiman componentes hidrológicos tales como la evapotranspiración, escorrentía superficial, velocidad de escurrimiento, flujo de agua subterránea y la producción de sedimentos para cada URH o cuenca. El programa SWAT se integra como el software SIG ArcGis-SWAT es un software de SIG, una herramienta que trabaja como un sistema de base datos georeferenciados que tiene valores numéricos y de texto que se ingresan de manera organizada (Miller, SN; Semmens, DJ; Goodrich, DC; Hernández, M; Miller, RC; Kepner, WG; Guertin, DPM. 2007); el interfaz con los SIG le permite visualizar los mapas y gráficos de salida.

El SWAT es definido por 8 mayores componentes: hidrología, clima, erosión y sedimentación, temperatura del suelo, crecimiento de plantas, nutriente, pesticidas y manejo del suelo (Guertin, DPM. 2007). El presente estudio se va enfocar solo a los componentes de hidrología y sedimentación, el modelo SWAT ofrece tres métodos para calcular la evapotranspiración: PenmanMonteith, Priestley-Taylor o Hargreaves. La primera es considerada la mejor y el más recomendable, pero requiere de mayores datos como radiación solar, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento; y la segunda requiere de radiación solar, temperatura del aire, y humedad relativa; y el tercero solamente requiere de temperatura del aire. Los dos últimos métodos tienen la ventaja de necesitar de menos información y se utiliza cuando se presenta datos faltantes (Heuvelmans, G; García-Quijano, JF; Muys, B; Feyen, J; Coppin, P. 2005). La calibración y validación del modelo es un factor clave para reducir la incertidumbre y el aumento en la capacidad de predicción, convirtiéndole en un modelo más eficaz para análisis de información (Blanco, KL; Chaubey, I. 2005). Por lo tanto, la calibración hidrológica es el primer paso en la comprensión del complejo proceso hidrogeológica de la

cuenca, su análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo ayuda a comprender el comportamiento de la respuesta de la cuenca y sus interacciones.

2.5. Marco Legal

Las siguientes leyes y decretos que se toman para el presente tratado indican las restricciones o permisos a tener en cuenta para la realización de los estudios en cauces naturales dando a conocer que no hay ningún problema en realizar los análisis en el tramo seleccionado y que el tomar las muestras para los ensayos de suelos no es significativo lo cual no requiere de permisos o consentimientos para tomar el material del río.

Decreto 1809 del 2014

Artículo 1. Objeto y ámbito de aplicación. Las disposiciones contenidas en el presente decreto establecen las condiciones y escalas de detalle para incorporar de manera gradual la gestión del riesgo en la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial municipal y distrital o en la expedición de un nuevo plan.

Artículo 2. Cuando el presente decreto se refiera a los planes de ordenamiento territorial se entenderá que comprende todos los tipos de planes previstos en el artículo 9 de la Ley 388 de 1997.

Artículo 2. Estudios técnicos para la incorporación de la gestión del riesgo en la planificación territorial. Teniendo en cuenta el principio de gradualidad de que trata la Ley 1523 de 2012, se deben realizar los estudios básicos para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes y en su ejecución se deben realizar los estudios detallados

Decreto 1541 de 1978

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.

Dominio de los cauces y riberas

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 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.

Ley 1523 de 2012

**CAPÍTULO I. GESTIÓN DEL RIESGO, RESPONSABILIDAD, PRINCIPIOS,
DEFINICIONES Y SISTEMA NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES.**

ARTÍCULO 1o. DE LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES. La gestión del riesgo de desastres, en adelante la gestión del riesgo, es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.

PARÁGRAFO 1o. La gestión del riesgo se constituye en una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental territorial sostenible, en todos los niveles de gobierno y la efectiva participación de la población.

PARÁGRAFO 2o. Para todos los efectos legales, la gestión del riesgo incorpora lo que hasta ahora se ha denominado en normas anteriores prevención, atención y recuperación de desastres, manejo de emergencias y reducción de riesgos.

ARTÍCULO 2o. DE LA RESPONSABILIDAD. La gestión del riesgo es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano.

En cumplimiento de esta responsabilidad, las entidades públicas, privadas y comunitarias desarrollarán y ejecutarán los procesos de gestión del riesgo, entiéndase: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres, en el marco de sus competencias, su ámbito

de actuación y su jurisdicción, como componentes del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

Por su parte, los habitantes del territorio nacional, corresponsables de la gestión del riesgo, actuarán con precaución, solidaridad, autoprotección, tanto en lo personal como en lo de sus bienes, y acatarán lo dispuesto por las autoridades.

Gestión del riesgo: Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.

12. Intervención: Corresponde al tratamiento del riesgo mediante la modificación intencional de las características de un fenómeno con el fin de reducir la amenaza que representa o de modificar las características intrínsecas de un elemento expuesto con el fin de reducir su vulnerabilidad.

13. Intervención correctiva: Proceso cuyo objetivo es reducir el nivel de riesgo existente en la sociedad a través de acciones de mitigación, en el sentido de disminuir o reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

14. Intervención prospectiva: Proceso cuyo objetivo es garantizar que no surjan nuevas situaciones de riesgo a través de acciones de prevención, impidiendo que los elementos expuestos sean vulnerables o que lleguen a estar expuestos ante posibles eventos peligrosos. Su

objetivo último es evitar nuevo riesgo y la necesidad de intervenciones correctivas en el futuro. La intervención prospectiva se realiza primordialmente a través de la planificación ambiental sostenible, el ordenamiento territorial, la planificación sectorial, la regulación y las especificaciones técnicas, los estudios de prefactibilidad y diseño adecuados, el control y seguimiento y en general todos aquellos mecanismos que contribuyan de manera anticipada a la localización, construcción y funcionamiento seguro de la infraestructura, los bienes y la población.

15. Manejo de desastres: Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la preparación para la respuesta a emergencias, la preparación para la recuperación posdesastre, la ejecución de dicha respuesta y la ejecución de la respectiva recuperación, entiéndase: rehabilitación y recuperación.

16. Mitigación del riesgo: Medidas de intervención prescriptiva o correctiva dirigidas a reducir o disminuir los daños y pérdidas que se puedan presentar a través de reglamentos de seguridad y proyectos de inversión pública o privada cuyo objetivo es reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad existente.

17. Preparación: Es el conjunto de acciones principalmente de coordinación, sistemas de alerta, capacitación, equipamiento, centros de reserva y albergues y entrenamiento, con el propósito de optimizar la ejecución de los diferentes servicios básicos de respuesta, como accesibilidad y transporte, telecomunicaciones, evaluación de daños y análisis de necesidades, salud y saneamiento básico, búsqueda y rescate, extinción de incendios y manejo de materiales peligrosos, albergues y alimentación, servicios públicos, seguridad y convivencia, aspectos financieros y legales, información pública y el manejo general de la respuesta, entre otros.

18. Prevención de riesgo: Medidas y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuestas con anticipación con el fin de evitar que se genere riesgo. Puede enfocarse a evitar o neutralizar la amenaza o la exposición y la vulnerabilidad ante la misma en forma definitiva para impedir que se genere nuevo riesgo. Los instrumentos esenciales de la prevención son aquellos previstos en la planificación, la inversión pública y el ordenamiento ambiental territorial, que tienen como objetivo reglamentar el uso y la ocupación del suelo de forma segura y sostenible.

19. Protección financiera: Mecanismos o instrumentos financieros de retención intencional o transferencia del riesgo que se establecen en forma ex ante con el fin de acceder de manera ex post a recursos económicos oportunos para la atención de emergencias y la recuperación.

20. Recuperación: Son las acciones para el restablecimiento de las condiciones normales de vida mediante la rehabilitación, reparación o reconstrucción del área afectada, los bienes y servicios interrumpidos o deteriorados y el restablecimiento e impulso del desarrollo económico y social de la comunidad. La recuperación tiene como propósito central evitar la reproducción de las condiciones de riesgo preexistentes en el área o sector afectado.

21. Reducción del riesgo: Es el proceso de la gestión del riesgo, está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entiéndase: mitigación del riesgo y a evitar nuevo riesgo en el territorio, entiéndase: prevención del riesgo. Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del riesgo la componen la

intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera.

22. Reglamentación prescriptiva: Disposiciones cuyo objetivo es determinar en forma explícita exigencias mínimas de seguridad en elementos que están o van a estar expuestos en áreas propensas a eventos peligrosos con el fin de preestablecer el nivel de riesgo aceptable en dichas áreas.

23. Reglamentación restrictiva: Disposiciones cuyo objetivo es evitar la configuración de nuevo riesgo mediante la prohibición taxativa de la ocupación permanente de áreas expuestas y propensas a eventos peligrosos. Es fundamental para la planificación ambiental y territorial sostenible.

24. Respuesta: Ejecución de las actividades necesarias para la atención de la emergencia como accesibilidad y transporte, telecomunicaciones, evaluación de daños y análisis de necesidades, salud y saneamiento básico, búsqueda y rescate, extinción de incendios y manejo de materiales peligrosos, albergues y alimentación, servicios públicos, seguridad y convivencia, aspectos financieros y legales, información pública y el manejo general de la respuesta, entre otros. La efectividad de la respuesta depende de la calidad de preparación.

25. Riesgo de desastres: Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.

26. Seguridad territorial: La seguridad territorial se refiere a la sostenibilidad de las relaciones entre la dinámica de la naturaleza y la dinámica de las comunidades en un territorio en particular. Este concepto incluye las nociones de seguridad alimentaria, seguridad jurídica o institucional, seguridad económica, seguridad ecológica y seguridad social.

27. Vulnerabilidad: Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.

ARTÍCULO 5o. SISTEMA NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES.

El Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, en adelante, y para efectos de la presente ley, sistema nacional, es el conjunto de entidades públicas, privadas y comunitarias, de políticas, normas, procesos, recursos, planes, estrategias, instrumentos, mecanismos, así como la información atinente a la temática, que se aplica de manera organizada para garantizar la gestión del riesgo en el país.

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1. Tipo de Investigación

En la realización de este trabajo se utilizará un tipo de investigación aplicada, descriptiva y cuantitativa, de esta manera se utilizarán los datos obtenidos en la recolección de información haciendo un recorrido a lo largo del tramo en estudio, además de los datos históricos recolectados y realizar los respectivos cálculos y así obtener resultados que nos llevarán a dar conclusiones y posibles soluciones al problema de investigación.

Se plantea una investigación de tipo sistemática, empírica y crítica según (Kerlinger 2002), sistemática porque se enmarca dentro de la disciplina de la hidrología, empírica dado que se van a coleccionar y analizar datos y crítica ya que se evalúa y mejora de forma constante. Esta investigación es clasificada como de tipo aplicada ya que esta tiene como propósito el de conocer las consecuencias prácticas y trata de proponer medidas para solucionar los problemas de las áreas inundables en la zona urbana del municipio de Abrego.

A manera de enfoque de esta investigación es de tipo cuantitativo y descriptivo, buscando especificar las propiedades y características técnicas de la zona que está siendo sometida a estudio.

3.2. Población

Toda la población que hace parte de la zona urbana del municipio de Abrego el cual se encuentra en el denominado valle de Abrego.

3.3. Muestra

El estudio se enfoca en la zona del perímetro urbano cercano a los ríos Frio y Oroque los cuales dan origen al río Algodonal.

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

Se realizaron visitas a campo para establecer por parte de los autores si históricamente se han presentado fenómenos de inundación, una vez sean generadas las áreas potencialmente inundables por medio del modelo matemático bidimensional de HecRas 4.1 se georreferenciarán estas zonas para poder confrontarlas con lo que reporta el plan municipal de la gestión del riesgo, con la ayuda de un Gps marca Garmin Ref. Etrex 10 se tomaron las coordenadas en campo del tramo del Río Algodonal y viviendas e infraestructura de la zona en la que se va a realizar el estudio. Para la obtención de los datos referentes al clima y su comportamiento se solicitara al IDEAM en el enlace “solicitud de información” las estaciones localizadas cerca la zona de estudio, con el fin de determinar el comportamiento del clima y como ha influido sobre el valle de Abrego. En cuanto a la información en formato SHP, se extrajo de fuentes oficiales como el DANE, CORPONOR y alguna información correspondiente al IGAC.

Para algunos cálculos de la zona de estudio se utilizaran las siguientes fórmulas matemáticas.

Tabla 1.

Fórmulas matemáticas empleadas para obtener datos de la cuenca hidrográfica y la zona de estudio.

FÓRMULAS UTILIZADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO	
DENOMINACIÓN	FORMULA

Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius	$R_u = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot S}} = 1.782$
Rectángulo equivalente	$Lr = \frac{R_u \sqrt{S}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - (1.12/R_u)^2} \right)$
Factor de forma de la cuenca.	$F = \frac{S}{L^2} = 0.09$
Altitud media (Hm)	$H_m = \frac{\sum(c_i s_i)}{S}$
Pendiente de la cuenca	$P_m = \frac{\sum s_i \cdot P_i}{S}$
Densidad de drenaje	$D_d = \frac{\sum l_i}{S}$

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.6 Análisis de Información

Toda la información obtenida del IDEAM, es previamente analizada, para verificar que los datos sean coherentes, en este punto se hicieron visitas oculares a la zona, en cuanto a la información dudosa es tratada para cada una con procedimientos, que tratamos en el capítulo 5 “resultados de la investigación”.

Para la información en formato SHP, es exportado al programa ARGIS 10.1, se procedió a colocar filtros con colores, para reflejar mejor la información que queríamos resaltar, esta información es complementada con puntos tomados con GPS de alta precisión en campo y exportada a esta plataforma. Para la modelación y estudios hidráulicos, la información es

procesada en el programa Hec Ras 4.1 el cual nos permite dar conclusión a los objetivos propuestos.

Capítulo 4: Administración del Proyecto

4.1 Recursos

4.1.1 Recursos Humanos

Tabla 2

Relación de los participantes en el desarrollo del Proyecto

Participantes del proyecto		
Nombre completo	Grado académico	Institución a la que pertenece
Andrés Felipe Rico Mejía	Estudiante del último semestre de Ingeniería Ambiental de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.	Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña
Oscar Fernando peñaranda Arévalo	Estudiante del último semestre de Ingeniería Ambiental de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.	Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña
En dirección Yenny Lozano	Ingeniera Ambiental	Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Nota. Fuente. Elaboración propia

4.1.2 Recursos Financiero

Para el desarrollo y ejecución del proyecto la mayor parte de los recursos económicos serán propios, ya que los autores del mismo aportarán en su totalidad la suma necesaria para su continuación y finalización.

Tabla 3

Relación de los costos establecidos por los autores para el desarrollo del proyecto investigación

Concepto	Valor unitario en pesos	Cantidad	Valor total en pesos	Observación
Mano de obra de los autores	500.000	2	1'000.000	Se tomaron los valores determinados por el Ministerio de Trabajo, en el cual un pasante debe ser remunerado con el 75% del salario mínimo legal vigente.
Viajes y viáticos	25.000	6	150.000	Corresponde al valor de la alimentación y costos de transporte a la zona de estudio.
Gastos administrativos varios	200.000	N/A	200.000	Papelería, servicios públicos y comunicaciones.
TOTAL			5'950.000	

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Recursos Institucional

Tabla 4

Relación de los recursos institucionales que se planean usar por parte de los autores en el desarrollo de la investigación

Concepto	Observación
Material bibliográfico	Los recursos bibliográficos como material digital y prestamos interbibliotecario necesarios para el proyecto, están disponibles en la Biblioteca Institucional Argemiro Bayona Portillo de la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña.
Hardware	Los autores del proyecto hacen uso de los computadores que están disponibles en las salas de computo de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Software	Los diferentes tipos de software empleados para el desarrollo del proyecto son de acceso libre y código abierto disponible en la WEB (páginas oficiales), de igual forma la plataforma ArcGIS de código privado con licencia académica de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.
----------	--

Nota. Fuente: Elaboración propia

Capítulo 5. Resultados de la Investigación.

5.1. Objetivo específico 1 Caracterizar desde su perfil biofísico la zona de estudio denominada valle de Abrego, a través de la información secundaria que se encuentre disponible para la zona.

5.1.1. Localización Geográfica del municipio de Abrego

Según el plan básico de ordenamiento territorial del municipio este se encuentra localizado en la denominada en la región Noroccidental del Departamento Norte de Santander, su cabecera municipal bajo las coordenadas geográficas:

Latitud Norte 8° 4' 39''

Longitud Oeste 73°13'26''

Presenta una población según el DANE de 37.796 habitantes los cuales se encuentran distribuidos de la siguiente manera 11.788 habitantes en la zona urbana y 26.008 habitantes en lo rural. El municipio posee variedad de pisos térmicos cálidos, templados, fríos y páramo (http://abrego-nortedesantander.gov.co/informacion_general.shtml).

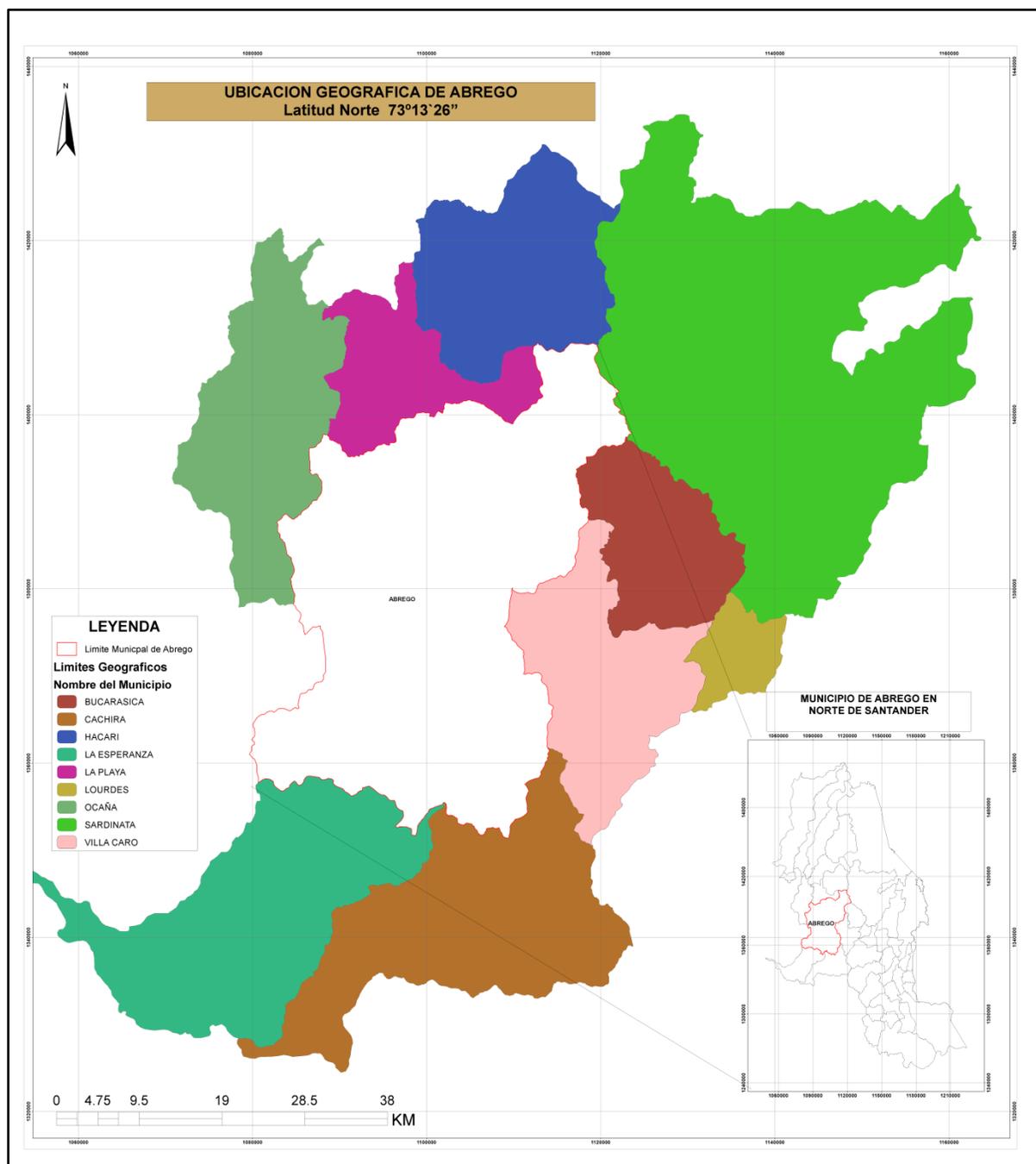


Figura 3. Localización geográfica del municipio de Abrego dentro del departamento de Abrego. Fuente:

Elaboración propia.

5.1.2. Organización y división territorial municipal

Según la revisión, modificación y ajustes del PBOT del municipio de Abrego, el territorio municipal para fines administrativos y de gestión pública, cuenta con la siguiente división territorial, comprendida por el sector urbano o cabecera municipal (suelo urbano y de expansión urbana) y el sector municipal o suelo rural que comprende las veredas: Alto Pavez, Anicillo, Bajo Pavez, Bella vista, Borra, Brisas del Páramo, Brisas del Tarra, Campanario, Canoas, Canutillo, Capitanlargo, Casa de Teja, Casitas, Cuesta Boba, El Arado, El Arbolito, El Castillo, El Chapinero, El Chorro, El Doce, El Guamal, El Higuerón, El Hoyo, El Loro, El Molino, El Morrón, El Potrero, El Pozo, El Ramo, El Rincón, El Roble, El Rodeo, El Rosario, El Salado, El Soltadero, El Tabaco, El Tarra, El Tigre, El Tirol, El Trapiche, El Uvito, Gaira, Gallinetas, El Araganazo, Higuerón, Hoyo Pílon, Jurisdicciones, El Agua, La Arenosa, La Calera, La Estancia, La isla, La Labranza, La María, La Motilona, La Palmita, La Primavera, La Sierra, La Soledad, La Teja, La Trocha, La Urama, La Vega del Tigre, Las Guamas, Las Lajas, Las Rojas, Las Tawas, Las Vegas, Llanitos, Llano Alto, Llano Suárez, Llanón, Loma de Paja, Loma de Tierra, Loma Verde, Los Asientos, Los Cedros, Los Indios, Los Milagros, Los Osos, Las Macigas, Los Piñitos, Mata de Fique, Monte Bello, Monte Cristo, Oropoma, Oroque Parte Alta.

5.1.3. Hidrografía

El municipio de Abrego hace parte de la cuenca del río Algodonal, la cual tiene una extensión superficial de 74.639,8 hectáreas (has), lo cual es equivalente al 0,34 % del departamento Norte de Santander, su longitud es de 62.7 kilómetros y su forma es alargada. Se encuentra entre los 950 metros sobre el nivel del mar, en la confluencia Ríos Tejo y Algodonal, y los 3.680 m.s.n.m. en el extremo sur de la cuenca en el sector denominado Páramo de Jurisdicciones (PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ALGODONAL; 2010).

Según el POMCHRA, el territorio de Abrego con participación dentro de la cuenca es de 42.501,1has lo que corresponde a 30,8% del total del territorio municipal, y el % de la cuenca en Abrego es del 56,9%, el municipio de Ábrego participa con 76 veredas, 26 de ellas incluidas parcialmente y las 50 restantes totalmente.

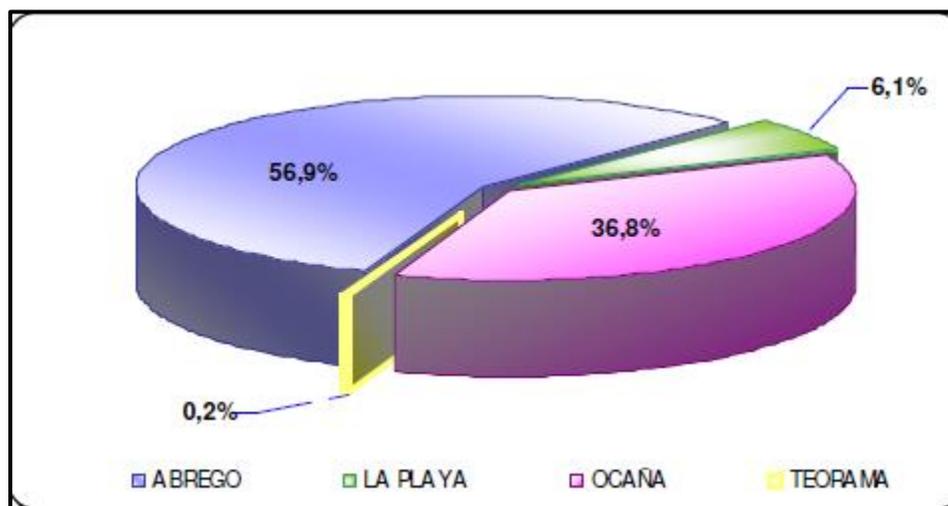


Figura 5. Grupo Diagnóstico POMCHRA, Río Algodonal. Fuente: Corponor, 2006.

Según la (SINTESIS AMBIENTAL DE NORTE DE SANTANDER, 2011), el municipio de Ábrego se identifica como el mayor aportante de agua en la cuenca a razón de la

concentración de altos niveles de precipitación sobre dicha superficie; por otro lado la Playa al poseer una menor área de escurrimiento y las menores precipitaciones, arroja los valores más bajos equivalentes al 10 % de la cantidad referida para el municipio de Ábrego; en cuanto al municipio de Ocaña, el nivel de agua ofertada está restringido más para la cuenca la existencia de un índice de escasez ubicado en la categoría de alto, dado que la demanda alcanza el 40% del agua ofrecida potencialmente por la fuente abastecedora por los niveles de precipitación que por su área.

Los ríos principales del municipio de Abrego dentro de la cuenca del rio Algodonal son:

- Rio Frio
- Rio Oroque
- Rio Algodonal

En la siguiente tabla se presentan las siguientes características a nivel general, estas tabla fue construida a partir de la información geográfica oficial de CORPONOR, la cual se encuentra en formato GDB de ESRI.

Tabla 5

Codificación y características de las principales corrientes dentro de la cuenca hidrográfica.

Nombre de la corriente	Orden	Código	Longitud en metros
RIO FRIO	3	1605-5117	6356.175354
RIO OROQUE	3	1605-4168	2181.298115
RIO ALGODONAL	2	1605-0000	47689.618479

Nota. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las microcuencas hidrográficas según CORPONOR el municipio de Abrego se encuentra dividido en las siguientes microcuencas:

- Rio algodonal parte alta
- Rio Cáchira
- Rio san Alberto
- Rio tarra alto
- Rio tarra medio

Las características básicas y generales sin incluir morfometría se presentan en la tabla 4.

Tabla 6

Características básicas y generales sin incluir morfometría.

Microcuenca	Código	Área _km2	Perímetro (m)
Rio Cáchira	2319-001	44.171544	34.827426
Rio Tarra alto	1604-001	429.297881	132.497127
Rio San Alberto	2319-002	142.244813	68.723695
Rio Tarra medio	1604-002	336.721771	111.758541
Rio Algodonal alto	1605-001	425.757011	117.447207

Nota. Fuente: Elaboración propia

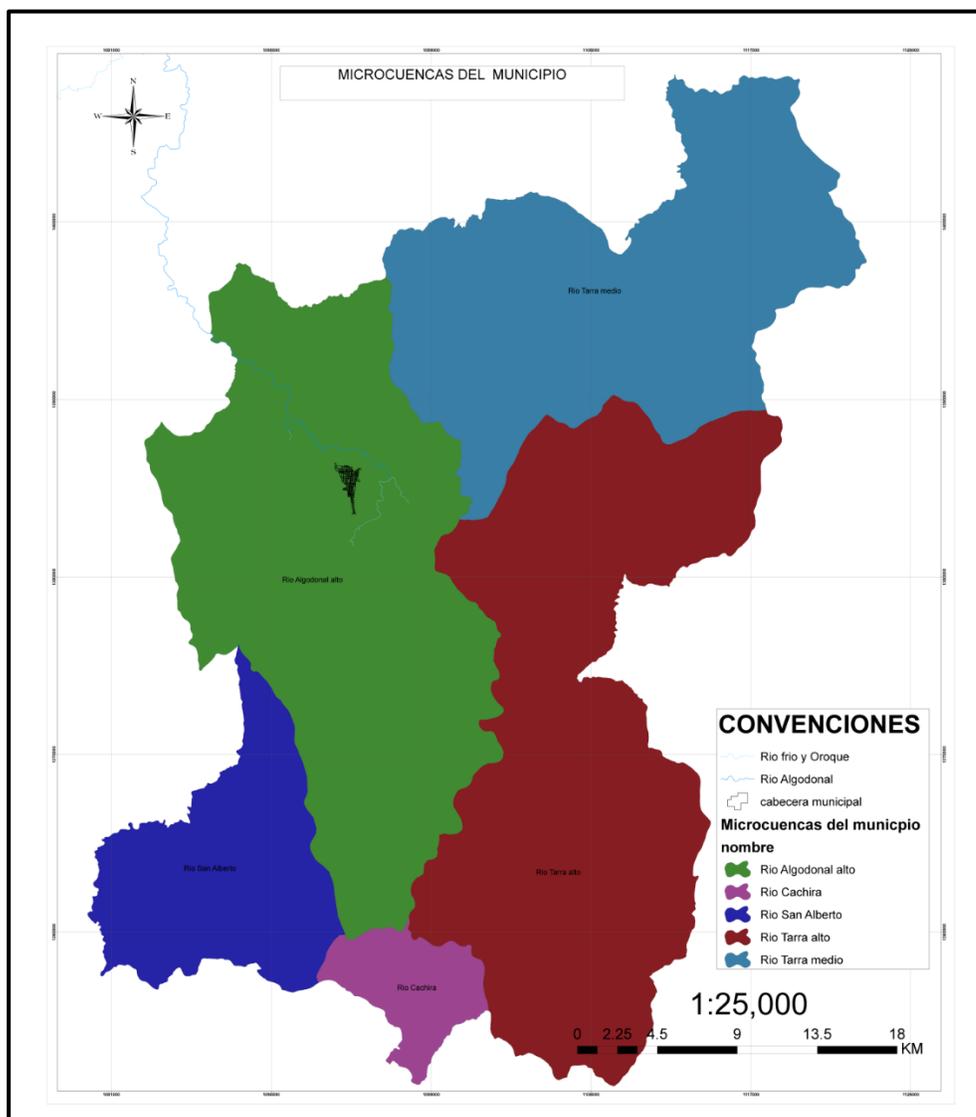


Figura 6. Microcuencas que conforman el municipio de Abrego. Fuente: Elaboración propia.

5.1.4. Suelos

Según el estudio de suelos de Norte de Santander construido a escala 1:100000 por el IGAC y el cual es el único insumo oficial para realizar este tipo de caracterización en el departamento Norte de Santander; el municipio de Abrego presenta las siguientes unidades de suelos

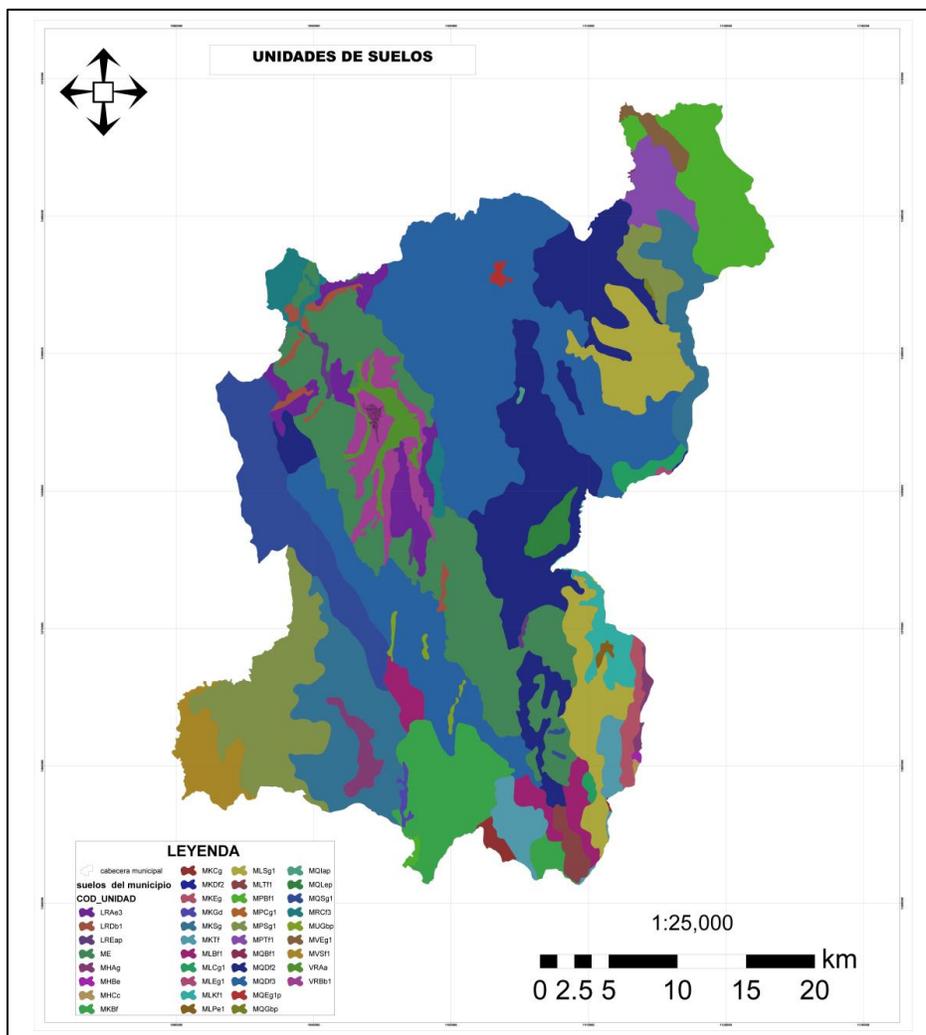


Figura 7. Mapa de las unidades de suelos en el municipio de Abrego. Fuente: Elaboración propia

Las unidades de suelos pertenecientes a la zona de estudio es MQBf1 y VRBb, la primera, suelos de textura arcillosa tienen estructura débil o masiva en sus horizontes más profundos y la segunda son suelos moderadamente profundos a muy profundos, de textura moderadamente fina y algunos de ellos de textura gruesa. Tienen reacción neutra y fuertemente ácida; la fertilidad es alta y baja según el plan de ordenamiento territorial del municipio de Abrego.

5.1.5. Unidades de Paisaje

El estudio de suelos y zonificación de tierras delimito estas unidades de paisaje para el municipio de Abrego y las cuales se presentan en la figura 12.

Lomerío

Montaña

Valle

Siendo la de mayor prevalencia en el municipio el paisaje de montaña, seguido del paisaje de lomerío y en menor proporción el paisaje de valle, el cual es el paisaje predominante en la zona geográfica donde es desarrollado el presente estudio.

En la siguiente temática se puede observar la distribución espacial de las tres unidades de paisaje dentro del municipio de ABREGO.

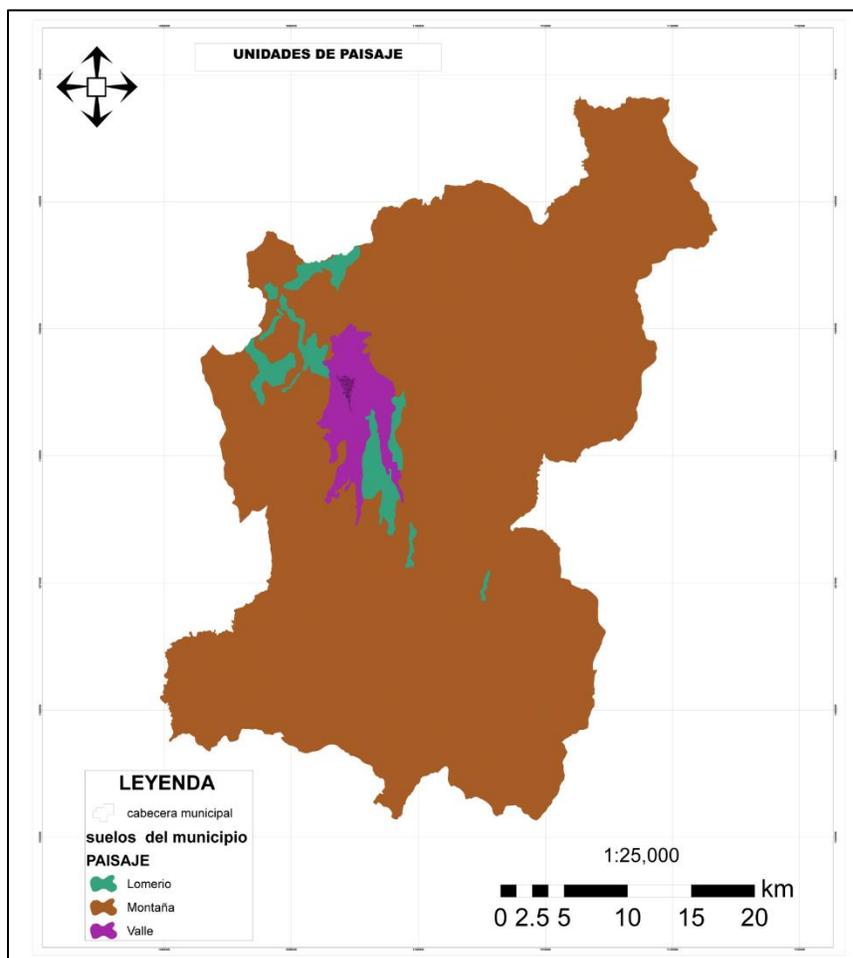


Figura 8. Mapa de unidades de paisaje en el municipio de Abrego. Fuente: Elaboración propia.

5.1.6. Climas

El municipio de Abrego presenta variedad de climas dentro de su territorio, esto se debe a su diferencia en paisajes y gradientes altitudinales según la zonificación de tierras de Norte de Santander desarrollada por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria “UPRA” en el año 2012, los climas del municipio son:

- Cálido húmedo
- Cálido muy húmedo
- Cálido seco
- Frio húmedo

- Frio muy húmedo
- Medio húmedo
- Medio muy húmedo
- Medio seco
- Muy frio húmedo

Según el mapa de climas construido para el municipio a partir de la información temática anteriormente citada, nuestra zona de estudio se encuentra en lo que se denomina como clima medio seco.

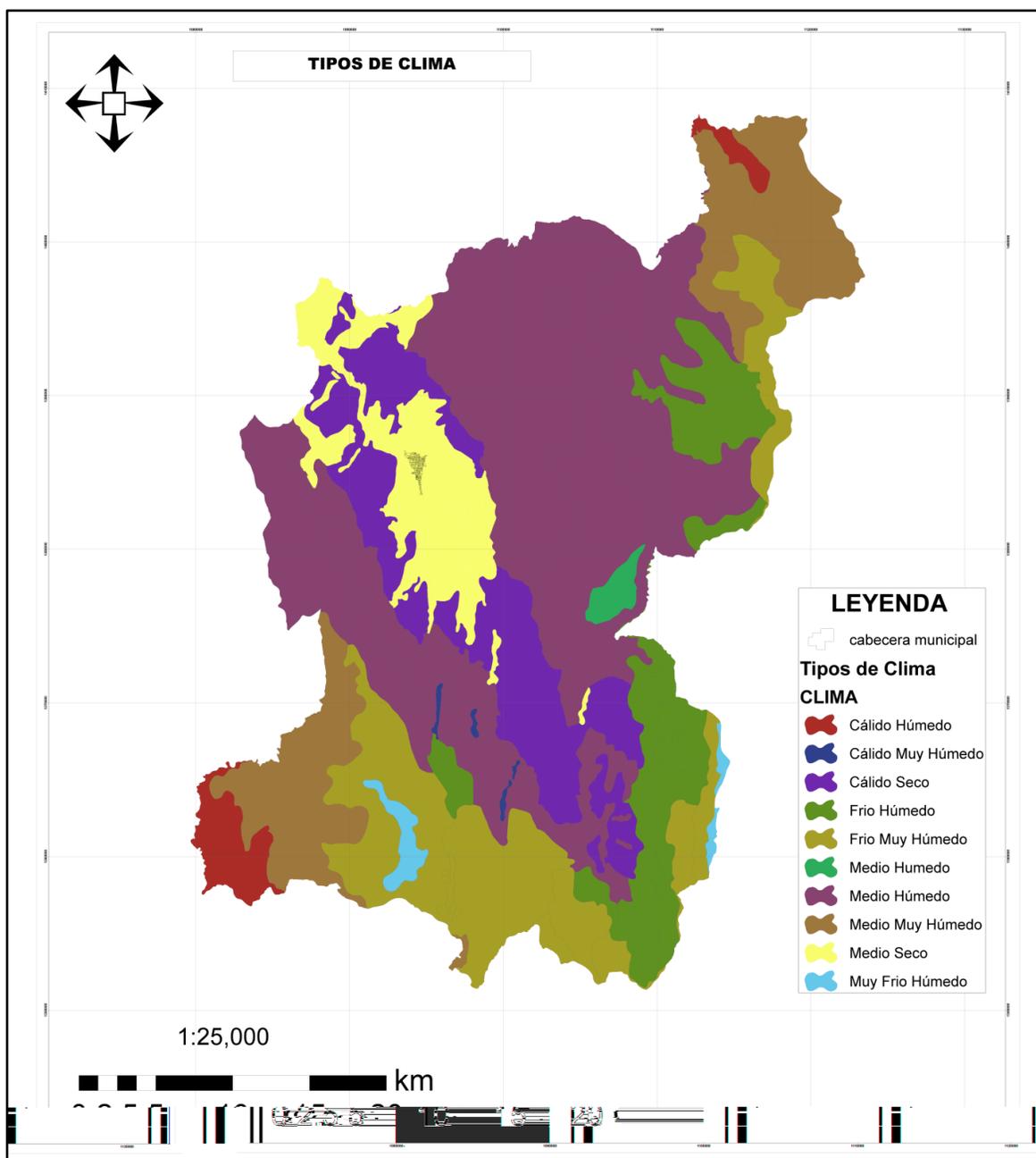


Figura 9. Climas de Abrego. Fuente: Elaboración propia.

5.1.7. Litología Superficial

Los suelos del municipio de Abrego presentan la siguiente litología, lo cual influye directamente sobre sus características Edafológicas, el mapa de litología del municipio fue

construido a partir del estudio de suelos de Norte de Santander y zonificación de tierras elaborado por el IGAC en el año 2006.

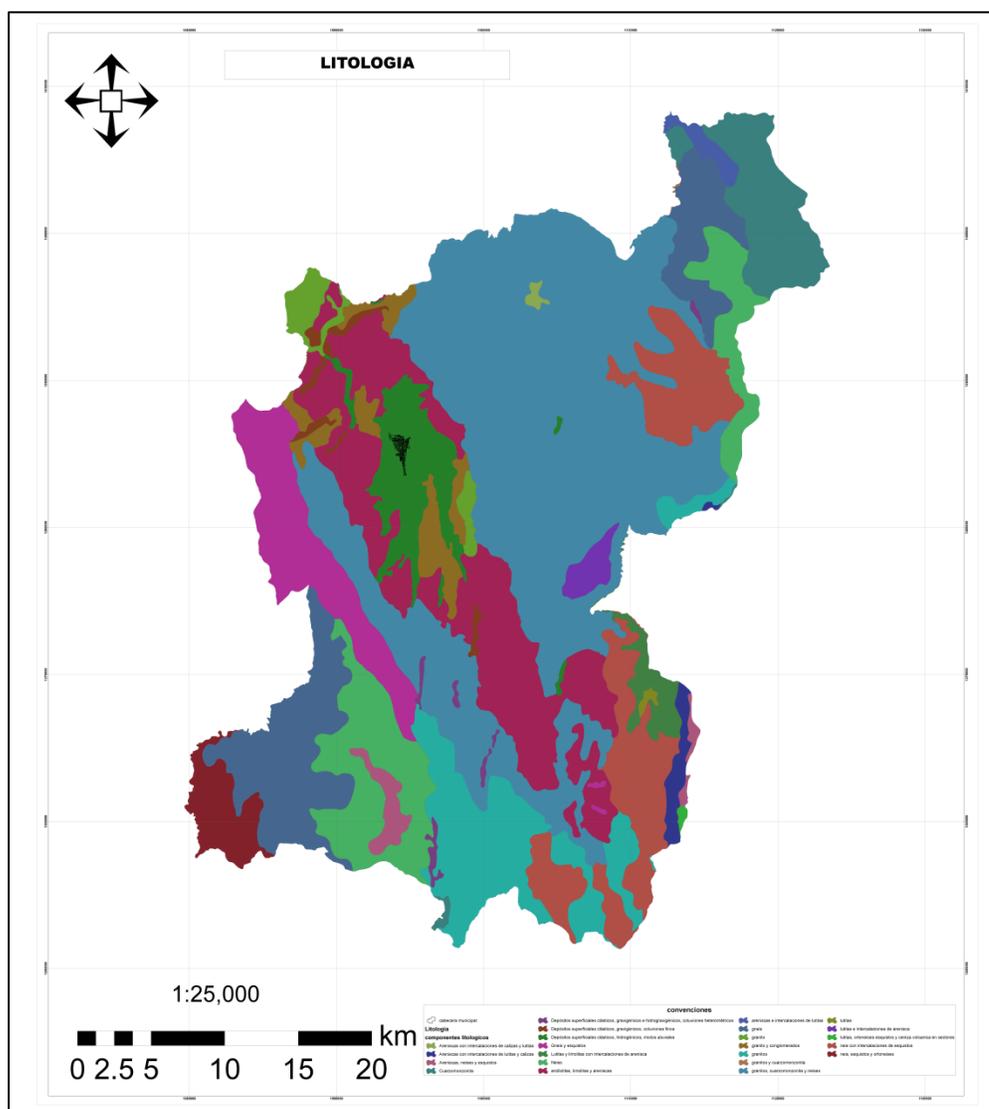


Figura 10. Litología superficial. Fuente: Elaboración propia

La zona urbana del municipio presenta una litología de depósitos superficiales clásticos, hidroclásticos, mixtos aluviales y un proceso geomorfológico de sedimento aluvial.

5.1.8. Topografía

Dado las tres unidades de paisaje que se pueden apreciar dentro del municipio de Abrego, Norte de Santander, la topografía del municipio se clasifica según la información geográfica temática oficial de CORPONOR en las siguientes categorías:

- Escarpada
- Fte quebrada – Escarpada
- Fte quebrada – Ondulada
- Fuertemente escarpada
- Fuertemente ondulada
- Fuertemente quebrada
- Ligeramente plana
- Lte ondulada – Ondulada
- Ondulada
- Plana - Lte plana
- Quebrada

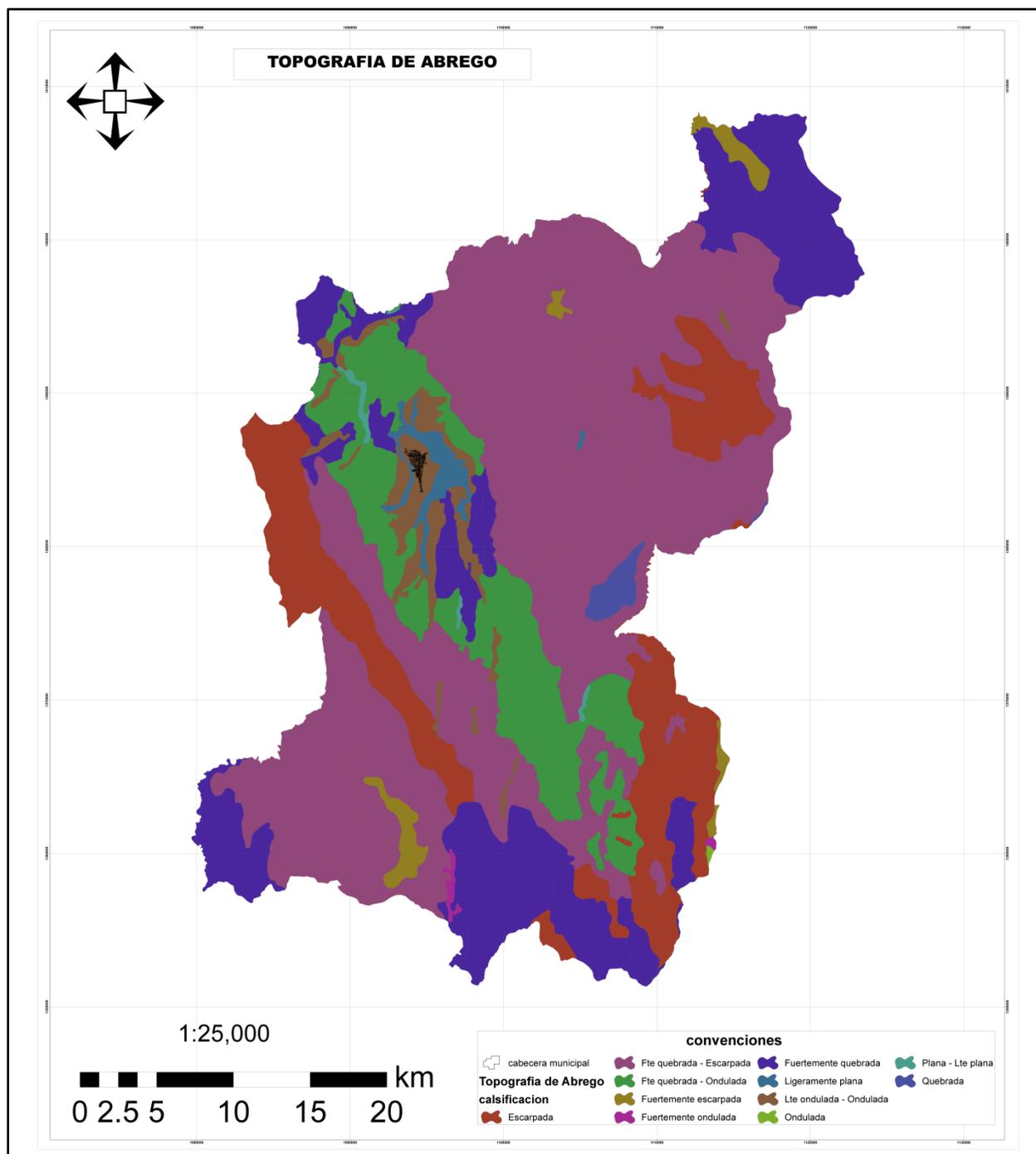


Figura 11. Topografía del municipio. Fuente: Elaboración propia.

La zona de estudio se caracteriza por presentar una topografía ligeramente plana, combinada con ligeramente ondulada-ondulada.

5.1.9. Características de Drenaje

La información geográfica del municipio de Abrego en formato SHP permite inferir que los suelos del municipio presentan las siguientes categorías de drenaje, estas categorías están asociadas a la clasificación agrologica de estos y las cuales se encuentran en la siguiente temática (figura 16): Suelos bien drenados, Drenaje bueno a excesivo, Drenaje excesivo, Excesivo a bueno y Moderado

La zona urbana del municipio de Abrego la cual es nuestra zona de investigación cuenta con suelos bien drenados. Delimitado por suelos moderadamente drenados como se observa en la temática.

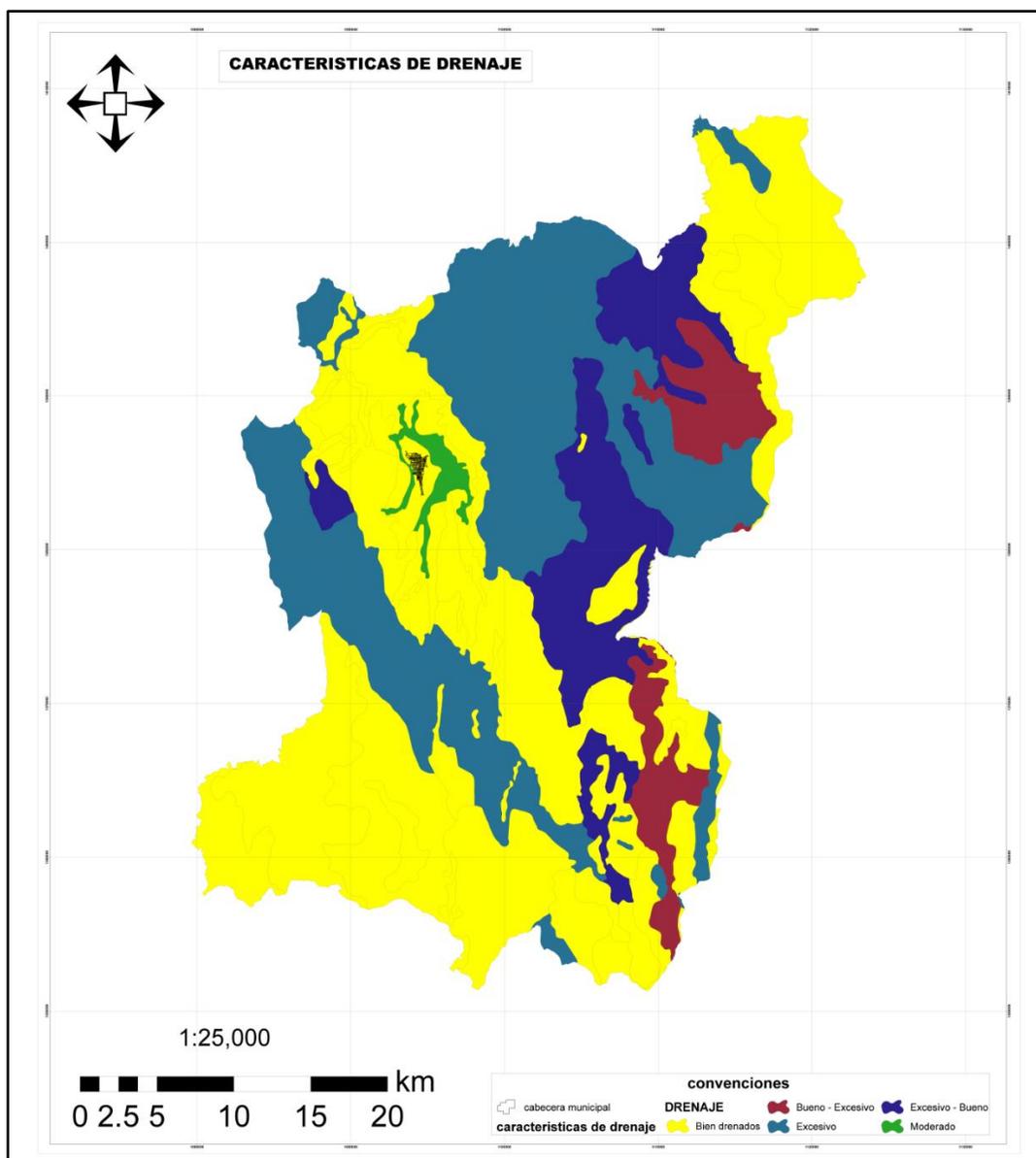


Figura 12. Mapa de las características de drenajes del municipio de Abrego. Fuente: Elaboración propia.

5.1.10. Grado De Erosión

Como todos los suelos, estos presentan diversos grados de erosión eólica e hídrica, la temática de grado de erosión de suelos del municipio de Abrego se construyó, a partir de la información geográfica oficial del municipio, la cual fue gestionada frente a CORPONOR, la zona urbana del municipio de Abrego presenta un grado de erosión ligero.

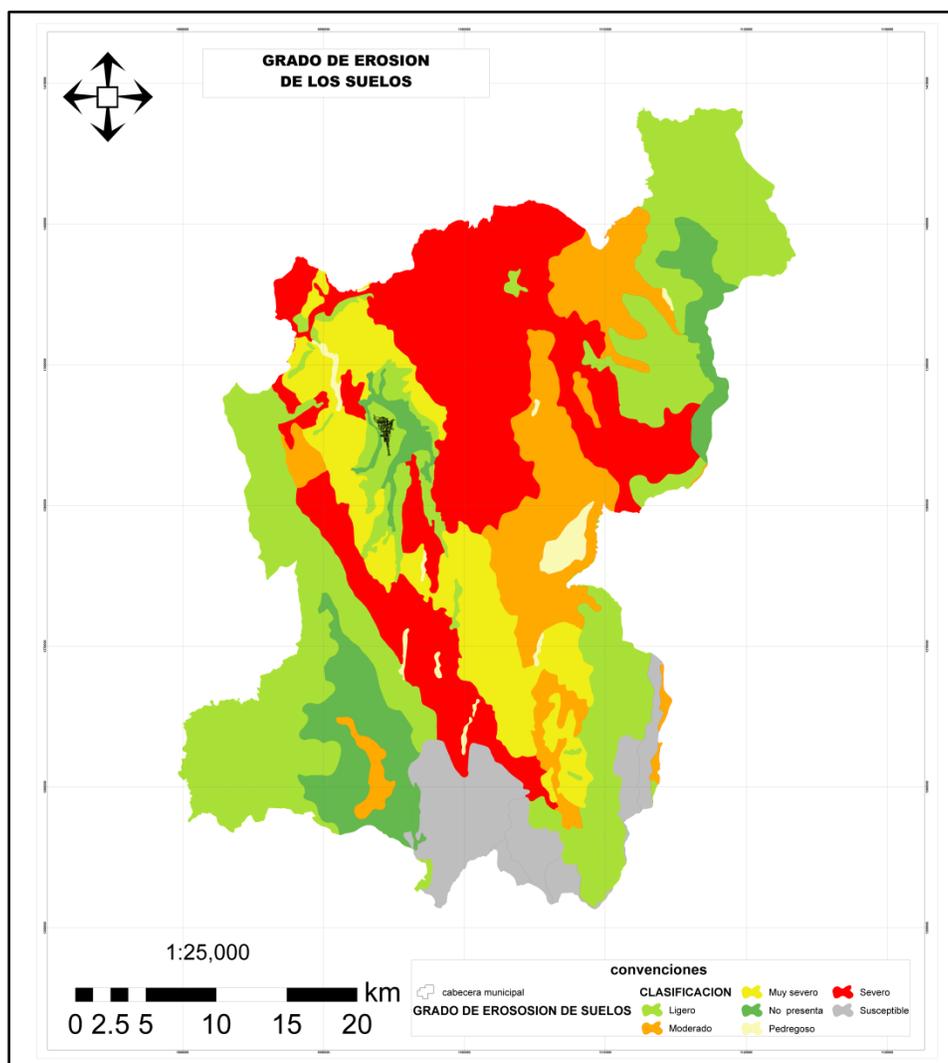


Figura 13. Mapa de erosión de los suelos del municipio de Abrego. Fuente: Elaboración propia.

5.1.11. Precipitación promedio en la zona de estudio

Para calcular la precipitación promedio mensual, (zona urbana), se usó la metodología de mapa de Isoyetas generado a partir de la información de precipitación de las estaciones meteorológicas del IDEAM, fueron revisadas las series con 20 años de intervalo.

Las Isoyetas son líneas que unen puntos de igual precipitación; se trazan usando información de estaciones localizadas dentro y fuera de la cuenca, la metodología del trazado de

estas curvas es similar a la usada para las curvas de nivel, pero aquí la altura de agua precipitada reemplaza la cota del terreno (resolución 865 del 2004).

Este método promedia la precipitación de dos Isoyetas consecutivas y se le asigna un peso o ponderación proporcional a la subárea entre las dos Isoyetas.

5.1.12. Consolidación de la base climática

Se trabajó con series históricas mensuales de 20 años, de las variables humedad relativa, precipitación, temperatura del aire (expresada como temperatura máxima media, temperatura mínima media y temperatura media y brillo solar), La longitud de la serie de datos (20años) responde a las recomendaciones internacionales (OMM, 2011).

5.1.13. Control de calidad de las series climáticas

Para reducir inconsistencias en los datos climáticos generadas por cambios de ubicación de las estaciones, cambio de observadores, daños en los instrumentos de medición, errores en las lecturas, entre otros aspectos, se definió un protocolo con cuatro etapas para el análisis de calidad: a) verificación de la coherencia estadística y física (espacial y temporal) de las series; b) análisis de homogeneidad de las series; c) complementación de datos faltantes y d) validación del proceso general de control de calidad.

Para la verificación de la coherencia estadística y física de los datos se revisó la secuencia lógica y la coherencia espacial y temporal de la serie de datos; los datos “extraños” se confrontaron con los registrados en estaciones vecinas y con la ocurrencia de fenómenos climáticos de gran escala tipo El Niño o La Niña.

Fueron utilizados los planos de correlación-distancia (Guijarro, 2011) para agrupar las estaciones con patrones similares de estacionalidad y volúmenes de lluvia. En cada agrupación o “clúster” se aplicó el test SNHT (Standard Normal Homogeneity Test) o test de Alexandersson para detectar heterogeneidades en las series (Alexandersson, 1986); también se utilizó la técnica de dobles masas para las series de temperatura. Las series que presentaron heterogeneidades fueron eliminadas de las base de datos.

Los datos faltantes se generaron utilizando el método de las proporciones (Paulhus & Kohler, 1952 citado por Guijarro, 2011) a partir de la interpolación espacial de las variables registradas en estaciones vecinas y teniendo en cuenta la distancia entre estaciones. En este proceso se utilizó el programa Climatol, desarrollado como software libre con licencia GNU-GPL para usar sobre el código R (Guijarro, 2011).

La validación del proceso de control de calidad se realizó mediante el test de McCuen (McCuen, 1998), que compara las diferencias entre las medias mensuales multianuales de las series originales y las series con datos generados. En caso de presentarse diferencias mayores al 10% las series generadas se eliminaron.

5.1.14. Caracterización de la variabilidad climática.

Fueron realizados los siguientes análisis descriptivos exploratorios a las series de tiempo que superaron el control de calidad: cálculo de estadísticos de tendencia central y de dispersión, identificación de valores atípicos y extremos, determinación de anomalías puntuales y porcentuales, elaboración y cruce de gráficos para identificar patrones de comportamientos intra e interanuales.

Los datos climáticos se analizaron a escala anual, mensual y por trimestres o cuatrimestres agroclimáticos (agrupaciones de meses lluviosos y meses secos) que predeterminan los ciclos agropecuarios por disponibilidad de agua.

Para poder identificar y caracterizar los valores extremos de las variables climáticas, se calcularon las anomalías porcentuales promedio para la unidad de análisis. Estas anomalías se ordenaron de mayor a menor para identificar a escala regional los años en que las variables climáticas alcanzaron sus máximas anomalías. Se construyeron gráficas para analizar el comportamiento de estas anomalías a lo largo del año y mapas para identificar espacialmente las zonas donde se registraron las mayores anomalías de cada variable climática.

Para analizar alteraciones climáticas asociadas con eventos ENSO, se categorizaron las series de tiempo de cada variable como eventos El Niño, La Niña y neutros según el valor del Índice Oceánico El Niño (ONI) publicado por el Centro de Predicción Climática (CPC) de la NOAA (CPC-NOAA, 2013). Para cada evento se calcularon los promedios mensuales y se hicieron comparaciones entre sí para identificar la intensidad y duración media de las alteraciones presentadas.

En la siguiente temática se pueden apreciar la distribución de la precipitación en rangos (mm) dentro de la delimitación oficial de la cuenca del río Algodonal, se puede apreciar entonces que en la zona urbana de Abrego, en su parte norte presenta un rango de precipitación de 305-400mm y la zona sur de 400 a 500mm.

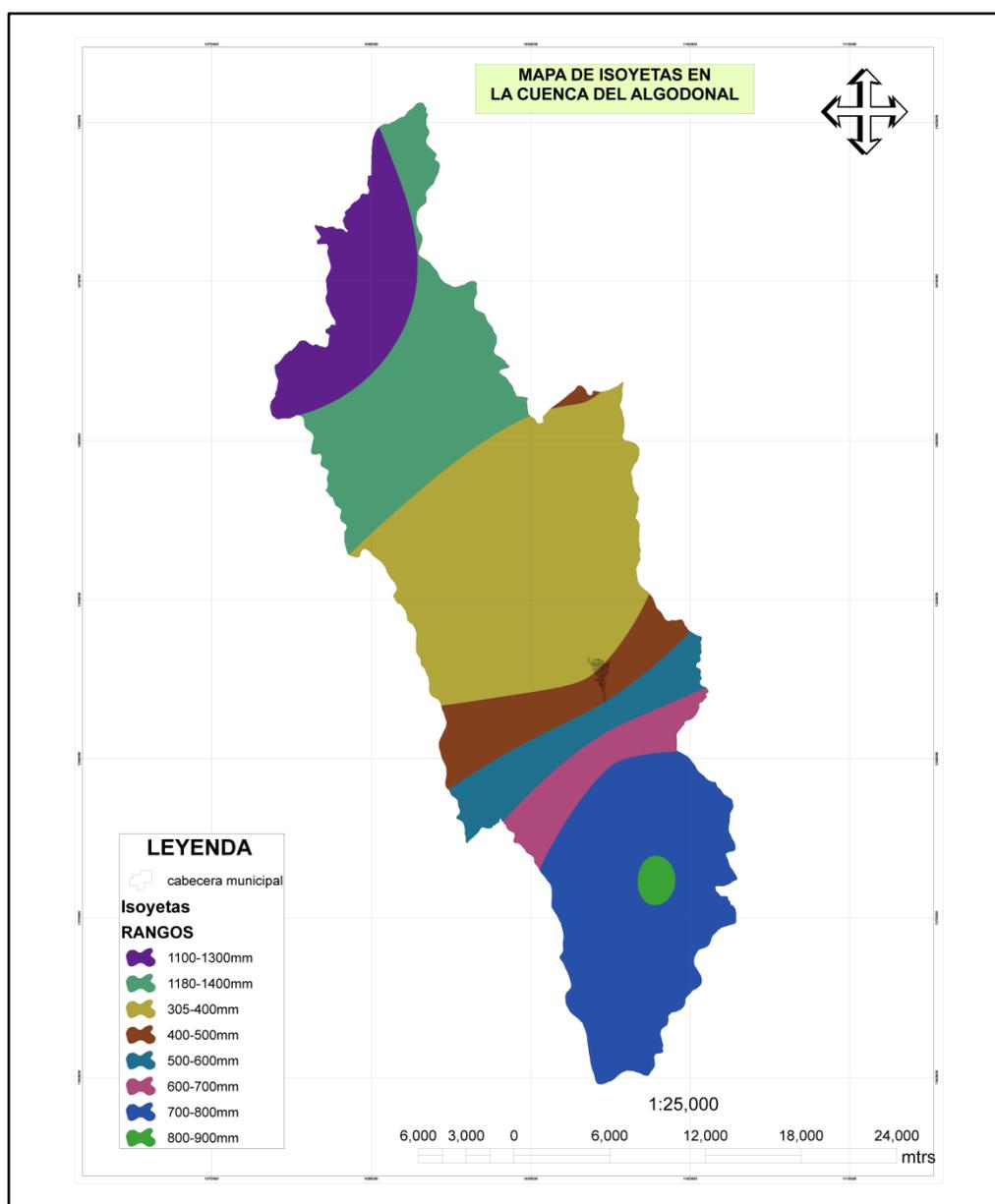


Figura 14. Mapa de Isoyetas en la cuenca del río Algodonal. Fuente: Elaboración propia.

5.1.15. Geología de la cuenca del río algodonal

Para la construcción del mapa de geología de la cuenca del río Algodonal fue usado como insumo técnico el archivo en formato SHAPEFILE con el que cuenta CORPONOR y procesado para generar la cartografía a 1:25000.

La zona de estudio de esta investigación presenta geológicamente Cuaternario de terraza, cono de deyección y aluviones recientes.

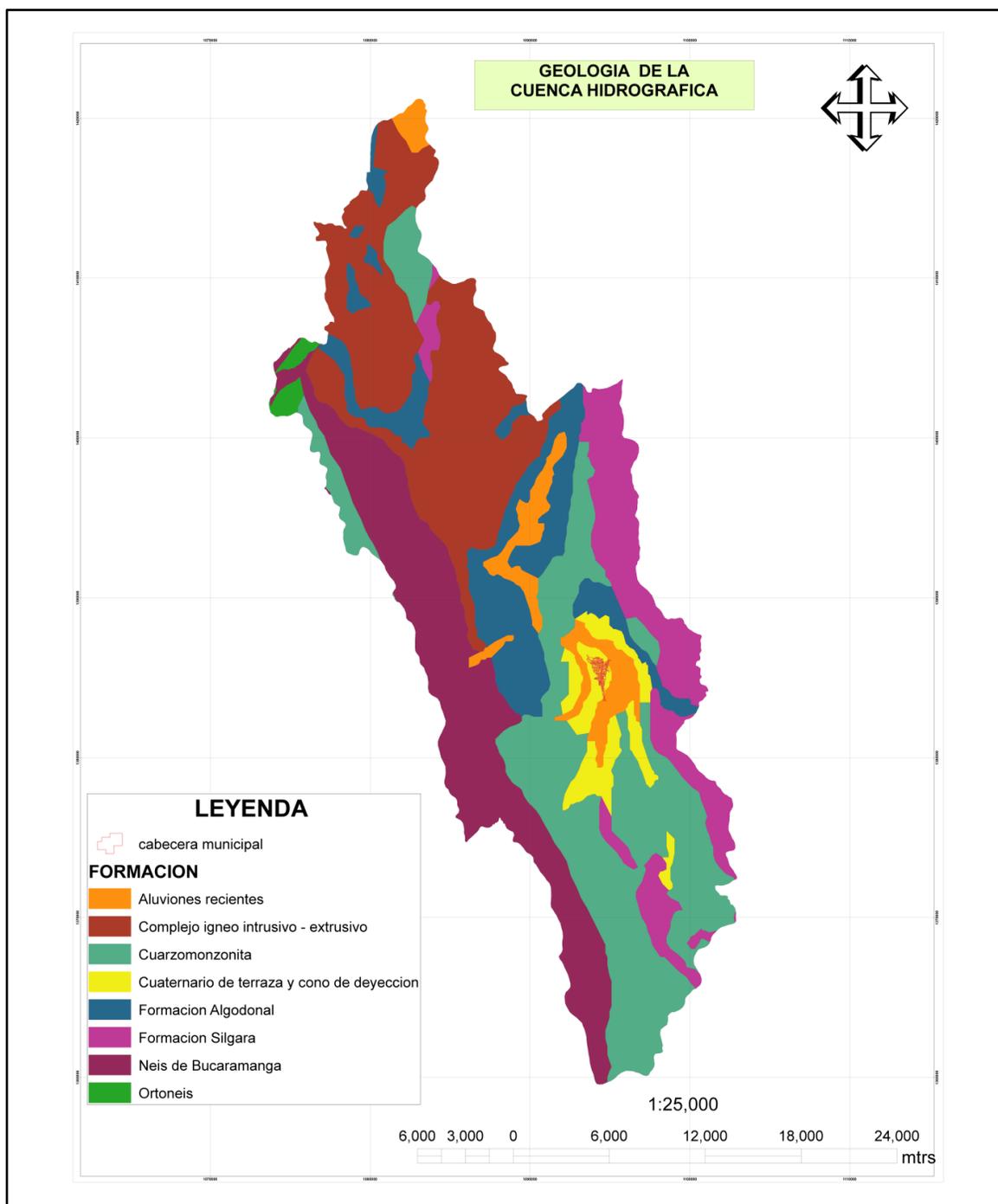


Figura 15. Mapa de geología de la cuenca del río Algodonal. Fuente: Elaboración propia.

5.2. Objetivo específico 2. Estudio hidráulico de la zona urbana de Abrego para determina los periodos de retorno a 25-50 años por medio del modelo Hec Ras 4.1.

La zonificación de áreas susceptibles a la inundación, por lo general, implica la integración de los SIG en ésta, son usados datos topográficos, edafológicos, hidrológicos, climáticos, de vegetación y uso de suelo, con la modelación hidrológica e hidráulica; con todo ello se determina espacial y cuantitativamente las áreas inundadas y los riesgos asociados (Rosso y Rulli, 2002; Abdalla et al., 2006).

Según (Ferrer 2012), En la actualidad se pueden distinguir dos principales enfoques al momento de definir la inundación: a) aquella que es generada por la cuenca con unas determinadas condiciones de escorrentía, ante una tormenta previamente definida; y b) aquella que tiene una determinada probabilidad de no ser superada o, empleando la terminología habitual, un periodo de retorno en años.

Entonces, los modelos hidráulicos son empleados para determinar las zonas susceptibles de ser inundadas, típicamente en función de la probabilidad de ocurrencia o periodo de retorno de un evento de mayor precipitación (Barillas-Cruz et al., 20014; Martín-Vide et al., 2010).

Estos modelos matemáticos e hidro-dinámicos toman en cuenta variables hidrológicas como: precipitación, escorrentías, gastos, y también variables hidráulicas como la altura del caudal y la geometría del cauce.

Estos modelos presentan la integración de datos georreferenciados¹⁰, como los climáticos, topográficos, hidrológicos, edafológicos, de vegetación y uso de suelo permitiendo modelar y evaluar, espacialmente, la respuesta del caudal bajo distintos escenarios de precipitación o

periodos de retorno; Los parámetros hidrológicos como los de escorrentía y caudales derivados de la precipitación son primordiales en estos modelos, como insumo de la cantidad de agua que fluye por los cauces.

Según (Triviño y Ortiz, 2012). La respuesta de los caudales en la cuenca depende de factores como: la pendiente, la geometría del cauce y el escurrimiento. De esta manera, las cuencas conforman un sistema de procesos y respuestas en donde la escorrentía superficial es de los factores más importantes, relacionados con los desastres naturales y daños de las inundaciones.

Claro que siempre es preferible que se pueda disponer de datos hidrométricos colectados in situ de la red hidrológica, la realidad es que usualmente son muy escasos. Los métodos hidrológicos y modelos matemáticos que comúnmente se aplican para los cálculos de escorrentía y gastos incluyen el de Ven Te Chow y tránsito de hidrogramas (Triviño y Ortiz, 2012).

Métodos como el Ven Te Chow han sido muy útiles para calcular caudales máximos dentro de pequeñas unidades hidrológicas o microcuencas con grandes rangos de pendientes. El método, introducido en 1964 en la publicación *Handbook of Applied Hydrology* (Chow, 1964), considera la superficie de la unidad hidrológica (cuenca), la longitud y pendiente de los canales abiertos (como los ríos), el tipo de suelo, cobertura de vegetación y uso del suelo para obtener el número de curva (cn) o coeficiente de infiltración y escorrentía, así como la cantidad y duración de precipitación (la entrada de agua) y, de esta manera, derivar el caudal máximo en cada unidad hidrológica (Chow et al., 1994). Estos cálculos son insumos esenciales para la evaluación de áreas inundables usando los modelos hidráulicos

Al integrar técnicas y datos de SIG para calcular los gastos o caudales, es posible su representación espacial, fortaleciendo el uso de estas herramientas para la modelación y manejo de cuencas (Barillas-Cruz et al., 2003; Martín-Vide et al., 2003; Triviño y Ortiz, 2012).

Por otra parte, aplicaciones de modelos hidrológicos como hec-hms, Hydrology otros— también calculan parámetros de precipitación, escorrentía superficial y caudales que puedan ser efectivamente representados, de manera geográfica en la cuenca (Triviño y Ortiz, 2012).

Los modelos hidráulicos analizan los flujos de los ríos y canales por secciones transversales de los cauces, de acuerdo a la escorrentía y caudal del agua en el sistema hídrico. Uno de estos modelos, el más utilizado alrededor del mundo, es el hec-ras (Hydrologic Engineering Center-River Assessment System), desarrollado por el United States Army Corps of Engineers. HEC-RAS es un modelo unidimensional de régimen permanente, gradualmente variado, que genera como resultado el perfil de la superficie libre de agua, calculando el nivel y velocidad del agua y el “área mojada” en cada tramo o sección transversal del río (Martín-Vide, 2003; Triviño y Ortiz, 2012). Para las evaluaciones de inundación, aplicando el HEC-RAS, se requiere de información sobre la fisiografía y los caudales del sistema fluvial, que son sistematizados en el modelo como datos geométricos (secciones transversales del cauce), flujos de agua o aforos, así como las especificaciones para la simulación de escurrimiento superficial y áreas inundadas, relacionados con los periodos de retorno de precipitación.

La razón del desarrollo del objetivo específico 2 de esta investigación, es el de integrar las técnicas de SIG con la modelación hidrológica e hidráulica para evaluar las áreas susceptibles a la inundación dentro de la zona de interés descrita anteriormente.

5.2.1. Delimitación De La zona De Estudio directa

Sobre una imagen de satélite fueron traslapados los puntos georeferenciados que fueron capturados durante las visitas oculares realizadas por los autores del proyecto, para la georreferenciación de los puntos de delimitación se usó un GPS marca Garmin Ref. Etrex 10, los cuales después ser descargados en por medio del software Map Source se exportaron al software ARCGIS 10.3 para poder ser traslapados en una imagen de satélite de ALOS del año 2015.

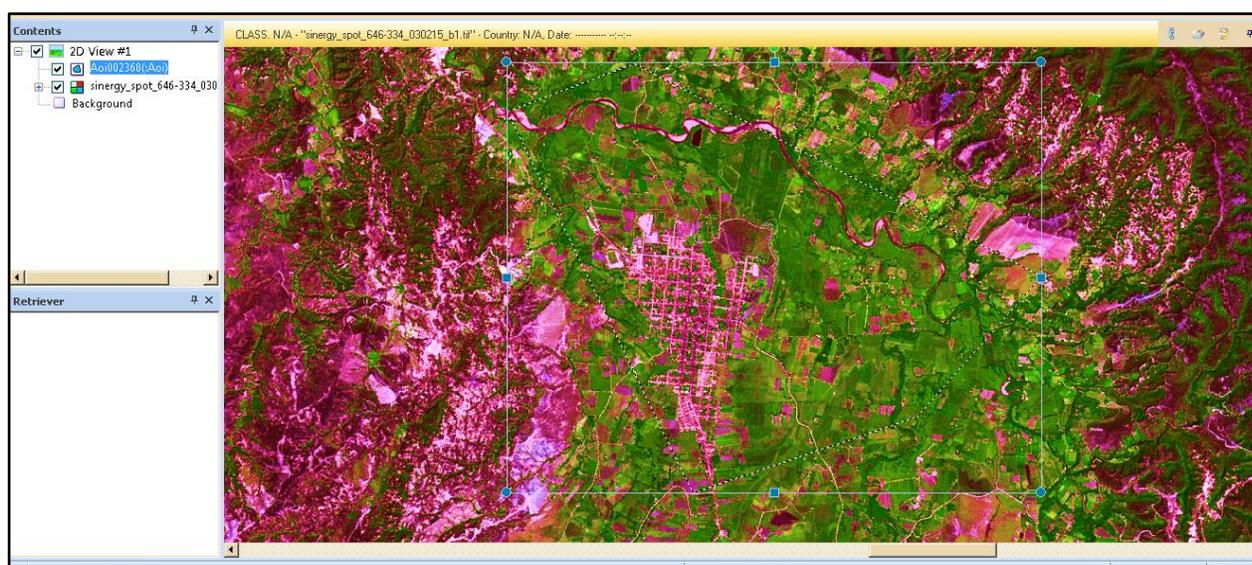


Figura 16. Delimitación de la zona directa donde se realizó el estudio por medio del Software ERDAS Image 2014. Fuente: Elaboración propia.

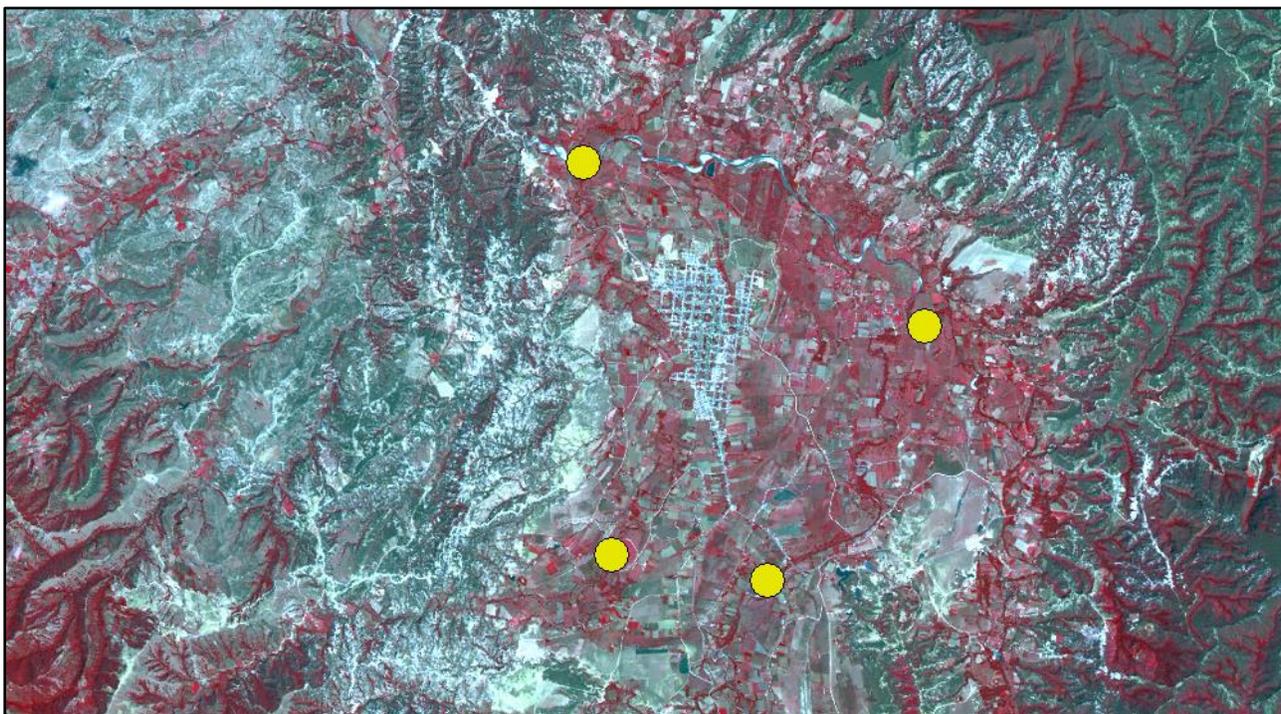


Figura 17. Exportación de los puntos GPS para definir área de estudio directa. Fuente: Elaboración propia.

Con las coordenadas planas de los puntos 1 y 2 se realizó la medición de la longitud del tramo del río para posteriormente determinar su geometría.



Figura 18. Digitalización del tramo del río Algodonal bajo estudio. Fuente: Elaboración propia.

El tramo para la modelación de estudio hidrológico e Hidráulico, cuenta con una longitud de 5.711628km desde la coordenada plana X: 1096656.52724; Y: 1385487.37025 hasta el par de coordenadas X: 1093129.1481; Y: 1387167.83937.

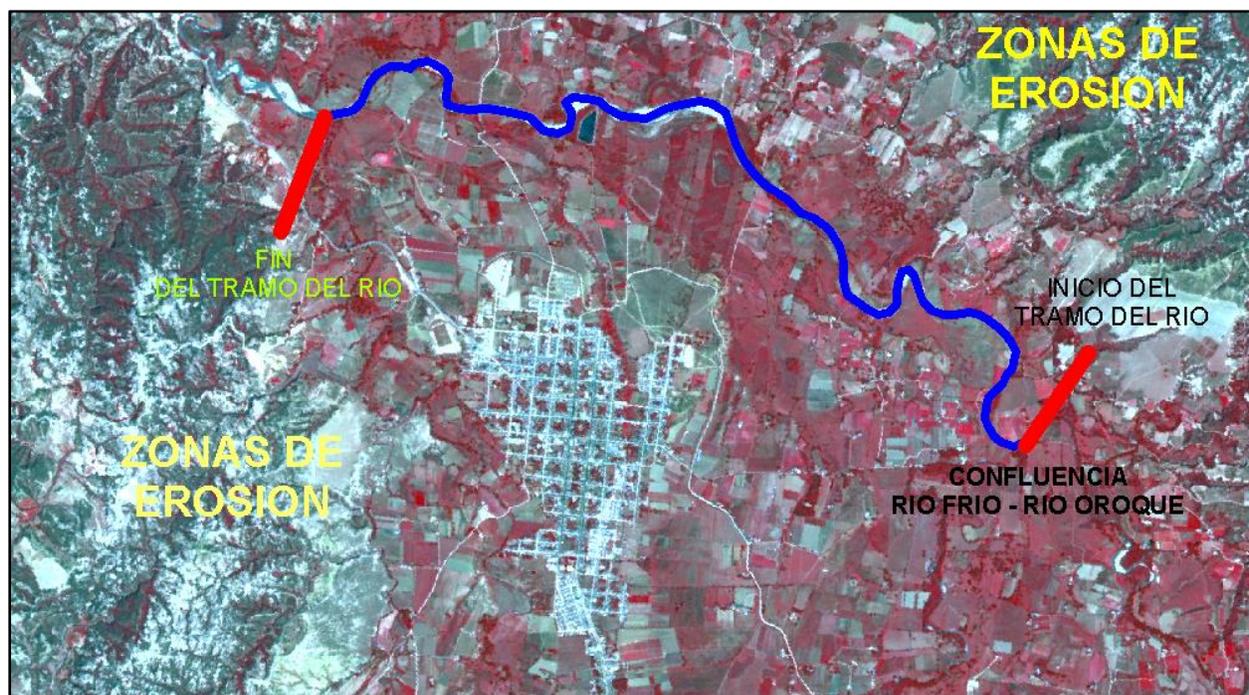


Figura 19. Imagen definitiva de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Modelación Hidrológica

El tramo del río algodonal se exportó a la interface de trabajo de HecRas 4.1 para determinar y etiquetar las secciones de este (91) secciones, luego de definir las secciones del tramo del río algodonal se procedió a definir la zona de ronda de protección hídrica del río Algodonal.

El Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente Decreto 2811 de 1974, establece una regulación en términos de propiedad con relación

a las zonas paralelas a los cauces permanentes. En el Artículo 83, literal D, consagra que la faja paralela a las líneas de mareas máximas o al cauce permanente de ríos y lagos de hasta 30 metros es un bien inembargable e imprescriptible del Estado, excepto si existen derechos adquiridos. Así mismo, el Decreto establece las normas para la explotación y ocupación de cauces, playas y lechos; las servidumbres de riberas, la construcción y funcionamiento de obras hidráulicas; el uso, la conservación y la preservación de cauces y aguas. El Decreto consagra que para la explotación y ocupación de cauces, playas y lechos se requiere de permisos de la autoridad correspondiente. En la explotación la regulación menciona la extracción de material de arrastre (artículo 99), y la exploración y explotación de minerales (artículo 100). El artículo 101 ordena "...la suspensión provisional o definitiva de las explotaciones de que se derive peligro grave o perjuicio para las poblaciones y las obras o servicios públicos...". Con relación a la ocupación del cauce el Decreto señala las obras (artículo 102), la prestación de servicios como turismo, deporte, recreación (artículo 103); y el artículo 104 promulga que la ocupación permanente en las playas de los cauces solo se permite para la navegación, y que la transitoria requiere de autorización con excepción de la pesca de subsistencia.

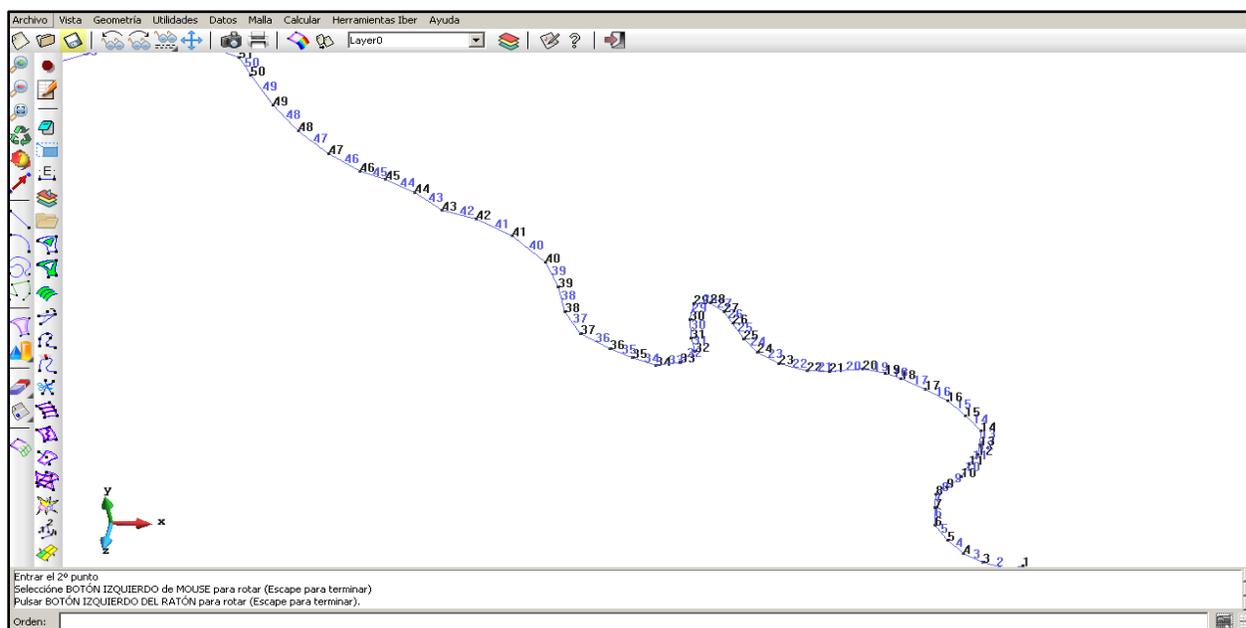


Figura 20. IP de la interface de trabajo del software HECRAS usado para la modelación hidráulica del tramo del río algodonal en zona urbana del municipio de Abrego Norte de Santander. Fuente: Elaboración propia.

Para la servidumbre de riberas el Decreto consigna: “...Los dueños de predios ribereños están obligados a dejar libre de edificaciones y cultivos el espacio necesario para los usos autorizados por ministerio de la ley, o para la navegación, o la administración del respectivo curso o lago, o la pesca o actividades similares. En estos casos solo habrá lugar a indemnización por los daños que se causaren...” (Artículo 118). Para la autorización de la obras hidráulicas, el Decreto 2811 de 1974 obliga la realización de estudios para captar, controlar, conducir, almacenar, o distribuir el caudal (artículo 120). Y en el uso, la conservación y la preservación de cauces y aguas el artículo 132 establece: “...Sin permiso, no se podrán alterar los cauces, ni el régimen y la calidad de las aguas, ni interferir su uso legítimo... Se negará el permiso cuando la obra implique peligro para la colectividad, o para los recursos naturales, la seguridad interior o exterior o la soberanía Nacional...” Asimismo, el Decreto 2811 de 1974 estipuló las áreas forestales protectoras, productoras y protectoras-productoras; así como las áreas de reserva

forestal de la Ley 2 de 1959. En el artículo 204 estableció: "...Se entiende por área forestal protectora la zona que debe ser conservada permanentemente con bosques naturales o artificiales, para proteger estos mismos recursos u otros naturales renovables. En el área forestal protectora debe prevalecer el efecto protector y solo se permitirá la obtención de frutos secundarios del bosque." Poco tiempo después de la expedición del Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente se firmaron varias disposiciones, entre las cuales se encuentran los Decretos 877 de 1976, 1449 de 1977, 1541 de 1978, 2857 de 1981 y 1594 de 1984. El Decreto 877 de 1976 establece que para considerar Áreas Forestales Protectoras se deben tener en cuenta varios criterios, algunos de los cuales son: áreas de influencia sobre nacimientos de agua de ríos y quebradas; áreas en las que sea necesario controlar deslizamientos, cauces torrenciales, y entre otras amenazas; y áreas con abundancia y variedad de fauna silvestre acuática y terrestre. Por su parte, el Decreto 1449 de 1977 consagra en su artículo 3 literal b, que los propietarios de predios rurales tienen la obligación de mantener cobertura boscosa en Áreas Forestales Protectoras, dentro de las cuales define como tal una faja de terreno no inferior **a 30 metros de ancha paralela a las líneas máximas de marea**, a los lados de los cauces y alrededor de lagos o depósitos de agua.

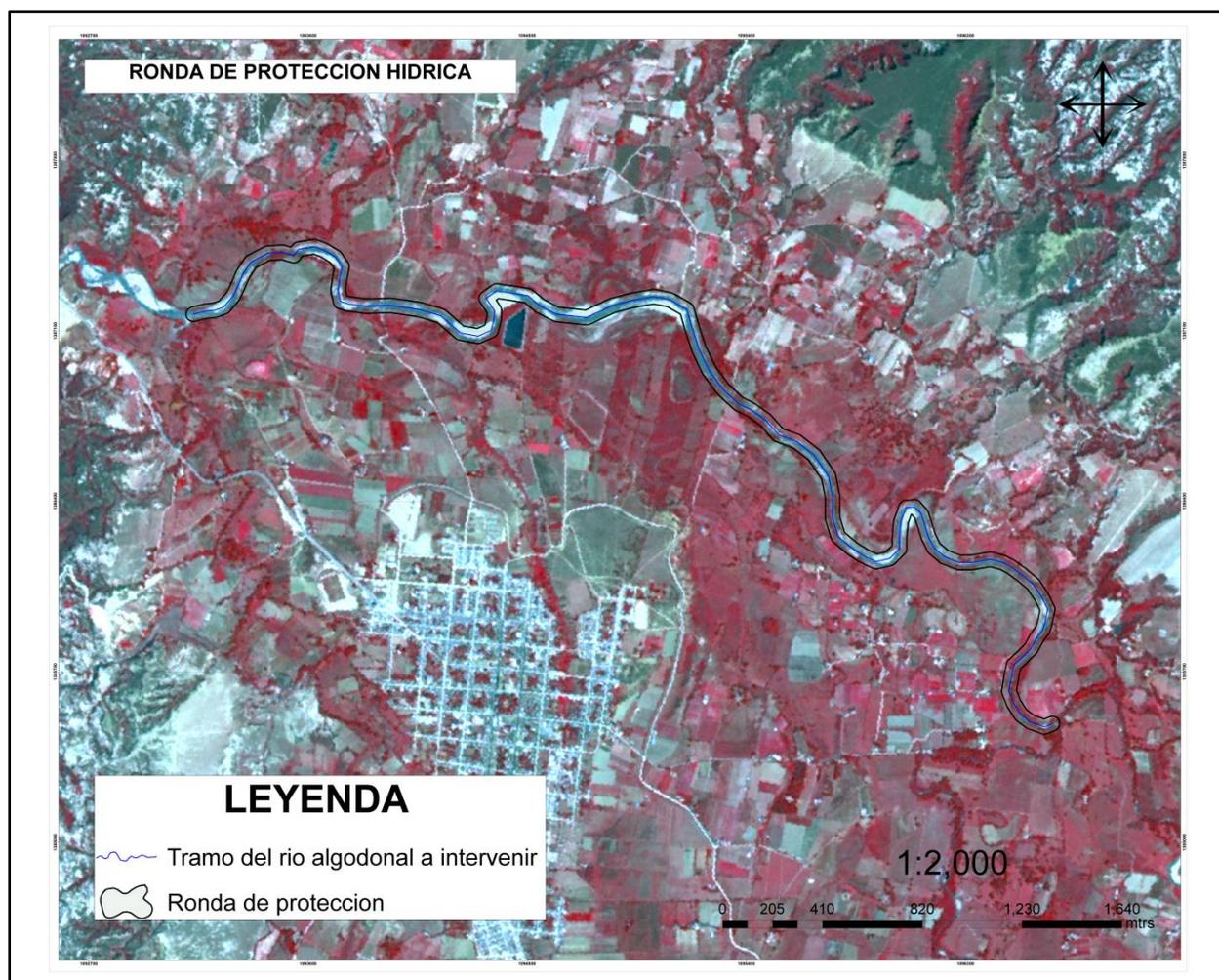


Figura 21. Mapa de la definición de la ronda hídrica de protección en el tramo del río Algodonal objeto del estudio. Fuente: Elaboración propia.

5.2.3. Delimitación de la planicie de inundación

La planicie o llanura de inundación es un área usualmente seca adyacente a ríos o corrientes, la cual se inunda durante eventos de crecientes. Las causas más comunes de inundación son las crecientes de corrientes y de ríos. La planicie de inundación puede incluir el ancho total de valles angostos o áreas amplias localizadas a lo largo de ríos en valles amplios y planos. El canal y la planicie de inundación son partes integrales de la conducción natural de una

corriente. La planicie de inundación mueve el caudal que excede la capacidad del canal y a medida que el caudal crece, aumenta el flujo sobre la planicie de inundación.

El primer paso en cualquier análisis de una planicie de inundación es recolectar información, incluyendo mapas topográficos, información sobre flujos de creciente si existe alguna estación de aforo en las cercanías, información de lluvia si no existe información de caudales de crecientes y secciones transversales levantadas topográficamente y estimaciones de la rugosidad del canal en un cierto número de puntos a lo largo del lecho.

5.2.4. Topografía y modelo digital de terreno

Se efectuó un levantamiento topográfico y batimétrico por el método de vadeo a lo largo de la zona de estudio, para obtener los planos de planta que se utilizaran para la elaboración del Shape de los puntos, el TIN y el modelo digital de terreno.

La topografía consiste en el levantamiento y posicionamiento del tramo del río algodonal digitalizado previamente usando estación total y GPS de alta precisión, (doble frecuencia). El trabajo topográfico, en su ejecución, se materializó con el fin de poder determinar las características generales del cauce y pendientes del río en el tramo de interés.

El proceso desarrollado fue el siguiente:

Se hizo posicionamiento GPS del punto de inicio o punto A de la poligonal.

Se hizo posicionamiento GPS en un punto X el cual se utilizó como norte arbitrario de coordenadas conocidas del tramo del cauce del río algodonal.

Se armó el equipo de topografía en el punto A, se hicieron ceros en el norte arbitrario y visualizo el punto B el cual corresponde al siguiente vértice de la poligonal, con este

procedimiento encontramos el ángulo horizontal existente entre N-A-B y la distancia A-B para calcular las coordenadas del punto B.

Se armó en el punto B y se hizo ceros atrás en el punto A y visualizar el punto C como se especificó en el ítem anterior. Este procedimiento se realizó las veces como era necesario en los vértices para llegar al punto final de la poligonal.

En cada uno de los vértices se llevó a cabo una radiación simple que capturo todos los detalles necesarios para el levantamiento haciendo lectura del ángulo horizontal y distancia de cada uno de ellos calculando las coordenadas de estos detalles.

Por otra parte en el trabajo de oficina se descargaron los datos crudos o sin procesar del levantamiento y del GPS, para hacer el post-proceso de los datos y generar así las carteras de cálculos y coordenadas del levantamiento topográfico.

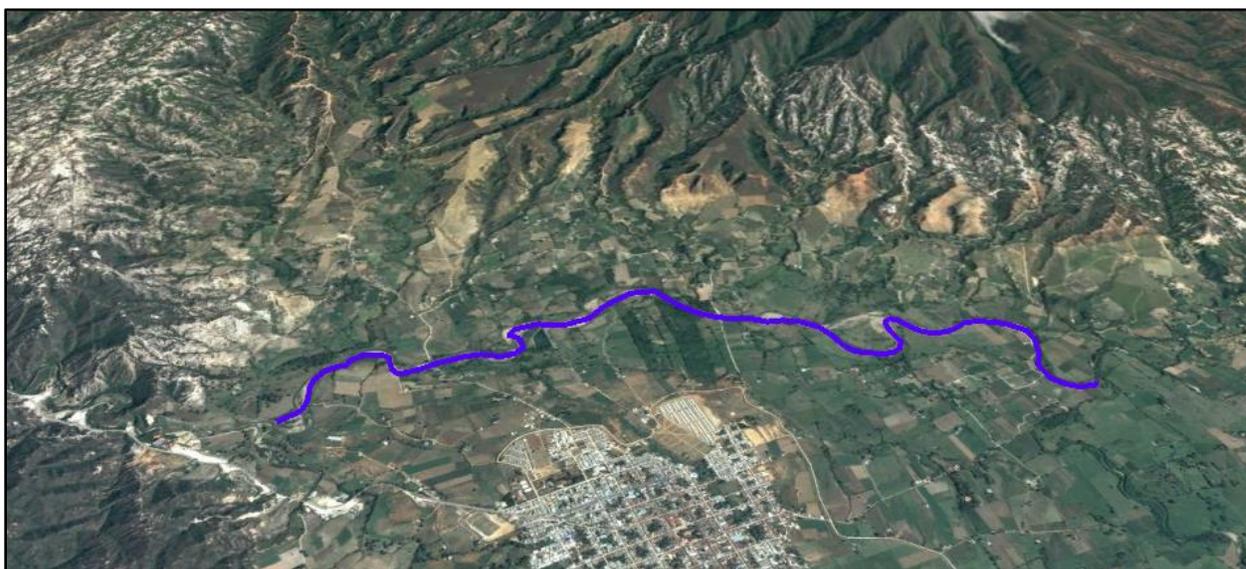


Figura 22. Visual del terreno donde se desarrolló el levantamiento topográfico y batimétrico para el tramo seleccionado del río Algodonal. Fuente: GOOGLE EARTH PRO, 2017.

Tabla 7*Relación del levantamiento topográfico del tramo del río.*

COORDENADAS PLANAS DEL TRAMO DEL RIO ALGODONAL				COORDENADAS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO		
COOR DENADA X	COOR DENADA Y	COOR DENADA X FINAL	COOR DENADA Y FINAL	COOR DENADA X	COOR DENADA Y	ELEV ACION
10966	13854	10931	13871	10966	13854	135
56.527	87.37	29.148	67.839	56.527	87.37	0
10966	13854	10931	13871	10966	13854	134
56.527	87.37	29.148	67.839	23.454	74.141	9.2
10966	13854	10931	13871	10965	13854	134
56.527	87.37	29.148	67.839	67.23	93.985	9
10966	13854	10931	13871	10965	13855	133
56.527	87.37	29.148	67.839	27.543	23.751	9
10966	13854	10931	13871	10964	13855	135
56.527	87.37	29.148	67.839	97.777	70.053	0
10966	13854	10931	13871	10964	13856	135
56.527	87.37	29.148	67.839	77.933	19.662	2.3
10966	13854	10931	13871	10964	13856	134
56.527	87.37	29.148	67.839	87.855	82.501	5
10966	13854	10931	13871	10964	13857	135
56.527	87.37	29.148	67.839	97.777	28.803	0
10966	13854	10931	13871	10965	13857	136
56.527	87.37	29.148	67.839	27.543	55.261	5
10966	13854	10931	13871	10965	13857	135
56.527	87.37	29.148	67.839	67.23	94.949	5
10966	13854	10931	13871	10965	13858	136
56.527	87.37	29.148	67.839	90.381	37.944	2.3
10966	13854	10931	13871	10966	13858	134
56.527	87.37	29.148	67.839	16.84	74.324	5.6
10966	13854	10931	13871	10966	13859	133
56.527	87.37	29.148	67.839	26.762	07.397	9
10966	13854	10931	13871	10966	13859	133
56.527	87.37	29.148	67.839	36.683	57.007	9
10966	13854	10931	13871	10966	13860	134
56.527	87.37	29.148	67.839	10.225	09.923	5
10966	13854	10931	13871	10965	13860	134
56.527	87.37	29.148	67.839	77.152	59.533	2
10966	13854	10931	13871	10965	13860	135
56.527	87.37	29.148	67.839	34.157	95.913	8

10966	13854	10931	13871	10964	13861	136
56.527	87.37	29.148	67.839	84.548	32.293	0
10966	13854	10931	13871	10964	13861	136
56.527	87.37	29.148	67.839	51.475	48.83	2
10966	13854	10931	13871	10964	13861	137
56.527	87.37	29.148	67.839	01.865	62.059	6
10966	13854	10931	13871	10963	13861	137
56.527	87.37	29.148	67.839	25.797	48.83	0
10966	13854	10931	13871	10962	13861	136
56.527	87.37	29.148	67.839	72.881	48.83	5
10966	13854	10931	13871	10962	13861	136
56.527	87.37	29.148	67.839	13.349	71.981	5
10966	13854	10931	13871	10961	13862	136
56.527	87.37	29.148	67.839	70.354	08.361	8
10966	13854	10931	13871	10961	13862	136
56.527	87.37	29.148	67.839	47.203	54.663	9
10966	13854	10931	13871	10961	13863	133
56.527	87.37	29.148	67.839	30.667	07.58	9
10966	13854	10931	13871	10961	13863	134
56.527	87.37	29.148	67.839	17.438	47.268	6
10966	13854	10931	13871	10960	13863	134
56.527	87.37	29.148	67.839	90.979	77.033	0
10966	13854	10931	13871	10960	13863	134
56.527	87.37	29.148	67.839	54.599	73.726	5
10966	13854	10931	13871	10960	13863	133
56.527	87.37	29.148	67.839	34.755	17.502	9
10966	13854	10931	13871	10960	13862	134
56.527	87.37	29.148	67.839	28.141	51.356	2
10966	13854	10931	13871	10960	13862	134
56.527	87.37	29.148	67.839	28.141	05.054	5
10966	13854	10931	13871	10959	13861	134
56.527	87.37	29.148	67.839	88.453	65.366	7
10966	13854	10931	13871	10959	13861	134
56.527	87.37	29.148	67.839	32.229	52.137	3
10966	13854	10931	13871	10958	13861	133
56.527	87.37	29.148	67.839	82.619	75.288	9
10966	13854	10931	13871	10958	13862	133
56.527	87.37	29.148	67.839	36.317	05.054	8
10966	13854	10931	13871	10957	13862	133
56.527	87.37	29.148	67.839	76.786	54.663	6
10966	13854	10931	13871	10957	13863	133
56.527	87.37	29.148	67.839	53.635	30.731	9
10966	13854	10931	13871	10957	13864	134
56.527	87.37	29.148	67.839	53.635	16.721	5

10966	13854	10931	13871	10957	13865	134
56.527	87.37	29.148	67.839	37.098	02.711	2
10966	13854	10931	13871	10956	13865	135
56.527	87.37	29.148	67.839	77.567	90.023	0
10966	13854	10931	13871	10956	13866	134
56.527	87.37	29.148	67.839	04.806	46.248	2
10966	13854	10931	13871	10955	13866	135
56.527	87.37	29.148	67.839	32.046	72.706	4
10966	13854	10931	13871	10954	13867	132
56.527	87.37	29.148	67.839	79.129	32.237	6
10966	13854	10931	13871	10954	13867	133
56.527	87.37	29.148	67.839	19.598	75.232	9
10966	13854	10931	13871	10953	13868	136
56.527	87.37	29.148	67.839	66.681	01.691	7
10966	13854	10931	13871	10953	13868	137
56.527	87.37	29.148	67.839	03.842	59.899	6
10966	13854	10931	13871	10952	13869	136
56.527	87.37	29.148	67.839	47.618	35.967	5
10966	13854	10931	13871	10952	13870	140
56.527	87.37	29.148	67.839	04.623	25.264	0
10966	13854	10931	13871	10951	13871	137
56.527	87.37	29.148	67.839	71.55	27.79	0
10966	13854	10931	13871	10951	13871	136
56.527	87.37	29.148	67.839	55.014	87.322	8
10966	13854	10931	13871	10950	13872	138
56.527	87.37	29.148	67.839	85.561	27.009	0
10966	13854	10931	13871	10950	13872	136
56.527	87.37	29.148	67.839	19.415	40.238	7
10966	13854	10931	13871	10949	13872	137
56.527	87.37	29.148	67.839	26.81	23.702	8
10966	13854	10931	13871	10948	13872	138
56.527	87.37	29.148	67.839	50.742	03.858	0
10966	13854	10931	13871	10947	13871	137
56.527	87.37	29.148	67.839	44.909	54.249	9
10966	13854	10931	13871	10946	13871	137
56.527	87.37	29.148	67.839	19.231	67.478	6
10966	13854	10931	13871	10945	13872	124
56.527	87.37	29.148	67.839	49.778	03.858	5
10966	13854	10931	13871	10945	13872	134
56.527	87.37	29.148	67.839	03.476	43.546	5
10966	13854	10931	13871	10944	13872	137
56.527	87.37	29.148	67.839	43.945	53.468	6
10966	13854	10931	13871	10943	13872	136
56.527	87.37	29.148	67.839	74.491	63.389	7.4

10966	13854	10931	13871	10943	13872	135
56.527	87.37	29.148	67.839	31.497	33.624	6
10966	13854	10931	13871	10943	13871	136
56.527	87.37	29.148	67.839	64.57	84.014	7
10966	13854	10931	13871	10943	13871	136
56.527	87.37	29.148	67.839	64.57	54.249	0
10966	13854	10931	13871	10943	13871	135
56.527	87.37	29.148	67.839	51.34	01.332	5
10966	13854	10931	13871	10942	13870	136
56.527	87.37	29.148	67.839	98.424	78.181	7
10966	13854	10931	13871	10942	13870	133
56.527	87.37	29.148	67.839	25.663	91.41	9
10966	13854	10931	13871	10941	13871	137
56.527	87.37	29.148	67.839	46.288	60.863	0
10966	13854	10931	13871	10940	13871	136
56.527	87.37	29.148	67.839	56.991	87.322	7
10966	13854	10931	13871	10939	13872	135
56.527	87.37	29.148	67.839	37.928	03.858	8
10966	13854	10931	13871	10938	13872	136
56.527	87.37	29.148	67.839	38.709	00.551	7
10966	13854	10931	13871	10937	13872	135
56.527	87.37	29.148	67.839	65.949	10.473	4
10966	13854	10931	13871	10937	13872	135
56.527	87.37	29.148	67.839	32.876	20.395	0
10966	13854	10931	13871	10937	13872	133
56.527	87.37	29.148	67.839	22.954	66.697	9
10966	13854	10931	13871	10937	13873	133
56.527	87.37	29.148	67.839	29.568	12.999	7
10966	13854	10931	13871	10937	13873	133
56.527	87.37	29.148	67.839	39.49	62.608	5
10966	13854	10931	13871	10937	13874	137
56.527	87.37	29.148	67.839	13.032	02.296	9
10966	13854	10931	13871	10936	13874	137
56.527	87.37	29.148	67.839	63.422	32.062	5
10966	13854	10931	13871	10936	13874	137
56.527	87.37	29.148	67.839	27.042	45.291	0
10966	13854	10931	13871	10935	13874	137
56.527	87.37	29.148	67.839	60.896	35.369	8
10966	13854	10931	13871	10935	13874	137
56.527	87.37	29.148	67.839	41.052	08.911	0
10966	13854	10931	13871	10934	13874	137
56.527	87.37	29.148	67.839	94.75	22.14	6
10966	13854	10931	13871	10934	13874	129
56.527	87.37	29.148	67.839	35.219	18.832	8

10966	13854	10931	13871	10933	13873	135
56.527	87.37	29.148	67.839	65.765	82.452	6
10966	13854	10931	13871	10933	13873	136
56.527	87.37	29.148	67.839	32.692	32.843	7
10966	13854	10931	13871	10933	13872	133
56.527	87.37	29.148	67.839	12.849	86.541	5
10966	13854	10931	13871	10932	13872	134
56.527	87.37	29.148	67.839	93.005	43.546	2
10966	13854	10931	13871	10932	13871	134
56.527	87.37	29.148	67.839	53.317	97.243	0
10966	13854	10931	13871	10932	13871	133
56.527	87.37	29.148	67.839	16.937	84.014	9
10966	13854	10931	13871	10931	13871	134
56.527	87.37	29.148	67.839	80.557	80.707	5
10966	13854	10931	13871	10931	13871	126
56.527	87.37	29.148	67.839	29.148	67.839	7

Nota. Fuente: Elaboración propia

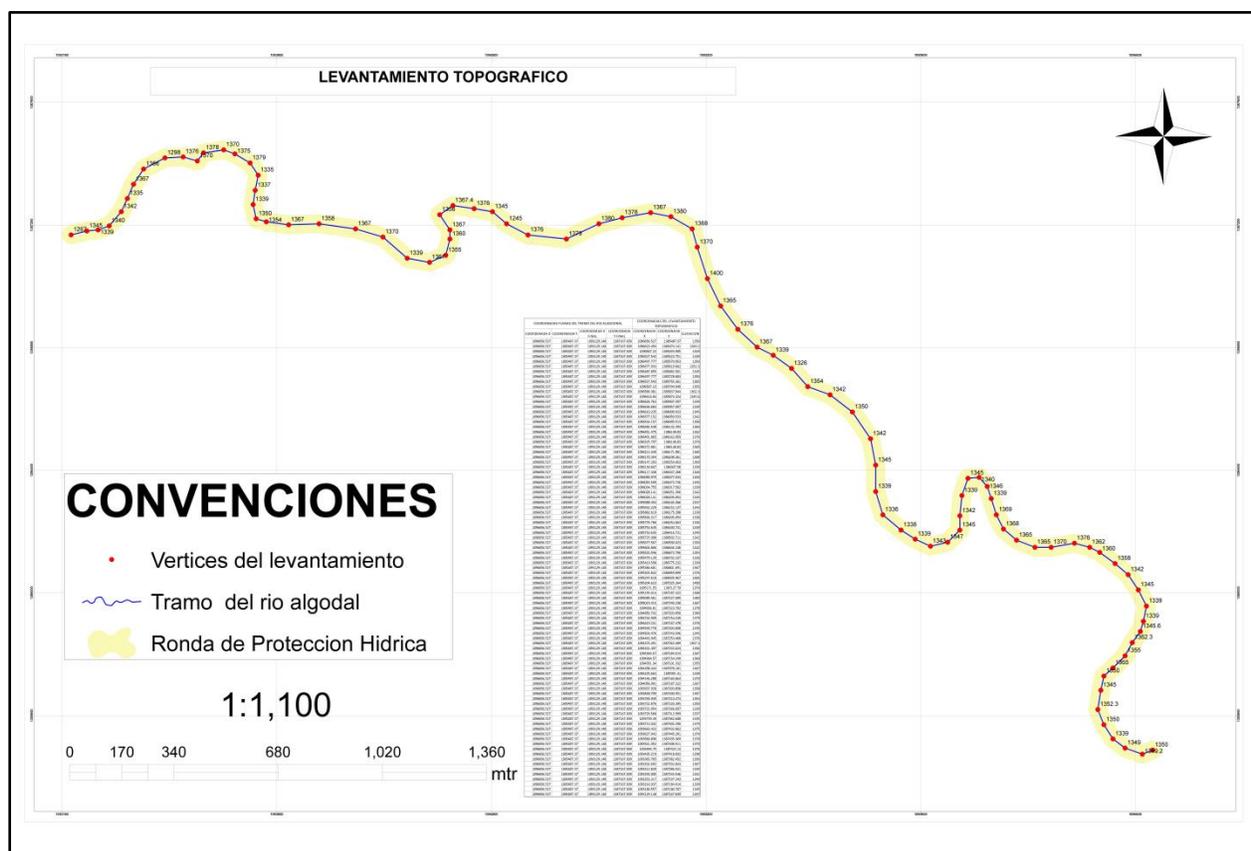


Figura 23. Plano del levantamiento topográfico del tramo del rio algodonal en el municipio de Abrego zona urbana. Fuente: Elaboración propia.

5.2.5. Procesamiento Geodésico

Por norma técnica en Colombia todo levantamiento Geodésico, topográfico y/o Batimétrico debe ser enlazado a la Red Geodésica Nacional, cuya precisión debe ser igual o mayor al orden B, de acuerdo a los parámetros de precisión para Geodesia Satelital utilizados por el IGAC, ente rector de la cartografía nacional.

En el posicionamiento de las estaciones se emplea el método estático, utilizando como referencia un GPS fijo en el punto base, con un total de 120 épocas por estación la cual equivale a 10 minutos.

5.2.6. Modelo digital de terreno

Los modelos digitales de terreno son una herramienta tecnológica para la representación estadística de una superficie del terreno mediante un conjunto de puntos cuyos valores en X, Y y Z son conocidos y están definidos en un sistema de coordenadas definido. La superficie de la tierra es continua y por esto se pueden utilizar diferentes métodos de interpolación que nos permiten obtener estimaciones de “Z” para aquellos sitios en los cuales no se posee información. La interpolación permite estimar, a partir de una muestra de puntos con coordenadas X, Y y Z, los valores de Z para un punto o un conjunto de puntos con coordenadas (X, Y).

Una de las fuentes de datos para elaborar modelos digitales de elevación son puntos de coordenadas (X, Y) con sus respectivos valores de elevación. A partir de estos valores medidos la interpolación crea una superficie en la cual cada punto tiene un valor estimado.

Independientemente del método de interpolación y el software utilizado la calidad del MDE dependerá del número de datos de la muestra y de la distribución espacial que tengan estos

puntos en el área de muestreo. Cuanto mayor sea el número de puntos y mejor distribuidos se encuentren, mejores serán los resultados.

Los insumos para elaborar un MDE pueden obtenerse a través de levantamientos de campo, métodos fotogramétricos y captura de información con sensores remotos como en la tecnología GPS y LIDAR para el caso de este estudio se usó el método de Puntos aleatorios con alturas conocidas y curvas de nivel.

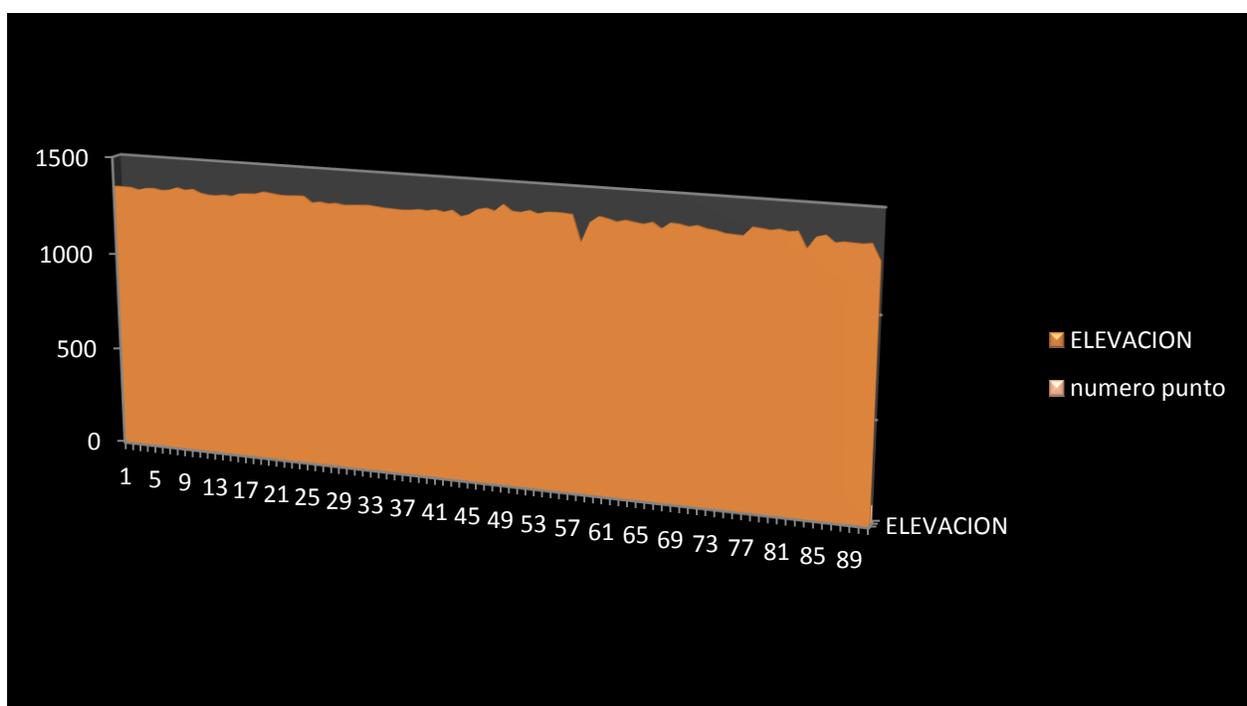


Figura 24. Perfil de elevación del tramo del río. Fuente: Elaboración propia.

Después de realizado el procedimiento anteriormente descrito se pudo delimitar mediante el uso del software ARCGIS10.3 y el modelo digital de elevación a partir de la información topográfica levantada en campo la denominada planicie de inundación.

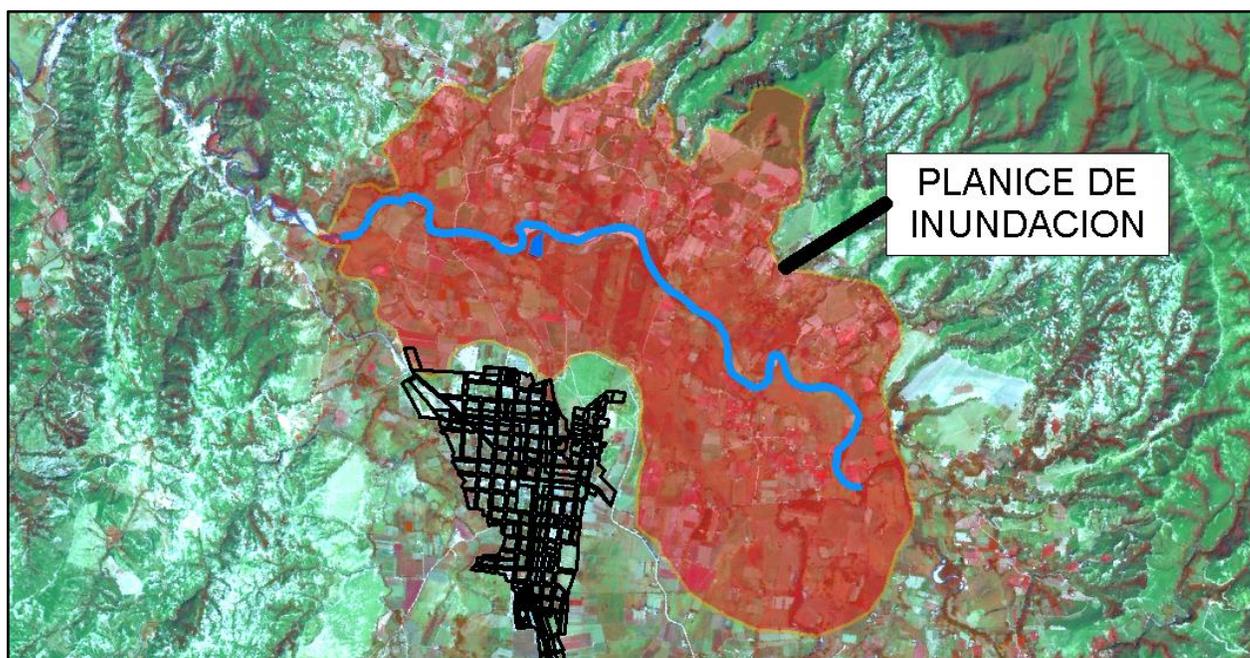
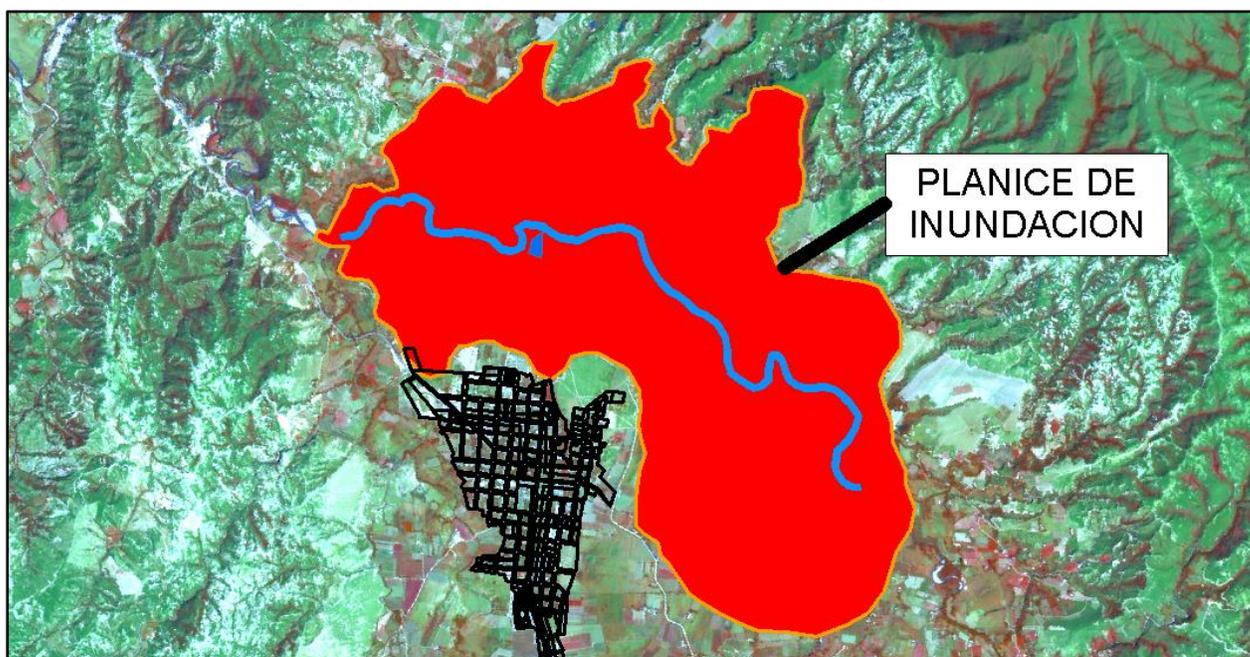


Figura 25. Planicie de inundación definida a partir de la información topográfica y el MDT del valle de Abrego. Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 1. Visita ocular para el levantamiento topográfico del tramo del río algodonal objeto de estudio.

Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 2. Medición de la anchura del cauce en distintos puntos del río algodonal. Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 3. Medición de la anchura del cauce en distintos puntos del río algodonal. Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 4. Geolocalización de los puntos de sedimentación en el tramo del río Algodonal. Fuente: Elaboración propia.

5.2.7. Modelación Hidrológica Y Cálculo De Caudales Máximos

Para la evaluación hidrológica y cálculo de caudales máximos, el sector de la cuenca alta del Río Algodonal la cual presenta su influencia en la zona urbana del municipio de Abrego se dividió en microcuencas las cuales sirven como unidades de análisis para calcular los caudales para diferentes periodos de retorno; entonces, se optó por evaluar precipitaciones máximas en 24 horas y se consideran periodos de retorno de 25 y 50 años; estos periodos son considerados para la mayoría de los proyectos orientados al desarrollo de ciudades, zonas industriales, evaluación de infraestructura, etcétera. Se estima el escurrimiento superficial máximo en cada microcuenca aplicando la metodología de Ven Te Chow (Chow et al., 1994).

Este modelo nos permitió la estimación del caudal aplicando un modelo SIG, (sistemas de información geográfica) ya que éste determina con mayor precisión las características físicas de la cuenca, los cauces y las condiciones geométricas (como área y pendiente) de la unidad hidrológica. Las principales variables o factores físicos y geográficos que influyen en el escurrimiento y caudal estimado del modelo Ven Te Chow incluyen la precipitación, el uso de suelo, tipo de suelo, tiempo de retraso, pendiente y longitud del cauce. De esta manera, el modelo permite una aproximación para la estimación de la magnitud y distribución del escurrimiento y gastos de caudal en las unidades hidrológicas dentro de la cuenca.

Entonces la propuesta de Chow se orienta a que el gasto “pico” del escurrimiento directo de una cuenca, por efecto de una lluvia, puede calcularse como el producto de lluvia en exceso por el gasto “pico” de un hidrograma unitario. La expresión que resume lo anterior es la siguiente

$$Q_P = (q_P) (P_e)$$

Dónde:

Q_p es el gasto “pico” del escurrimiento directo; Q_p es el gasto “pico” de un hidrograma unitario; y P_e es la precipitación en exceso o lámina de escurrimiento. En este último parámetro de precipitación en exceso, es donde puede observarse la diferencia en los resultados obtenidos y la utilidad, empleando un sig. La expresión para calcular la P_e es la siguiente:

$$P_e = \frac{10 \left(\frac{x_a}{10} - \frac{508}{N} + 5.08 \right)^2}{\frac{x_a}{10} + \frac{2032}{N} - 20.32}$$

Como puede observarse, el modelo involucra la precipitación en la cuenca X_a la cual resulta de un análisis que considera la distribución de la lluvia en el tiempo basado en un modelo que asigna un valor cercano a las curvas de máxima intensidad. El modelo considera valores que dependen del tamaño de la cuenca y del tiempo de concentración que, de acuerdo a Chow et al. (1994), puede ser estimado para cuencas pequeñas, con la siguiente expresión:

$$T_c = 0.00505 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.64}$$

El tiempo de concentración T_c se considera igual al tiempo de retraso para cuencas pequeñas, que nuevamente involucra parámetros que son estimados con mayor precisión por un SIG; en este caso, longitud y pendiente. También, involucra un parámetro conocido como número de escurrimiento, denotado por la letra N . El valor que se le asigna, depende del uso del suelo, la condición de la cobertura vegetal y tipo de suelo, básicamente. Con el uso del SIG la superficie que delimita estas tres condiciones, se obtiene mayor precisión, representación

cartográfica, y con mayor rapidez. La determinación de estas superficies permitió asignar valores a N, con ponderaciones basadas en datos actuales de las condiciones de la cuenca.

Para el caso de la presente evaluación, lo descrito con anterioridad fue parte del proceso de análisis, para lo cual se empleó la P_e determinada por el IDEAM, para el caso de N es el número de escurrimiento la cual está en función del tipo y uso de suelo, así como de la cobertura vegetal la cual se determinó por medio de la metodología explicada en la resolución 865 del 2005.

En la determinación del valor N, y para los fines de este trabajo, se separaron de la siguiente manera: tipo “A” (escurrimiento mínimo), incluye gravas y arenas de tamaño medio, limpias y mezcla de ambas; tipo “B”, incluye arenas finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena y limo; tipo “C”, comprende arenas muy finas, arcillas de baja plasticidad, mezclas de arena, limo y arcilla; tipo “D” (escurrimiento máximo), incluye, principalmente, arcillas de alta plasticidad, suelos poco profundos con sub-horizontes casi impermeables cerca de la superficie. Para los suelos estos se clasificaron empleando la cartografía del estudio de suelos de Norte de Santander elaborados por el IGAC en el año 2010

Para finalizar, se llevó a cabo la unión de los layers o capas temáticas de suelo y cobertura vegetal ya previamente reclasificadas con ArcMap 10.3. Para, finalmente, tener el valor del factor N, que es el valor de escurrimiento de cada área dentro de cada subcuenca; es importante mencionar que debido a que dentro de cada subcuenca se presentaron distintos valores de N, se procedió a ponderar, de acuerdo al porcentaje en que se presentaba cada valor, obteniendo un valor de N que diera el peso correspondiente al valor porcentual de cada tipo de valor N presente en la subcuenca.

El valor de N es uno de los factores más importantes en el modelo Ven Te Chow, pues al final determinan el valor del gasto de ese río tributario, el cual se verá reflejado en el gasto final del río algodonal y en la digitalización de las zonas inundables en la zona urbana de Abrego Norte de Santander

El siguiente paso fue calcular el tiempo de retraso (t_r). Este factor se consideró igual al tiempo de concentración (t_c) debido a que la cuenca del río algodonal parte alta se dividió en microcuencas, considerándolas a éstas como pequeñas cuencas. Para el cálculo de este tiempo de concentración se utilizó la fórmula de Chow descrita; para ello fue necesario generar el valor de la pendiente del cauce principal.

De forma posterior, se calculó el tiempo “pico” (t_p) y el tiempo de duración (d_e) con las siguientes fórmulas:

$$t_p = t_c^{1/2} + 0.6t_c \text{ y } d_e = 2(t_c)^{1/2}$$

Con lo anterior, se calculó la relación d_e/t_r , y el valor obtenido indica cómo es la duración con respecto al tiempo de retraso y que, evidentemente, describe parte del comportamiento del hidrograma unitario en cuanto al máximo valor que alcance, El siguiente paso fue obtener el factor Z (o factor de reducción del “pico”), que relaciona al tiempo que transcurre desde el centro de masa de precipitación al “pico” del hidrograma (t_r), y a la duración efectiva o en exceso; esta función está expresada a través de una curva, la cual se obtuvo del análisis de los hidrogramas en las cuencas pequeñas resultantes de la delimitación automática de un DEM a 12mtrs de resolución Finalmente, se calculó el gasto con la siguiente fórmula

$$Q_p = \frac{2.78 A Z P_e}{d_e}$$

Dónde:

Q_p = gasto “pico” del hidrograma unitario; A = área de la microcuenca; P_e = Precipitación en exceso; y d_e = tiempo de duración. Todos los pasos anteriores se llevaron a cabo de la misma forma para cada uno de los distintos periodos de retorno: 25 y 50 años.

5.2.8. Características Geomórficas Del Área Natural De Drenaje (Microcuenca)

Las características geomórficas de la cuenca o del área natural influyen en su comportamiento hidrológico. Para estudiar esta influencia se debe caracterizar la geomorfía de la cuenca por medio de parámetros, que pueden ser subdivididos en dos grupos: parámetros que expresen características planimétricas y parámetros que expresen características orográficas.

Las características planimétricas de la cuenca son las que expresan las dimensiones geométricas horizontales de la cuenca (ej. Perímetro y Área), la forma, la organización del retículo fluvial. Las características orográficas son las que expresan el releve (ej. Altura media) y las pendientes.

En la siguiente figura se presenta la delimitación completa de la cuenca del río algodonal temática que fue construida a partir de la información geográfica del POMCRA con una escala gráfica de 1:100.000.

Como se puede observar en esta temática la zona urbana o cabecera municipal del municipio de Abrego, se encuentra en la zona de influencia directa de la cuenca hidrográfica del

rio Algodonal parte alta pero a su vez esta cuenca se encuentra dividida en varias microcuencas, las cuales drenan o tributan sus aguas a la cuenca del rio Algodonal parte baja.

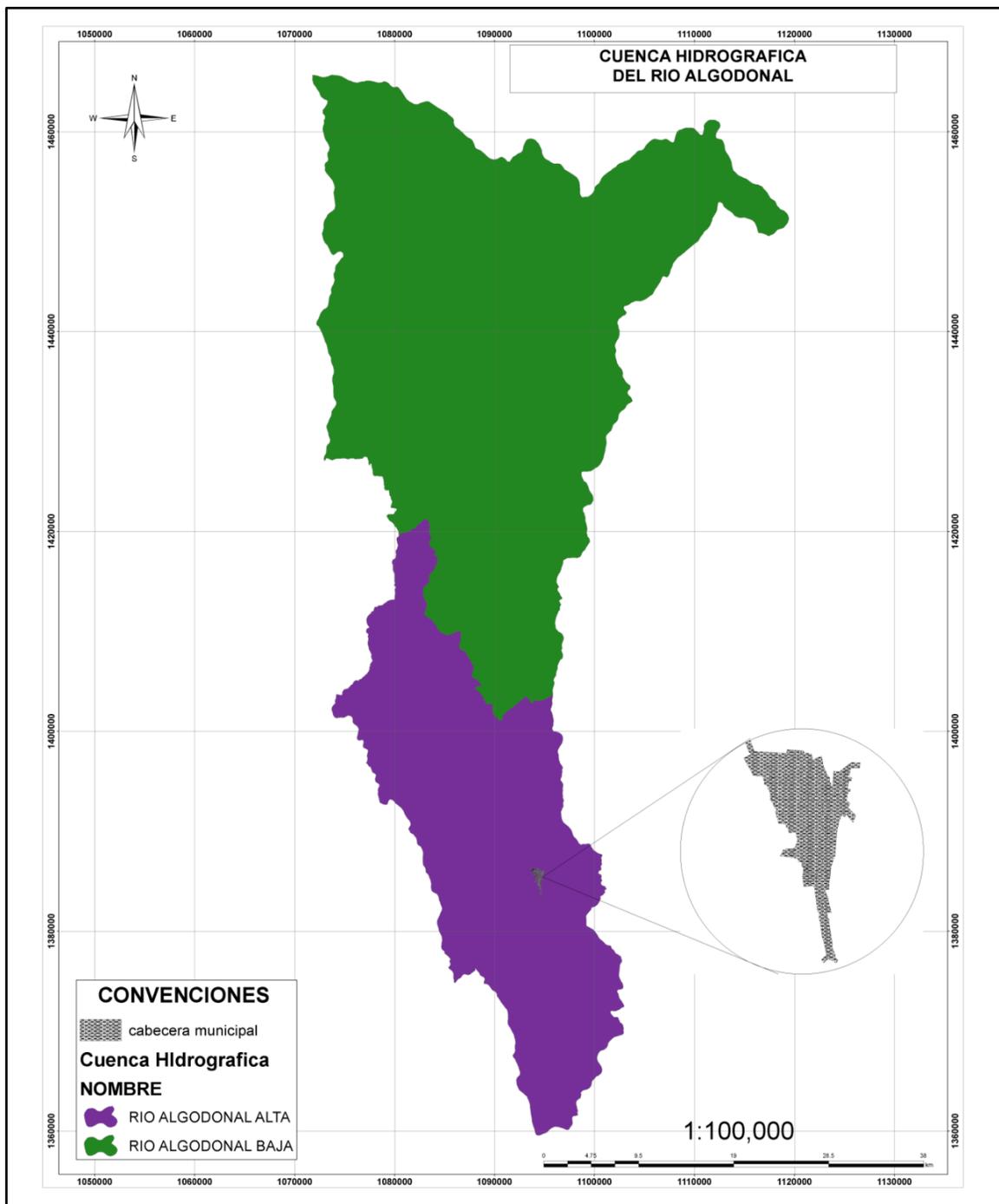


Figura 26. Mapa del límite de la cuenca del rio Algodonal. Fuente: Elaboración propia.

5.2.9. Proceso De La Delimitación De Las Áreas De Drenaje En La Zona Directa De Estudio

A partir de un modelo digital de elevación (DEM), se generó un raster de dirección de flujo y de forma posterior un modelo de acumulación de flujo como parte inicial del proceso de delimitación. Paso seguido se creó un punto de control o también denominado desfogue para determinar el punto geográfico a partir del cual se delimitaran las unidades hidrográficas para el presente estudio; este proceso se sigue de la generación de un archivo raster de watershed para su posterior transformación en archivo vectorial de geometría de polígono; como se muestra en la siguiente figura.

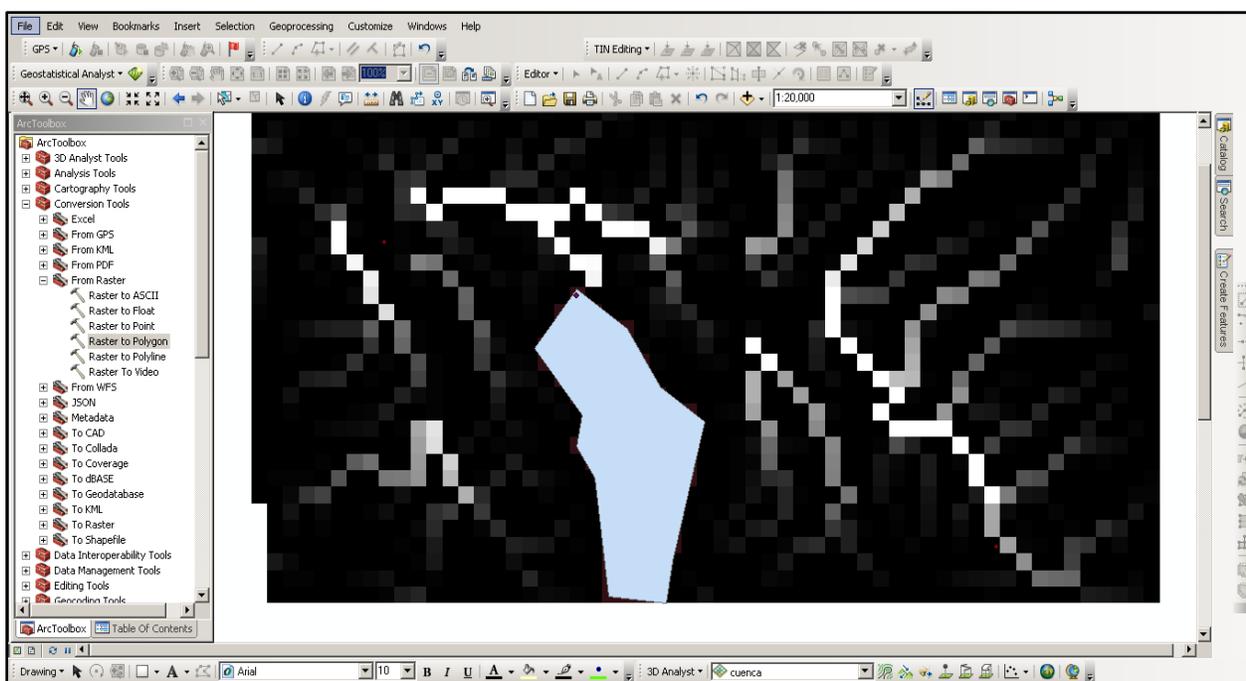


Figura 27. Proceso de transformación del archivo raster a partir de la herramienta watershed de Arctoolbox.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de realizado este proceso se recurrió al uso de la herramienta de calculadora Raster para recalculer el valor de los pixeles del raster de acumulación el procedimiento técnicamente, se conoce con el nombre de algebra de mapas, de esta manera:

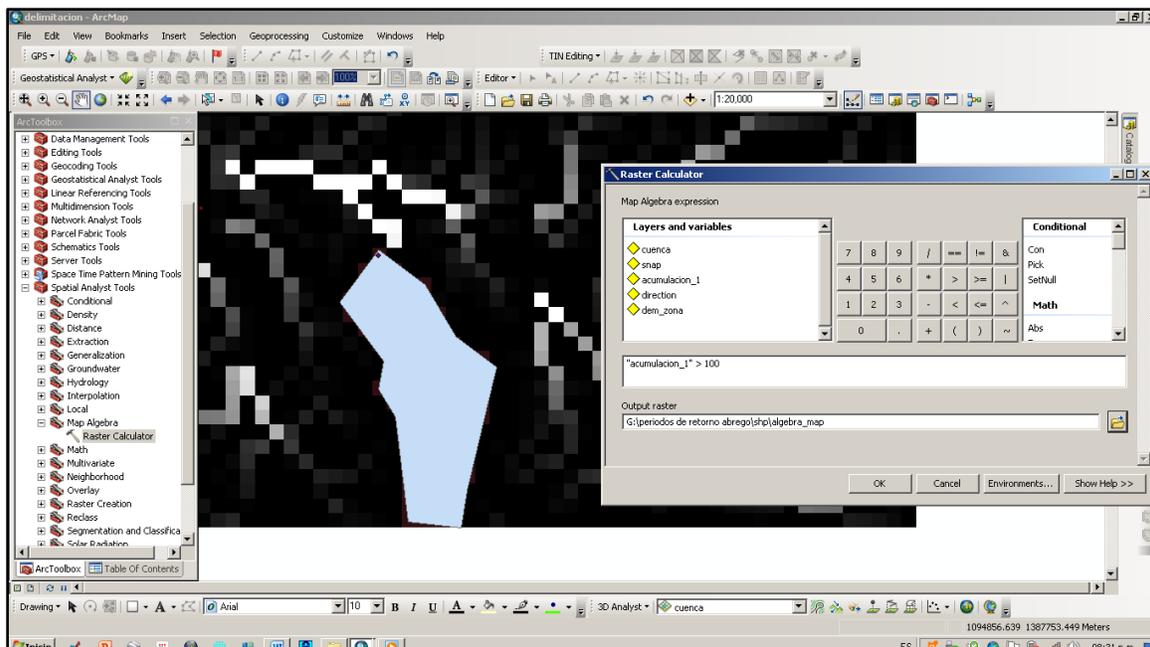


Figura 28. Aplicación del método de algebra de mapas sobre un raster de acumulación. Fuente: Elaboración propia.

Después de recalculer los valores de los pixeles del raster de acumulación dejándolos a >100 mtrs se obtienen archivos vectoriales de líneas, los cuales representan las corrientes principales en la zona de estudio y por medio de Arctoolbox se genera puntos de control o desfogue en la intersección de cada una de las corrientes superficiales de la zona de estudio, obteniendo como resultado el siguiente archivo vectorial de punto y líneas.

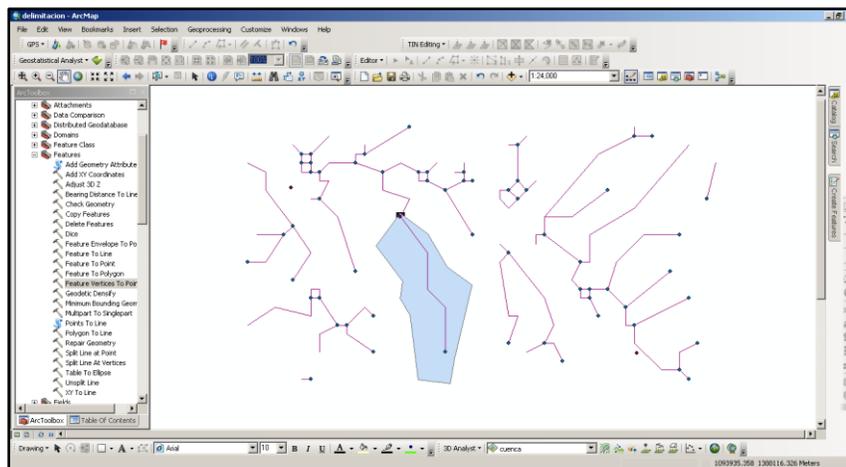


Figura 29. Resultado del proceso de asignación de puntos de control a la red hídrica de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Después de obtener el polígono en representación del área superficial de drenaje que para efectos de la presente investigación se denominara como microcuenca hidrográfica, se calculó el área superficial de esta como uno de los parámetros morfométricos de mayor importancia en el estudio hidrológico y que también se pueden entender como Parámetros que expresan las dimensiones geométricas horizontales.

Área en km² = 114.104731

Perímetro Km = 55.835662

Longitud del Cauce principal= 41.57Km

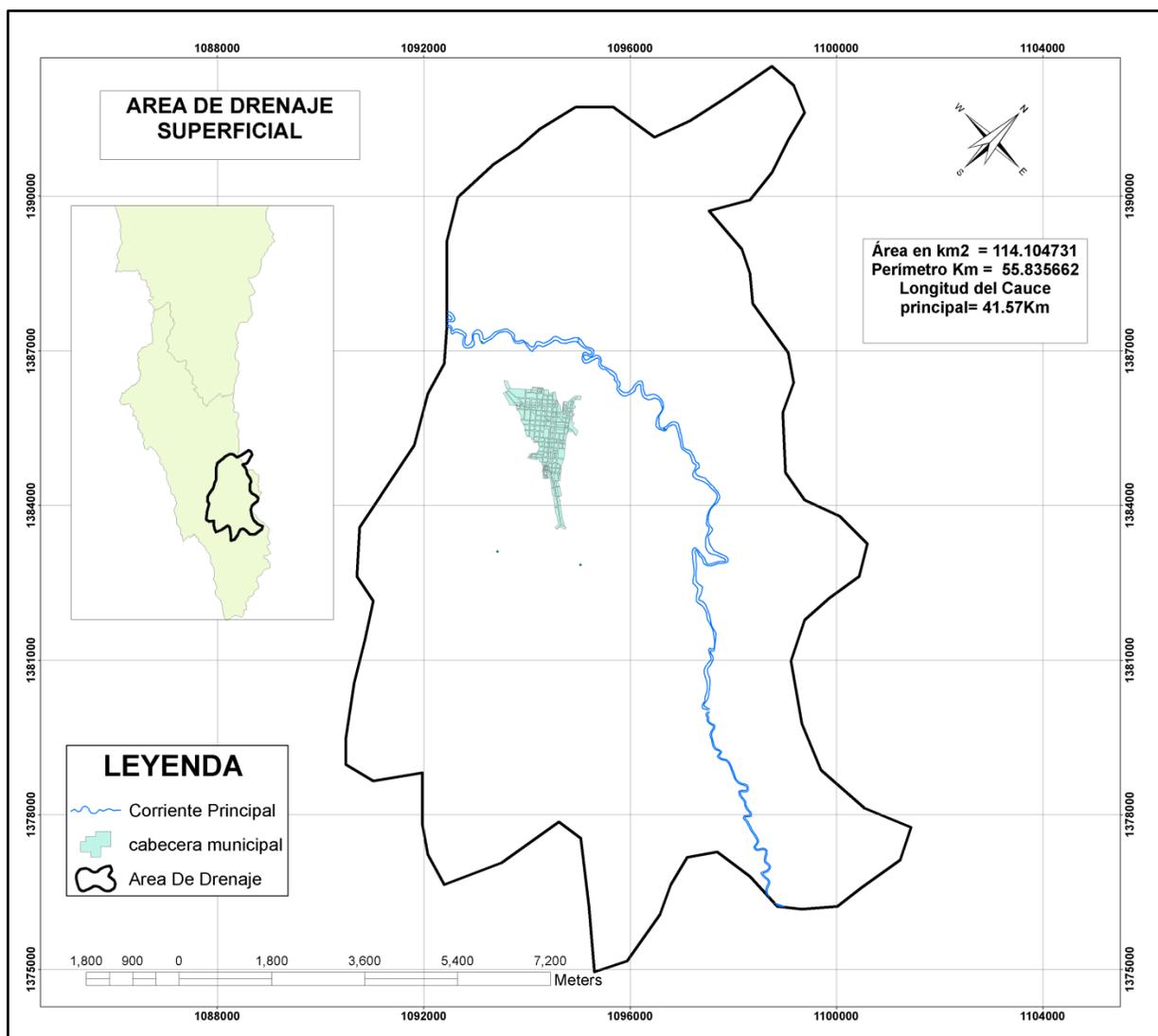


Figura 30. Delimitación del área superficial del drenaje. Fuente: Elaboración propia.

5.2.10. Parámetros que expresan las forma

La forma de la cuenca es la configuración geométrica de la cuenca tal como está proyectada sobre el plano horizontal. La forma incide en el tiempo de respuesta de la cuenca, es decir, el tiempo de recorrido de las aguas a través de la red de drenaje y, por consiguiente, a la forma del hidrograma resultante de una lluvia dada.

Para caracterizar la forma de la cuenca se ha procedido al cálculo de los siguientes parámetros:

Coefficiente de compacidad o índice de Gravelius. Es la relación (R_u) existente entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo que tenga la misma superficie que dicha cuenca (Senciales, 1999).

$$R_u = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot S}} = 1.782$$

Donde, P es el perímetro de la cuenca (km), S es el área de la cuenca (km²).

La siguiente tabla muestra los diferentes tipos de cuenca según su índice de compacidad.

Tabla 7.

Caracterización de la Cuenca según el índice de compacidad

Índice R_u	Descripción
1-1.25	Redonda-ovalo redonda
1.25-1.5	Ovalo redonda-ovalo oblonga
1.5-1.75	Ovalo oblonga-rectangular oblonga
>1.75	Rectangular – Muy lobuladas

En el caso específico del área de drenaje en estudio según el índice de compacidad es una cuenca de tipo rectangular muy lobulada.

Rectángulo equivalente. Es un rectángulo que tiene la misma superficie, perímetro y curva hipsométrica que la cuenca. Si S y P son el área y el perímetro de la cuenca respectivamente, R_u es el índice de Gravelius, y L y l son los lados del rectángulo equivalente, se tiene que

$$Lr = \frac{R_u \sqrt{S}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - (1.12/R_u)^2} \right) = 94.51 \text{ km}$$

$$Lr = \frac{R_u \sqrt{S}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - (1.12/R_u)^2} \right) = 9.31 \text{ km}$$

Factor de forma de la cuenca. Es la relación entre el ancho promedio (A_p) de la cuenca y la longitud del curso principal del río (L). Ancho promedio: relación entre el área de la cuenca S y la longitud mayor del río (L).

$$F = \frac{S}{L^2} = 0.09$$

Una cuenca o área de drenaje con un factor de forma bajo está menos sujeta a crecidas que una de la misma área y mayor factor de forma.

Parámetros que expresan el relieve. El relieve es un factor importante en el comportamiento de la cuenca o área de drenaje natural, ya que cuantos mayores son los desniveles en la cuenca, mayor es la velocidad de circulación y menor el tiempo de concentración, lo que implica un aumento del caudal de punta.

Histograma de frecuencias altimétricas. Es el histograma que indica el porcentaje de área comprendida entre dos alturas determinadas. En la siguiente figura se muestra el histograma de la frecuencia altimétrica del área natural de drenaje, objeto del presente estudio.

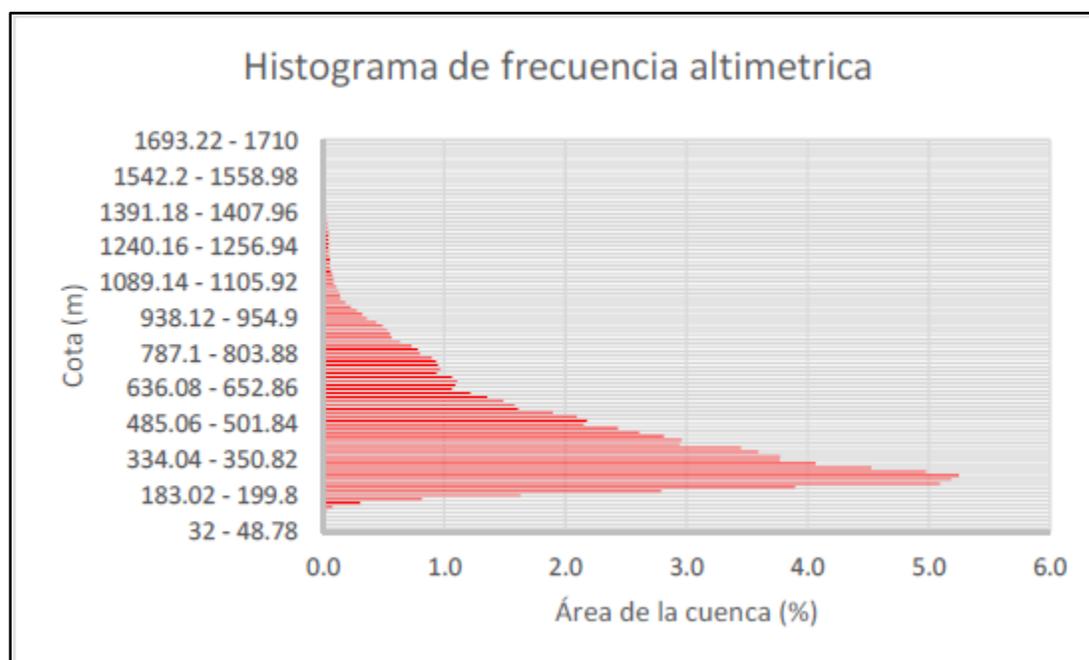


Figura 31. Histograma de frecuencia. Fuente: Elaboración propia.

Curva Hipsométrica. Se define como curva hipsométrica la representación gráfica del relieve medio de la cuenca, construida llevando en el eje de las abscisas longitudes proporcionales a las superficies proyectadas en la cuenca, en km² o en porcentaje, comprendidas entre las curvas de nivel consecutivas hasta alcanzar la superficie total, llevando al eje de las ordenadas la cota de las curvas de nivel consideradas.

Para obtener las curvas de nivel del área superficial, se realizó la extracción de los contornos de un modelo digital de elevación a 12mtrs de resolución, estas curvas de nivel se generaron 10mtrs de equidistancias con los valores de cota en cada curva.

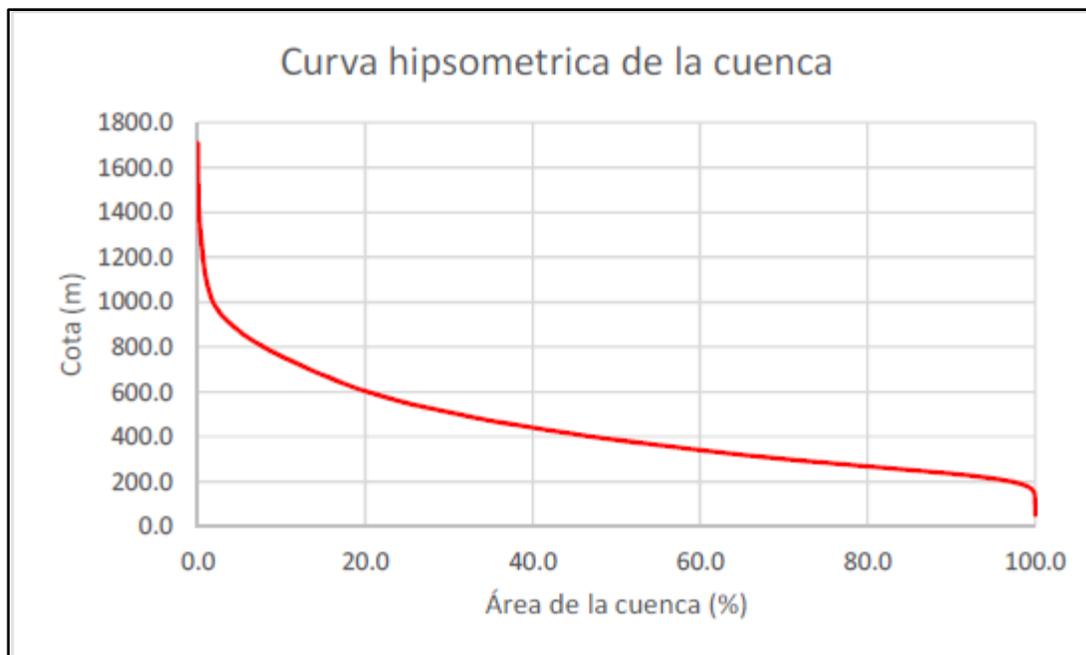


Figura 32. Curva hipsométrica de la cuenca del área natural de drenaje. Fuente: Elaboración propia.

5.2.11. Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión (según Strahler).

Curva A: Juventud-erosión, Curva B: Madurez-equilibrio, Curva C: Vejez-sedimentación

A partir de la curva hipsométrica se han definido la altitud media (H_m), la altitud mediana (H_{50}) y la diferencia de cota máxima (DH_{max}). La altitud media ha sido calculada a través de la relación:

$$H_m = \frac{\sum(c_i s_i)}{S} = 444.8m$$

Dónde, c_i es la cota media de la superficie s_i delimitada por dos curvas de nivel, S es la superficie total de la cuenca.

La altitud media calculada para una altura donde el 50% de la superficie de la cuenca se encuentra por debajo de la misma es $H_{50} = 385.4$ m, mientras que la diferencia de cota máxima es igual a $DH_{max} = 1478$ m.

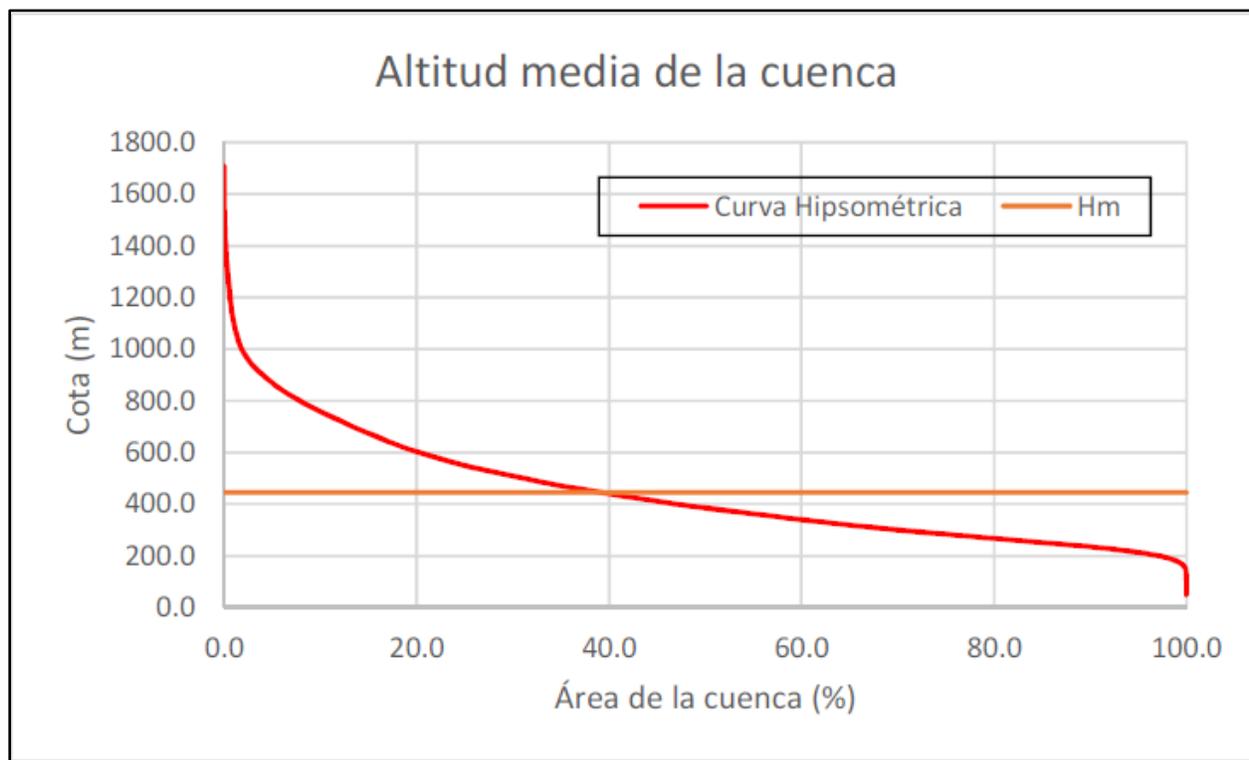


Figura 33. Grafica de la altura media de la cuenca o del área natural de drenaje. Fuente: Elaboración propia.

Pendiente de la cuenca. Tiene una gran importancia para el cálculo del índice de peligro de avenidas súbitas, a través de la velocidad del flujo de agua, influye en el tiempo de respuesta de la cuenca. En el caso del área natural de drenaje, la pendiente media de la cuenca ha sido calculada a través de la formula,

$$P_m = \frac{\sum s_i \cdot P_i}{S} = 13.95\%$$

Dónde, P_i es la pendiente de las superficies s_i y S es la superficie total de la cuenca

Densidad de drenaje. La densidad de drenaje es un indicador de la respuesta de la cuenca ante un aguacero, y por tanto, condiciona la forma del hidrograma resultante en el desagüe de la cuenca. A mayor densidad de drenaje, más dominante es el flujo en el cauce frente al flujo en ladera, lo que se traduce en un menor tiempo de respuesta de la cuenca. En el caso de la cuenca o del área de drenaje natural la densidad de drenaje es:

$$D_d = \frac{\sum l_i}{S} = 0.204 \text{ Km/Km}^2$$

Donde l_i es la longitud total de los cauces (km), S es el área de la cuenca (km²).

La densidad de drenaje varía inversamente con la extensión de la cuenca o área de drenaje. Con el fin de catalogar una cuenca bien o mal drenada, analizando su densidad de drenaje, se puede considerar que valores de D_d próximos a 0.5 km/km² o mayores indican la eficiencia de la red de drenaje.

La red de drenaje toma sus características, influenciada por las lluvias y la topografía. Para un valor alto de D_d corresponden grandes volúmenes de escorrentía, al igual que mayores velocidades de desplazamiento de las aguas, lo que producirá ascensos de las corrientes.

Entre los principales controles que tienen influencia en la textura del drenaje están: clima, litología, permeabilidad del suelo, estructura geológica, topografía y condiciones biológicas. Entre los factores más importantes, debemos destacar la permeabilidad del suelo (Cortez, 2008).

5.2.12. Tiempo de Concentración del área de drenaje.

El Tiempo de Concentración (T_c) es el tiempo transcurrido desde el final de la lluvia neta hasta el momento en que acaba la curva de bajada, es decir, el final de la esorrentía superficial. También se define como el tiempo que tarda la última gota de lluvia en llegar desde la parta más elevada de la cuenca hasta el punto de desguace. Hay diferentes fórmulas para calcular el tiempo de concentración. La mayoría de las fórmulas utilizadas proporcionan valores del tiempo de concentración entre 28 y 33 horas, la fórmula de Kirpich lleva a valores de T_c muchos más altos.

5.3. Objetivo específico 3. Determinar las zonas de riesgo por inundación en la zona urbana de Abrego junto con propuestas de mitigación.

Según (GOMEZ, 2012), Las inundaciones son fenómenos de carácter natural los cuales ocurren cuando las aguas de los Ríos, Quebradas, Riachuelos, salen del lecho del escurrimiento debido a la falta de capacidad de transporte de uno de estos sistemas y pasa a ocupar el espacio que la población utiliza para vivienda, transporte, comercio, industria entre otros.

Topográficamente el área urbana del municipio de Abrego está controlada por la litología y la tectónica, heredando rasgos de valles cuyas pendientes oscilan entre 0% y 12%. La acción de los diferentes agentes erosivos, ha afectado los rasgos Topográficos, poniendo de manifiesto las estructuras íntimamente relacionadas con ellos. A lo largo de la cuenca del algodonal se observa que las características topográficas dependen fundamentalmente, de la estructura y

secundariamente de la dinámica; se presentan terrenos con elevaciones entre los 1.300 y 1.800m.s.n.m.

5.3.1. Modelación hidrológica

El objetivo principal de la integración de SIG en la modelación hidrológica del área superficial de drenaje fue la de derivar el gasto o caudal Q (m³/s) en cada tramo de río de cada unidad hidrológica o subcuenca en el área de drenaje de la cuenca del río algodonal. Este cálculo de gasto es un insumo primordial para determinar las zonas inundadas en el modelo hidráulico Hec-ras para cada periodo de retorno; se relaciona, física y matemáticamente, con: la pendiente y longitud del tramo de río, la cantidad e intensidad de precipitación, y la “rugosidad” del escurrimiento en la subcuenca (de acuerdo a la cobertura de vegetación y usos de suelo y la edafología). En ese sentido, los gastos representan un parámetro o indicador óptimo para corroborar y validar el funcionamiento y acercamiento del modelo hidrológico al mundo real.

5.3.2. Estimación de Áreas Inundables

Para la estimación de las áreas inundables o también denominadas zonas inundables por medio de la aplicación de sistemas de información geográfica (SIG) se usaron los siguientes insumos:

Modelo de Elevación Digital (DEM) de SRTM.

Red de Drenaje en formato Vectorial (ríos sintéticos).

Como se explicó ya de forma previa el modelo digital de elevación (DEM) se descargó del servicio geológico de conservación de suelos de los estados unidos, y el cual se sometió a un proceso de re proyección y Geoproceso.

Mediante la herramienta Aspect bajo Spatial Analyst / Surface se obtuvo la dirección de la pendiente de la zona de estudio.

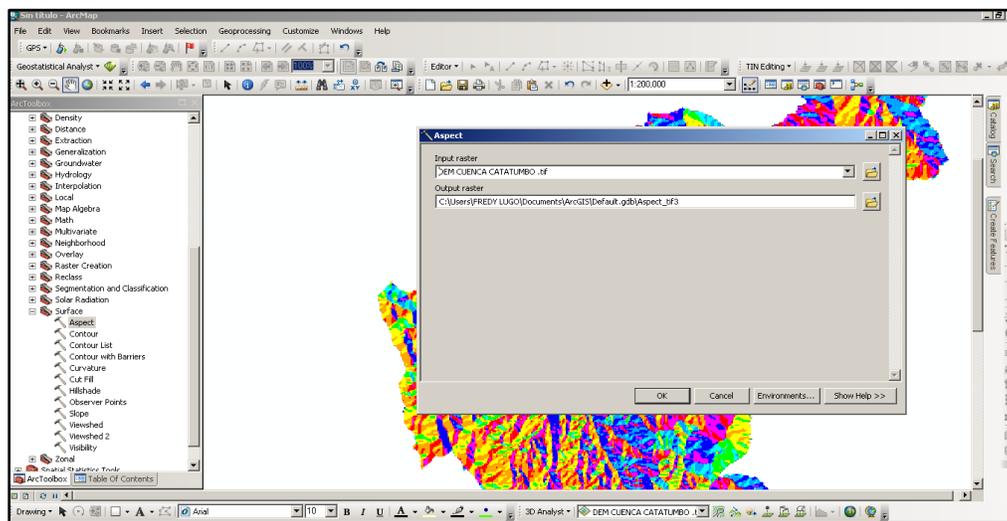


Figura 34. Uso de la herramienta Aspect bajo Spatial Analyst / Surface . Fuente: Elaboración propia.

Se obtienen resultados con valores entre -1 y 360, 0 – 360 siendo representaciones de grados (traducibles a N, S, E, O, NO, NE, SO, SE, y cualquier dirección entre ellos) en la siguiente figura se puede observar el resultado del uso de la herramienta el cual es un raster de aspecto.

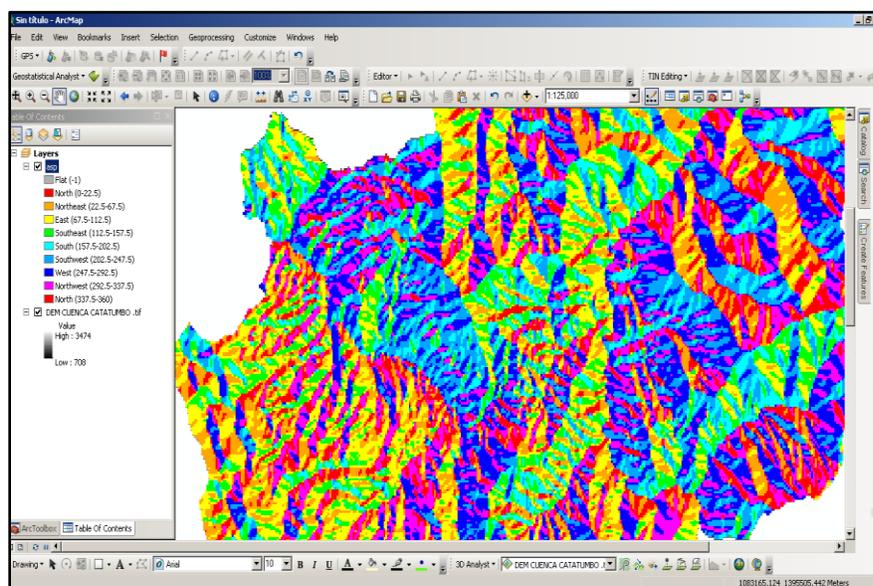


Figura 35. Raster de aspecto. Fuente: Elaboración propia

Luego se procesó el DEM 12 mtrs para extraer las áreas de baja elevación, específicamente las zonas de valle de 2 mtrs o menos este proceso se realizó mediante el uso de la herramienta Extract by Attributes bajo Spatial Analyst / Extraction.

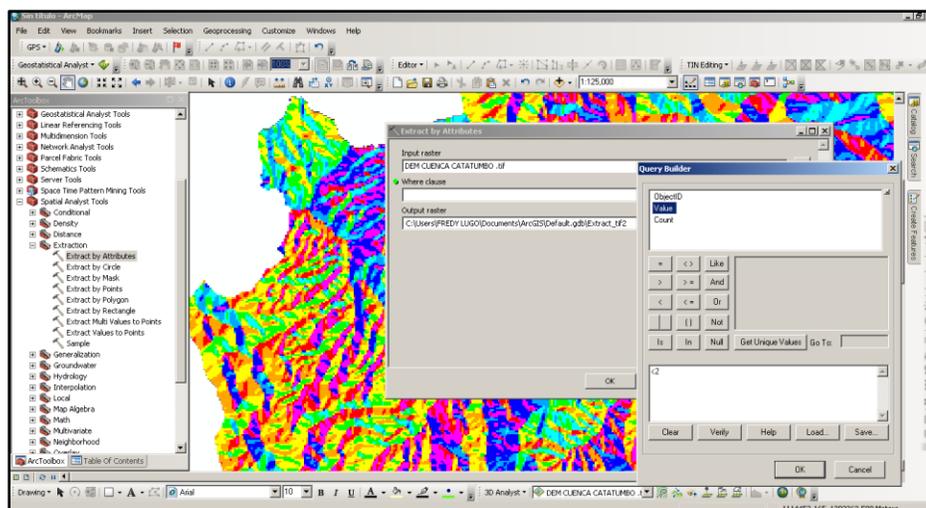


Figura 36. Determinación de zonas de valle <2mtr o menos. Fuente: Elaboración propia

Mediante este proceso se establecieron las siguientes zonas con alto potencial de inundación en la zona denominada valle de Abrego, este proceso se realizó con el apoyo del software libre IBER 2.4 de código libre al cual se importó el a archivo shp. Del tramo de río algodonal delimitado previamente en campo.

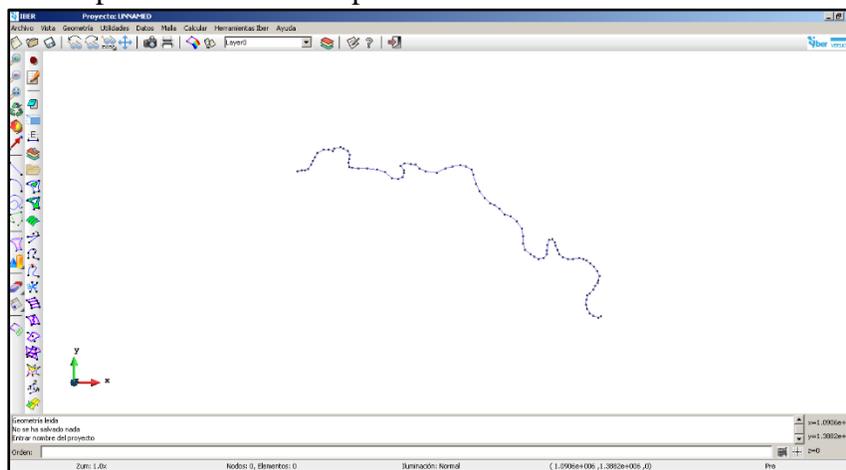


Figura 37. Importación del archivo shp “tramo del Río” el cual se dividió en los segmentos calculados.

Fuente: Elaboración propia.

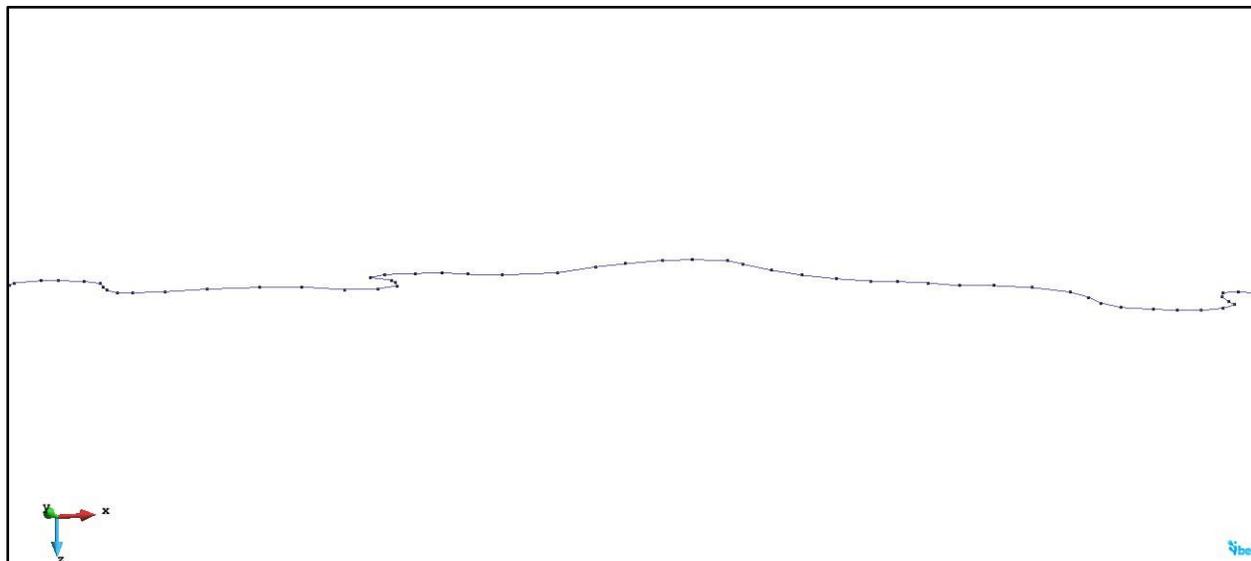


Figura 38. Rotación del tramo del río para proceso de modelación. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se puede observar parte del proceso de modelación del tramo del río para determinar sus posibles zonas críticas de inundación en el tramo del río algodonol seleccionado para el estudio.

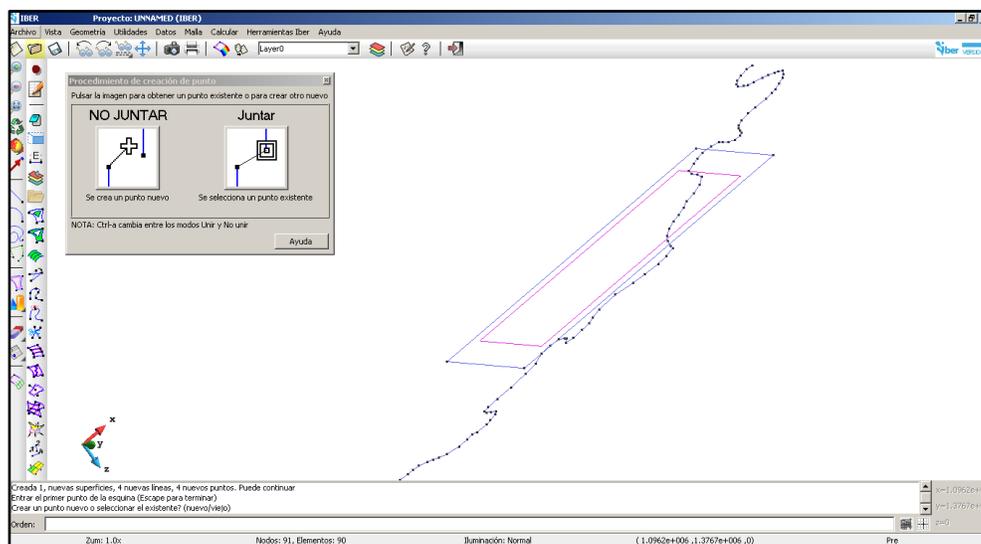


Figura 39. Modelación Hidrológica. Fuente: Elaboración propia.

La modelación hidráulica en el software Iber 2.4 estableció que la zona crítica del río algodonol con alta susceptibilidad a procesos de inundación en las épocas de anomalías

climáticas como fenómenos de la niña se encuentre entre los tramos 28 y 73, sentido sur norte como se puede observar en la figura 39.

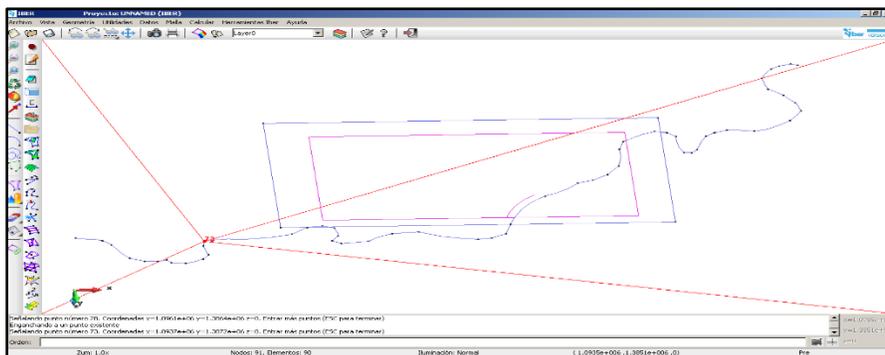


Figura 40. Modelación en IBER, desde otro punto de vista. Fuente: Elaboración propia

Como resultado final del proceso se generó la temática de las zonas de inundación del valle de Abrego en el tramo del río algodonal seleccionado en la investigación realizada, junto con la cartografía se calcularon datos de área superficial y coordenadas del área junto con la profundidad de la inundación.

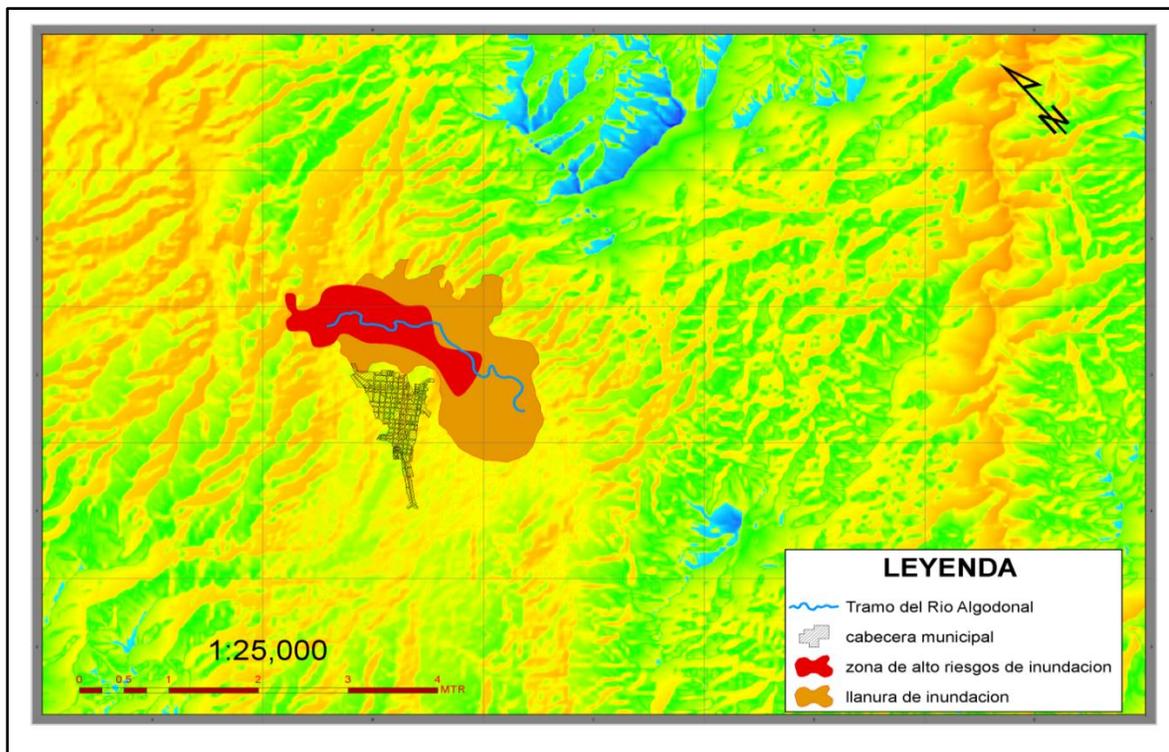


Figura 41. Delimitación de las zonas de inundación. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8

Área de zonas de riesgo y llanura de inundación.

Nombre Asignado a la zona delimitada	Área Ha	X	Y
zona de alto riesgo de inundación	297.203487	1094112.59527	1387110.27082
llanura de inundación	834.482638	1095284.59344	1386591.25037

Nota. El cálculo de las coordenadas planas se realizó a partir del centroide de los polígonos generados. Fuente:

Elaboración propia

La profundidad de la inundación a un periodo de retorno de 25 -50 años es de 2.4 mtrs con periodos de precipitaciones superiores a 120mm de lluvia día, por un periodo de 4 días de precipitaciones torrenciales.

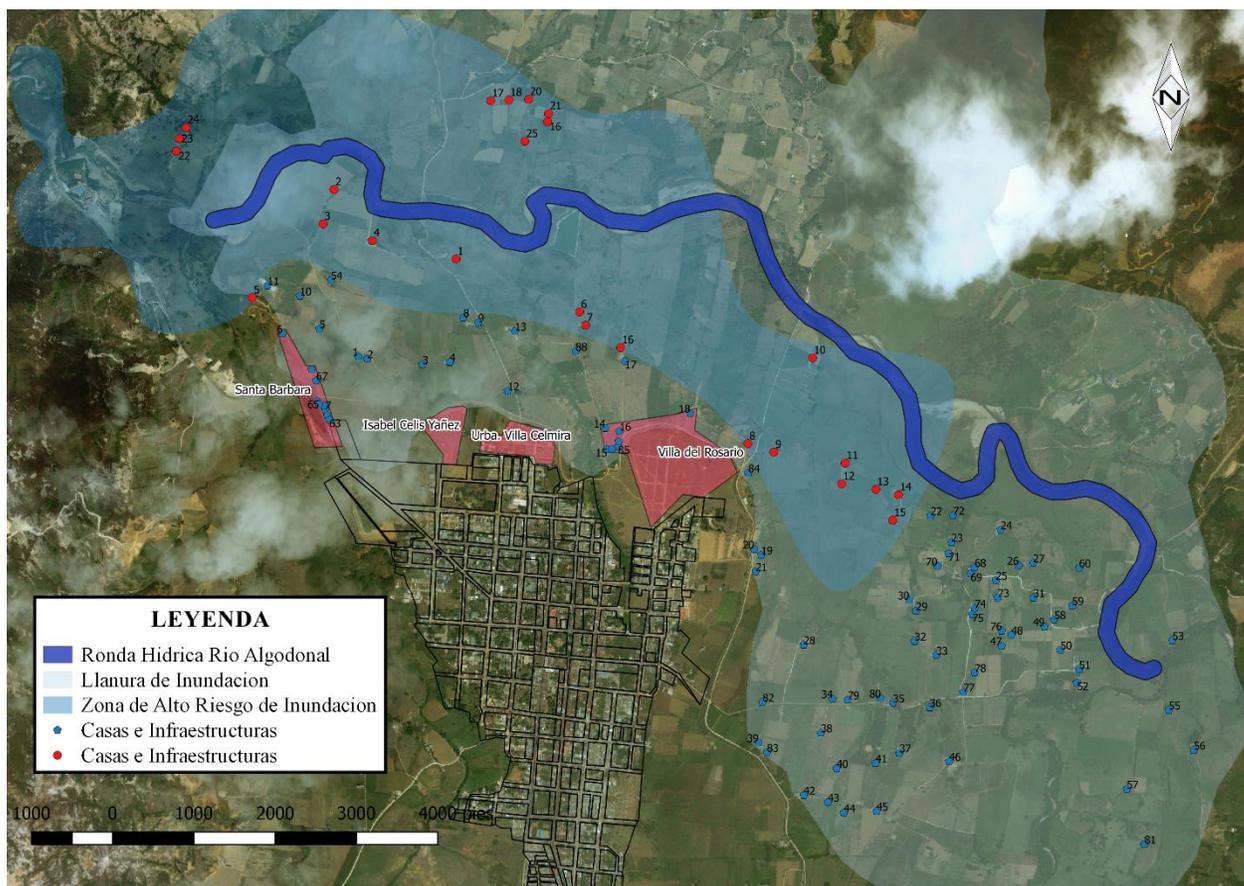


Figura 42. Localización de infraestructura afectada. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9

Ubicación de las casas e infraestructura en la zona de alto riesgo de inundación. Magna sirgas, Bogotá zone.

COORDENADAS PLANAS CASAS E INFRAESTRUCTURA EN LA ZONA DE ALTO RIESGO DE INUNDACION		
PUNTO N°	COORDENADAS EN X	COORDENADAS EN Y
001	1094038,539	1387022,323
002	1093580,91	1387282,663
003	1093539,723	1387153,51
004	1093724,3	1387090,967
005	1093274,298	1386877,407
006	1094501,762	1386823,508
007	1094524,135	1386773,678
008	1095133,29	1386329,523
009	1095230,918	1386297,743
010	1095375,58	1386651,389
011	1095498,123	1386256,811
012	1095485,411	1386179,014
013	1095613,293	1386157,912
014	1095698,208	1386138,081
015	1095676,852	1386042,488
016	1094656,339	1386690,033
017	1094296,591	1387463,681
018	1094168,455	1387615,207
019	1094236,591	1387618,258
020	1094382,016	1387536,902
021	1094310,829	1387621,309
022	1094385,066	1387567,41
023	1092989,805	1387427,071
024	1093000,992	1387473,851
025	1093025,907	1387515,291

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9

Ubicación de las casas e infraestructura en la zona de llanura de inundación. Magna sirgas, Bogotá zone.

COORDENADAS PLANAS CASAS E INFRAESTRUCTURA EN LA ZONA DE LLANURA DE INUNDACION		
PUNTO N°	COORDENADAS EN X	COORDENADAS EN Y
001	1093671,339	1386656,998
002	1093705,916	1386647,846
003	1093912,358	1386626,49
004	1094015,07	1386635,642
005	1093525,915	1386760,727
006	1093387,609	1386742,422
007	1093548,288	1386457,675
008	1094065,918	1386802,423
009	1094121,85	1386784,117
010	1093452,694	1386883,779
011	1093331,677	1386922,423
012	1094232,698	1386526,828
013	1094259,139	1386751,575
014	1094597,785	1386387,505
015	1094604,903	1386309,2
016	1094651,683	1386376,319
017	1094672,022	1386639,71
018	1094916,6	1386443,946
019	1095183,042	1385912,079
020	1095156,601	1385933,435
021	1095162,703	1385850,045
022	1095818,638	1386059,538
023	1095896,943	1385959,876
024	1096081,012	1386006,656
025	1096063,724	1385817,503
026	1096149,148	1385873,435
027	1096203,047	1385882,588
028	1095342,703	1385575,468
029	1095763,722	1385702,587
030	1095738,299	1385743,265
031	1096204,064	1385751,401
032	1095758,638	1385588,688
033	1095839,994	1385535,806

034	1095451,518	1385373,094
035	1095677,281	1385356,822
036	1095815,587	1385340,551
037	1095701,688	1385169,703
038	1095406,772	1385244,957
039	1095172,872	1385208,347
040	1095465,755	1385111,736
041	1095612,196	1385131,059
042	1095342,703	1385011,058
043	1095433,212	1384984,617
044	1095493,213	1384944,956
045	1095616,264	1384951,058
046	1095888,808	1385138,177
047	1096085,08	1385571,4
048	1096121,69	1385612,078
049	1096245,759	1385643,603
050	1096305,759	1385556,145
051	1096375,929	1385482,925
052	1096367,793	1385433,094
053	1096725,761	1385591,739
054	1093569,596	1386943,255
055	1096712,541	1385330,382
056	1096806,1	1385179,872
057	1096554,913	1385034,448
058	1096282,639	1385669,52
059	1096349,758	1385722,401
060	1096376,199	1385863,758
061	1093542,456	1386473,168
062	1093555,677	1386434,524
063	1093563,304	1386419,523
064	1093516,778	1386489,693
065	1093523,897	1386476,981
066	1093496,693	1386607,66
067	1093513,982	1386565,965
068	1095983,655	1385865,284
069	1095968,909	1385841,894
070	1095843,823	1385870,368
071	1095886,027	1385918,165
072	1095902,807	1386060,539
073	1096070,731	1385752,275

074	1095983,527	1385711,596
075	1095974,883	1385689,478
076	1096085,477	1385627,698
077	1095941,07	1385397,866
078	1095983,782	1385470,578
079	1095507,847	1385368,883
080	1095631,407	1385374,985
081	1096621,158	1384827,355
082	1095188,524	1385360,239
083	1095205,303	1385171,848
084	1095135,07	1386219,438
085	1094646,932	1386319,099
086	1094648,457	1386337,404
087	1094623,034	1386309,438
088	1094487,143	1386676,05

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la anterior figura podemos identificar los barrios más cercanos a la zona de inundación son los barrios Santa Barbara, Isabel Celis Yañes, Urbanización Villa Celmira, y Villa del Rosario.

El impacto socio-ambiental de este evento, como lo es la posible inundación del valle de Abrego depende de la exposición de personas o bienes y vulnerabilidad de la población. Al analizar dicho evento conviene considerar los siguientes factores: pérdidas humanas, daños económicos, sector productivo afectado, remoción de sedimentos y posibles zonas a intervenir con el fin de salvaguardar la población y tratar de mitigar las afectaciones.

Población afectada.

Según un estimativo del DANE que establece que las familias que componen la zona urbana está compuesta por 5 integrantes, establecemos lo siguiente:

Para la zona de alto riesgo de inundación estaría en peligro la vida de 125 personas aproximadamente.

Para la zona de llanura de inundación estaría en peligro la vida de 445 personas aproximadamente.

Es de vital importancia que las administraciones municipales establezcan sistemas de alertas tempranas, para que la reacción de los organismos correspondientes sea efectiva con el fin de evitar la pérdida de vidas humanas, afectaciones a la población y establecer albergues temporales en llegado caso que se requiera una eventual evacuación.

Daños económicos

Los daños económicos afectados al momento de presentarse una inundación, comprende daños en vivienda e infraestructura utilizada para labores agropecuarias en la zona de estudio, determinando así un numero de 25 propiedades en mayor vulnerabilidad de perdida ya que están ubicadas en zona de alto riesgo de inundación y un numero de 88 propiedades para la llanura de inundación.

Sector productivo afectado

Este sector del municipio de Abrego a ser afectado se encuentra comprendido por actividades productivas, como: agrícolas, industriales, vivienda y de servicio (Educación y vías de transporte).

Remoción de sedimentos

Los factores que ocasionan más impacto en el entorno son la rapidez con la que se producen las crecidas, la velocidad del agua y la elevada carga de sedimentos (Saurí, 1997). En la zona de estudio identificamos 12 puntos críticos en los cuales es posible su desprendimiento en un periodo de lluvias fuertes.

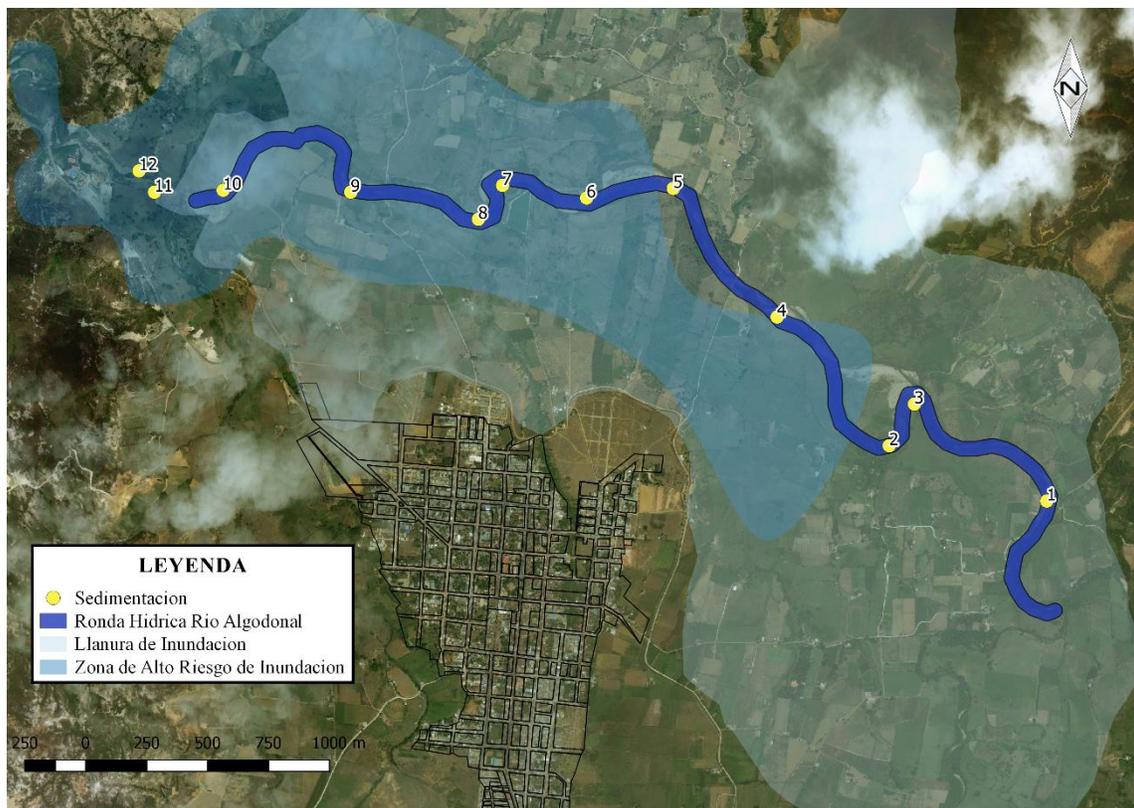


Figura 43. Localización de puntos de sedimentación. Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

Ubicación puntos de sedimentación del tramo del Rio Algodonal dentro de la zona de estudio.

Magna sirgas, Bogotá zone.

COORDENADAS PLANAS DE LOS PUNTOS DE SEDIMENTACION.		
PUNTO N°	COORDENADAS EN X	COORDENADAS EN Y
001	109622.8565083	1385935.73990359

002	1095975.94896448	1386162.75285761
003	1096079.13667086	1386333.40944892
004	1095515.57304373	1386690.5976633
005	1095089.37732776	1387218.01986468
006	1094733.72773004	1387178.75488962
007	1094388.44578948	1387230.3487428
008	1094289.22684104	1387091.44221499
009	1093765.35079329	1387202.56743724
010	1093241.47474554	1387210.50495312
011	1092959.69293197	1387202.56743724
012	1092896.19280497	1387289.88011187

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Zonas a intervenir con el fin de salvaguardar la población y tratar de mitigar las afectaciones

El establecimiento de estas zonas en el lugar de estudio tiene como fin mitigar la fuerza de las corrientes hídricas del río Algodonal y restaurar, rehabilitar algunos puntos del tramo que han sido afectados antrópicamente por disturbios como la deforestación y sistemas de producción no sostenibles (ganadería extensiva e intensiva de agricultura y ganadería).

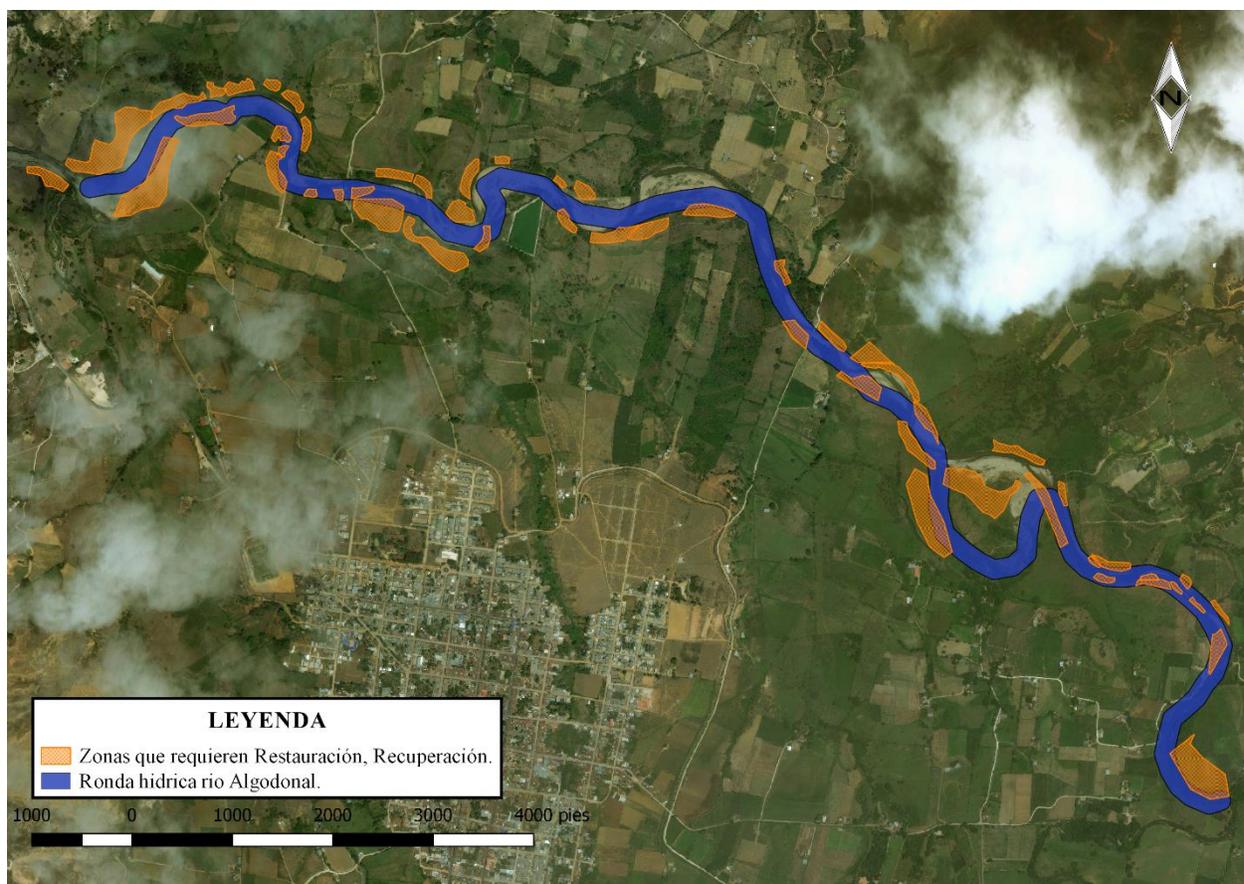


Figura 44. Zonas estratégicas que requieren restauración, recuperación. Fuente: Elaboración propia.

Las zonas estratégicas recomendadas por el equipo de trabajo comprenden una extensión de 22,9 hectáreas, distribuidas en el tramo del rio Algodonal representadas en la figura 44, que requieren actividades de recuperación, restauración y manejo de las áreas afectadas, esto se realizó con el fin de dar una continuidad a los bosques riparios, llevarlos de relictos de bosque a bosque remanente.

Según las guías técnicas para la restauración ecológica de ecosistemas de Colombia, propone lo siguiente para recuperar bosques riparios: a) Investigación del ecosistema de referencia y alcance de la restauración; b) Diseño de procedimientos; c) Análisis de complejidad

estructural del sistema; d) Establecimiento de la vegetación y restablecimiento de la zona riparia amortiguadora; e) Plan de control erosión y sedimentación; f) Estudios de inundación.

Dichos procesos de restauración de áreas con influencia urbana y rural en los bosques riparios deben ser adelantados y promovidos por entidades competentes con ayuda y el compromiso de la comunidad, es válido recomendar algunas técnicas para la recuperación de estas zonas y reducir un poco la erosión presente en el lugar, como la instalación de estacas vivas, fajinas vías, refuerzo de leños, fajo de raíces y cantos rodados, rip –rap, y refuerzo de árboles.

Conclusiones

La caracterización biofísica de la zona de estudio permitió entender la dinámica que se presenta entre los diferentes componentes del factor biótico y abiótico, conociendo las características agrológicas de los suelos, entre las más importantes su pendiente, litología, geología, etc; además, permitió conocer el comportamiento del régimen de lluvia del municipio de Ábrego durante los últimos 20 años y sus anomalías climáticas presentadas durante el mismo periodo de tiempo, lo cual se considera importante para el desarrollo del presente trabajo.

El estudio hidrológico realizado a partir de la metodología establecida en la permitió entender de forma más concreta los conceptos académicos aprendidos durante la formación universitaria se entendieron claramente los conceptos de área natural de drenaje, pendientes complejas, drenaje superficial, capacidad hidrológica de suelos, etc. Las zonas de riesgos a inundación determinadas con el apoyo de herramientas computacionales y archivos digitales procesados en las diferentes herramientas SIG, permitieron establecer que en la zona de estudio previamente delimitada mediante GPS en levantamiento directo existen dos zonas potencialmente inundables la primera de ella denominada llanura de inundación la cual cuenta con un área aproximada de 834.482638Ha está localizada al norte de la cabecera municipal de Abrego y la segunda zona se denomina, zona de alto riesgos de inundación con un área estimada de 297.203487 Ha. Así mismo, se estableció la afectación de posibles eventos de inundaciones en estas zonas, a infraestructura y cultivos principalmente ubicados en las mismas. Además se establecieron que zonas son óptimas para desarrollar procesos de restauración ecológica que permita mejorar la continuidad de los bosques riparios y así mismo reducir el riesgo de inundaciones.

Recomendaciones

Se recomienda desarrollar un trabajo de grado complementario, que permita conocer la ocupación del cauce en el tramo del río algodonal ya delimitado y que fue motivo de este proyecto de investigación. Dicho estudio de ocupación de cauce tendrá como objetivo conocer las cotas de inundación del río y las obras civiles de mitigación del riesgo a las que tiene lugar, a partir del estudio de ocupación de cauce se establecerán también los costos y presupuestos para su construcción.

Adicionalmente, se recomienda desarrollar un proyecto de restauración ecológica a lo largo de las riberas del tramo objeto de estudio, con el fin de aumentar la cobertura vegetal de los bosques riparios y mejorar la continuidad de los mismos, con el fin de que dichos bosques aporten a la conservación del cauce, la reducción de la sedimentación y la mitigación del riesgo de inundación, principalmente para salvaguardar la vida de la posible población afectada y reducir los posibles daños económicos ocasionados por un evento de este tipo.

Se recomienda que se continúe por parte de otros futuros profesionales de ingeniería ambiental el proceso investigativo en esta área del desarrollo profesional, afianzando el uso de diversas herramientas computacionales como complemento al conocimiento académico impartido en nuestra institución

Referencias

- ARNOLD, J; FOHRER, N. 2005. SWAT 2000: capacidades actuales y oportunidades de investigación en modelado de cuencas aplicada. *Procesos hidrológicos* 19 (3): 563-572
- BELMONTE, Carlos. Monitoreo de la calidad del agua del río Caoní en el sector de Puerto Quito - provincia de Pichincha. [Recuperado el día 12 de Febrero de 2016] Disponible en internet: <http://repositorio.uisek.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/363/1/Monitoreo%20de%20la%20calidad%20del%20agua%20del%20río%20Caon%C3%AD%20en%20el%20sector%20de%20Puerto%20Quito%20-%20Provincia%20de%20Pichincha>
- BLANCO, KL; CHAUBEY, I. 2005. Los análisis de sensibilidad, calibración y validaciones de un multisitio y el modelo multivariable SWAT. *JAWRA Diario de los recursos hídricos de América Asociación* 41 (5): 1077-1089
- CONSORCIO OCAÑA 026
- HEUVELMANS, G; García-Quijano, JF; Muys, B; Feyen, J; Coppin, P. 2005. Modelización del agua equilibrar con SWAT como parte de la evaluación de impacto del uso del suelo en un estudio del ciclo de vida escenarios de reducción de emisiones de CO₂. *Procesos hidrológicos* 19 (3): 729-748
- IMESON, Antón. La Erosión del Suelo. [Recuperado el día 12 de Febrero de 2016] Disponible en internet: http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/booklets/B1_Booklet_Final_ES.pdf
- Ley 1523/2012. [En línea]. 2012. [Recuperado el día 8 de Febrero de 2016] Disponible en internet: <http://www.ifrc.org/docs/idrl/1057ES.pdf>
- MILLER, SN; Semmens, DJ; Goodrich, DC; Hernández, M; Miller, RC; Kepner, WG; Guertin, DPM. 2007. La herramienta de evaluación de cuencas geoespacial automatizado. *Ambiental Modelización y software* 22 (3): 365-377

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Anexo Gestión del Riesgo

Guía técnica para la formulación de POMCAS. [Recuperado el día 8 de Febrero de 2016]

Disponible en internet:

<https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/cuencas-hidrograficas/Anexo-Gestion-del%20Riesgo-Guia-tecnica-para-la-formulacion-de-POMCAS.pdf>

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES DEL PERU. Manual de hidrología,

hidráulica y drenaje. [Recuperado el día 12 de Febrero de 2016] Disponible en internet:

http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf

OFICINA DE LAS NACIONES UNIDAS. Conocimiento y evaluación del riesgo. [Recuperado el

día 8 de Febrero de 2016] Disponible en internet: <http://www.eird.org/vivir-con-el-riesgo/capitulos/ch2-section3.pdf>

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE HONDURAS. Conozcamos sobre

inundaciones. [Recuperado el día 8 de Febrero de 2016] Disponible en internet:

<http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Febrero2006/CD-2/pdf/spa/doc14901/doc14901-b.pdf>

UNIVERSIDAD DE PIURA. Estudio de Suelos. [En línea]. 2013. [Recuperado el día 3 de Febrero

de 2016] Disponible en internet:

http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_19_147_6_72.pdf

Saurí, D. (1997). Les inundacions. Quaderns d'Ecologia Aplicada. En D. d. Barcelona.. Barcelona.

Guías Técnicas Para La Restauración Ecológica De Ecosistemas de Colombia