

Estudio Y Caracterización De Amenaza Por Inundación En El Municipio  
de Sabana de Torres, Santander.

Presentado por:

Juan Pablo Pinzón Jay y Darly Julieth Sevillano Ruiz

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al Título de  
Geólogo.

Director:

Juan Diego Colegial Gutiérrez  
Geólogo PhD.

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Físicoquímicas  
Escuela de Geología  
Bucaramanga

2023

### **Dedicatoria**

Primeramente, agradezco haber tenido la oportunidad de llevar a cabo un estudio profesional y cada uno de los profesores que moldearon ese camino, a través de su experiencia y disposición de compartir conocimiento. Este logro se lo dedico y se consigue principalmente por el apoyo de Diana Patricia Jay y Gil María Pinzón, mis padres y motor de vida, que siempre confiaron en mi y creyeron en mis capacidades de manera incondicional. De igual forma, cada uno de mis familiares han jugado un papel importante, desde mis tíos, hermano, hermanas, sobrinos, padrinos, mi perrito Spyke y mis abuelos, especialmente los maternos a los cuales les debo mi crianza y gran parte de la persona que soy hoy en día. Agradezco a mis primos, especialmente a Daniela y Geison Pinzón por ser mi compañía desde la infancia, las vivencias que pasamos dentro y fuera de la Universidad como el siempre estar para servir de fortaleza hacia el otro. Recalco la importancia de las personas que estuvieron en mi vida durante los últimos 7 años, algunos de manera momentánea y otros que se volvieron mi grupo de confianza, los cuales dejaron experiencias positivas y negativas pero que a la larga hicieron mi estadía más amena y disfrutable en la Universidad, destacando dentro ellos a Daniela Sajonero, Eduardo Cáceres y Karen Castillo, ya que cada uno de ellos fue fundamental para superar determinados momentos de adversidad y demostrando ser siempre leales. Finalmente, un apartado especial para María José Flórez, mi amistad más sincera y añeja, la cual me vio crecer durante mi bachiller y hoy me ve convertido en un profesional, siendo una persona que nunca ha dudado de mi y a cada instante me ha hecho sentir como un ser lleno de virtudes y cualidades.

**Tabla de Contenido**

Introducción .....	14
1. Generalidades.....	15
3.1 Localización .....	15
3.2 Características Generales .....	15
3.3 Análisis Situacional.....	17
2. Marco Teórico.....	18
1.1 Inundaciones.....	18
1.2 Unidades Hidrográficas.....	20
1.3 Técnicas de Evaluación Multicriterio .....	22
3. Marco Geológico y Geomorfológico .....	23
2.1 Unidades Litoestratigráficas.....	24
2.1.1 Formación Umir .....	24
2.1.2 Formación Lisama .....	25
2.1.3 Formación La Paz.....	25
2.1.4 Formación Esmeralda.....	25
2.1.5 Formación Mugrosa.....	25
2.1.6 Formación Colorado.....	26
2.1.7 Grupo Real.....	26
2.1.8 Grupo Mesa .....	26
2.2 Unidades Geomorfológicas.....	27
2.2.1 Ambiente estructural .....	27
2.2.2 Ambiente Fluvial .....	28

4.	Justificación .....	29
5.	Antecedentes .....	29
6.	Objetivos .....	31
6.1	Objetivo General .....	32
6.2	Objetivos Específicos .....	32
7.	Métodos y procedimientos .....	32
7.1	Revisión bibliográfica. ....	33
7.2	Registro histórico y caracterización hidrológica. ....	33
7.3	Adquisición cartográfica y sensores remotos. ....	34
7.4	Insumos preliminares .....	34
7.5	Trabajo de campo. ....	34
7.6	Integración de la información recopilada. ....	35
7.7	Redacción del informe final .....	35
8.	Resultados .....	35
8.1	Registro histórico de eventos .....	35
8.2	Pluviosidad .....	36
8.2.1	Distribución temporal de lluvias .....	37
8.2.2	Precipitación máxima promedio en 24 horas multianual y curvas IDF .....	41
8.2.3	Isoyetas .....	44
8.3	Geomorfología .....	45
8.3.1	Ambiente Denudacional .....	47
8.3.2	Ambiente Fluvial. ....	48
8.4	Unidades Geológicas de Superficie (UGS) .....	51

8.4.1	Unidades de Roca.....	52
8.4.2	Unidades de Suelo.....	55
8.4.3	Geología Estructural.....	56
8.5	Pendientes.....	59
8.6	Índice del gradiente de longitud.....	60
8.7	Cobertura de tierras 2023 .....	62
8.7.1	Pastos limpios (Cod 2.3.1).....	63
8.7.2	Pastos enmalezados (Cod 2.3.3).....	63
8.7.3	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Cod 2.4.3).....	63
8.7.4	Mosaico de pastos con espacios naturales (Cod 2.4.4). .....	63
8.7.5	Bosque de galería y ripario (Cod 3.1.4). .....	63
8.7.6	Tierras denudadas y degradadas (Cod 3.3.3).....	64
8.7.7	Zonas pantanosas (Cod 4.1.1). .....	64
8.7.8	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua (Cod 4.1.3).....	64
8.7.9	Ríos (50m) (Cod 5.1.1).....	64
8.7.10	Lagunas, lagos y ciénagas naturales (Cod 5.1.2).....	64
8.8	Zonificación de la amenaza por inundación.....	64
8.8.1	Registro de eventos.....	65
8.8.2	Geomorfología.....	65
8.8.3	Pendientes.....	65
8.8.4	Unidades Geológicas de Superficie (UGS) .....	66
8.8.5	Cobertura de tierras .....	66
8.8.6	Isoyetas (Factor detonante).....	66

8.8.7	Cálculo índice de susceptibilidad .....	66
8.8.8	Zonificación final .....	68
8.8.9	Generalización y mapa definitivo.....	70
9.	Análisis final y discusión de resultados .....	71
9.1	Distribución espacial de la amenaza .....	71
9.2	Elementos expuestos .....	72
10.	Conclusiones .....	72
11.	Recomendaciones .....	74
	Referencias Bibliográficas .....	75
	Apéndices.....	80

**Lista de Tablas**

Tabla 1. Unidades Hidrográficas en el área de estudio.....	21
Tabla 2. Escala de preferencias.....	23
Tabla 3. Matriz de insumos considerados para el índice de susceptibilidad. ....	67
Tabla 4. Matriz normalizada para índice de susceptibilidad.....	67
Tabla 5. Matriz para la zonificación de la amenaza.....	68
Tabla 6. Matriz normalizada para la zonificación de la amenaza.....	69

**Lista de Figuras**

Figura 1. Columna Estratigráfica.....	27
Figura 2. Localización del municipio de Sabana de Torres.....	16
Figura 3. Afectaciones en las vías de Sabana de Torres. ....	17
Figura 4. Fases metodológicas y de procedimientos. ....	33

**Lista de Apéndices**

Apéndice 1. Distribución cartográfica del municipio de Sabana de Torres. ....	80
Apéndice 2. División administrativa del municipio de Sabana de Torres. ....	82
Apéndice 3. Distribución Unidades Hidrográficas. ....	83
Apéndice 4. Registro histórico de eventos- Inundaciones en Sabana de Torres. ....	83
Apéndice 5. Estaciones climatológicas del IDEAM. ....	85
Apéndice 6. Precipitación promedio mensual a nivel multianual. ....	86
Apéndice 7. Precipitación anual acumulada a nivel multianual- Estación Aguasclaras. ....	86
Apéndice 8. Precipitación anual acumulada a nivel multianual- Estación El Establo. ....	87
Apéndice 9. Precipitación anual acumulada a nivel multianual- Estación El Porvenir. ....	87
Apéndice 10. Precipitación anual acumulada a nivel multianual- Estación Eloy Valenzuela. ....	87
Apéndice 11. Precipitación anual acumulada a nivel multianual- Estación Sabana de Torres. ....	88
Apéndice 12. Precipitación anual acumulada a nivel multianual- Estación San Rafael. ....	88
Apéndice 13. Precipitación anual acumulada a nivel multianual- Estación Villa Leiva. ....	88
Apéndice 14. Precipitación máxima promedio en 24 horas a nivel multianual. ....	88
Apéndice 15. Parámetros de ajuste a la regresión por regiones. ....	89
Apéndice 16. Curvas IDF- Estación Aguasclaras. ....	89
Apéndice 17. Curvas IDF- Estación El Establo. ....	90
Apéndice 18. Curvas IDF- Estación El Porvenir. ....	91
Apéndice 19. Curvas IDF- Estación Eloy Valenzuela. ....	92
Apéndice 20. Curvas IDF- Estación Sabana de Torres. ....	93
Apéndice 21. Curvas IDF- Estación San Rafael. ....	94
Apéndice 22. Curvas IDF- Estación Villa Leiva. ....	95
Apéndice 23. Precipitación anual mínima a nivel multianual. ....	95

Apéndice 24. Precipitación anual promedio a nivel multianual. ....	96
Apéndice 25. Precipitación anual máxima a nivel multianual.....	97
Apéndice 26. Propiedades físicas- Roca Blanda de la Fm. Colorados. ....	97
Apéndice 27. Propiedades físicas- Roca Blanda de la Fm. Esmeralda. ....	98
Apéndice 28. Propiedades físicas- Roca Blanda de la Fm. Lisama. ....	98
Apéndice 29. Propiedades físicas- Roca Blanda de la Fm. La Paz.....	98
Apéndice 30. Propiedades físicas- Roca Blanda de la Fm. Mugrosa.....	99
Apéndice 31. Propiedades físicas- Roca Blanda del Grupo Mesa. ....	99
Apéndice 32. Propiedades físicas- Roca Blanda del Grupo Real. ....	99
Apéndice 33. Propiedades físicas- Roca Blanda de la Fm. Umir. ....	100
Apéndice 34. Propiedades físicas- (St) Aluvial Depósito de Abanico.....	100
Apéndice 35. Propiedades físicas- (St) Aluvial Depósito Fluviotorrencial. ....	101
Apéndice 36. Propiedades físicas- (St) Aluvial Depósito de Glacis. ....	101
Apéndice 37. Propiedades físicas- (St) Aluvial de Lechos Fluviales. ....	101
Apéndice 38. Propiedades físicas- (St) Aluvial de Terraza. ....	102
Apéndice 39. Propiedades físicas- (St) Aluvial de Terraza Baja. ....	102
Apéndice 40. Propiedades físicas- (St) Coluvio- Aluvial.....	102
Apéndice 41. Propiedades físicas- (St) Lagunar Depósito Fluviolacustre. ....	103
Apéndice 42. Modelo Digital de Elevación (DEM). ....	104
Apéndice 43. Puntos valorados en el índice del Gradiente de Longitud (SL). ....	104
Apéndice 44. Valores anómalos SL.....	106
Apéndice 45. Densidad de Kernel.....	107
Apéndice 46. Coberturas de tierra con susceptibilidad media y baja. ....	107
Apéndice 47. Susceptibilidad según registro histórico. ....	108

Apéndice 48. Susceptibilidad según geomorfología. ....	108
Apéndice 49. Susceptibilidad según pendientes. ....	110
Apéndice 50. Susceptibilidad según Unidades Geológicas de Superficie (UGS). ....	110
Apéndice 51. Susceptibilidad según cobertura de tierras ....	111
Apéndice 52. Factor detonante. ....	112
Apéndice 53. Índice de susceptibilidad. ....	113
Apéndice 54. Clasificación de la amenaza por inundación- Escenario 1. ....	114
Apéndice 55. Clasificación de la amenaza por inundación- Escenario 2. ....	114
Apéndice 56. Clasificación de la amenaza por inundación- Escenario 3. ....	114
Apéndice 57. Mapa registro histórico de eventos. ....	115
Apéndice 58. Mapa isoyetas Mínima. ....	116
Apéndice 59. Mapa isoyetas Promedio. ....	117
Apéndice 60. Mapa isoyetas Máxima. ....	118
Apéndice 61. Mapa geomorfológico. ....	119
Apéndice 62. Mapa Unidades Geológicas de Superficie. ....	120
Apéndice 63. Mapa de pendientes. ....	121
Apéndice 64. Mapa de cobertura de tierras 2023. ....	122
Apéndice 65. Mapa zonificación de la amenaza por inundación- Escenario 1. ....	123
Apéndice 66. Mapa zonificación de la amenaza por inundación- Escenario 2. ....	124
Apéndice 67. Mapa zonificación de la amenaza por inundación- Escenario 3. ....	125

## Resumen

**Título:** Estudio Y Caracterización De Amenaza Por Inundación En El Municipio de Sabana de Torres, Santander. \*

**Autores:** Juan Pablo Pinzón Jay, Darly Julieth Sevillano Ruiz\*\*

**Palabras Clave:** Inundaciones, Amenaza, Sabana de Torres, Gestión del Riesgo, Precipitaciones.

### Descripción:

El presente proyecto tiene por finalidad aportar al conocimiento de la gestión del riesgo en el municipio de Sabana de Torres, aplicando una metodología de evaluación multicriterio fundamentada en el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y orientado a la actualización de la información contenida en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), como lo sería el registro histórico de eventos relacionados a inundaciones, geomorfología a nivel de subunidades, pendientes, Unidades Geológicas de Superficie (UGS), cobertura de tierras y el régimen de lluvias representado por las isoyetas; con esto se obtiene la zonificación final a escala 1:25000 de la amenaza por inundación.

Dichos eventos de inundación suceden generalmente en los costados de los ríos, anegando la llanura de inundación, que se caracteriza por tener pendientes muy suaves consideradas en el rango de ligeramente planas a moderadamente inclinadas y desarrollar suelos de lechos fluviales, los cuales presentan un material de textura variada en matriz areno-limosa; además, algunas tipos de coberturas son más susceptibles a procesos de inundación, tales como las zonas pantanosas, tierras desnudas y pastos. Determinando de esta forma que la amenaza alta y media se puede presentar al sur sobre el Río Sogamoso, al noroccidente en la periferia del complejo cenagoso Paredes- Los Chorros como la quebrada Santos Gutiérrez y en el margen del Río Lebrija, concordante con los reportes preexistentes.

Siendo la lluvia el principal factor detonante, sumado a las características propias del terreno, se pueden delimitar zonas en donde las afectaciones esperadas a los elementos expuestos tales como vías y viviendas de diversos asentamientos rurales sean mayores, lo cual puede generar daños colaterales en la economía del municipio como traumatismos en la movilidad, al igual que el deterioro de los bienes e infraestructura y pérdidas humanas.

\*Trabajo de grado

\*\*Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Juan Diego Colegial Gutiérrez. Geólogo PhD en Ciencias Geológicas.

### Abstract

**Title:** Study and Characterization of Flood Hazard in the Municipality of Sabana de Torres, Santander\*

**Author:** Juan Pablo Pinzón Jay, Darly Julieth Sevillano Ruiz\*\*

**Key Words:** Floods, Hazard, Sabana de Torres, Risk Management, Rainfall.

### Description:

The purpose of this project is to contribute to the knowledge of risk management in the municipality of Sabana de Torres, applying a multi-criteria evaluation methodology based on the Hierarchical Analysis Process (AHP) and oriented to update the information contained in the Land Use Planning Scheme (EOT), such as the historical record of flood-related events, geomorphology at the level of subunits, slopes, Surface Geological Units (UGS), soil cover and rainfall regime represented by the isohyets; This results in the final zoning at scale 1: 25000 of the flood hazard.

These flood events generally occur on the sides of rivers, flooding the floodplain, which is characterized by very gentle slopes considered to be in the range of slightly flat to moderately sloping and developing riverbed soils, which have a varied texture material in a sandy-loamy matrix; in addition, some types of cover are more susceptible to flooding processes, such as swampy areas, bare land and pastures. Thus determining that the high and medium hazard can occur to the south on the Sogamoso River, to the northwest on the periphery of the Paredes-Los Chorros swamp complex such as the Santos Gutiérrez stream and on the margin of the Lebrija River, in accordance with pre-existing reports.

Since rainfall is the main triggering factor, added to the characteristics of the terrain, it is possible to delimit areas where the expected effects on exposed elements such as roads and houses in various rural settlements are greater, which may generate collateral damage to the municipality's economy, such as mobility traumas, as well as the deterioration of property and infrastructure and human losses.

\*Bachelor Thesis.

\*\*Industrial University of Santander. Faculty of Physicochemical Engineering. Geology School. Director: Juan Diego Colegial Gutiérrez. Geologist PhD Geological Sciences.

## **Introducción**

El presente proyecto es desarrollado bajo la modalidad de pasantía de investigación, acogido por el grupo de investigación en Geología Básica y Aplicada GIGBA de la Universidad Industrial de Santander y corresponde a la elaboración de un estudio básico para la zonificación de la amenaza por inundación para el municipio de Sabana de Torres, conforme a los lineamientos propuestos en la Ley 1077 de 2015 y constituyendo un pilar fundamental en la comprensión y conocimiento de la gestión del riesgo.

Es posible considerar a las inundaciones como un fenómeno de carácter global, cuyas consecuencias se asocian a la pérdida de propiedad y vidas en todos los continentes habitados. Es por ello que se puede considerar como el desastre natural más devastador, común y frecuente para la humanidad (Teng et al., 2017). En Colombia, como consta en Cárdenas (2018), se ha atribuido como principal factor detonante a las lluvias, del mismo modo que otros elementos que caracterizan a la superficie como la cobertura de tierras, topografía, ausencia de cobertura vegetal o un uso incorrecto del suelo pueden agudizar el alcance y afectaciones por estos eventos.

El municipio de Sabana de Torres durante las temporadas de lluvia propias de la región se ve constantemente afectado por el desbordamiento de sus cauces principales, con diferentes grados de intensidad. Por lo tanto, la presente pasantía de investigación se fundamenta en la elaboración consolidación de insumos tales como el registro histórico, geomorfología, pendientes, Unidades Geológicas de Superficie (UGS), cobertura de tierras e isoyetas; los cuales se relacionan y analizan de manera conjunta para obtener la zonificación final de la amenaza a escala 1:25000. Con esto, se busca de identificar aquellas porciones de terreno que pueden verse mayormente afectadas por estos eventos de inundación y los elementos expuestos presentes.

## **1. Generalidades**

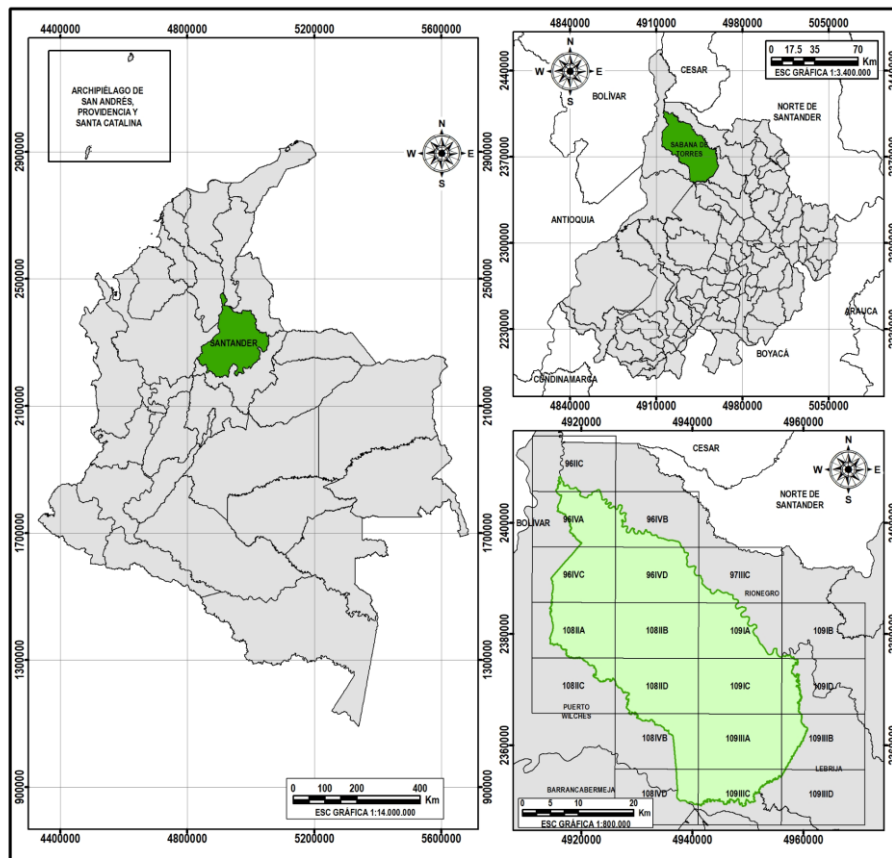
### **3.1 Localización**

El municipio de Sabana de Torres se encuentra localizado en la provincia de Los Yariagués, división administrativa perteneciente al departamento de Santander; ubicándose 56,82 Kilómetros al noroccidente, en línea recta, de la capital Bucaramanga. Se sitúa en el Valle del Río Magdalena, al costado occidental de la cordillera Oriental, siendo el tercer municipio de mayor extensión del departamento. Cartográficamente, es delimitado por el rectángulo de coordenadas en origen nacional (CTM-12) Oeste: 4°9'10.000; Este: 4°9'650.000; Sur: 2°3'45.000 y Norte: 2°4'10.000. Del mismo modo, espacialmente se encuentra distribuido entre cuatro (4) planchas de escala 1:100.000 y veinte (20) de escala 1:25.000 (Ver apéndice 1). Limita con los municipios de Puerto Wilches al occidente y noroccidente; Rionegro al nororiente; Lebrija al oriente y suroriente; Girón al sur y Barrancabermeja al Suroccidente.

### **3.2 Características Generales**

Según la base de datos Colombia Publica versión 12 con fecha de febrero 2023 del IGAC, la división administrativa del municipio de Sabana de Torres consta de 13 veredas, como lo son: Mata de Plátano, Cerrito, Llano Grande, Magará, Aguas Negras, Los Chorros, Provincia, Venecia, La Gómez, Campo Tigre, El Centro, La Payoa y Sabaneta.

La división territorial consta de 2791 predios a lo largo de las 139571,46 Ha del área rural, de los cuales 2683 cuentan con matrícula en el municipio de Sabana de Torres, mientras que existen 108 predios de otros municipios que, dentro del límite municipal usado para el presente proyecto, se encuentran parcialmente zonificados y cuantificados en el área rural, distribuidos de la siguiente forma: Lebrija (31), Puerto Wilches (39) y Rionegro (38).

**Figura 1***Localización del municipio de Sabana de Torres.*

Por otro lado, en el Acuerdo 033 de la Alcaldía de Sabana de Torres (2015) se identificaron 16 asentamientos rurales, que presentan una densidad considerable de viviendas externas al perímetro urbano, los cuales en el presente proyecto serán zonificados como parte del área rural y delimitados como parte del tejido urbano discontinuo; estos asentamientos se conocen bajo el nombre de: Cerrito, Doradas, Km 36, Km 80, La Gómez, La moneda, La Pampa, La Raya, La Schumbert, Payoa 5, Provincia, Puente Lebrija, Puerto Santos, Sabaneta, San Luis de Magará y San Luis de Río Sucio. La división administrativa del municipio se presenta en el Apéndice 2.

Para la zona de trabajo, las pendientes no son tan marcadas y en cuanto a su hidrografía, es un municipio que cuenta con una alta presencia y densidad de ríos, quebradas, lagunas y ciénagas.

Los cauces de ríos con mayor influencia son el Río Lebrija y el Río Sogamoso, así como las quebradas Santos Gutiérrez y La Gómez.

### 3.3 Análisis Situacional

#### Figura 2

*Afectaciones en las vías de Sabana de Torres.*



*Nota.* En la imagen “a” representa los encharcamientos en las vías ocasionados por las crecidas de las quebradas y la ausencia de estructuras. La imagen “b” representa la forma en que se encharcan los pastos limpios posterior a las lluvias.

El municipio de Sabana de Torres se encuentra fuertemente afectado por fenómenos naturales y antrópicos que incorporan daños y pérdidas sociales, económicas y ambientales; así como de cultivos, infraestructura, vías secundarias y terciarias. Esto se presenta a causa de las precipitaciones que varían desde 1806 mm a 3214 mm anuales, según estaciones climatológicas del IDEAM, lo que ocasiona el desbordamiento de los ríos principales y sus distintos afluentes, provocando así inundaciones a lo largo del área rural.

El municipio cuenta con un sistema de drenaje para la evacuación de aguas ante eventos de inundación a lo largo de su territorio, siendo el más importante aquel situado en Barranco Colorado, el cual debido a la falta de mantenimiento se ha ido erosionando con el tiempo y demuestra ser una medida insuficiente para la contención y transporte del agua.

Del mismo modo, debido a la falta de estructuras de captación de aguas lluvia, los locales realizan canales artesanales en zonas de cultivos para evitar la destrucción total o parcial de los mismos y poder contener el recurso hídrico.

Finalmente, es muy común apreciar que las vías no están diseñadas para capturar, soportar y transportar el caudal de los distintos drenajes, en su mayoría catalogados como intermitentes, posterior a un evento de lluvia. Con esto, las vías de acceso a los diferentes sectores del área rural quedan en muy mal estado, con el agua de dichos drenajes pasando directamente sobre la vía ocasionando inundaciones locales a la malla vial o provocando encharcamientos, que combinado con la falta de asfalto en las vías provoca que las mismas se pongan barrosas y sea complejo su tránsito.

## **2. Marco Teórico**

### **1.1 Inundaciones**

La Organización Metrológica Mundial (2012) define a las inundaciones como el desbordamiento de agua en zonas externas al margen normal de un río o cualquier otro tipo de cauce, como a aquellas acumulaciones de agua que se original en zonas que normalmente no se encuentran anegadas. Estos eventos ocurren frecuentemente en zonas llanas a los márgenes de los ríos que poseen un buen desarrollado, conocido como “Lecho o Llanura de inundación”, configurando de esta forma un área de influencia en donde las inundaciones son esperadas. No

obstante, a causa de lluvias excesivas o por fenómenos de remoción en masa de laderas, pueden presentarse inundaciones extraordinarias, que afectan zonas más allá de dichas llanuras, como es el caso de la geoforma comúnmente denominada terrazas (Strahler, 1984 como se citó en Barrantes y Vargas, 2010).

Las inundaciones configuran un tipo de amenaza, las cuales se definen como un peligro latente relacionado con un fenómeno físico o tecnológico, presentándose en un sitio específico y para un tiempo determinado, produciendo un efecto negativo hacia las personas, el patrimonio y al medio (Wilches-Chaux, 1989 como se citó en Salgado, 2005).

Adicionalmente, el conjunto de amenazas naturales se agrupa dentro de los denominados desastres naturales, los cuales representan una seria afectación al funcionamiento de la sociedad, cuyos orígenes pueden ser de tipo natural o inducidos por el hombre, es decir, antrópicos. A su vez, pueden traer consecuencias tales como pérdidas de vida humana, bienes materiales, bienes culturales, los medios de producción (económicos) e inclusive al ambiente (INDECI, 2006 como se citó en Zafra, 2015).

Es posible considerar que las inundaciones ven su principal origen en las precipitaciones, enunciado en Cárdenas (2018) como el principal objeto de estudio y monitoreo a la hora de caracterizar y prever estos eventos. Siendo Colombia un país que presenta una distribución de la precipitación de tipo bimodal, con temporadas de sequía y lluvias, es justo en esta última donde se ve un marcado aumento en las lluvias con picos generalmente en los meses de abril- mayo y octubre- noviembre (IDEAM, 2015 como se citó en Cárdenas, 2018). Otros factores que pueden cambiar ocasionar daños más severos son la topografía, coberturas del suelo, regímenes de viento y de manera más reciente la deforestación o el uso inadecuado del territorio; esto debido a que la pérdida de cobertura vegetal trae consigo la disminución de agua infiltrada al suelo y recarga de

acuíferos, a su vez que aumenta la escorrentía superficial. Del mismo modo, la falta de cobertura vegetal y erosión del suelo provoca que exista una mayor cantidad de materiales sólidos que pueden desencadenar en contaminación y obstrucción, como cambios en las geometrías de los cauces lo que puede cambiar la dinámica de los ríos y minimizar su capacidad hidráulica (González Velandia, 2014 como se citó en Cárdenas, 2018).

## **1.2 Unidades Hidrográficas**

La delimitación de unidades hidrográficas se realiza con la finalidad de reconocer y fijar las diferentes áreas, zonas y subzonas hidrográficas del país, para que las mismas sirvan de referencia en la ordenación del territorio y gestión del recurso hídrico (IDEAM, 2013).

Estas unidades corresponden a las diferentes cuencas que hacen presencia en el territorio, geoforma que es definida por Einsele (2000) como todas aquellas zonas en la superficie terrestre en donde los sedimentos pueden acumularse hasta alcanzar un espesor considerable y preservarse por largos periodos de tiempo geológico.

Para realizar la zonificación de las unidades hidrográficas de una escala mayor a una más específica, de acuerdo con IDEAM (2013), se parte de la delimitación de las áreas hidrográficas, correspondiente al primer dígito de la nomenclatura para dichas unidades, existiendo 5 a nivel nacional. Posteriormente, se subdividen estas áreas en zonas hidrográficas, presentándose 41 en el conteo nacional y que asignan el valor al segundo dígito de la nomenclatura. Acto seguido, se diferencian las subzonas hidrográficas, siendo un total de 311 y las cuales definen el tercer y cuarto dígito en la nomenclatura. De manera simplificada, estos primeros 4 dígitos zonifican el territorio nacional hasta las subzonas y las divisiones siguientes, que pueden ser de hasta 6 cifras y corresponden a los subniveles de clasificación I, II Y II, son definidos por la corporación autónoma competente.

El municipio de Sabana de Torres se sitúa, en la totalidad de su extensión, dentro de los límites de 3 diferentes unidades hidrográficas enunciadas en la Tabla 1 y cuya distribución espacial es presentada en el apéndice 3, para las cuales existe un Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográfica (POMCA) aprobado y vigente.

**Tabla 1**

*Unidades Hidrográficas en el área de estudio.*

Código	Nombre
2319-03	Río Lebrija Medio
2319-04	Afluentes Directos al Río Lebrija Medio (mi)
2405	Río Sogamoso

A modo general, basándonos en la nomenclatura propuesta y aprobada por la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS), la zona de trabajo se localiza en una única área hidrográfica, conocida como “Magdalena-Cauca”. Las unidades Río Lebrija Medio y Afluentes Directos al Río Lebrija Medio (mi) pertenecen a la zona hidrográfica del “Medio Magdalena” y subzona “Río Lebrija y otros Directos al Magdalena”, a su vez que la nomenclatura asignada a cada una de ella alcanza el nivel I. Caso contrario, la unidad Río Sogamoso es una subzona hidrográfica, contenida en la zona del “Sogamoso”.

La distribución espacial de estas unidades hidrográficas, respecto a las 139571,46 Ha de área rural y el tratamiento de datos de datos realizado, se conforma de la siguiente manera: la unidad Río Lebrija Medio es la de menor extensión, abarcando 18167, 77 Ha, equivalente a un 13,02 %. Caso contrario, la unidad Afluentes Directos al Río Lebrija Medio (mi) es la que abarca la mayor cantidad de la superficie, representando 95721.87 Ha, proporcional a un 68,58 %; también es importante aclarar que el acrónimo (mi) se traduce en que la unidad se sitúa en el

margen izquierdo del río principal que la limita (IDEAM, 2013). Finalmente, Río Lebrija zonifica 25681,82 Ha del terreno, correspondiente a un 18,40 %.

### **1.3 Técnicas de Evaluación Multicriterio**

Las Técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC), como se describe en Principi (2018), tienen por objetivo simplificar el proceso de toma de decisiones. Este procesamiento consiste en valorar diferentes alternativas a través de diferentes criterios u objetivos, en donde el objetivo condicionará la aplicación de la regla de la decisión y los criterios corresponden a los insumos, constituyendo el punto de referencia para decisión que se piensa tomar y por lo que es un requisito indispensable que los mismos puedan ser medidos y evaluados. Dicha regla de la decisión es la forma como se relacionan los criterios y ayuda a predecir e identificar cuales condiciones son más propensas a producir un resultado en especial (Buzai y Baxendale, 2007, como se citó Principi,2018). Una vez se definan los criterios a considerar, se deben ponderar dichos insumos para definir el orden de importancia entre estos (Da Silva & Cardozo, 2015), asignándoles una valoración relativa inherente a la finalidad del estudio y obteniendo de esta forma resultados fundamentados y coherentes (Posada, 2015).

De esta forma, el éxito en la aplicación de las técnicas EMC radica en la forma en como es procesada la correlación entre estos valores relativos, siendo la más conocida y aplicada en el presente proyecto el Proceso de Análisis de Jerárquico (AHP por sus siglas en inglés) propuesto y desarrollado por Thomas L. Saaty. Como bien se describe en Bruno y Hurtado (2005) el método AHP busca resolver diversos problemas a través de la creación de un modelo jerárquico que tiene por objetivo darle sentido a la información respecto al fenómeno evaluado, al separar y evaluar dicha información por partes, ilustrando de manera clara y eficiente los cambios que pueden existir al variar el valor asignado a cada criterio. Esto se logra mediante una técnica considerada como

“Comparaciones Pareadas”, en donde se asignan valores relativos entre 1 y 9 a 2 insumos confrontados, con base en la escala de preferencia propuesta en la Tabla 2, que es posteriormente llevado a una matriz en donde se relacionan la totalidad de criterios y valores asignados, para de esta forma obtener un dato cuantitativo de preferencia, considerando esta etapa como “síntesis”.

**Tabla 2**

*Escala de preferencias.*

<b>Planteamiento verbal de la preferencia</b>	<b>Calificación Numérica</b>
Igualmente preferible	1
Entre igual y moderadamente preferible	2
Moderadamente preferible	3
Entre moderada y fuertemente preferible	4
Fuertemente preferible	5
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Muy fuertemente preferible	7
Entre muy fuerte y extremadamente preferible	8
Extremadamente preferible	9

De esta forma, un requisito al aplicar el método AHP es que quien lo ejecute debe realizar un proceso de priorización o selección entre los insumos considerados, en donde se busca darle una mayor jerarquía a aquellos que representen una mayor prioridad.

### **3. Marco Geológico y Geomorfológico**

Los principales estudios geológicos, cartográficos y geomorfológicos del municipio de Sabana de Torres han sido realizados por el Servicio Geológico Colombiano (SGC, anteriormente INGEOMINAS), los cuales desarrollan el contenido de las planchas 96- Bocas del Rosario, 97- Cáchira, 109- Rionegro y 108- Puerto Wilches; siendo esta última realizada en colaboración con la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). La zona de trabajo está situada al

norte del Valle Medio del Magdalena (VMM) y en ellas afloran unidades de una edad entre el cretácico superior, representado por la Fm. Umir, hasta los depósitos cuaternarios.

Por otro lado, la geomorfología, que también cumple un papel importante como parámetro a considerar en el estudio de amenazas por inundación, se divide en 6 unidades de acuerdo con la zonificación 1:100000.

## **2.1 Unidades Litoestratigráficas**

La zona norte del VMM se encuentra estratigráficamente conformada en su mayoría por depósitos de tipo aluvial, a los que se les atribuye una edad del terciario y conservan un espesor aproximado de 8000 m. Predominantemente, es posible encontrar altos contenidos de sílice, originados por la presencia de cuarzo-arenitas y cantos formados por cuarzos recristalizados e inclusive se da la aparición de bloques compactos de arenisca como también se ha reportado cherts en la zona; esto proveniente de Formaciones como Lisama, La Paz o los Grupos Real y Mesa (Morales et al, 1958, como se citó en Ward et al, 1973). En la zona de trabajo, de la más antigua a la más reciente, podemos encontrar las formaciones y grupos:

### **2.1.1 Formación Umir**

Presenta shales de tonalidades grisáceas a negro, carbonosos, micáceos con concreciones ferruginosas; lutitas de tonos grisáceas claros a más oscuros, carbonosas con nódulos ferruginosos; intercalaciones de areniscas y limolitas de tonos grisáceos, carbonosos y micáceas. De igual forma, es representativo en esta unidad la presencia de capas de carbón que pueden alcanzar 5m de espesor (Royero & Clavijo, 2001), presentando una edad del Cretácico superior, entre los pisos Campaniano-Maestrichtiano (Morales et al, 1958).

### **2.1.2 Formación Lisama**

Con una edad del Paleoceno, corresponde a una serie de shales moteados de color rojo a marrón, alternados con areniscas de grado medio a fino, de tonos verdosos a pardos, las cuales hacia el tope exhiben un tamaño más grueso (Wheeler, et al., 1974).

### **2.1.3 Formación La Paz**

Atribuyéndose una edad del Eoceno Superior y constituyendo la parte inferior del Grupo Chorro, se caracteriza por presentar areniscas grises conglomeráticas, conglomerados, limolitas y extensos paquetes de lutitas con tonalidad gris (Royero & Clavijo, 2001). En la cuenca, esta unidad enmarca la diferenciación entre depósitos marinos y continentales (Suarez, 1996).

### **2.1.4 Formación Esmeralda**

Esta unidad exhibe areniscas grises verdosas de grano fino y estratificación laminada con intercalaciones de limolitas y shales moteados de tonos rojo, púrpura o rojizos con ciertas capas delgadas de carbón (Morales, et al., 1958). Conforman la parte superior del Grupo Chorro y se le asigna una edad del Oligoceno (Royero & Clavijo, 2001).

### **2.1.5 Formación Mugrosa**

Se compone en su parte inferior de intercalaciones de arenisca de tonos grisáceos a verdosos, de tamaño de grano fino a medio, con lodolitas grisáceas a azulosas y ocasionalmente arenisca conglomerática en donde la proporción de shale/arena va aumentando hacia la parte superior (Ward et al., 1973). En el área de estudio solo aflora el intervalo lodolítico inferior, con una edad del Eoceno superior al Oligoceno y representando la parte basal del Grupo Chuspas (Royero & Clavijo, 2001).

### **2.1.6 Formación Colorado**

Conformada predominante por arcillolitas pardo-rojizas intercaladas con areniscas un poco más conglomeráticas que la formación mugrosa, con contenidos de caliza y cuarzo que datan del Oligoceno superior al Mioceno inferior (Morales, et al., 1958); correspondiente a la parte superior del Grupo Chuspas y en donde es posible encontrar hacia el tope un nivel de arcillolitas gris oscura a negras, carbonosas y fosilíferas en intercalación con delgadas capas de arenisca de grano medio (Royero & Clavijo, 2001).

### **2.1.7 Grupo Real**

Esta unidad posee una edad aproximada del Mioceno medio al Plioceno y se constituye por shales, areniscas (Royero & Clavijo, 2001). Fue subdividido inicialmente en 5 Formaciones, como lo serían de base a techo: Lluvia, Chontorales, Hiel, Enrejado y Bagre (De Porta, J., et al., 1974). Los 3 Miembros que afloran en el área de estudio parecen coincidir parcialmente con las Formaciones Lluvia, Chontorales y Hiel; no obstante, se decide mantener la nomenclatura de Inferior, Medio y Superior.

### **2.1.8 Grupo Mesa**

Según la recopilación realizada en De Porta, J., et al. (1974), este Grupo en el sector de VMM difiere en gran medida de los Miembros definidos en cercanías a su sección tipo en Honda (Departamento del Tolima), principalmente por carecer de los elementos volcánicos que los caracterizan y asociarse a edades más recientes. De esta forma, a modo general, los Miembros del Grupo Mesa para el VMM se componen de limolitas, areniscas y conglomerados poco consolidados (Royero & Clavijo, 2001) de edad entre el límite del Plioceno al cuaternario.

**Figura 3**

*Columna Estratigráfica*

SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA		SIMBOLO	LITOLOGIA	DESCRIPCION	
		CUAT.	HOL.				
Terciario	MIOCENO	GRUPO MESA		Tq	[Lito: Terrazas y aluviones]	Terrazas y aluviones Gravas, arenas y conglomerados. Espesor: 300 - 545 m.	
		GRUPO REAL		Trp		Discontinuidad estratigráfica (?) Areniscas, lodolitas y conglomerados. Espesor: 500 - 700 m.	
	OLIGOCENO	GRUPO CHUSPAS	FM. COLORADO		Tom	[Lito: Lodolitas rojas y areniscas conglomeráticas]	Discontinuidad estratigráfica (?) Lodolitas rojas y areniscas conglomeráticas. Espesor: 935 - 1.250 m.
			FM. MUGROSA		Teo		Lodolitas y capas delgadas de areniscas. Espesor: 550 - 850 m.
		GRUPO CHORRO	FM. ESMERALDA		Tpe	[Lito: Areniscas, lodolitas y capas delgadas de carbón]	Areniscas, lodolitas y capas delgadas de carbón. Espesor: 160 - 575 m.
	FM. LA PAZ		Lodolitas conglomeráticas con estratificación cruzada. Espesor: 240 - 800 m.				
	CRETÁCICO	SUPERIOR	FM. LISAMA		Tks Kalc	[Lito: Lodolitas areniscas y capas delgadas de carbón]	Lodolitas areniscas y capas delgadas de carbón. Espesor: 300 - 950 m.
FM. UMIR			Lodolitas con concreciones ferruginosas y capas explotables de carbón. Espesor: 800 - 1.400 m.				

*Nota.* La imagen representa una columna estratigráfica generalizada para la zona. Adaptado de “Mapa Geológico generalizado del departamento de Santander” por Royero & Clavijo, 2001.

**2.2 Unidades Geomorfológicas**

El Acuerdo 033 de la Alcaldía de Sabana de Torres (2015) recopila información y datos geomorfológicos para una escala 1:100000, presentando de esta forma un mapa a nivel de unidades, los cuales se dividen en 2 ambientes: estructural y el fluvial.

**2.2.1 Ambiente estructural**

**2.2.1.1 Colinas Estructurales.** Geformas originadas por procesos tectónicos con laderas cortas o moderadamente largas, convexa con cimas redondeadas y pendientes muy inclinadas o en algunos casos abruptas, que forman elevaciones en el terreno entre 200 y 400 m. Se diferencian de otras geformas por el grado de separación que existe entre ellas en forma de U y por sus cimientos, debido a que normalmente se desarrollan sobre sustratos rocosos fracturados o sobre suelos residuales relacionados con quebradas que circulan hacia las zonas topográficamente más bajas.

## **2.2.2 Ambiente Fluvial**

**2.2.2.1 Terrazas Aluviales.** Se presentan como plataformas sedimentarias de varios kilómetros, constituida por sedimentos como por gravas, arenas y arcillas, que comúnmente arrastra el río y resultan siendo depositados a lo largo del cauce, puntualmente en aquellas zonas donde el terreno tiene una curvatura cóncava. Suele presentar pendientes suaves de entre 5° a 10°.

**2.2.2.2 Terrazas erosionadas Lomerío.** Tienen una morfología plana, suavemente ondulada y se dan a lo largo de ríos en donde su cauce fluye por sustratos rocosos, con escarpes en sus márgenes. Esta unidad se origina por procesos de erosión fluvial, puntualmente asociada a la erosión lateral y por esta razón en la superficie plana-lateral normalmente se presenta una capa de grava que la recubre.

**2.2.2.3 Vegas Bajas.** Son canales de formas irregulares, con sedimentos aluviales originados por flujos constantes del cauce. Tienden a ser de tipo meándrico por las bajas pendientes de la zona de trabajo, aunque dependiendo de la carga de sedimentos que transporte pueden formar sistemas de tipo trenzado, anastomosados u otras geoformas asociadas.

**2.2.2.4 Planicie Aluvial.** Se trata de un área que es cubierta por agua durante inundaciones, ocasionadas por intensas precipitaciones sostenidas en el tiempo. Presentan pendientes bajas y generalmente se ubican al borde de los ríos, limitándose comúnmente por escarpes de terrazas o los sistemas colinados. Localmente presentan albardones o diques naturales localizados en las partes más cóncavas del cauce, además de que para esta unidad frecuentemente se le es asociado meandros abandonados, lo que supone una señal de alerta ante la probabilidad de presentarse inundaciones en dichas zonas.

#### **4. Justificación**

Los estudios de amenaza por inundación prevén el alcance que tendrá la ocupación extraordinaria del agua en porciones de terreno que normalmente carecen de esta y que suele suceder comúnmente por el desbordamiento de cursos o cuerpos de agua.

Una de las grandes problemáticas ambientales y sociales en Santander son las temporadas de lluvia, en donde aumenta la intensidad de las precipitaciones y por ende las inundaciones, alterando considerablemente distintas zonas del departamento, como es el caso del municipio de Sabana de Torres en donde se han presentado múltiples afectaciones, principalmente en la infraestructura de los asentamientos rurales y actividades económicas relacionadas al campo.

Este trabajo busca revisar, reevaluar y actualizar tanto el mapa como la información de amenaza por inundación presente en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) más reciente del municipio aprobado en el año 2015, siguiendo los lineamientos para la elaboración de estudios básicos de dicha amenaza, los cuales se encuentran presentes del Decreto de Ley 1077 del 2015. Adicionalmente, se busca la mejora en el conocimiento histórico de los eventos que han afectado la zona objeto de estudio y la magnitud de los mismos, incluyendo las temporadas de lluvia posteriores al 2012 que no son referidas en el EOT anteriormente mencionado y que según la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) como en los reportes de distintos medios de comunicación han afectado considerablemente al municipio al punto de declararse en calamidad pública en varias ocasiones hasta la fecha, principalmente por desbordamientos relacionados a cursos de agua del río Lebrija.

#### **5. Antecedentes**

El municipio de Sabana de Torres ha sido una locación constantemente afectada por los episodios de inundación, detonadas por precipitaciones anómalas propias de las temporadas de lluvia del país. El HIMAT (1989) reportaría que, entre los límites municipales de Sabana de Torres y Rionegro, vía al corregimiento de San Rafael, las inundaciones afectaron un aproximado de 5300 Ha, cuya cobertura presentaba pastos y cultivos arroz, sorgo y pancoger; traduciéndose en pérdidas económicas, a cambio de 1989, de \$672.000.000 de pesos.

Para la temporada de lluvias del año 2010-2011, se vivieron varios episodios por inundación en el municipio. Primeramente, en el mes de marzo del 2011 a causa del desbordamiento del río Lebrija, se veía afectada la ganadería, aves de corral diferentes tipos de cultivos en las veredas Aguas Negras y Magará; adicionalmente, se reportó la pérdida de 17 casas y la inundación de varias vías (Caracol Radio, 2011). Posteriormente, en el mes de octubre del mismo año, se vivió el mayor evento de inundación en la última época del municipio. El saldo fue el de la pérdida de 25000 Ha de cultivos, 400 viviendas destruidas, la caída de dos puentes peatonales y otros dos vehiculares, así como la muerte de varias cabezas de ganado. Esto se traduciría en que cerca del 60% del área rural del municipio fue afectada por la ola de fuertes lluvias, viéndose mayormente perjudicadas las veredas nororientales de Los Chorros, Aguas Negras, Magará, Llano Grande, Provincia y La Payoa (Colprensa, 2011). Finalmente, en noviembre del mismo año, nuevamente se presentarían inundaciones en el área rural por cuenta de las crecidas en el Río Lebrija, que imposibilitó el traslado de ayuda humanitaria a más de 1200 familias y el arreglo de las vías afectadas por las lluvias del mes de octubre, agravando la crisis económica (Mantilla, 2011).

Para el mes de abril del año 2012, se presentaron inundaciones por cuenta del desbordamiento del río Lebrija, a causa de prolongadas lluvias y en el cual se reportaron la rotura

de jarillones en el menos cuatro puntos, lo que detonó la inundación de 650 Ha, ocasionando principalmente problemáticas en materia de movilidad y pérdida de la producción agrícola del segundo trimestre de ese año (Redacción El Tiempo, 2012).

Hacia finales de octubre del año 2018, más de 5000 Ha se vieron afectadas en el área rural del municipio, una vez más por el desbordamiento del río Lebrija, trayendo consigo un detrimento a la economía por la pérdida de cultivos de arroz, palma de aceite y pancoger; la muerte de varias cabezas de ganado y la afectación a la infraestructura de al menos 7 casas. Del mismo modo, varias vías veredales se vieron obstaculizadas o totalmente (Caracol Radio, 2018).

Finalmente, de manera más reciente, en el año 2022 acontecieron al menos tres situaciones de emergencia por inundaciones en el área rural del municipio. La primera se daría finalizando el mes de abril, época para la cual se decretaría calamidad pública por el desbordamiento del río Lebrija y sus afluentes, posterior a la ruptura de un dique, presentando pérdidas económicas por el daño a un estimado de 20000 Ha de cultivos, perjuicios en la ganadería y afectaciones a las infraestructura de viviendas como en material vial, entre las veredas de Magará, Provincia y Aguas Negras (Redacción Semana, 2022). Seguidamente, en el mes de junio se presentaría nuevamente el desbordamiento del Río Lebrija y otras fuentes hídricas como la quebrada La Tigra, trayendo consigo delicadas afectaciones al sector agrícola por la inundación de 600 Ha de cultivos (Redacción Blu Radio, 2022). Por último, en los últimos días del mes de octubre, se presentaron inundaciones a causa de las crecidas del Río Lebrija y Sogamoso; este último influenciado, además de las lluvias, por la apertura de las compuertas de la represa de Hidrosogamoso, afectando la red vial y varias hectáreas de cultivos (Múnera, 2022).

## **6. Objetivos**

### **6.1 Objetivo General**

Estudiar y caracterizar aquellas zonas en donde se presentan amenazas por inundación enmarcadas en los límites del municipio de Sabana de Torres, mediante el uso y aplicación de programas de geomática.

### **6.2 Objetivos Específicos**

Identificar los componentes geomorfológicos presentes y que tengan influencia dentro del área de estudio, con especial énfasis en el ambiente aluvial.

Elaborar el modelo de elevación digital del terreno que permita apreciar los cambios topográficos en la superficie del terreno objeto de estudio.

Estudiar y caracterizar el régimen hidrológico de la región con base en la identificación de los periodos de retorno.

Consultar registros históricos sobre los eventos de inundación que han afectado a la comunidad a través de los años, así como delimitar cuáles han sido las áreas más damnificadas en dichos eventos previos.

Elaborar y presentar el mapa de zonificación de amenaza por inundaciones a escala 1:25.000 para el municipio de Sabana de Torres.

## **7. Métodos y procedimientos**

El desarrollo de la presente pasantía de investigación con sus respectivas fases se esquematiza en la siguiente figura:

**Figura 4**

*Fases metodológicas y de procedimientos.*



### 7.1 Revisión bibliográfica.

Centrada en la consulta de la bibliografía existente sobre en el área a zonificar (reportajes, estudios hidrológicos y geológicos, planchas geológicas y geomorfológicas). Del mismo modo, se revisa la zonificación de la amenaza por inundación propuesta en el EOT del municipio.

### 7.2 Registro histórico y caracterización hidrológica.

Busca determinar aquellas zonas con mayor a tendencia a sufrir episodios de inundación, concordante con los reportes del DESINVENTAR y basándose en la zonificación de afectaciones producto del fenómeno de la niña del IDEAM. Adicionalmente, se lleva a cabo la consulta de datos pluviométricos diarios para los últimos 40 años en las estaciones hidrometeorológicas dentro o cerca al límite municipal de Sabana de Torres para definir curvas de Intensidad- Duración- Frecuencia propias de cada estación como modelar el mapa de isoyetas, que constituirá el factor detonante.

### **7.3 Adquisición cartográfica y sensores remotos.**

A partir de la información suministrada por el Geoportal del IGAC, es posible la consecución de los archivos nativos de las planchas 1:25.000 que cubren el área de estudio. Dichos nativos, al igual que todos los archivos generados durante el tratamiento de la información, son llevados al nuevo origen nacional (CTM-12).

Seguidamente, a través del portal de la Instalación Satelital de Alaska- ASF, se obtiene el Modelo Digital de Elevación- DEM, el cual será clave para definir las pendientes del terreno.

Finalmente, mediante la consulta en el portal de Copernicus, es factible la adquisición de una imagen satelital actualizada al año 2023 que servirá como base para la elaboración del mapa de cobertura de tierras, basado en la metodología de Corine Land Cover adaptada para Colombia.

### **7.4 Insumos preliminares**

Mediante la información recopilada y el apoyo de herramientas SIG, se busca generar los mapas preliminares de Unidades Geológicas de Superficie (UGS) y geomorfología a escala 1:25.000. El mapa geomorfológico se centrará en establecer las Subunidades Geomorfológicas presentes en el área de estudio, haciendo especial énfasis en el ambiente fluvial.

### **7.5 Trabajo de campo.**

Esta fase parte de la identificación de las rutas de acceso a las diferentes veredas del municipio, centrándose en aquellas que han reportado afectaciones por inundación hacia la zona noroccidental del municipio.

Del mismo modo, se corroborará la distribución espacial de los mapas preliminares de Subunidades Geomorfológicas y las Unidades Geológicas de Superficie (UGS).

### **7.6 Integración de la información recopilada.**

En este apartado busca consolidar la información obtenida tanto por sensores remotos como en campo, haciendo los ajustes pertinentes que posibiliten definir los elementos propios de cada insumo considerado en el modelo de amenaza por inundación. La zonificación final se realiza con base en el Proceso De Análisis Jerárquico (AHP), el cual le asignará un peso relativo a cada uno de los parámetros evaluados. Se trabajó en el programa ArcGIS pro con licencia personal, adquirida por los autores del proyecto.

### **7.7 Redacción del informe final**

Por último, toda información y datos que han sido recopilados, tratados e implementados para la presente investigación, en conjunto con los mapas utilizados como insumos y el mapa de amenaza por inundación son estructurados en un informe que detalla los resultados obtenidos. De esta forma, se busca dar cumplimiento a los objetivos planteados y generar conclusiones a partir de la zonificación final obtenida.

## **8. Resultados**

Los resultados presentan inicialmente los insumos generados y elementos en los que se subdividen cada uno de ellos, los cuales son evaluados posteriormente en una matriz AHP para obtener de esta forma la zonificación de la amenaza por inundación, la cual se presenta al final del presente capítulo.

### **8.1 Registro histórico de eventos**

Para el registro histórico de eventos del municipio se consultó la base de datos del DESINVENTAR (UNDRR, s. f.), que recopila la información del Sistema Nacional para la

Prevención y Atención de Desastres, la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, la Dirección de Prevención y Atención de Desastres y la Dirección de Gestión del Riesgo y otras fuentes de entidades nacionales, territoriales y locales dentro del área de interés, que por su disponibilidad y calidad de la información son tenidas en cuenta para el análisis, presentado en el apéndice 4.

Como no se presenta la localización geográfica con coordenadas ni muchos menos polígonos delimitando las zonas afectadas, únicamente descripciones de manera cualitativa, se utiliza la información cartográfica de zonas inundadas a causa del fenómeno de la niña, considerado uno de los principales causantes de inundación y cuya fuente es el IDEAM. En dicho registro se constata la información de manera cuantitativa para los fenómenos de la niña más severos en tiempo recientes, correspondiente a los años 1988, 2000, 2011 y 2012, presentándose en el apéndice 57.

## **8.2 Pluviosidad**

La caracterización de la precipitación en el municipio de Sabana de Torres se realiza con base en el procesamiento de datos multianuales de día pluviométrico, cuya unidad se presenta en milímetros de lluvia (mm) y equivale a  $1 \text{ L/m}^2$ , los cuales se disponen a partir de la consulta en las estaciones climatológicas del IDEAM, ya sean de tipo pluviométrica o climática principal, localizadas dentro del municipio o en las zonas circundantes al mismo.

Para el presente estudio se propone un periodo de homogenización para la selección y procesamiento de la información, en donde se incluyen aquellas estaciones que estuvieran activas antes o a partir del 01 de enero de 1983 y hasta o posterior al 31 de diciembre de 2022, equivalente a un total de 40 años y que se realiza con la finalidad de evitar irregularidades al momento del tratamiento de los datos, como el de prevenir resultados anómalos e inexactos.

En el apéndice 5 se muestra una síntesis de las estaciones seleccionadas que cumplen con el criterio de homogeneización, con la ubicación actualizada al nuevo origen nacional, de las cuales 7 sitúan dentro del límite municipal de Sabana y 10 fuera del mismo, repartidos entre El Playón, Lebrija, Puerto Wilches, Rionegro, San Vicente De Chucurí (Santander); La Esperanza (Norte de Santander) y San Alberto (Cesar); analizándose un total de 240958 días pluviométricos, equivalentes a un promedio de 14174 datos por estación.

Es importante esclarecer que existen 4 estaciones que presentan un faltante de tiempo anual, las cuales son Aguasclaras (2016 y 2017), El Caobo (2013), El Naranjo (2000) y Hacienda Las Brisas (1983); siendo que suman un total de 5 años entre las mismas y esto equivale a menos de un 1% del total analizado, se omiten dichos años al momento de llevar a cabo las ponderaciones.

### **8.2.1 Distribución temporal de lluvias**

Teniendo por finalidad el análisis del comportamiento de lluvias dentro del periodo de homogeneización propuesto, se dispone de un arreglo temporal de datos para las 7 estaciones ubicadas dentro de Sabana de Torres, agrupando los valores de día pluviométrico para caracterizar las precipitaciones mensuales, detallado en el apéndice 6 y la precipitación anual acumulada.

**8.2.1.1 Estación Aguasclaras.** Para esta estación se observa una distribución temporal con marcadas tendencias a nivel mensual, siendo abril y mayo los meses con mayores promedios de lluvia en el primer semestre del año, mientras que para el segundo semestre se puede distinguir a los meses de septiembre, octubre y noviembre con los valores promedio más altos; por otro lado, los meses más secos se presentan en el trimestre conformado por diciembre, enero y febrero. El valor de máxima lluvia promedio se da en el mes de octubre con 1386,00 mm y el mínimo de 2,00 mm se da en los meses de enero y agosto.

De igual forma, a nivel multianual (ver apéndice 7), la precipitación acumulada muestra un marcado pico en el año 2003 con un total de 5728,00 mm, seguido de los años 1994 y 1993 con 4972,00 mm y 4789,00 mm respectivamente. Caso contrario, como se mencionó previamente, los años 2016 y 2017 no presentan información; mientras que el año 2021, pese a tener el valor acumulado más bajo, presenta faltante de datos en algunos meses, por lo que el año 1990 se considera como el año más seco con registro para los 12 meses, equivalente a 1556,00 mm.

**8.2.1.2 Estación El Establo.** La presente estación, a nivel mensual, presenta los valores con mayores promedios de lluvia en los meses de abril y mayo para el primer semestre del año, a su vez que los meses de septiembre y octubre son los más lluviosos en el segundo semestre del año; consecuentemente, el primer bimestre del año conformado por los meses de enero y febrero muestran los valores de precipitación promedio más bajos. El valor promedio de máxima lluvia en un mes se da en abril con 781,00 mm; caso contrario, el mes de enero presenta el registro más bajo con 0,4 mm.

Con respecto al análisis multianual de precipitación acumulada (ver apéndice 8), el valor más alto corresponde al año 1988 con 3589,00 mm de lluvia, seguido de los años 2010 y 1995 con 3322,70 mm y 3122,00 respectivamente. En cambio, el año 2012 registra 1439,20 mm, siendo el año menos lluvioso, para posteriormente encontrar el año 1991 con una precipitación de 1753,00 mm y el año 2002 presentando 1767,00 mm como los más secos.

**8.2.1.3 Estación El Porvenir.** En esta estación se pueden diferenciar 2 temporadas de lluvia durante el año de acuerdo con los niveles de precipitación promedio mensual, presentándose en el primer semestre del año en los meses de abril y mayo, mientras que en el segundo semestre se da en los meses de septiembre, octubre y noviembre; caso contrario, los meses consecutivos de diciembre, enero y febrero son aquellos que exhiben los valores de lluvia más bajos. La máxima

lluvia promedio mensual se da en el mes de octubre con 831,00 mm, mientras que enero representa el valor mínimo con 1,00 mm de lluvia.

Desde el punto de vista del análisis multianual (ver apéndice 9), la máxima precipitación acumulada es equivalente a 4657,00 mm y se da en el año 2011, para posteriormente encontrar los años 2010 y 1998 con 4080,00 mm y 3937,00 mm respectivamente. Por otro lado, el año menos lluvioso es el de 2004 con un acumulado de 1912,00 mm, donde también cabe mencionar la baja precipitación durante 1997 con 1933,00 mm y 2015 representado por 1960,00 mm.

**8.2.1.4 Estación Eloy Valenzuela.** El análisis de datos para estación ofrece los mayores valores de lluvia promedio mensual más altos en los meses de abril y mayo durante el primer semestre del año, del mismo modo que para el segundo semestre los meses más lluviosos son los de septiembre y octubre; no obstante, podemos encontrar el trimestre conformado por los meses de diciembre, enero y febrero como los de menor lluvia. Encontramos el valor de máxima lluvia promedio en el mes de octubre, con un registro igual a 684,00 mm; por otro lado, el mes de diciembre presenta el registro más bajo con 1,00 mm.

A través del análisis de la precipitación acumulada multianual (ver apéndice 10), encontramos que el año con mayores niveles de lluvia se da en 2010, con un valor representativo de 3465,00 mm y que es seguido de los años 2011 y 2005 con 3325,00 mm y 3252,00 mm respectivamente. Caso contrario, el año 2012 se considera como el de menor precipitaciones con 1937,00 mm, en donde también se puede mencionar los años 1985 acumulando 1950,20 mm y 1991 con 1969,00 mm.

**8.2.1.5 Estación Sabana de Torres.** En el caso de esta estación, los valores de lluvia promedio mensual muestran los registros de mayor valor en el bimestre conformado por los meses de abril y mayo del primer semestre del año, así como el trimestre formado por los meses de

septiembre, octubre y noviembre en el segundo semestre del año; contrario a lo mencionado, el mes de diciembre y especialmente el bimestre formado por meses de enero y febrero son los menos lluviosos. Los datos muestran el máximo de lluvia promedio en el mes de noviembre equivalente a 787,20 mm; mientras que, en el extremo contrario, encontramos al mes de febrero con 2.9 mm como el de menor valor.

Del mismo modo, conforme al análisis de precipitación acumulada multianual (ver apéndice 11), se evidencia que el año 2011 tiene los mayores niveles de lluvia, semejante a un valor de 4709,60 mm, para encontrar a continuación los años 2010 y 1995 con 4309,10 mm y 4202,00 mm respectivamente. Caso opuesto, el año con menor precipitación es el de 1997, el cual cuenta con un acumulado de 2163,00 mm, seguido del año 1985 que registra 2388,30 mm y 2015 con 2545,30 mm.

**8.2.1.6 Estación San Rafael.** Esta estación presenta los mayores valores de lluvia promedio mensual en los meses de marzo y abril que se sitúan en el primer semestre del año, mientras que en el segundo semestre del año podemos observar que septiembre y octubre son los de mayor precipitación; caso opuesto, los valores de precipitación promedio mensual son especialmente bajos en los meses consecutivos de diciembre, enero y febrero. El registro de máxima lluvia promedio mensual se da en el mes de noviembre, con un total de 736,40 mm; por otro lado, el registro mínimo se da en el mes de enero con 1,00 mm.

Seguidamente, con base en el análisis de precipitación acumulada multianual (ver apéndice 12), es posible determinar que el año 2010 ha sido el más lluvioso, con 3848,00 mm y que es seguidos de los años 2017 y 1988 que registran 3709,20 y 3421,00 mm respectivamente. Contrariamente, el año con menos lluvia es el de 1985 con un acumulado de 1715,90 mm y le

siguen como años de menores precipitaciones 2015 con un registro de 1885,60 mm y 2012 de 1909,50 mm.

**8.2.1.7 Estación Villa Leiva.** Para esta última estación se pueden evidenciar que los registros de lluvia promedio mensual más altos se ajustan a la tendencia de presentarse en los meses de marzo y abril para el primer semestre del año, mientras que entre agosto y noviembre se presentan los valores más altos en el segundo semestre del año, con pico en octubre; no obstante, los datos más bajos de precipitación se dan en el primer bimestre del año, conformado por los meses de enero y febrero. La máxima lluvia promedio mensual registrada se encuentra en el mes de octubre con 393.55 mm; caso contrario, el mínimo se da en enero con 0.2 mm.

Así mismo, el análisis de precipitación acumulada multianual (ver apéndice 13) permite inferir que el año 2010 fue el de mayores lluvias, con un acumulado de 3944,30 mm, para encontrar a continuación los años 2010 y 1998 con 3790,90 mm y 3620,10 mm respectivamente. Finalmente, el año con menor registro fue 2018 con 1509,30 mm, siendo que el año 2000 con 1617,50 mm y 1977,40 mm también fueron años de bajas precipitaciones.

### **8.2.2 Precipitación máxima promedio en 24 horas multianual y curvas IDF**

Los registros de precipitación máxima promedio en 24 horas multianual son obtenidos a partir de la relación del valor máximo de lluvia en un día para cada año dentro del periodo de homogeneización y la cantidad de anualidades para ese periodo, que como se mencionó previamente abarca un total de 40 años. Los valores obtenidos se detallan en el apéndice 14.

De la tabla anterior podemos destacar que el máximo valor de precipitación promedio en 24 horas multianual se da en la estación de San Rafael con un equivalente de 135.13 mm y el dato menor corresponde a la estación Eloy Valenzuela con 120.43 mm. Cada uno de estos valores representa un parámetro fundamental para la construcción de las curvas de Intensidad- Duración

y frecuencia (IDF), la cual parte de la regionalización propuesta por Vargas y Diaz-Granados (1998) en donde se divide al territorio nacional en 5 grandes regiones, las cuales poseen condiciones climáticas guiadas por fenómenos similares. Estas curvas IDF son de especial utilidad puesto que dan paso al conocimiento del comportamiento hidrológico de una determinada zona, que sirve como base para el modelamiento hidráulico de caudales en cuencas de corta extensión donde no existen registros previos.

De esta forma, se puede predecir la precipitación máxima esperada para cada periodo de recurrencia o de retorno, que es el tiempo promedio en años para que se presente cierto evento de lluvia, de duración menor a 24 horas y en donde las 3 primeras horas son las de mayor relevancia (Vargas & Diaz-Granados, 1998). En el desarrollo del presente trabajo, las curvas IDF se calcularon para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años para un evento de lluvia con frecuencia de 3 horas (180 minutos) mediante la aplicación del método simplificado propuesto por Invias (2009) que se basa y sintetiza el trabajo de Vargas y Diaz-Granados (1998) el cual es aplicable cuando se no se cuenta con datos pluviográficos, es decir, datos históricos de precipitación de corta duración (Invias, 2009), obteniéndose bajo la expresión:

$$i = (a \times T^b \times M^d) / (t/60)^c \quad (1)$$

Donde:

$i$ = Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h).

$T$ = Periodo de retorno, en años.

$M$ = Precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual.

$t$ = Duración de la lluvia, en minutos (min).

$a, b, c, d$ = Parámetros de ajuste a la regresión, siendo de 0,94, 0,18, 0,66 y 0,83 respectivamente para la región andina. Para más detalle, revisar el apéndice 15.

De este modo, se realizó el cálculo de las curvas IDF para cada una de las 7 estaciones situadas en el límite municipal de Sabana de Torres, presentadas en los apéndices del 16 al 22.

Haciendo un análisis conjunto de datos, los resultados demuestran la relación directa que existe entre la intensidad con los periodos de retorno, siendo que entre mayor es el año es igualmente superior la intensidad para una misma duración de lluvia e inversa con la duración de la lluvia, en donde la intensidad decrece con una tendencia hacia 0 en el eje Y.

La estación Eloy Valenzuela posee el menor registro de precipitación máxima promedio en 24 horas multianual, por lo que es consecuente al exhibir los menores valores de intensidad, siendo la única estación en no sobre pasar los 800 mm/h para un periodo de retorno de 500 años y duración de lluvia de 5 minutos, así como ser la única estación en presentar una intensidad inferior a los 300 mm/h para el caso de un periodo de retorno de 2 años y duración de 5 minutos. En cambio, la estación de San Rafael, a la que se le atribuye el registro más alto de precipitación máxima promedio en 24 horas multianual, posee los valores de intensidad más altos; esto se evidencia al ver que el pico de intensidad alcanzado para un periodo de retorno de 500 años y duración de 5 minutos es de 870,40 mm/h, ligeramente superior a la estación Sabana de Torres. Justamente estas 2 estaciones, a medida que aumenta el tiempo hasta una duración de lluvia de 180 minutos o 3 horas, presentan valores muy similares, diferenciados únicamente por un aproximado de 0,10 mm/h a 0,20 mm/h, presentando unas curvas IDF muy similares.

Por último, similar a lo anteriormente mencionado, las estaciones de Aguasclaras, El Establo, El Porvenir y Villa Leiva presentan intensidad cada vez más similares a medida que el tiempo de duración de lluvia alcanza las 3 horas, siendo ligeramente superior en Aguasclaras e inferior en El Porvenir.

### 8.2.3 *Isoyetas*

Las isoyetas constituyen una herramienta importante en el estudio hidrológico, puesto que representan la distribución de las precipitaciones para un área determinada. Justamente, estas isoyetas pueden verse como unas isolíneas que unen, a nivel cartográfico, aquellas superficies del terreno que presentan la misma cantidad de lluvia para un tiempo determinado (Pérez Porto & Gardey, 2020).

Para el caso del municipio de Sabana de Torres, se proponen 3 mapas de isoyetas con base en el análisis multianual para cada una de las 17 estaciones enunciadas en el apéndice 5, obteniéndose a partir de los valores de precipitación anual mínima, promedio y máxima en una estación dentro del periodo de homogeneización, que como se especificó anteriormente equivale a 40 años. Los resultados del análisis de precipitación multianual para cada una de las estaciones se sintetizan en los apéndices 23, 24 y 25.

De los valores obtenidos es importante resaltar que la mayor precipitación promedio anual se da en la estación de Sabana de Torres, siendo la única en superar los 3000 mm de lluvia, registrando 3214,45 mm. Caso contrario, hay 3 estaciones que no superan los 20000 mm de precipitación promedio anual, las cuales son El Naranjo, Portachuelo y El Playón, con valores de 1806,64 mm, 1970,23 mm y 1992,11 mm respectivamente.

Al contar con una determinada cantidad de puntos y un peso asignado que será igual a la precipitación promedio anual, es requerido realizar una interpolación de datos que evidencien cómo es la distribución espacial de lluvias en el área de trabajo. Si bien existen diversos métodos de interpolación, para la generación del mapa de isoyetas se hizo uso de la herramienta SpLine, el cual permite realizar una interpolación que calcula valores a través de una expresión matemática en donde se reduce la curvatura general de la superficie, siendo esta una superficie más suave y

que abarca los puntos de muestra. Dicha herramienta tiene 2 opciones de ejecución, que son de tensión y regularizado, justamente esta última es la aplicada en el presente trabajo y se caracteriza por generar una superficie mucho más suave que la primera opción, la cual varía de manera gradual y no se restringe a los valores de los puntos de muestra, es decir, esta superficie puede exhibir valores fuera del rango establecido para estos puntos de muestra (Cómo funciona SpLine—ArcGIS Pro | Documentación, s. f.).

De esta forma, se presentan los mapas de isoyetas del municipio de Sabana de Torres en los apéndices 58, 59 y 60, configurándose como el único insumo que incluye al suelo urbano dentro de su zonificación, la cual representa la distribución espacial de la precipitación que varía de la siguiente manera: para los años secos, tomando como base las isoyetas mínimas, el rango está dado entre los 1400 mm a 2400 mm de lluvia anual. Posteriormente tenemos las isoyetas promedio, donde la precipitación esperada se sitúa entre los 2400 mm a 3350 mm de lluvia anual, correspondiente al régimen común de lluvias. Finalmente, los años más lluviosos serán representados por las isoyetas máximas, en donde se esperan precipitaciones entre los 3450 mm a más de 5700 mm de lluvia anual.

### 8.3 Geomorfología

El análisis geomorfológico se realizó en base a la metodología planteada por el Servicio Geológico Colombiano -SGC- (Carvajal, 2011) quienes proponen a las subunidades geomorfológicas para un nivel de detalle 1:25000, considerando una jerarquía que va desde un aspecto macro a lo micro, comenzando por geomorfoestructura, provincia y región geomorfológica, pasando luego a unidad y por último subunidad.

- **Geomorfoestructura:** extensas áreas que se caracterizan por estructuras geológicas con procesos de basculamiento o deformación, como escudos, bloques de origen

continental, grandes cuencas de sedimentación, valles en “rift” (Carvajal, 2011). Fue posible identificar como geomorfoestructuras la Mega Cuenca de Sedimentación, originada por la erosión de la cordillera central y oriental y depositación de los ríos como sus afluentes. Así mismo, encontramos la Cordillera, originada por el levantamiento tectónico del sistema de Los Andes.

- **Provincia geomorfológica:** representa un conjunto de regiones con geoformas definidas por un macro relieve y génesis geológica. En la zona hacen presencia 2 provincias geomorfológicas: el Valle Interandino del Magdalena y la Cordillera Oriental.

- **Región geomorfológica:** conjunto de ambientes morfogenéticos cuyas condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas determinan y caracterizan las geoformas (Carvajal, 2011). Para la zona de estudio se identificaron las siguientes regiones geomorfológicas: ambiente denudacional y ambiente fluvial.

- **Unidad geomorfológica:** geoforma genéticamente homogénea configurada dentro de un ambiente morfogenético determinado. En el área de estudio se identificaron 6 unidades geomorfológicas: abanico fluvial, glacis, llanura de inundación, lomas, mesas y terrazas fluviales.

- **Subunidad geomorfológica:** corresponde a la subdivisión de las unidades geomorfológicas, por contrastes morfológicos o morfométricos que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de los materiales, siendo que en el presente proyecto se identificaron un total de 28 subunidades.

De esta forma, se presenta el mapa de geomorfología a nivel de subunidades en el apéndice 61, concordante para la escala de trabajo planteada a 1:25000, en donde se destaca que alrededor de un 35% del área corresponde a las subunidades relacionadas con la llanura de inundación, siendo estas de especial importancia en el desarrollo del presente estudio puesto que definen las zonas más susceptibles a ser inundadas.

### **8.3.1 Ambiente Denudacional**

Este ambiente corresponde a geoformas afectadas principalmente por procesos erosivo debido al escurrimiento superficial y subsuperficial, observándose al suroriente del municipio en donde los sistemas colinados estructurales hacen parte del paisaje, ocupando el 36,51% del área rural, esto equivale a 50954,05 Ha.

**8.3.1.1 Laderas de lomas denudadas (DLld) y Laderas de lomas estructurales denudadas (DLled).** Superficies inclinadas que corresponde al flanco de la loma, tiende a ser recta y corta de topografía cóncava con pendiente ligeramente inclinada (IGAC, 2021). Representan el 30,16% (DLld) y el 2% (DLled) del área total y se encuentra presente en veredas como La Payoa, Provincia, Sabaneta, El centro, Campo tigre, La Gómez, Venecia, Provincia, Llano Grande, Cerrito y Mata de Plátano.

**8.3.1.2 Cima de mesas residuales (DMcr).** Representa el 1,77% del área, se pueden observar cómo superficies alargadas y estrechas, siendo las partes más elevadas de la zona con pendientes principalmente planas, y perfil topográfico convexo (IGAC, 2021) pertenecientes al Grupo Real (SGC, 2012). Estas hacen presencia en veredas como Mata de Plátano, Cerrito, Venecia, La Gómez, Campo Tigre y Sabaneta.

**8.3.1.3 Cubetas en lomas denudadas (DLud) y Cubetas en mesas residuales (DMcr).** Superficie localizada en la parte más profunda de la base de las lomas o mesas, caracterizada por su perfil topográfico cóncavo semiredondeado y pendientes ligeras (IGAC, 2021), corresponde al 2,47% y al 0,21% del área total respectivamente, se pueden encontrar en veredas como Mata De Plátano, Cerrito, Provincia, Venecia, La Gómez, Campo Tigre, El Centro, La Payoa y Sabaneta.

### **8.3.2 Ambiente Fluvial.**

El ambiente fluvial es el más característico del área rural y varias de sus geoformas se relacionan directamente con eventos de inundación. Estos accidentes geográficos se forman por los procesos de erosión de los caudales y por la acumulación como sedimentación del material que arrastran en épocas de lluvias e inundaciones a lo largo de los años. Este ambiente representa el 63,49% de la zona de trabajo, esto se traduce en 88617,41 Ha.

#### **8.3.2.1 Plano de abanico antiguo (FApa), subreciente (FAps) y reciente (FApc).**

Depósito de material aluvial de forma triangular con perfil rectilíneo-cóncavo longitudinalmente y convexo en sentido transversal, siendo característico de los mismos el cambio de pendiente, que inicia con una alta inclinación, pero en su parte más distal tiende a ser ligeramente plana. Se diferencian entre sí por la disección de los cauces, considerándose nula en los planos de abanicos recientes y alta en los planos de abanico antiguo (IGAC, 2021). Ocupan el 13,84% del área total, es decir 19317,66 Ha.

#### **8.3.2.2 Talud de abanico antiguo (FAta) y subreciente (FAts).**

Unidad que define el límite entre el abanico antiguo y los drenajes que lo disectan, por esta razón se encuentra ubicada al borde de la superficie del abanico. Su perfil topográfico es rectilíneo, de longitud muy corta, se diferencian por su pendiente, catalogada en el abanico antiguo como moderadamente inclinada a muy escarpada para el caso del subreciente (IGAC, 2021). Cubre 965,38 Ha del área de estudio, que equivale al 0,69%.

#### **8.3.2.3 Cubeta en abanico antiguo (FAua), subreciente (FAus) y reciente (FAuc).**

Superficie localizada en la parte más distal del ápice del abanico, de pendiente plana a ligeramente inclinada, donde se encuentran los materiales más finos acumulados en el abanico, principalmente entre limos y arcillas. Se diferencian por una superficie cóncava para el caso de la cubeta en

abanico antiguo y planocóncavo en el abanico reciente (IGAC, 2021). En el área rural representa un 0,95%, equivalente a 1314,66 Ha.

**8.3.2.4 Glacis de piedemonte con materiales coluvioaluviales (FGca).** Depósitos de material no consolidado, asociado a procesos coluvioaluviales situado al pie de las laderas en denudación. Se caracteriza por el perfil topográfico rectilíneo-cóncavo y por su configuración alargada planocóncava (CDMB, 2019). Ocupa el 0.14% del área y se encuentra en veredas como Cerrito, Venecia y La Gómez.

**8.3.2.5 Albardón (FLa).** Forma constituida por material aluvial ubicado al margen de los cauces con una distribución continua, perfil topográfico convexo y configuración estrecha (IGAC, 2021). Se puede encontrar en el 0,31% de la zona de estudio en veredas como Cerrito, Llano Grande, Magara, Los Chorros y La Payoa.

**8.3.2.6 Napa de desborde (Flb) y napa de desborde nivel superior (Flbs).** Forma topográfica plana e irregular con pendiente ligeramente inclinada, representando una transición entre el albardón y las cubetas de desborde como decantación. Se encuentra constituida por limos, puede estar cubierta por láminas de agua en condiciones de desborde del río y precipitaciones extremas (CDMB, 2019). Abarcan un total de 1985,94 Ha, semejante a un 1,42 %.

**8.3.2.7 Cubeta de decantación (Fld) y de desborde (Fle).** Terreno con topografía planocóncava y de configuración redondeada, lo cual permite el estancamiento de aguas durante el desborde de ríos como el establecimiento de zonas pantanosas. La cubeta de decantación se conforma por sedimentos tamaño arcilla y materia orgánica; mientras que la cubeta de desborde sedimenta principalmente limos y menor proporción arenas y arcillas. En el área rural ocupan un total de 2050,57 Ha, correspondiente a un 1,47%.

**8.3.2.8 Bajo (Flj).** Superficie de perfil topográfico cóncavo, su configuración es redondeada y de pendiente plana, constituida por detritos de tamaño arcilla (IGAC, 2021). El 1,19% del área total está atribuida a la unidad Flj y se encuentra en veredas como Mata de Plátano, Cerrito, Llano Grande, La Gómez, Campo Tigre y Sabaneta.

**8.3.2.9 Meandro abandonado (Flm).** Terreno en forma de arco con perfil topográfico cóncavo, el cual puede estar abierto o cerrado muy similar a la forma de una herradura. Corresponde a una curva del cauce del río que no se encuentra conectada con el curso actual debido a la erosión lateral, en ciertas ocasiones se suele estancar el agua (CDMB, 2019). Ocupa el 0,62% del área y se encuentra presente en veredas como Mata de Plátano, Cerrito, Llano Grande, Magará, Aguas Negras, Los Chorros y Provincia.

**8.3.2.10 Complejo de orillales (Flo).** Terreno constituido por depósitos aluviales con perfil topográfico ondulado y contorno arqueado, forma principalmente patrones de surcos de distinto desnivel y amplitud. Ubicado en la orilla interna de los meandros y compuesto por sedimentos de tamaño arena y limo (IGAC, 2021). Presente en Cerrito, Llano Grande, Magará y La Payoa ocupando un 0,09% del área de estudio.

**8.3.2.11 Plano (Flp).** Se caracteriza por ser una superficie de perfil plano a plano ondulada, de longitud larga y contorno irregular cubierta por el agua durante inundaciones que se producen por las duraderas e intensas precipitaciones, su morfología es baja y se presenta siempre en los bordes de los ríos (IGAC, 2021). Corresponde al 17,43% de la zona de trabajo y se puede encontrar en veredas como Llano Grande, Cerrito, Provincia, Magará, Aguas Negras y Los Chorros.

**8.3.2.12 Vega (Flv).** Superficie más baja de un vallecito de perfil topográfico planocóncavo que bordea los cursos de agua, es una zona periódicamente inundable con depósitos

heterométricos aluviales (CDMB, 2019). Presente en el 0,33% del área total, en las veredas Llano Grande, Magará, Aguas Negras, Los Chorros, Provincia y La Payoa.

**8.3.2.13 Vallecito coluvio-aluvial (Flw).** Relieve correspondiente a una incisión alargada y angosta, se encuentra entre dos áreas de relieve más alto con una pequeña corriente de agua que se puede llegar a extender por unos pocos cientos de metros o por varios kilómetros. Sus depósitos provienen de procesos coluvio-aluviales (CDMB, 2019). Ocupa un 12,19% del área de estudio, repartido entre las veredas de Mata de Plátano, Cerrito, Llano Grande, Magará, Aguas Negras, Los Chorros, Provincia, Venecia, La Gómez, Campo Tigre, El Centro, La Payoa y Sabaneta.

**8.3.2.14 Laderas en material aluvio-torrencial. (FLlat).** Forma con superficie inclinada, con un perfil topográfico que va de rectilíneo a cóncavo y escalonado con pendientes planas a fuertemente inclinadas (IGAC, 2021). Se presenta en las veredas Cerrito, Llano Grande, Provincia, Venecia, La Gómez, El Centro, La Payoa y Sabaneta ocupando un 3,12% del área total.

**8.3.2.15 Plano de terraza alta (FTpa) y baja (FTpb).** Es una superficie discontinua de perfil plano-ondulado y pendiente ligeramente plana, de extensión es corta y su origen se relaciona con la sedimentación sectorizada de material aluvial fino, siendo que el plano de terraza baja se encuentra localizada adyacente a la vega (IGAC, 2021). Abarcan un total de 13309,52 Ha.

#### **8.4 Unidades Geológicas de Superficie (UGS)**

Las Unidades Geológicas de Superficie (UGS), según Hermelin (1987), se zonifican con base en un conjunto de materiales homogéneos que hacen parte de la superficie del terreno y se extienden en profundidad por varios metros. Las mismas incluyen rocas con diferentes grados de meteorización, suelos y depósitos consolidados que preservan un mismo origen.

Es entonces que en el apéndice 62 se presenta el mapa escala 1:25000 de Unidades Geológicas de Superficie para el área rural de Sabana de Torres, que representa la distribución de las unidades de roca y suelos, categorizadas a partir de sus propiedades físicas y características litológica, para el caso de las unidades de roca o el origen del depósito, para las unidades de suelo. Los elementos del mapa servirán como parámetro en la evaluación de procesos concernientes a la gestión del riesgo.

Es importante tomar en consideración que en la medición de las propiedades físicas primarias se consideran parámetros cuyos valores son tomados y referenciados directamente de los POMCA, por lo que no se presenta una variación en dichos datos y las respectivas tablas para atribuir una calificación a cada elemento se encuentran en los apéndices 26 al 41.

#### **8.4.1 Unidades de Roca**

Corresponde a las zonas donde predominan afloramientos rocosos de origen sedimentario, situados en la zona suroriental del municipio, los cuales son descritos y clasificados según su litología y propiedades físicas, con ajustes a la distribución espacial hechos según los controles de campo efectuados.

**8.4.1.1 Roca Blanda.** Su codificación se da con las iniciales Rb, las cuales presentan propiedades físicas tales como: meteorización de grado III a Grado V; resistencia a la compresión entre 0,5 a 25 Mpa; una calidad de roca con calificación entre 0 a 50; índice de fracturamiento de 10 a >60 fr/m<sup>3</sup>; índice de resistencia geológico entre 10 a 40 y una clasificación del macizo rocoso entre Roca pobre a muy pobre. A nivel litológico, son completamente correlacionables con la descripción de las unidades litoestratigráficas presentadas en el título 5 “Marco Geológico y Geomorfológico”; exceptuando los Miembros del Grupo Real, que se detallarán a continuación según las observaciones realizadas en campo.

**84.1.1.1 Roca Blanda de la Formación Colorado (Rbc).** Esta unidad hace presencia en la vereda La Payoa, con una extensión de 2941,48 Ha, correspondiente a un 2,11 % de la zona de trabajo.

**84.1.1.2 Roca Blanda de la Formación Esmeraldas (Rbes).** La unidad se encuentra en la vereda La Payoa, abarcando 619,63 Ha, equivalente a un 0.44 % de la superficie.

**84.1.1.3 Roca Blanda de la Formación Lisama (Rbl).** En cuanto a su distribución espacial, es posible encontrar la unidad en la vereda La Payoa, cubriendo un total de 371,24 Ha del terreno, proporcional a un 0.27 % del área rural.

**84.1.1.4 Roca Blanda de la Formación La Paz (Rblp).** La unidad hace presencia en la vereda La Payoa, con una extensión de 307,60 Ha, correspondiente a un 0,22 % de la zona de trabajo.

**84.1.1.5 Roca Blanda de la Formación Mugrosa (Rbm).** Esta unidad se encuentra en la vereda La Payoa, abarcando 1294.89 Ha, equivalente a un 0.93 % de la superficie.

**84.1.1.6 Grupo Mesa.**

➤ **Roca Blanda de la Formación Mesa Miembro Inferior (Rbmi).** A nivel litológico, se constituye por niveles de areniscas grisáceas, con tamaño de grano grueso a muy grueso y poco consolidadas, con presencia de guijos y gravas de forma subredondeados, dispuestos de manera subhorizontal (POMCA Río Sogamoso, Resolución 0835 de 2018). Se distribuye espacialmente en las veredas El Centro, La Payoa y Provincia, cubriendo un total de 5919,22 Ha del terreno, proporcional a un 4.24 % del área rural.

➤ **Roca Blanda de la Formación Mesa Miembro Superior (Rbms).** Litológicamente conformado por areniscas de grano fino a medio, oxidadas hacia el tope, con niveles conglomeráticos hacia la base donde se pueden encontrar arcillolitas, de tonos grisáceos a

pardos y muy plásticas como cohesivas (POMCA Afluentes Directos al Río Lebrija Medio (mi), Resolución 0490 del 2018). La unidad hace presencia en las veredas El Centro, La Gómez, La Payoa, Provincia, Sabaneta y Venecia; con una extensión de 4030,31 Ha, correspondiente a un 2,89 % de la zona de trabajo.

**841.1.7 Grupo Real.** Basados en las observaciones hechas durante el trabajo de campo y el análisis insumos previos, se añade al Miembro Medio que no es considerado en los POMCA, contrario a la Plancha 109- Rionegro donde sí se incluye y zonifica. Esta división se enmarca en una clara marcada diferencia litológica respecto a los Miembros Inferior y Superior.

➤ **Roca Blanda de la formación Real Miembro Inferior (Rbri).** Conformado por areniscas de grano muy grueso y niveles conglomeráticos de amplio espesor de tonos rojizos a púrpura, en donde se diferencian muy clara fragmentos de cuarzo y su tamaño es muy variado, desde guijas hasta cantos; también se observan algunos minerales arcillosos en mucha menor proporción. La unidad se encuentra en la vereda La Payoa y Provincia, abarcando 7286,37 Ha, equivalente a un 5.22 % de la superficie.

➤ **Roca Blanda de la Formación Real Miembro Medio (Rbrm).** Constituido por arcillolitas de tonos grisáceos, algunas rojizas ligeramente púrpuras, que se intercalan con capas de areniscas de tamaño de grano medio a grueso, principalmente rojizas a pardo y ocasionalmente conglomeráticas. En cuanto a su distribución espacial, es posible encontrar la unidad en la vereda El Centro, La Gómez, La Payoa, Provincia y Sabaneta, cubriendo un total de 7323,38 Ha del terreno, proporcional a un 5.25 % del área rural.

➤ **Roca Blanda de la Formación Real Miembro Superior (Rbrs).** Compuesto por areniscas de tamaño de grano-medio a grueso, de tonos rojizos a púrpura, pardos en algunos; intercalados con capas de arcillas grisáceas, ligeramente rojizas hacia la base. La unidad hace

presencia en las veredas Campo Tigre, Cerrito, El Centro, La Gómez, La Payoa, Mata de plátano, Provincia, Sabaneta y Venecia; con una extensión de 21886,10 Ha, correspondiente a un 15,68 % de la zona de trabajo.

**8.4.1.8 Roca Blanda de la Formación Umir (Rbu).** Es posible encontrar la unidad en la vereda La Payoa, con cubriendo un total de 299,37 Ha del terreno, proporcional a un 0,21 % del área rural.

#### **8.4.2 Unidades de Suelo.**

Corresponde a las zonas donde predominan afloramientos rocosos de origen sedimentario, situados en la zona suroriental del municipio, los cuales son descritos y clasificados según su litología y propiedades físicas, con ajustes a la distribución espacial hechos según los controles de campo efectuados.

Correspondiente a suelos transportados, cuya codificación se da con las iniciales St y se encuentran en zona noroccidental del municipio, clasificándose según el origen del depósito (aluvial, coluvial o lagunar) y propiedades físicas tales como: resistencia a la compresión entre 0,05 y 0,25 Mpa; una humedad natural o condición de humedad seco; permeabilidad variable entre baja y alta; y una compacidad de baja a media.

##### **8.4.2.1 Aluviales.**

**8.4.2.1.1 Suelo Transportado Aluvial Depósito de Abanico (Stada).** Se presenta en 10 de las 13 veredas, salvo por Aguas Negras, Los Chorros y Magará, cubriendo un total de 21597,70 Ha, proporcional a un 15,47 % del área rural.

**8.4.2.1.2 Suelo Transportado Aluvial Depósito Fluviotorrencial (Stadft).** Se localiza en las veredas de Cerrito, El centro, La Gómez, La Payoa, Llano Grande, Provincia, Sabaneta y Venecia; atribuyéndose un total de 3048,17 Ha, siendo el 2,18 % de la zona de trabajo.

**8.4.2.1.3 Suelo Transportado Aluvial de Glacis (Stag).** Se encuentra en las veredas Cerrito, La Gómez y Venecia; cubriendo 202,14 Ha, semejante a un 0.14 % del área rural.

**8.4.2.1.4 Suelo Transportado Aluvial de Lechos Fluviales (Stalf).** Se presenta en 11 de las de las 13 veredas, exceptuando El Centro y Venecia, abarcando un total de 30072,71 Ha, lo que equivale a un 21,55 % de la superficie.

**8.4.2.1.5 Suelo Transportado Aluvial de Terraza (Stat).** Se encuentra únicamente en las veredas de Mata de Plátano y Cerrito, con una extensión de 807,17 Ha, lo que corresponde a un 0.58% de la zona de trabajo.

**8.4.2.1.6 Suelo Transportado Aluvial de Terraza Baja (Statb).** Se distribuye espacialmente en 10 de las 13 veredas del municipio, exceptuando Aguas Negras, Los Chorros y Magará; cubriendo 12502,35 Ha del terreno, proporcional a un 8.96 % del área rural.

#### **8.4.2.2 Coluvial.**

**8.4.2.2.1 Suelo Transportado Coluvio-Aluvial (Stca).** Es el único suelo presente en todas las veredas, abarcando 17224,31 Ha, equivalente a un 12.34 % de la superficie.

#### **8.4.2.3 Lagunar.**

**8.4.2.3.1 Suelo Transportado Lagunar Depósito Fluviolacustre (Sldfl).** Se distribuye en las veredas de Aguas Negras, Cerrito, Los Chorros y Magará, con una extensión de 1837,31 Ha, correspondiente a un 1.32 % de la zona de trabajo.

### **8.4.3 Geología Estructural**

Partiendo de una perspectiva regional, el municipio de Sabana de Torres se sitúa entre el margen occidental de la cordillera oriental y el oriente de la zona norte del Valle Medio del Magdalena (VMM) (POMCA Afluentes Directos al Río Lebrija Medio (mi), Resolución 0490 del 2018). A su vez, la cuenca del VMM desde un punto de vista estructural, presenta un estilo

tectónico de tipo compresivo, con un aumento en las deformaciones en sentido a la cordillera oriental, limitado por la falla de La Salina (POMCA Río Sogamoso, Resolución 0835 de 2018). De esta forma, asociado a estos complejos esfuerzos compresivos, es posible observar dentro del área de estudio 4 estructuras principales que controlan el paisaje y las secuencias geológicas, como lo son la ya mencionada falla de La Salina y Provincia, como también los plegamientos conocidos como anticlinal de Las Monas y Sinclinal de Nuevo mundo.

#### **8.4.3.1 Fallas regionales.**

**8.4.3.1.1 Falla Cañaletal.** Ubicada en el extremo noroccidental del municipio y con dirección NE, se propone como una falla normal con buzamiento al oriente y que atraviesa los suelos transportados aluviales de lechos fluviales. Ha sido considerada como un límite de placa menor o bien como la continuidad con extensión al nororiente de un gran sistema de fallas (POMCA Río Lebrija Medio, Resolución 1177 de 2019).

**8.4.3.1.2 Falla Casabe.** Ubicada al occidente de la Falla de la Salina, presentando una dirección NE, se considera como una falla normal inferida para la zona de estudio, con buzamiento al oriente y cuya importancia a nivel regional es el de representar el límite occidental de los campos petroleros de Casabe, Galán- San Silvestre, Llanito y Peñas Blancas (Royero & Clavijo, 2001).

**8.4.3.1.3 Falla La Salina.** Localizada al oriente de la falla de Aguas Claras y con una dirección preferente al NE, se considera como una falla inversa de alto ángulo, con desplazamiento de rumbo dextral y que se propone para el presente trabajo con un buzamiento al oriente en concordancia al trabajo de Royero y Clavijo (2001). En un contexto regional, esta falla cumple con enmarcar el límite entre la Cordillera Oriental y el Valle Medio del Magdalena al occidente (Royero & Clavijo, 2001). A esta falla se le atribuye un sistema de fracturas que da como resultado

varias fallas de rumbo dextral y otras fallas inversas locales, conocidas como “Cola de Caballo” (POMCA Río Sogamoso, Resolución 0835 de 2018).

**8.4.3.1.4 Falla Provincia.** Es considera como una falla inversa, proponiendo un buzamiento al occidente, la cual parte del eje del Sinclinal de Nuevo mundo al norte del río Sogamoso, en dirección al NW, siendo cubierto en la zona más septentrional por los suelos transportados aluviales de depósito de abanico (POMCA Río Sogamoso, Resolución 0835 de 2018). Adicionalmente, es probable que ejerza un control estructural sobre la Quebrada Santos Gutiérrez a la altura de las veredas Venecia y El Centro (POMCA Afluentes Directos al Río Lebrija Medio (mi), Resolución 0490 del 2018).

#### **8.4.3.2 Fallas locales.**

**8.4.3.2.1 Falla Aguas Claras.** Con una dirección predominante NE y cubierta en algunos tramos por suelos transportados aluviales de depósito de abanicos, se propone como una falla inversa, potencialmente asociada a la falla de La Salina en marco de la ya mencionada secuencia de fracturas denominadas “Cola de Caballo” (POMCA Afluentes Directos al Río Lebrija Medio (mi), Resolución 0490 del 2018).

**8.4.3.2.2 Falla Cayumba.** Con una marcada dirección en sentido NE, se presenta como una falla normal que afecta de manera local a las rocas blandas de la Fm. Real Miembro Medio y podría considerarse como una satélite a la falla de La Salina.

**8.4.3.2.3 Falla Matefique.** Se propone como una falla de rumbo dextral, con dirección SW, que probablemente tenga su origen en el sistema de fracturas “Cola De Caballo” asociado a la falla de La Salina. Afecta a la falla de Aguas Claras, produciendo un desplazamiento en la misma.

### **8.4.3.3 Pliegues.**

**8.4.3.3.1 Anticlinal Provincia.** Expresión geológica que ejerce un control sobre el nivel productivo en el campo petrolero de Provincia, limitado por el Sinclinal de Nuevo mundo al oriente, mientras que al occidente se ve limitado por un sinclinal menor y estrecho de la Fm. Mesa (POMCA Río Sogamoso, Resolución 0835 de 2018).

**8.4.3.3.2 Anticlinal Las Monas.** Situado al sureste del área de trabajo, parte de su eje se ve controlado por la Falla de La Salina, proyectándose más al norte y de manera semi- paralela a la misma, hasta la zona donde intercepta con la falla de Provincia. (POMCA Afluentes Directos al Río Lebrija Medio (mi).

**8.4.3.3.3 Sinclinal de Nuevo Mundo.** Situado al sureste del área de estudio, se considera como una gran estructura asimétrica, esto debido a que su eje tiene un desplazamiento hacia su flanco occidental, que se explica por el fuerte levantamiento en el bloque al oriente de la falla de la Salina, la cual a su vez se configura como límite occidental de esta estructura (Royero & Clavijo, 2001). Del mismo modo, se ha considerado a este sinclinal como parte de una estructura aún mayor, propuesto como un geosinclinal asociado a una semifosa (POMCA Afluentes Directos al Río Lebrija Medio (mi), Resolución 0490 del 2018).

## **8.5 Pendientes**

La información del Modelo Digital de Elevación (DEM) del terreno, presentado en el apéndice 42, fue obtenida a partir del ráster AP\_27133\_FBS\_F0130\_RT1 procedente del satélite Alos Palsar, que cuenta con una resolución espacial de 12,5 m por píxel. Dicho satélite estuvo en funcionamiento hasta el año 2011 y el ráster utilizado data del 27 de febrero de ese mismo año.

Posterior al tratamiento de la información del ráster, fue posible extraer como producto del Modelo Digital De Elevación del Terreno las pendientes, las cuales representan la inclinación o

desnivel de la superficie y es medida en porcentaje, agrupándose en 8 clases concordantes con la clasificación del SGC (2016), en donde la información es transformada y tratada como polígonos para facilitar su cuantificación.

De esta forma, se presenta el mapa de pendientes de la zona de trabajo presentado en el apéndice 63, en donde cada clase en las que se agrupan las pendientes se expresa en hectáreas y porcentaje. Igualmente, es posible evidenciar que en el área de estudio predominan las pendientes ligeramente inclinadas (3-7%) a moderadamente inclinadas (7-12%) con un área de 49892.81Ha (35,75%) y 42173.83 Ha (30,22%) respectivamente, las cuales aumentan las probabilidades de inundaciones debido a que su inclinación es tan baja que el agua no va a fluir de forma rápida; caso contrario, va a tener una tendencia al encharcamiento.

Las pendientes ligeramente planas (0-3%) se encuentran en 15175,09 Ha de la zona de trabajo, lo cual corresponde al 10,87%. Las zonas de pendiente inclinada (12-25%) ocupan un área de 27495.31 Ha, lo que equivale a un 19,70%. Finalmente, el porcentaje más bajo lo tienen las pendientes empinadas, muy empinadas, escarpadas y fuertemente escarpadas que van desde el 25% a >75%, ocupando en el terreno 4834,41 Ha, lo que representa el 3,47% del área rural.

## **8.6 Índice del gradiente de longitud**

Los procesos neotectónicos poseen un papel relevante en los eventos de deformación y la ocurrencia de desastres naturales, los cuales pueden ser medidos a través de diversos parámetros morfométricos y geomorfológicos, dando paso al conocimiento, descripción y evaluación de los cambios en las formas del relieve como en los drenajes y sus patrones, constituyendo un elemento fundamental a la hora de analizar la tectónica activa y el desarrollo paisajístico a su vez que permite identificar los comportamientos anómalos en una cuenca (Anand & Pradhan, 2019).

El índice de gradiente de longitud de la corriente (SL) puede considerarse como un índice geomórfico, es decir, que evalúa tanto la geomorfología y la morfometría en determinada área, a partir del cual se pueden demarcar las variaciones en la forma cóncava hacia arriba de los perfiles longitudinales en los lechos fluviales e identificar puntos y/o zonas de quiebre donde el gradiente de la corriente presente anomalías. Estas zonas de quiebre pueden atribuirse a diversas circunstancias tales como: 1) estructuras geológicas, donde se incluyen fallas activas o no; 2) erosión diferencial por cambios litoestructurales; 3) deslizamientos de tierra que interactúan de manera directa con el lecho del río; 4) captura de una corriente y corte de meandros; y 5) de carácter antropogénico (Piacentini et al., 2020). Justamente, estos 2 últimos enunciados son de especial importancia en relación con las inundaciones, puesto que al ser un drenaje desviado y/o capturado por otro se puede presentar una disminución en el gradiente al generarse canales anómalamente planos, trayendo consigo un movimiento lento del agua y depósitos excesivos de sedimentos, contribuyendo a que se presenten episodios de inundación (California, 2016; Ellis-Sugai & Godwin, 2002).

Empleando la caja de herramientas de uso libre y gratuito para las SIG conocida como SLiX, desarrollada y aplicada por Piacentini et al. (2020), se obtienen de manera automática los valores del gradiente de longitud (SL) a partir del DEM del área de estudio (ver apéndice 43), a través de la ecuación:

$$SL=dH/dL*L (2)$$

Donde:

SL= Gradiente de longitud de la corriente.

dH= Variación en la elevación.

dL= Variación en la longitud.

$L$  = Distancia desde el punto de inicio del canal.

Posteriormente, se lleva a cabo una subdivisión en 4 clases: 1) 0- valor de la mediana, que para el presente caso es de 17.07; 2) mediana al tercer cuartil, que equivale a 41.46; 3) tercer cuarto al valor adyacente superior (VAS), que es igual a 90.07; y 4) los valores anómalos, que son aquellos superiores al valor adyacente superior y se presentan en el apéndice 44.

Finalmente, es utilizada la herramienta SL-HCA que evalúa la densidad de los puntos alrededor de cada celda en el ráster de salida (Cómo funciona la densidad Kernel—ArcGIS Pro | Documentación, s. f.); es decir, ayuda a visualizar las zonas donde se concentran los puntos anómalos previamente definidos. De esta forma, se obtuvo el mapa ráster de densidad de Kernel correspondiente al apéndice 45.

Con los resultados obtenidos, es notorio que las zonas con mayor densidad de puntos anómalos se dan en aquellas porciones de terreno en donde aflora roca blanda formaciones o se han propuesto líneas de falla y/o plegamientos. De esta forma, es posible inferir que el origen de los puntos anómalos se da por estructuras geológicas y erosión por cambios litoestructurales; adicionalmente, estos puntos se condensan en zonas donde el registro histórico de eventos de inundación es prácticamente nulo, por lo que no se puede considerar como un factor condicionante ante los eventos de inundación a las fallas u otras estructuras.

## **8.7 Cobertura de tierras 2023**

El mapa de coberturas, presentando en el apéndice 64, fue generado a partir de la imagen S2A\_MSIL2A\_20230202T152641\_N0509\_R025\_T18NXP\_20230202T205906, obtenida del satélite Sentinel-2 con fecha del 2 de febrero del 2023, la cual tiene una resolución espacial de 10 m por píxel y en donde los elementos de la superficie son categorizados de acuerdo con la clasificación Corine Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010). En dicho documento

se dividen las coberturas en cinco grupos principales: 1. Territorios artificializados, 2. Territorios agrícolas, 3. Bosques y áreas seminaturales, 4. Áreas húmedas y 5. Superficies de agua. Cada uno de estos grupos pueden subdividirse jerárquicamente hasta en 5 niveles, esto dependiendo del detalle al cual se quiera llegar.

Se identificaron y emplearon un total de 41 coberturas de suelo en el área rural de Sabana de Torres, llegando a una subdivisión entre el nivel 3 y 4, describiendo a continuación aquellos elementos que son más susceptibles a ser inundados de acuerdo con el IDEAM (2010) con su área y porcentaje correspondiente, mientras que las demás coberturas se presentan en el apéndice 46.

#### ***8.7.1 Pastos limpios (Cod 2.3.1).***

Se incluyen pastos limpios, cuerpos de agua asociados a estos y zonas de pastos limpios sujetas a inundaciones temporales. Ocupa el 31,91% del área rural, lo que equivale a 44534,79 Ha.

#### ***8.7.2 Pastos enmalezados (Cod 2.3.3).***

Tierras con pastos y malezas que hacen parte de la vegetación secundaria, esta es menor a 1,5 m. Representa 1903,84 Ha del área de estudio, esto es proporcional a un 1,36%.

#### ***8.7.3 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Cod 2.4.3).***

Superficie en donde los cultivos y pastos ocupan entre el 30% y 70% en conjunción con espacios naturales. Abarca un total de 151,58 Ha, correspondiente a un 0,11%.

#### ***8.7.4 Mosaico de pastos con espacios naturales (Cod 2.4.4).***

Terreno cubierto principalmente por pastos junto con espacios naturales, donde los pastos representan entre el 30 y 70% del mismo. Su extensión es de 3902,69 Ha, equivalente a un 2,80%.

#### ***8.7.5 Bosque de galería y ripario (Cod 3.1.4).***

Coberturas con vegetación arbórea que se ubica en el margen de los cursos de agua permanentes y/o temporales. Corresponde a un 5,20% del área total, traduciéndose en 7253,65 Ha.

### **8.7.6 Tierras denudadas y degradadas (Cod 3.3.3).**

Superficies con vegetación inexistente debido a procesos antrópicos como erosión y degradación externa. Se presenta en el 0,91% del área rural, lo que vendría siendo una extensión de 1269,71 Ha.

### **8.7.7 Zonas pantanosas (Cod 4.1.1).**

Tierras bajas que permanecen inundadas la mayor parte del año constituidas de igual modo por cursos de agua, llanuras de inundación, depresiones naturales y antiguas vegas de divagación. Se presenta en un 1,53% del área rural, correspondiente a 2129,29 Ha.

### **8.7.8 Vegetación acuática sobre cuerpos de agua (Cod 4.1.3).**

En esta categoría se incluyen la vegetación flotante, las cuales cubren parcial o totalmente los cuerpos de agua. Ocupa el 0,12% de la zona de trabajo, lo que equivale a 167,68 Ha.

### **8.7.9 Ríos (50m) (Cod 5.1.1).**

Corriente natural que fluye con continuidad, su caudal es considerable y desemboca ya sea en el mar, en un lago o en otro río. Solo se consideran cartografiables los de cauces de ancho mayor o igual a 50 metros. Esta unidad ocupa el 0.33% del área total, correspondiendo a 459,61 Ha en la zona de trabajo.

### **8.7.10 Lagunas, lagos y ciénagas naturales (Cod 5.1.2).**

Superficie de agua natural, de carácter cerrado o abierto, conectado o no con un río o con el mar. Esta unidad se presenta en 1933,74 Ha del área rural, que equivale a un 1,39 %.

## **8.8 Zonificación de la amenaza por inundación**

De acuerdo con el artículo 2.2.2.1.3.2.1.2 del Decreto 1077 (2015), los estudios básicos de amenaza por inundación rural deben contar con un mínimo de insumos como lo son: la geomorfología, presentado a escala de subunidades; el modelo de elevación digital del terreno, con

el cual se discriminaron las pendientes en la superficie; la identificación de las zonas inundables e inundadas, correspondiente al registro de eventos y en donde se ilustra de manera cuantitativa las afectaciones por inundación a causa del fenómeno de la niña; y finalmente la hidrología, representado por las isoyetas y que constituyen el factor detonante. Adicional a estos, con el fin de aplicar la metodología de evaluación multicriterio propuesta, se adicionan insumos tales como serían: las Unidades Geológicas de Superficie (UGS), en donde se diferencian los suelos de macizos rocosos y la cobertura de tierras, que permite diferenciar ciertas zonas más propensas a inundarse. Los elementos para cada uno de estos insumos fueron catalogados con valores de 1 al 5, siendo 1 los menos susceptibles a sufrir episodios de inundaciones y 5 los más susceptibles.

#### **8.8.1 Registro de eventos**

Se les asigna el mayor peso a las zonas reportadas como inundadas, según la información consignada en el IDEAM para los fenómenos de la niña, puesto que son susceptibles a nuevas crecidas para eventos de igual magnitud que se presenten a través del tiempo (Ver apéndice 47).

#### **8.8.2 Geomorfología**

En general, las subunidades asociadas al ambiente denudacional son las menos susceptibles a las inundaciones y, por ende, se les asigna el menor peso. Caso contrario, el ambiente fluvial presenta las subunidades más susceptibles a inundaciones, especialmente aquellas relacionadas a las llanuras de inundación, salvo por los vallecitos coluvio-aluviales, que al situarse generalmente en medio de geoformas con mayor pendiente y caracterizarse por ser estrecho, se le relaciona más con eventos torrenciales (Ver apéndice 48).

#### **8.8.3 Pendientes**

Las categorías más susceptibles para inundarse son las pendientes clasificadas como “ligeramente planas”, que presentan los mayores porcentajes. Consecuentemente, al aumentar la

pendiente, disminuye la susceptibilidad de inundación (Ver apéndice 49).

#### **8.8.4 Unidades Geológicas de Superficie (UGS)**

En general, estos elementos son correlacionables con las subunidades geomorfológicas y presentan una susceptibilidad más baja en aquellas zonas donde se han caracterizado los macizos rocosos; mientras que los suelos transportados aluviales y lagunar son los de mayor susceptibilidad (Ver apéndice 50).

#### **8.8.5 Cobertura de tierras**

Conforme las observaciones hechas en campo, las coberturas más susceptibles a las inundaciones son todos los elementos relacionados con superficies de agua (salvo embalses), áreas húmedas, pastos, tierras desnudas y bosques riparios o de galería. La susceptibilidad intermedia se les atribuye a los cultivos y la más baja se da en zonas de vegetación alta y densa, como los bosques (Ver apéndice 51).

#### **8.8.6 Isoyetas (Factor detonante)**

Para asignar un peso relativo según los valores de precipitación, se hizo uso de la clasificación en Cortes Naturales (Jenks), para la cual se debe especificar el número de clases deseados y la herramienta hará la división de clase de manera que sean mejor agrupados los valores similares, optimizando las diferencias entre los límites de dichas clases (Métodos de clasificación de Datos—ARCGIS Pro | Documentación, s. f.). De esta forma, se obtuvieron 5 categorías, donde a menor precipitación es igualmente menor el peso (Ver apéndice 52).

#### **8.8.7 Cálculo índice de susceptibilidad**

Basado en el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) se lleva a cabo la matriz que le asignará un peso relativo a cada uno de los insumos para la zonificación final de la amenaza, obteniendo como resultado en primera instancia el índice de susceptibilidad final para el área de estudio.

**Tabla 3**

*Matriz de insumos considerados para el índice de susceptibilidad.*

	Histórico	Geomorfología	Pendientes	UGS	Coberturas	Total	Peso Relativo
Histórico	1	1	3	4	5	14	0,33
Geomorfología	1	1	2	4	5	13	0,31
Pendientes	0,33	0,5	1	3	4	8,83	0,21
UGS	0,25	0,25	0,33	1	2	3,83	0,09
Coberturas	0,2	0,2	0,25	0,5	1	2,15	0,05
Total	2,78	2,95	6,58	12,5	17	41,82	1

Posteriormente, dicha matriz es normalizada de acuerdo con los valores de sumatoria para cada insumo y el grado de importancia que se le ha otorgado a cada uno.

**Tabla 4**

*Matriz normalizada para índice de susceptibilidad.*

	Histórico	Geomorfología	Pendientes	UGS	Coberturas	Total	Peso Relativo	RC	<0,10
Histórico	0,359281437	0,338983051	0,455696203	0,32	0,294117647	1,77	0,35		
Geomorfología	0,359281437	0,338983051	0,303797468	0,32	0,294117647	1,62	0,32		
Pendientes	0,119760479	0,169491525	0,151898734	0,24	0,235294118	0,92	0,18	0,02	VERDADERO
UGS	0,089820359	0,084745763	0,050632911	0,08	0,117647059	0,42	0,08		
Coberturas	0,071856287	0,06779661	0,037974684	0,04	0,058823529	0,28	0,06		
Total						5	1		

La razón de consistencia (RC) = 0,02 indica que una matriz consistente, al situarse por debajo del 0,10. De esta manera, el índice de susceptibilidad se calcula a través de la ecuación:

$$IS=(SRH*35\%)+(SG*32\%)+(SP*18\%)+(SUGS*0,08)+(SCT*6\%) \quad (3)$$

Donde:

IS: Índice de susceptibilidad

SRH: Susceptibilidad por registro histórico

SG: Susceptibilidad por geomorfología

SP: Susceptibilidad por pendientes

SUGS: Susceptibilidad por UGS

SCT: Susceptibilidad por cobertura de tierras

Siendo la parte numérica de la ecuación aquella obtenida a través de la matriz AHP y la parte literal correspondiente a los pesos de susceptibilidad asignados para cada elemento en los insumos. La matriz, al ser procesada, permite obtener un mapa ráster del índice de susceptibilidad con valores entre 1 y 5, que se presenta en el apéndice 53.

### 8.8.8 Zonificación final

Basados en la bibliografía consultada, gran parte de los modelos de inundación se basan realmente en la susceptibilidad que presenta determinadas porciones del terreno para ser inundadas; por ello, el índice de susceptibilidad tendrá mayor peso en una nueva matriz AHP, donde ahora se empareja dicho índice con el factor detonante, que corresponde a la precipitación.

**Tabla 5**

*Matriz para la zonificación de la amenaza.*

	Susceptibilidad	F. Detonante	Total	Peso Relativo
Susceptibilidad	1,00	4	5,00	0,80
F. Detonante	0,25	1,00	1,25	0,20
Total	1,25	5,00	6,25	1

Acto seguido, se procede a normalizar la matriz, basándose en la sumatoria de cada parámetro y la relevancia otorgada a cada uno.

**Tabla 6***Matriz normalizada para la zonificación de la amenaza*

	Susceptibilidad	F.Detonante	Total	Peso Relativo	RC	<0,10
Susceptibilidad	0,8	0,8	1,60	0,80		
F. Detonante	0,2	0,2	0,40	0,20	0,00	VERDADERO
Total			2,00	1		

Como se puede observar, los valores de razón de consistencia (RC) equivalen a 0, por lo que es una matriz completamente razonable. De esta forma, se obtiene la ecuación para la elaboración zonificación de la amenaza por inundación, correspondiente a:

$$AI=(IS*80\%)+(FD*20\%) \quad (4)$$

Donde:

AI: Amenaza por inundación

IS: índice de susceptibilidad

FD: Factor detonante

De esta forma, aplicando la ecuación anteriormente mencionada, se lleva a cabo la zonificación de la amenaza por inundación bajo 3 escenarios distintos, utilizando los diferentes mapas de isoyetas y la distribución de lluvias observada en cada uno de ellos como factor detonante. El escenario 1 corresponde a las condiciones normales, empleando las isoyetas mínimas en donde las precipitaciones son menores y se puede relacionar con el fenómeno del niño. Por otro lado, el escenario 2 representa las condiciones intermedias, utilizando las isoyetas promedio que visibilizan el régimen usual de lluvias en la zona. Finalmente, el escenario 3 ilustra condiciones extremas, siendo este en donde se hace uso de las isoyetas máximas, representando las mayores precipitaciones y que puede estar relacionado con el fenómeno de la niña.

Para cada uno de estos escenarios se obtiene un ráster de salida previo con valores que igualmente se sitúan en un rango entre 1 y 5, a partir del se precede a realizar una categorización basada en Cortes Naturales (Jenks) para 3 clases, cuyos límites se establecen en donde se presentan marcadas variaciones o diferencias entre los datos (Métodos de clasificación de Datos—ARCGIS Pro | Documentación, s. f.). Estas 3 clases corresponderán a la amenaza baja, media y alta respectivamente, con límites propios para cada uno de los escenarios como se evidencia en los apéndices 54, 55 y 56.

Posteriormente, se compara con el registro histórico de eventos para verificar que dichos polígonos se encuentran zonificados en amenaza alta o cuando menos en amenaza media en cada uno de los escenarios.

#### **8.8.9 *Generalización y mapa definitivo***

Una vez obtenido el mapa de polígonos para cada uno de los 3 escenarios a considerar, se lleva a cabo el proceso de generalización para que los resultados sean consistentes y no se presenten polígonos aislados. Para este proceso se hizo uso de la herramienta eliminate, la cual elimina una serie de polígonos seleccionados, en este caso aquellos que tengan un área menor a 1.56 Ha y los une con los elementos adyacentes de mayor área o el contorno compartido más extenso (Eliminar (Administración de datos)—ArcMap | Documentación, s. f.). De esta forma, se obtienen los mapas finales de zonificación de la amenaza por inundación para los escenarios 1, 2 y 3, que categoriza un total de 139571,46 Ha entre la amenaza baja, media y alta, ilustrado en los apéndices 65, 66 y 67.

## **9. Análisis final y discusión de resultados**

### **9.1 Distribución espacial de la amenaza**

A modo general, para cada uno de los escenarios se percibe que la amenaza baja se centra en las zonas de alta pendiente, las cuales presentan macizos rocosos relacionados con las subunidades geomorfológicas del ambiente denudacional. La amenaza media se presenta de manera circundante a la amenaza alta, destacando en este punto que en el resultado final no existen polígonos de amenaza alta en contacto con amenaza baja. Por otro lado, la amenaza alta por inundación se da en una pequeña proporción al sur del municipio, a la altura del Río Sogamoso y principalmente en el extremo noroccidental del municipio lo largo del cauce del Río Lebrija y complejo cenagoso de Paredes- Los Chorros. La franja de amenaza alta para el río Lebrija varía entre los 60 m y 300 m aproximadamente, salvo por la zona en donde desemboca caño Diez y caño Payoa, en donde alcanza una extensión entre los 600 m y más de un kilómetro; esto debido a que el caudal del Río Cáchira del Espíritu Santo fue desviado hacia el primer caño mencionado, que abastece al segundo, de manera parcial en 1979 y en su totalidad para el año 1982 (HIMAT, 1989). Desde entonces, los problemas por inundación han sido frecuentes, puesto que en épocas de lluvia este caño se desborda y entre sus aguas al Río Lebrija, por lo que el canal de este no da abasto para recepcionar estos niveles anómalos de caudal y se presentan desbordamientos, que también afectan al municipio vecino de Rionegro.

Finalmente, cabe destacar la franja de amenaza alta en la periferia de la Quebrada Santo Gutiérrez, la cual conecta con el complejo cenagoso que confluye con el Río Lebrija en la zona noroccidental, lo que provoca la crecida y desbordamiento de la quebrada en épocas de altas precipitaciones.

En las 13 veredas en las que se divide el área rural se presenta la amenaza media o alta en condiciones normales; salvo por las veredas de Aguas Negras, Los Chorros y Magará en donde el 100% de su territorio se zonifica en alguna de esas 2 clasificaciones en cada uno de los escenarios. Del mismo modo, 1066 predios se presentan parcial o totalmente categorizados en amenaza media o alta en condiciones normales, equivalente al 38,19 % del total considerado.

## **9.2 Elementos expuestos**

Vías y asentamientos rurales conforman los elementos expuestos que, al superponerse con la zonificación de amenaza media o alta en condiciones normales, se observa como 384,50 Km lineales de vía están dentro de algunas de estas categorías, correspondiente a un 31,50%. De la misma forma, al realizar un proceso análogo con los asentamientos rurales, es posible determinar que 7 de los 16 asentamientos identificados están clasificados en amenaza media o alta en dichas condiciones normales, como lo serían: Km 36, La Gómez, Provincia, San Luis de Río Sucio, Cerrito, Puente Lebrija y San Luis de Magará; resaltando los últimos 3 enunciados, puesto que la totalidad de su área se encuentra en alguna de estas categorías de amenaza en cada uno de los 3 escenarios. Finalmente, el aeródromo de Las Cruces tiene la totalidad de su delimitación en amenaza media o alta en los distintos escenarios, resaltando que esta área se muestra afectada en el histórico de eventos.

## **10. Conclusiones**

De acuerdo con la distribución temporal de lluvias, los meses con mayores precipitaciones corresponden a abril y mayo, como septiembre, octubre y noviembre. Por otro lado, el trimestre conformado por diciembre, enero y febrero se considera como el más seco.

La precipitación total acumulada anual permite inferir que los años con mayores precipitaciones fueron los de 1988, 2010 y 2011, siendo concordantes y correlacionables a el fenómeno de la niña presentado en esos años. Caso contrario, los años de 1991, 1997 y 2012 fueron de sequía, destacando que el primer y último año se dan posterior a la niña.

Las subunidades geomorfológicas se distribuyen en 2 ambientes, como lo son el denudacional y fluvial. Las lomas denudadas se consideran como la subunidad dominante dentro del ambiente denudacional y la subunidad plano para el caso del ambiente fluvial.

Más del 75% del área rural presenta pendientes entre ligeramente planas a moderadamente inclinadas. Estas categorías, a su vez, son las más susceptibles a sufrir eventos de inundaciones.

Las Unidades Geológicas de Superficie (UGS) presentan 2 grandes grupos: las unidades de roca blanca y las de suelo. Los suelos transportados aluviales de lechos fluviales son los de mayor extensión y a su vez tienen mayor susceptibilidad de ser inundados.

Los puntos anómalos reportados en el análisis del índice de gradiente de longitud demuestran que el área de estudio se sitúa en una zona tectónicamente activa, asociados a estructuras geológicas y en principio no tienen relación directa con las inundaciones.

La cobertura de tierras diferenció 41 elementos en el área de estudio, siendo los pastos limpios los de mayor extensión y que se consideran una cobertura susceptible a ser inundada.

La amenaza alta se da en las orillas del Río Sogamoso, a lo largo del cauce del Río Lebrija con un engrosamiento en la zona donde los caños Diez y Payoa entregan sus aguas, en el complejo cenagoso Paredes – Los Chorros y en el tramo más noroccidental de la quebrada Santos Gutiérrez.

Los asentamientos rurales de Cerrito, Puente Lebrija y San Luis de Magará están completamente zonificados bajo amenaza medio o alta, al igual que aeródromo las cruces, por lo que la infraestructura de estos podría verse dañada durante eventos de inundación.

Un aproximado de 1066 predios y 384,50 Km lineales de vía se encuentran en amenaza media o alta en condiciones normales, siendo potencialmente afectables ante inundaciones.

## **11. Recomendaciones**

Es necesario adelantar estudios detallados de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo (AVR) para la inundación en los asentamientos rurales de Cerrito, Puente Lebrija y San Luis de Magará. De esta forma, se podrá conocer en donde existe un riesgo mitigable y no mitigable, para que caso de ser del primer tipo las autoridades competentes puedan desarrollar medidas estructurantes y no estructurantes con la finalidad de minimizar los daños ante futuros eventos de inundación.

Del mismo modo, es relevante llevar a cabo proyectos orientados en desarrollar una geomorfología a nivel de elementos geomorfológicos, en donde la escala sea menor a 1:10000 para las veredas de Aguas Negras, Los Chorros y Magará, centrándose en el ambiente fluvial y los suelos que puedan estar asociados.

Así mismos, las futuras estructuras que implemente el municipio debe tener la capacidad de captación de aguas para la precipitación propuesta en el mapa de isoyetas máxima, debido a que las existentes se perciben desgastadas, erosionadas y sin capacidad de contención, especialmente en la zona de Barranco Colorado donde el sistema de drenaje resulta ser una medida insuficiente al momento de presentarse inundaciones severas por desbordamiento del Río Lebrija.

Finalmente, se recomienda realizar un estudio de dinámica de orillales, basándose en las zonas de amenaza alta para condiciones extremas, con la finalidad de reubicar los jarillones de tal manera que el río tenga espacio para desbordar en su llanura de inundación en temporadas de alta precipitación sin causar mayores afectaciones.

### Referencias Bibliográficas

- Alcaldía Municipal de Sabana de Torres (Director). (Noviembre 30, 2015). Acuerdo 033. Por medio del cual se adopta la revisión excepcional de norma urbanística del Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Sabana de Torres- Santander.
- Anand, A., & Pradhan, S. P. (2019). Assessment of active tectonics from geomorphic indices and morphometric parameters in part of Ganga Basin. *Journal of Mountain Science*, 16(8), 1943-1961. <https://doi.org/10.1007/s11629-018-5172-2>
- Barrantes, G., & Vargas, J. (2010). La Zonificación de amenaza por inundación como herramienta para el ordenamiento territorial en el Valle del Río Sixaol. *Revista Geográfica de América Central*, 46, 67-85.
- Bruno, G., & Hurtado, T. (2005). EL PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP) COMO HERRAMIENTA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA SELECCIÓN DE PROVEEDORES: APLICACIÓN EN LA SELECCIÓN DEL PROVEEDOR PARA LA EMPRESA GRÁFICA COMERCIAL MYE S.R.L. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- California, S. O. (2016, 12 abril). My water quality: Aquatic Ecosystem health - streams, rivers & lakes. [https://mywaterquality.ca.gov/eco\\_health/streams/gradient.html](https://mywaterquality.ca.gov/eco_health/streams/gradient.html)
- Caracol Radio. (2018, 26 octubre). Con el agua hasta el cuello están los habitantes de Sabana de Torres. Caracol Radio. [https://caracol.com.co/emisora/2018/10/24/bucaramanga/1540386297\\_650685.html](https://caracol.com.co/emisora/2018/10/24/bucaramanga/1540386297_650685.html)
- Cárdenas, K. (2018). ANÁLISIS GENERAL DE LA GESTIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIÓN EN COLOMBIA. *Ciencias Ambientales y Sostenibilidad (CAS)*, 4(1), 40-45.

Carvajal, J. H. (2011). Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia. Bogotá: INGEOMINAS.

Colprensa. (2011, 14 octubre). Alerta roja en las riveras del río Lebrija por inundaciones. Noticias de Cali, Valle y Colombia - Periódico: Diario El País. <https://www.elpais.com.co/colombia/alerta-roja-en-las-riveras-del-rio-lebrija-por-inundaciones.html>

Cómo funciona la densidad Kernel—ArcGIS Pro | Documentación. (s. f.). <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-kernel-density-works.htm#:~:text=La%20Densidad%20kernel%20calcula%20la,curva%20uniforme%20sobre%20cada%20punto.>

Cómo funciona SpLine—ArcGIS Pro | Documentación. (s. f.). <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-spline-works.htm#:~:text=La%20spline%20curva%20una%20hoja,de%20los%20puntos%20de%20muestra.>

Corporación Autónoma Regional de Santander [CAS]. (Julio 25, 2018). Resolución 0490 de 2018. Por medio de la cual se aprueba el Plan de Manejo y Ordenación de la Cuenca Hidrografía Afluentes Directos del Río Lebrija Medio (mi)- NSS (Código 2319-04) y se dictan otras disposiciones.

Corporación Autónoma Regional de Santander [CAS]. (Noviembre 19, 2018). Resolución 0835 de 2018. Por medio de la cual se aprueba el Plan de Manejo y Ordenación de la Cuenca Hidrográfica del Río Sogamoso- (CÓD. 2405).

Corporación Autónoma Regional de Santander [CAS]. (Diciembre 27, 2019). Resolución 1177 de 2019. Por medio de la cual se aprueba y adopta el Plan de Ordenación y Manejo de la

Cuenca Hidrografía del Río Lebrija Medio- NSS- Código 2319-03 y se dictan otras disposiciones.

Da Silva, C. J., & Cardozo, O. D. (2015). Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina). *Geofocus*, 16, 23-40.

De Porta, J., et al., 1974. *Lexique Stratigraphique International*. Centre National Recherche Scientifique. Volume V. Amerique Latine, fascicule 4b, Colombie, 692 p. París.

Einsele, G. (2000). *Sedimentary basins: Evolution, Facies, and Sediment Budget*. En Springer eBooks (2.<sup>a</sup> ed.). <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04029-4>

Ellis-Sugai, B., & Godwin, D. (2002). *Going with the flow: Understanding Effects of Land Management on Rivers, Floods, and Floodplains*.

HIMAT. (1989). *INFORME SOBRE DAÑOS POR INUNDACIONES MUNICIPIOS SABANA DE TORRES Y RIONEGRO*.

IDEAM. (2013). *ZONIFICACIÓN Y CODIFICACIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS E HIDROGEOLÓGICAS DE COLOMBIA*.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. (2013). *GLOSARIO DE TÉRMINOS GEOMORFOLÓGICOS APLICADOS A LEVANTAMIENTOS DE SUELO*

Invias. (2009). *Manual De Drenaje Para Carreteras [Manual]*.

Mantilla, K. (2011, 22 noviembre). Sabana de Torres está en alerta roja. *Vanguardia*. <https://www.vanguardia.com/santander/barrancabermeja/sabana-de-torres-esta-en-alerta-roja-BYVL132461>

Métodos de clasificación de Datos—ARCGIS Pro | Documentación. (s. f.). <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/mapping/layer-properties/data-classification->



- Posada, H. (2015). EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y SIG. COMO HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN TERRITORIAL. Universidad Santo Tomás.
- Principi, N. (2018). Evaluación Multicriterio (EMC) con Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la identificación de áreas con potencial conflicto entre usos del suelo. Aplicación en la Cuenca del río Luján (Buenos Aires, Argentina). Geografías del presente para construir el mañana.
- Redacción Blu Radio. (2022, 18 julio). ¡El colmo! A Sabana de Torres enviaron maquinaria varada que no sirve para controlar inundaciones. Blu Radio. <https://www.bluradio.com/blu360/santanderes/el-colmo-a-sabana-de-torres-enviaron-maquinaria-varada-que-no-sirve-para-controlar-inundaciones-rg10>
- Redacción Caracol Radio. (2011, 4 marzo). El río Lebrija se desbordó en Santander. Caracol Radio. [https://caracol.com.co/radio/2011/03/04/regional/1299254880\\_434830.html](https://caracol.com.co/radio/2011/03/04/regional/1299254880_434830.html)
- Redacción El Tiempo. (2012, 16 abril). Lluvias generan inundaciones en el Bajo Rionegro (Santander). El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-11584862>
- Redacción Semana. (2022, 24 abril). Calamidad pública: bajo el agua quedaron cinco veredas de Sabana de Torres en Santander. Semana. <https://www.semana.com/nacion/bucaramanga/articulo/calamidad-publica-bajo-el-agua-que-dieron-cinco-veredas-de-sabana-de-torres-en-santander/202258/>
- Royero, J., & Clavijo, J. A. I. R. O. (2001). Mapa Geológico generalizado del departamento de Santander. Bogotá: Ingeominas.
- Salgado, R. (2005). ANÁLISIS INTEGRAL DEL RIESGO A DESLIZAMIENTOS E INUNDACIONES EN LA MICROCUENCA DEL RÍO GILA, COPÁN, HONDURAS. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Servicio Geológico Colombiano [SGC]. (2016). Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.

<https://doi.org/10.32685/9789589952856>

Teng, J., Jakeman, A. J., Vaze, J., Croke, B., Dutta, D., & Kim, S. (2017). Flood Inundation Modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. *Environmental Modelling and Software*, 90, 201-216. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.01.006>

UNDRR. (s. f.). *DESINVENTAR*. DesConsultar on-line main menu. Recuperado 31 de agosto de 2023, de <https://db.desinventar.org/>

Vargas, R., & Diaz-Granados, M. (1998). Curvas Sintéticas Regionalizadas De Intensidad-Duración-Frecuencia Para Colombia. Universidad de los Andes.

Ward, D. E., Goldsmith, R., Cruz B., J., & Restrepo A., H. (1973). Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, departamento de Santander. *Boletín Geológico*, 21(1-3), 1–134. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bolgeol21.1-3.1973.383>

Zafra, J. (2015). Nivel De Riesgo Por Inundación En La Zona De Calispuquio- Sector V-Cajamarca. Universidad Privada del Norte.

## Apéndices

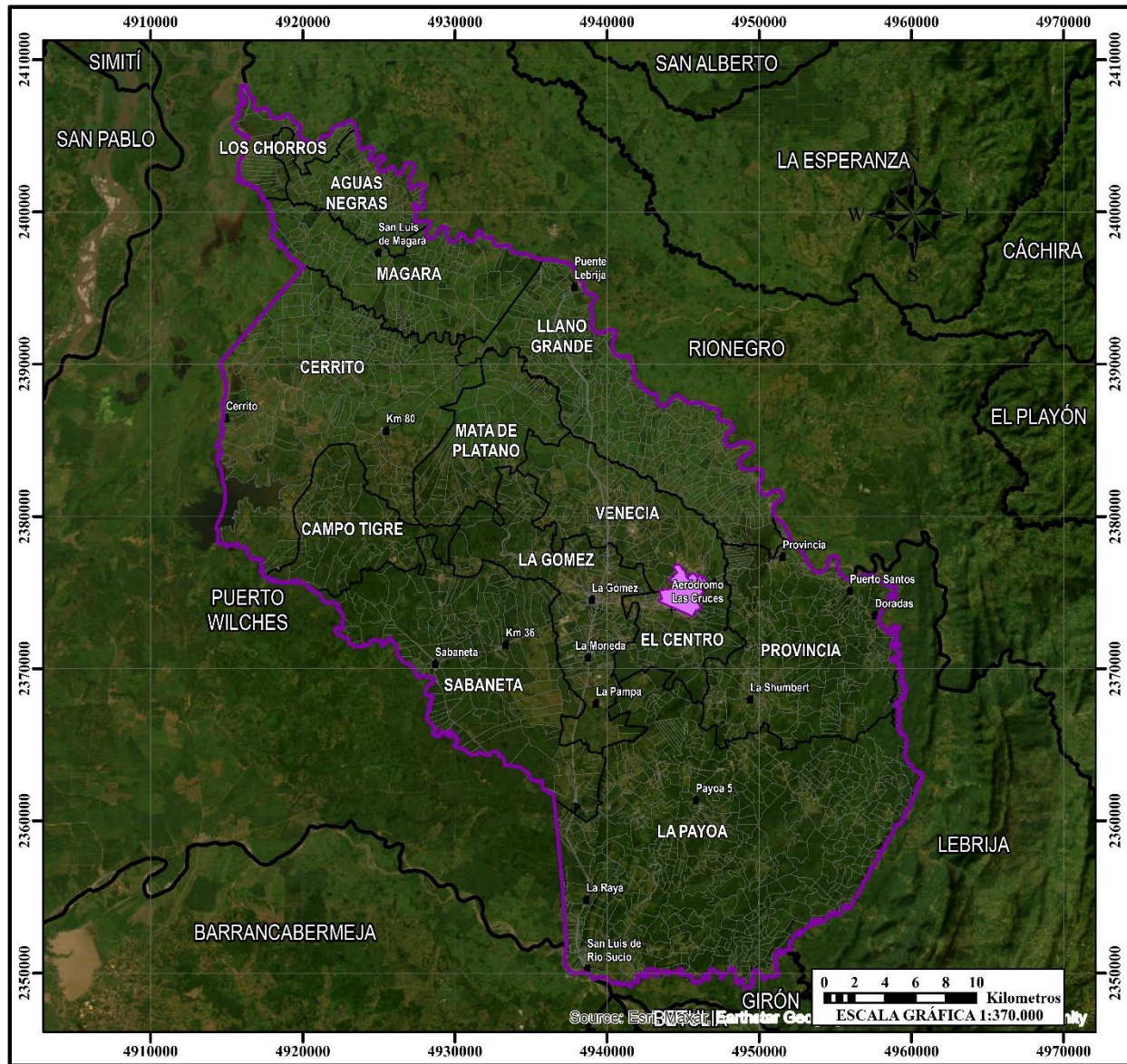
**Apéndice 1.** Distribución cartográfica del municipio de Sabana de Torres.

Escala 1:100.000	Escala 1:25.000	Año Planchas
<b>96</b>	96IVA,96IVB,96IVC,96IVD	2009
	96IIC	2010
<b>97</b>	97IIIC	2009
<b>108</b>	108IIA,108IIB,108IIC,108IID,108IVB,108IVD	2009

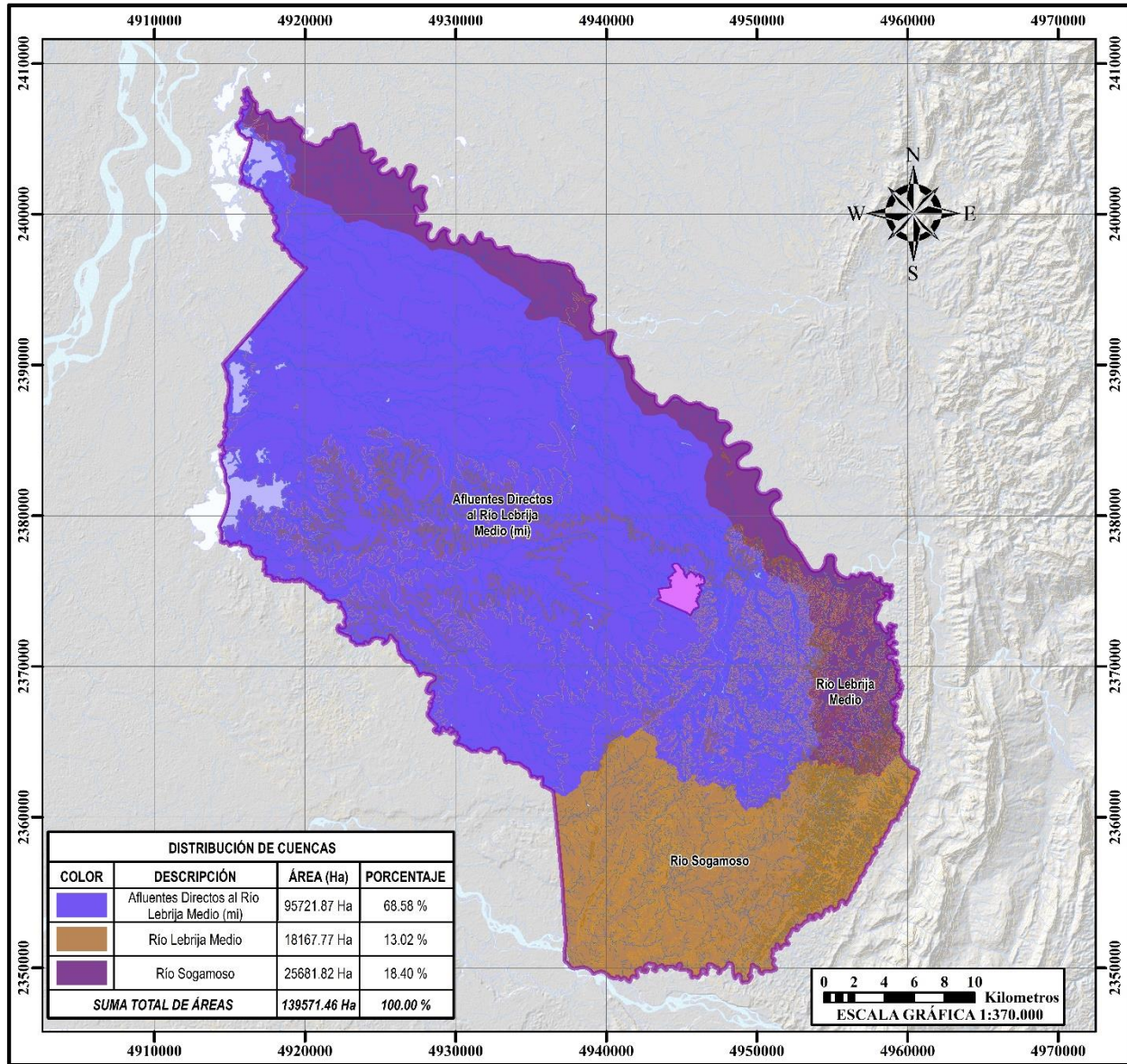
<b>109</b>	109IA,109IC,109IIIA,109IIID	2009
	109IB,109ID,109IIIB,109IIIC	2011

---

Apéndice 2. División administrativa del municipio de Sabana de Torres.



**Apéndice 3.** Distribución Unidades Hidrográficas.



**Apéndice 4.** Registro histórico de eventos- Inundaciones en Sabana de Torres.

Serial	Evento	Departamento	Municipio	Fecha	Viviendas Destruídas	Viviendas Afectadas	Afectados	Daños cultivos (Ha)
UNGRD-2016-0317	Inundación	Santander	Sabana de Torres	1/11/2016			2000	8000
UNGRD-2014-0299	Inundación	Santander	Sabana de Torres	28/10/2014				5000
UNGRD-2014-0287	Inundación	Santander	Sabana de Torres	9/10/2014		4		

UNGRD-01147	Inundación	Santander	Sabana de Torres	23/03/2013		17	68	40
UNGRD-2012-0194	Inundación	Santander	Sabana de Torres	11/07/2012				
UNGRD-2012-0103	Inundación	Santander	Sabana de Torres	12/04/2012		2	10	16
DGR-2011-02144	Inundación	Santander	Sabana de Torres	14/10/2011		500	2500	
2011-00048	Inundación	Santander	Sabana de Torres	20/11/2011		1500	7500	
DGR-2011-00449	Inundación	Santander	Sabana de Torres	11/04/2011		135	608	6
2010-00064	Inundación	Santander	Sabana de Torres	26/07/2010				5000
DGR-2010-01194	Inundación	Santander	Sabana de Torres	1/10/2010	15	185	1000	1000
DGR-2010-00291	Inundación	Santander	Sabana de Torres	03/04/2010				
DGR-2009-00641	Inundación	Santander	Sabana de Torres	17/06/2009		30	150	
DGR-2009-00420	Inundación	Santander	Sabana de Torres	23/04/2009	5	3	70	
DGR-2008-01392	Inundación	Santander	Sabana de Torres	30/11/2008	40	80	2150	
DGR-2008-00862	Inundación	Santander	Sabana de Torres	1/10/2008	10	4	130	
DGR-2008-00476	Inundación	Santander	Sabana de Torres	30/05/2008		40	200	
1983-0117	Inundación	Santander	Sabana de Torres	20/04/1983				
1979-0553	Inundación	Santander	Sabana de Torres	25/11/1979				
1979-0404	Inundación	Santander	Sabana de Torres	15/11/1979	10		650	
2007-0807	Inundación	Santander	Sabana de Torres	5/11/2007	10	4	380	
2005-0079	Inundación	Santander	Sabana de Torres	07/02/2005	50		260	
2004-0663	Inundación	Santander	Sabana de Torres	10/11/2004			1000	
2003-0411	Inundación	Santander	Sabana de Torres	29/10/2003			250	
1999-0980	Inundación	Santander	Sabana de Torres	4/11/1999	5	16	100	
1999-0217	Inundación	Santander	Sabana de Torres	23/02/1999				
1998-0396	Inundación	Santander	Sabana de Torres	19/06/1998				
1996-0948	Inundación	Santander	Sabana de Torres	15/11/1996				
1996-0705	Inundación	Santander	Sabana de Torres	22/07/1996			188	

1988-0582	Inundación	Santander	Sabana de Torres	24/11/1988	2500
1986-0479	Inundación	Santander	Sabana de Torres	13/11/1986	
1985-0367	Inundación	Santander	Sabana de Torres	25/11/1985	

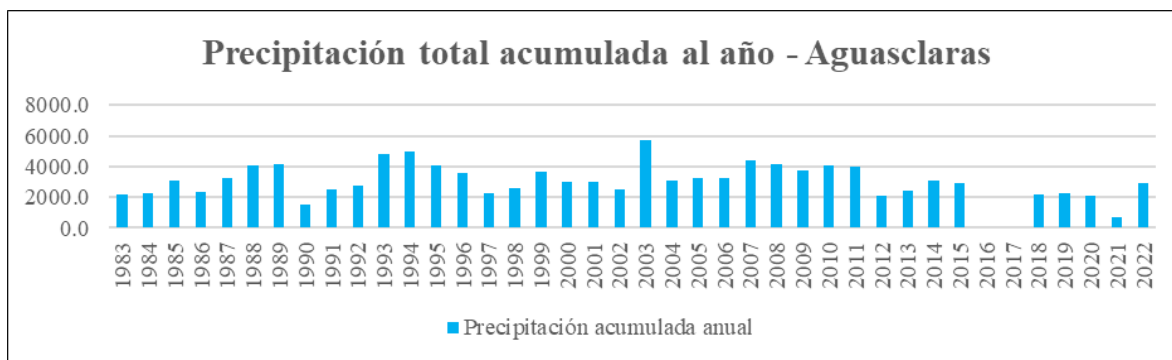
### Apéndice 5. Estaciones climatológicas del IDEAM.

Código	Nombre	Categoría	Altitud	Norte	Este	Departamento	Municipio	No de Datos
24060040	AGUASCLARAS	Pluviométrica	132	2360716536	4939524692	Santander	Sabana De Torres	13683
23180080	ELOY VALENZUELA	Pluviométrica	90	2385631809	4925186418	Santander	Sabana De Torres	14406
23180050	EL ESTABLO	Pluviométrica	98	2391359368	4934048447	Santander	Sabana De Torres	14337
23180040	EL PORVENIR	Pluviométrica	110	2381551348	4946750454	Santander	Sabana De Torres	14542
23180070	SABANA DE TORRES	Pluviométrica	144	2374614695	4946007461	Santander	Sabana De Torres	14607
23190560	SAN RAFAEL	Pluviométrica	84	2395006736	4938280548	Santander	Sabana De Torres	14481
23185010	VILLA LEIVA	Climática Principal	328	2381926646	4940745613	Santander	Sabana De Torres	14007
23180100	SITIO NUEVO	Pluviométrica	98	2418133937	4911735397	Santander	Puerto Wilches	14527
23180110	PATURIA	Pluviométrica	105	2396342749	4908999065	Santander	Puerto Wilches	14483
24065010	HACIENDA LAS BRISAS	Pluviométrica	138	2358760,57	4912822,41	Santander	Puerto Wilches	13611
24050070	LA PUTANA	Pluviométrica	150	2345573406	4942542,04	Santander	San Vicente De Chucurí	14063
23190440	EL NARANJO	Pluviométrica	825	2354152695	4966923125	Santander	Lebrija	13412
23190360	PORTACHUELO	Pluviométrica	800	2367743266	4981795868	Santander	Rionegro (Santander)	14463
23190140	EL PLAYÓN	Pluviométrica	500	2382847235	4977787971	Santander	El Playón	14610
23190510	EL CAOBO	Pluviométrica	300	2397313526	4963889356	Norte de Santander	La Esperanza	13506
23190500	SAN ALBERTO	Pluviométrica	134	2415460808	4957198117	Cesar	San Alberto	13721
23190110	EL LIBANO	Pluviométrica	164	2424121578	4952828656	Cesar	San Alberto	14499

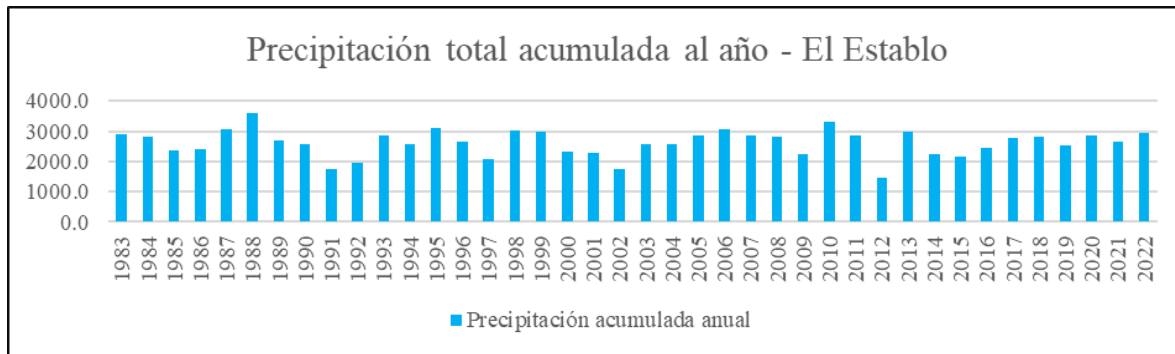
**Apéndice 6.** Precipitación promedio mensual a nivel multianual.

Estación		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Aguasclaras	PROM	2,00	9,00	26,00	9,00	76,00	77,00	21,00	2,00	60,00	114,00	53,00	12,00
	MAX	93,50	115,39	246,82	353,73	359,63	238,53	253,16	291,27	354,21	465,19	333,35	158,31
	MIN	439,00	327,00	896,00	706,00	798,00	508,00	538,00	639,00	622,00	1386,00	986,00	401,00
El Establo	PROM	38,86	73,77	154,48	311,99	343,65	241,54	223,54	263,67	298,83	368,76	261,62	101,97
	MAX	186,00	328,00	343,00	781,00	639,00	575,00	465,00	581,00	514,00	553,00	513,80	296,00
	MIN	0,40	2,00	16,10	54,00	118,00	14,00	24,00	38,00	91,60	106,00	113,60	1,00
El Porvenir	PROM	66,73	103,97	181,19	312,32	321,40	244,68	204,80	279,03	314,68	429,13	321,65	150,55
	MAX	247,00	468,00	411,00	773,00	598,00	535,00	464,00	557,00	545,00	831,00	763,00	602,00
	MIN	1,00	9,00	10,00	127,00	61,00	57,00	40,00	101,00	110,00	146,00	89,00	7,00
Eloy Valenzuela	PROM	36,70	87,58	166,06	291,61	322,00	242,53	219,10	250,70	307,15	319,98	245,98	92,13
	MAX	142,00	298,90	446,00	549,00	575,00	446,00	443,00	569,00	526,00	684,00	668,00	374,00
	MIN	5,00	3,00	19,00	85,00	101,00	32,00	7,00	5,00	89,00	100,00	81,00	1,00
Sabana de Torres	PROM	76,09	113,84	224,31	369,67	346,49	287,77	226,42	274,81	338,92	462,25	345,72	166,59
	MAX	293,00	549,00	489,80	683,90	562,00	614,00	427,00	620,00	597,00	724,00	787,20	485,50
	MIN	3,00	2,90	22,50	148,00	163,90	65,90	16,00	91,00	113,80	209,00	107,00	9,60
San Rafael	PROM	42,80	72,99	151,08	292,13	349,35	241,26	225,72	268,75	313,51	361,78	277,53	92,19
	MAX	173,00	252,00	381,00	658,00	619,40	530,00	510,00	652,50	671,80	548,00	736,40	310,00
	MIN	1,00	2,00	4,00	96,00	147,00	36,10	43,10	44,10	148,40	106,00	93,00	3,10
Villa Leiva	PROM	53,51	84,93	173,35	293,75	306,22	238,52	200,22	265,64	285,92	393,55	294,07	129,36
	MAX	251,20	401,90	398,90	581,50	553,90	517,80	433,20	615,90	534,00	684,60	737,90	470,60
	MIN	0,20	2,00	2,80	64,20	150,50	88,90	18,30	87,00	73,50	142,50	102,70	11,30

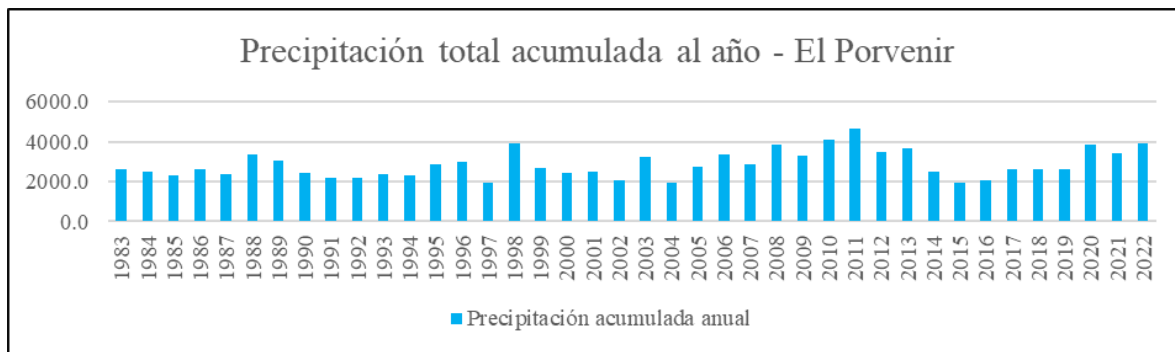
**Apéndice 7.** Precipitación anual acumulada a nivel multianual- Estación Aguasclaras.



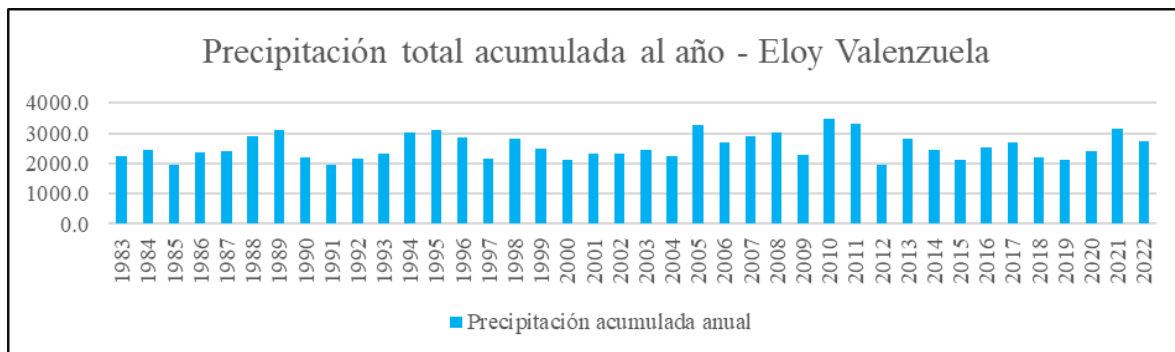
**Apéndice 8.** Precipitación anual acumulada a nivel multianual- Estación El Establo.



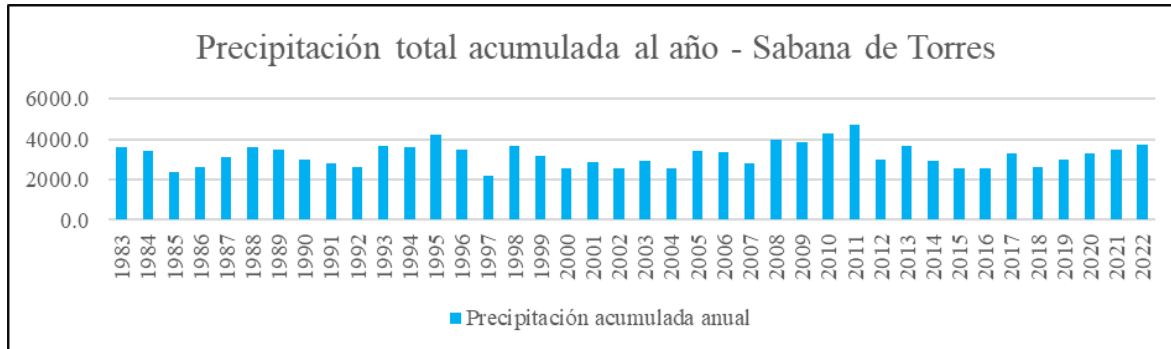
**Apéndice 9.** Precipitación anual acumulada a nivel multianual- Estación El Porvenir.



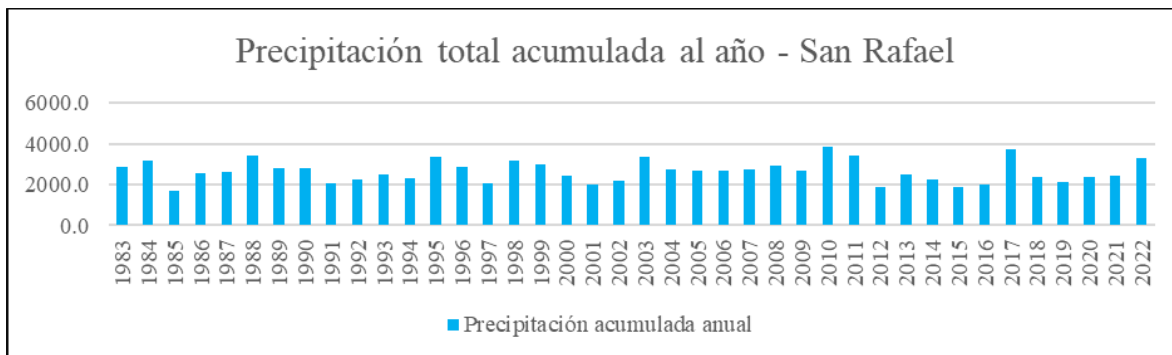
**Apéndice 10.** Precipitación anual acumulada a nivel multianual- Estación Eloy Valenzuela.



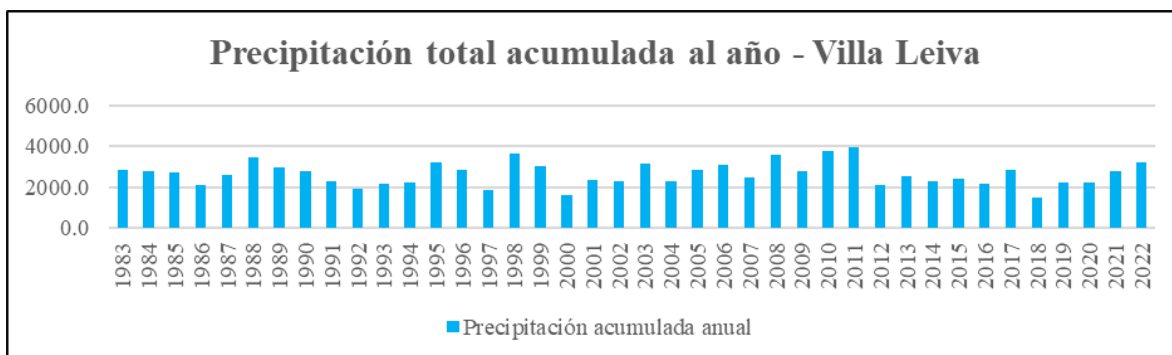
**Apéndice 11.** Precipitación anual acumulada a nivel multianual- Estación Sabana de Torres.



**Apéndice 12.** Precipitación anual acumulada a nivel multianual- Estación San Rafael.



**Apéndice 13.** Precipitación anual acumulada a nivel multianual- Estación Villa Leiva.



**Apéndice 14.** Precipitación máxima promedio en 24 horas a nivel multianual.

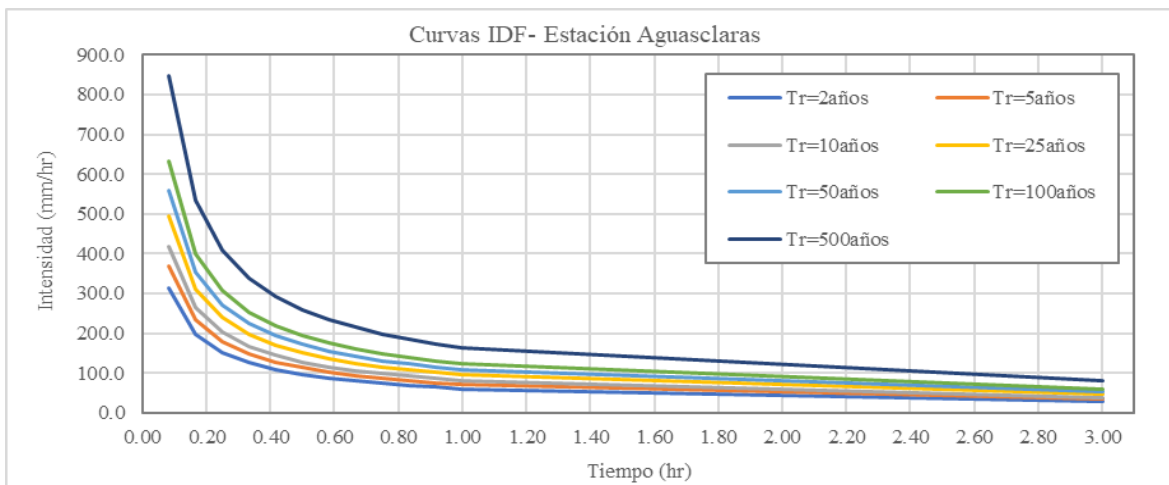
Código	Nombre	Max Prom En 24 Hrs (mm)
24060040	Aguasclaras	130,61
23180050	El Establo	129,85
23180040	El Porvenir	125,35

23180080	Eloy Valenzuela	120,43
23180070	Sabana De Torres	134,77
23190560	San Rafael	135,13
23185010	Villa Leiva	128,11

**Apéndice 15.** Parámetros de ajuste a la regresión por regiones.

REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0,94	0,18	0,66	0,83
Caribe (R2)	24,85	0,22	0,5	0,1
Pacífico (R3)	13,92	0,19	0,58	0,2
Orinoquía (R4)	5,53	0,17	0,63	0,42

**Apéndice 16.** Curvas IDF- Estación Aguasclaras.



**Tabla de intensidades - Tiempo de duración**

Período de retorno	Duración de la lluvia [minutos]												
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	180
Años	Duración de la lluvia [horas]												
	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1	3
2	313,2	198,2	151,7	125,4	108,3	96,0	86,7	79,4	73,5	68,5	64,3	60,8	29,4
5	369,4	233,8	178,9	147,9	127,7	113,2	102,3	93,6	86,6	80,8	75,9	71,6	34,7
10	418,4	264,8	202,6	167,6	144,6	128,2	115,8	106,1	98,1	91,5	86,0	81,2	39,3
25	493,5	312,3	239,0	197,7	170,6	151,2	136,6	125,1	115,7	108,0	101,4	95,7	46,4
50	559,0	353,8	270,7	223,9	193,3	171,3	154,8	141,7	131,1	122,3	114,8	108,4	52,5
100	633,3	400,8	306,7	253,7	218,9	194,1	175,3	160,5	148,5	138,6	130,1	122,9	59,5
500	846,2	535,5	409,8	338,9	292,5	259,3	234,3	214,5	198,4	185,1	173,8	164,1	79,5

Apéndice 17. Curvas IDF- Estación El Establo.

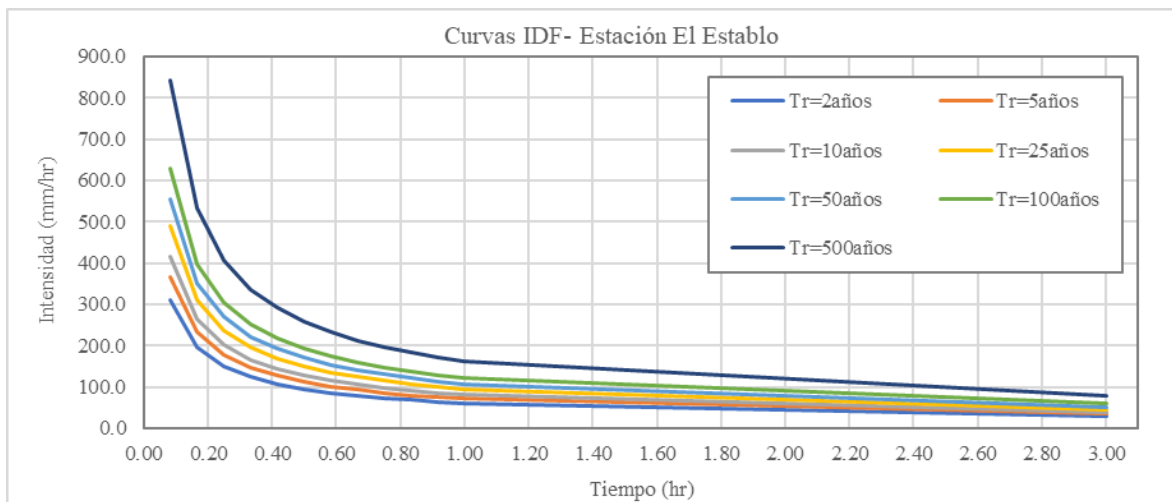


Tabla de intensidades - Tiempo de duración													
Período de retorno	Duración de la lluvia [minutos]												
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	180
Años	Duración de la lluvia [horas]												
	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1	3
2	311,7	197,3	150,9	124,8	107,7	95,5	86,3	79,0	73,1	68,2	64,0	60,5	29,3
5	367,6	232,6	178,0	147,2	127,1	112,7	101,8	93,2	86,2	80,4	75,5	71,3	34,5
10	416,4	263,5	201,7	166,8	144,0	127,6	115,3	105,6	97,7	91,1	85,5	80,8	39,1
25	491,1	310,8	237,8	196,7	169,8	150,5	136,0	124,5	115,2	107,4	100,9	95,3	46,1

<b>50</b>	556,4	352,1	269,4	222,8	192,3	170,5	154,0	141,0	130,5	121,7	114,3	107,9	52,3
<b>100</b>	630,3	398,9	305,2	252,5	217,9	193,2	174,5	159,8	147,8	137,9	129,5	122,3	59,2
<b>500</b>	842,1	532,9	407,8	337,3	291,1	258,1	233,1	213,5	197,5	184,2	173,0	163,3	79,1

**Apéndice 18.** Curvas IDF- Estación El Porvenir.

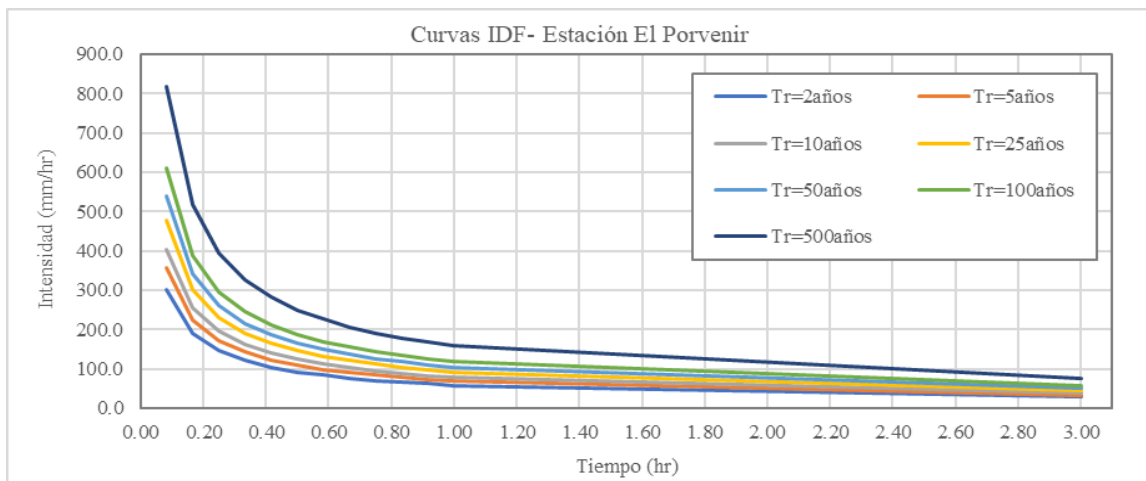


Tabla de intensidades - Tiempo de duración													
Período de retorno	Duración de la lluvia [minutos]												
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	180
Años	Duración de la lluvia [horas]												
	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1	3
<b>2</b>	302,7	191,6	146,6	121,2	104,6	92,8	83,8	76,7	71,0	66,2	62,2	58,7	28,4
<b>5</b>	357,0	225,9	172,9	143,0	123,4	109,4	98,8	90,5	83,7	78,1	73,3	69,2	33,5
<b>10</b>	404,4	255,9	195,9	162,0	139,8	124,0	112,0	102,5	94,8	88,5	83,1	78,4	38,0
<b>25</b>	476,9	301,8	231,0	191,0	164,9	146,2	132,0	120,9	111,9	104,3	98,0	92,5	44,8
<b>50</b>	540,3	342,0	261,7	216,4	186,8	165,6	149,6	137,0	126,7	118,2	111,0	104,8	50,8
<b>100</b>	612,1	387,4	296,4	245,2	211,6	187,6	169,5	155,2	143,6	133,9	125,8	118,7	57,5
<b>500</b>	817,8	517,6	396,0	327,6	282,7	250,6	226,4	207,3	191,8	178,9	168,0	158,6	76,8

**Apéndice 19.** Curvas IDF- Estación Eloy Valenzuela.

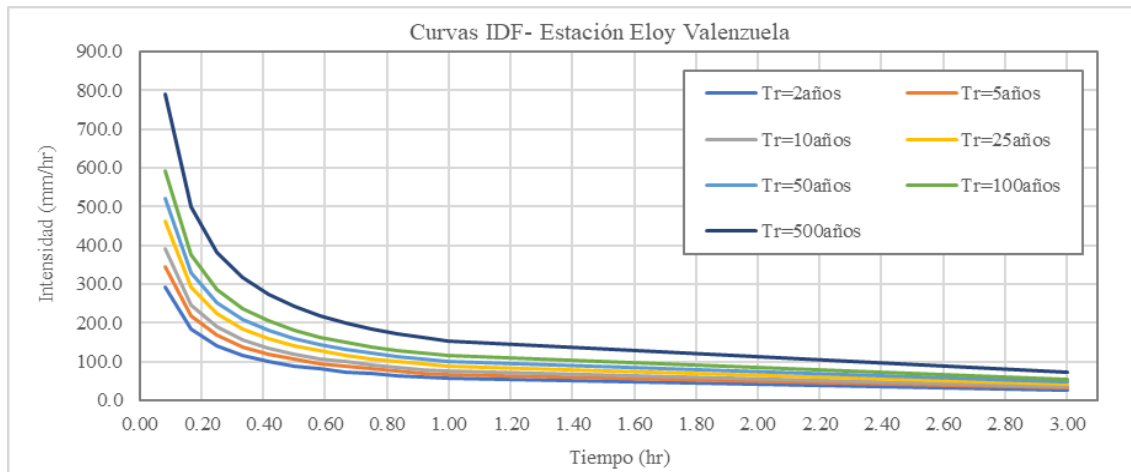


Tabla de intensidades - Tiempo de duración													
Período de retorno	Duración de la lluvia [minutos]												
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	180
Años	Duración de la lluvia [horas]												
	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1	3
2	292,8	185,3	141,8	117,3	101,2	89,7	81,1	74,2	68,7	64,1	60,2	56,8	27,5
5	345,3	218,5	167,2	138,3	119,4	105,8	95,6	87,5	81,0	75,5	70,9	67,0	32,4
10	391,2	247,6	189,4	156,7	135,2	119,9	108,3	99,2	91,7	85,6	80,4	75,9	36,7
25	461,3	292,0	223,4	184,8	159,5	141,4	127,7	116,9	108,2	100,9	94,8	89,5	43,3
50	522,6	330,8	253,1	209,3	180,7	160,2	144,7	132,5	122,6	114,3	107,4	101,4	49,1
100	592,1	374,7	286,7	237,1	204,7	181,5	163,9	150,1	138,9	129,5	121,6	114,8	55,6
500	791,0	500,6	383,1	316,8	273,4	242,4	219,0	200,5	185,5	173,1	162,5	153,4	74,3

**Apéndice 20.** Curvas IDF- Estación Sabana de Torres.

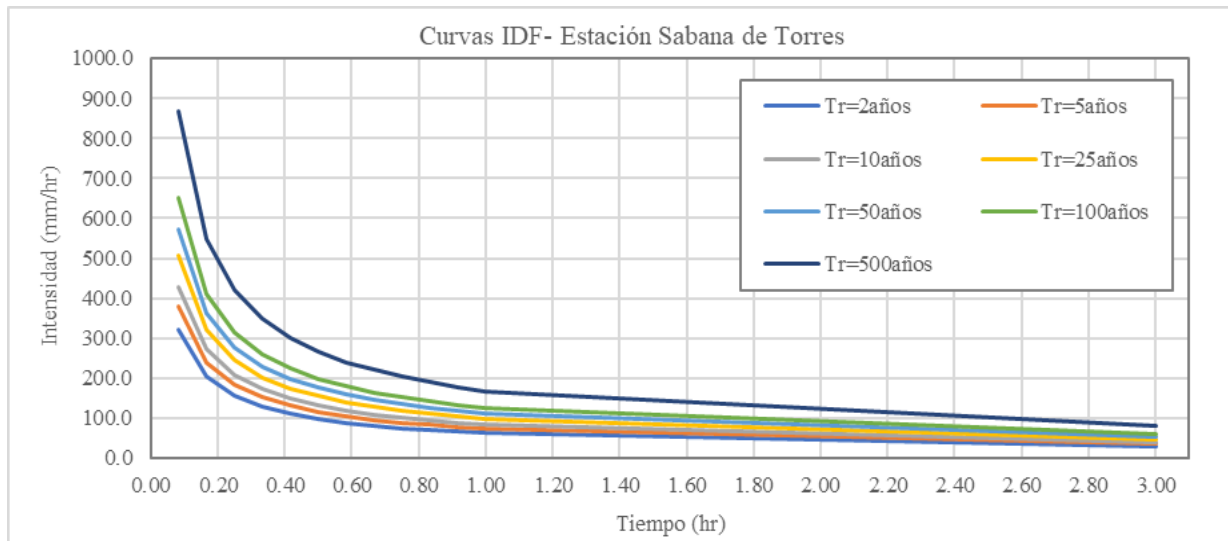


Tabla de intensidades - Tiempo de duración													
Período de retorno	Duración de la lluvia [minutos]												
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	180
Años	Duración de la lluvia [horas]												
	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1	3
2	321,5	203,5	155,7	128,8	111,1	98,5	89,0	81,5	75,4	70,3	66,0	62,4	30,2
5	379,1	239,9	183,6	151,8	131,1	116,2	105,0	96,1	88,9	82,9	77,9	73,5	35,6
10	429,5	271,8	208,0	172,0	148,5	131,6	118,9	108,9	100,7	94,0	88,2	83,3	40,3
25	506,5	320,6	245,3	202,9	175,1	155,2	140,2	128,4	118,8	110,8	104,1	98,2	47,6
50	573,8	363,2	277,9	229,8	198,4	175,9	158,9	145,5	134,6	125,5	117,9	111,3	53,9
100	650,1	411,4	314,8	260,4	224,7	199,2	180,0	164,8	152,5	142,2	133,5	126,1	61,1
500	868,5	549,7	420,6	347,9	300,2	266,2	240,4	220,2	203,7	190,0	178,4	168,5	81,6

**Apéndice 21.** Curvas IDF- Estación San Rafael.

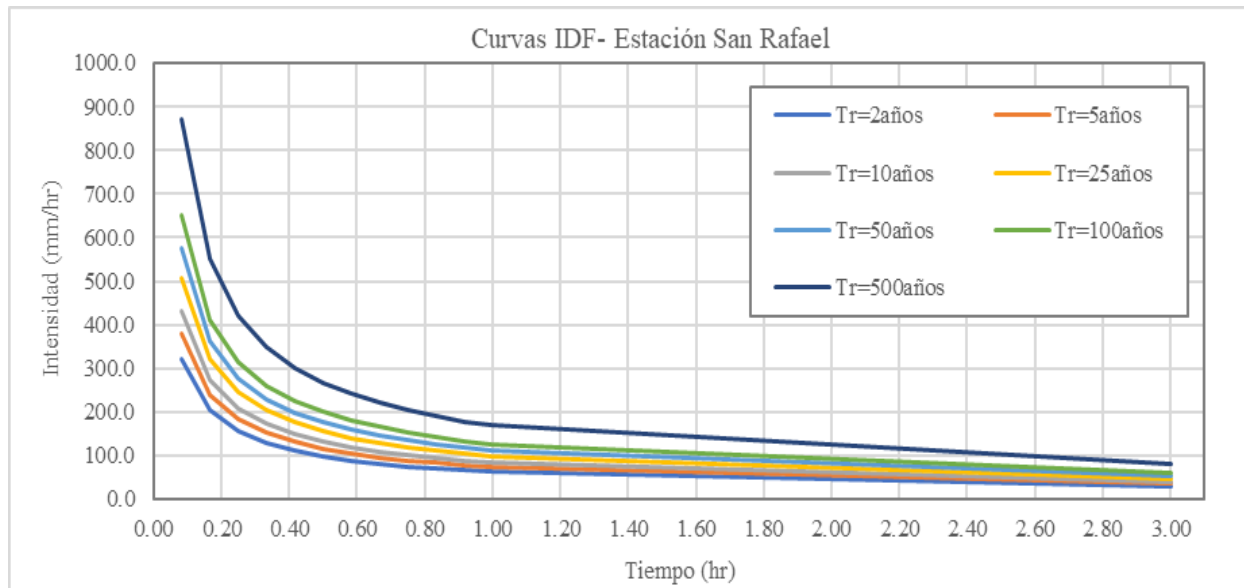


Tabla de intensidades - Tiempo de duración													
Período de retorno	Duración de la lluvia [minutos]												
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	180
Años	Duración de la lluvia [horas]												
	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1	3
2	322,2	203,9	156,0	129,0	111,4	98,7	89,2	81,7	75,6	70,5	66,2	62,5	30,3
5	379,9	240,5	184,0	152,2	131,3	116,4	105,2	96,3	89,1	83,1	78,1	73,7	35,7
10	430,4	272,4	208,4	172,4	148,8	131,9	119,2	109,1	100,9	94,2	88,4	83,5	40,4
25	507,6	321,3	245,8	203,3	175,5	155,6	140,5	128,7	119,0	111,1	104,3	98,5	47,7
50	575,1	363,9	278,5	230,3	198,8	176,3	159,2	145,8	134,9	125,8	118,1	111,5	54,0
100	651,5	412,3	315,5	260,9	225,2	199,7	180,4	165,1	152,8	142,5	133,8	126,4	61,2
500	870,4	550,8	421,5	348,6	300,9	266,8	241,0	220,6	204,1	190,4	178,8	168,8	81,8

**Apéndice 22.** Curvas IDF- Estación Villa Leiva.

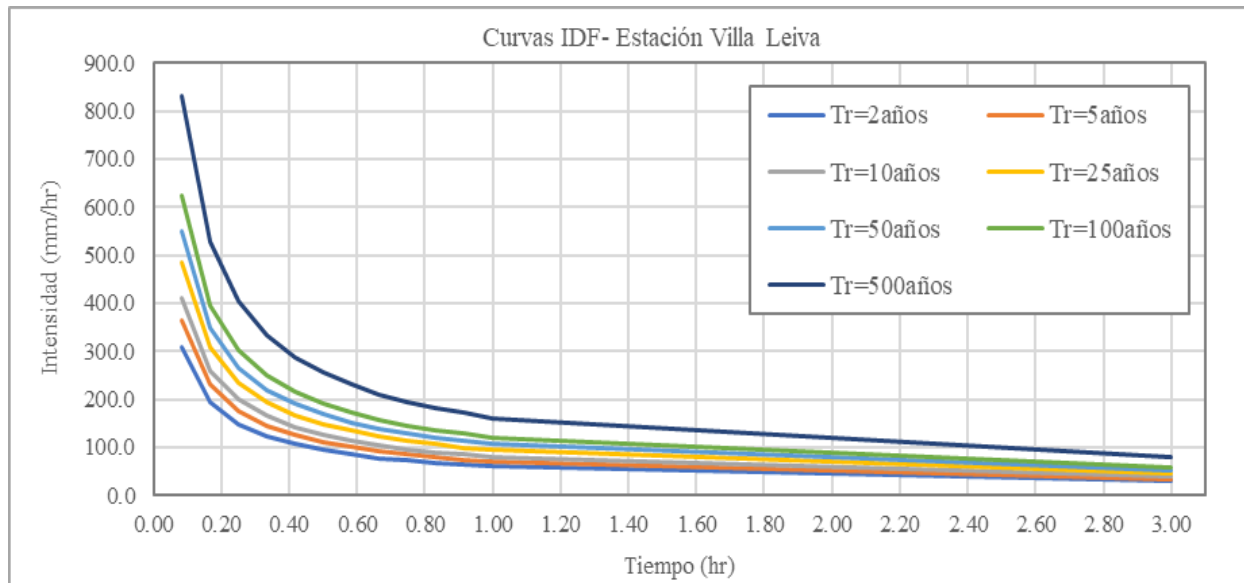


Tabla de intensidades - Tiempo de duración													
Período de retorno	Duración de la lluvia [minutos]												
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	180
Años	Duración de la lluvia [horas]												
	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1	3
2	308,2	195,1	149,3	123,5	106,6	94,5	85,3	78,1	72,3	67,4	63,3	59,8	29,0
5	363,5	230,1	176,0	145,6	125,7	111,4	100,6	92,1	85,3	79,5	74,7	70,5	34,1
10	411,8	260,6	199,4	164,9	142,4	126,2	114,0	104,4	96,6	90,1	84,6	79,9	38,7
25	485,6	307,4	235,2	194,5	167,9	148,8	134,4	123,1	113,9	106,2	99,8	94,2	45,6
50	550,2	348,2	266,4	220,4	190,2	168,6	152,3	139,5	129,0	120,4	113,0	106,7	51,7
100	623,3	394,5	301,8	249,6	215,5	191,0	172,6	158,0	146,2	136,4	128,0	120,9	58,6
500	832,7	527,0	403,3	333,5	287,9	255,2	230,5	211,1	195,3	182,2	171,1	161,5	78,2

**Apéndice 23.** Precipitación anual mínima a nivel multianual.

Código	Nombre	Precipitación Mínima Anual Acumulada (mm)
24060040	AGUASCLARAS	1556
23180080	ELOY VALENZUELA	1937
23180050	EL ESTABLO	1439.2

23180040	EL PORVENIR	1912
23180070	SABANA DE TORRES	2163
23190560	SAN RAFAEL	1715.9
23185010	VILLA LEIVA	1509.3
23180100	SITIO NUEVO	1425.3
23180110	PATURIA	1647
24065010	HACIENDA LAS BRISAS	2053.5
24050070	LA PUTANA	1591
23190440	EL NARANJO	1023
23190360	PORTACHUELO	1564
23190140	EL PLAYÓN	1348.1
23190510	EL CAOBO	1420
23190500	SAN ALBERTO	1409
23190110	EL LIBANO	1362

**Apéndice 24.** Precipitación anual promedio a nivel multianual.

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Precipitación Promedio Anual Acumulada (mm)</b>
24060040	AGUASCLARAS	2967.65
23180080	ELOY VALENZUELA	2548.25
23180050	EL ESTABLO	2620.57
23180040	EL PORVENIR	2862.62
23180070	SABANA DE TORRES	3214.45
23190560	SAN RAFAEL	2656.19
23185010	VILLA LEIVA	2645.37
23180100	SITIO NUEVO	2220.92
23180110	PATURIA	2784.36
24065010	HACIENDA LAS BRISAS	2740.83
24050070	LA PUTANA	2963.34
23190440	EL NARANJO	1806.64
23190360	PORTACHUELO	1970.23
23190140	EL PLAYÓN	1992.11
23190510	EL CAOBO	2142.47
23190500	SAN ALBERTO	2228.65

23190110	EL LIBANO	2442.82
----------	-----------	---------

**Apéndice 25.** Precipitación anual máxima a nivel multianual.

Código	Nombre	Precipitación Máxima Anual Acumulada (mm)
24060040	AGUASCLARAS	5728
23180080	ELOY VALENZUELA	3465
23180050	EL ESTABLO	3589
23180040	EL PORVENIR	4657
23180070	SABANA DE TORRES	4709.6
23190560	SAN RAFAEL	3848
23185010	VILLA LEIVA	3944.3
23180100	SITIO NUEVO	3309.2
23180110	PATURIA	4507
24065010	HACIENDA LAS BRISAS	3745
24050070	LA PUTANA	4425
23190440	EL NARANJO	2919.5
23190360	PORTACHUELO	2691.6
23190140	EL PLAYÓN	2713.5
23190510	EL CAOBO	3284
23190500	SAN ALBERTO	3211
23190110	EL LIBANO	3603.7

**Apéndice 26.** Propiedades físicas- Roca Blanda de la Fm. Colorados.

Unidad: Roca Blanda de la Fm. Colorados		
Parámetros	Calificación	Observaciones
Meteorización (Dearman, 1976)	Grado III	Moderadamente descompuestas
Resistencia a la compresión (ISRM)	5-25 MPa	Roca blanda
Calidad de roca (RQD)	25-50	Mala
índice de fracturamiento (Jv)	10 a > 30 fr/m <sup>3</sup>	Bloques muy pequeños
índice de resistencia geológico (GSI)	Entre 30 y 40	Fragmentos en bloque desajustados
<b>Clasificación del macizo rocoso (RMR)</b>		<b>Roca pobre</b>

**Apéndice 27.** Propiedades físicas- Roca Blanda de la Fm. Esmeralda.

<b>Unidad: Roca Blanda de la Fm. Esmeralda</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Calificación</b>	<b>Observaciones</b>
Meteorización (Dearman, 1976)	Grado III	Moderadamente descompuestas
Resistencia a la compresión (ISRM)	5-25 MPa	Roca Blanda
Calidad de roca (RQD)	25-50	Mala
índice de fracturamiento (Jv)	10 a 30 fr/m <sup>3</sup>	Bloques pequeños
índice de resistencia geológico (GSI)	Entre 30 y 40	Fragmentos en bloque desajustados
<b>Clasificación del macizo rocoso (RMR)</b>		<b>Roca pobre</b>

**Apéndice 28.** Propiedades físicas- Roca Blanda de la Fm. Lisama.

<b>Unidad: Roca Blanda de la Fm. Lisama</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Calificación</b>	<b>Observaciones</b>
Meteorización (Dearman, 1976)	Grado IV	Altamente descompuestas
Resistencia a la compresión (ISRM)	1-5 MPa	Roca muy blanda
Calidad de roca (RQD)	< 25	Muy mala
índice de fracturamiento (Jv)	> 30 fr/m <sup>3</sup>	Bloques muy pequeños
índice de resistencia geológico (GSI)	Entre 10 y 20	Desajustado
<b>Clasificación del macizo rocoso (RMR)</b>		<b>Roca muy pobre</b>

**Apéndice 29.** Propiedades físicas- Roca Blanda de la Fm. La Paz.

<b>Unidad: Roca Blanda de la Fm. La Paz</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Calificación</b>	<b>Observaciones</b>
Meteorización (Dearman, 1976)	Grado III	Moderadamente descompuestas
Resistencia a la compresión (ISRM)	5-25 MPa	Roca blanda
Calidad de roca (RQD)	25-50	Mala
índice de fracturamiento (Jv)	31 a 60 fr/m <sup>3</sup>	Bloques muy pequeños
índice de resistencia geológico (GSI)	Entre 20 y 30	Desajustado a fragmentos en bloque desajustados
<b>Clasificación del macizo rocoso (RMR)</b>		<b>Roca pobre</b>

**Apéndice 30.** Propiedades físicas- Roca Blanda de la Fm. Mugrosa.

<b>Unidad: Roca Blanda de la Fm. Mugrosa</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Calificación</b>	<b>Observaciones</b>
Meteorización (Dearman, 1976)	Grado III	Moderadamente descompuestas
Resistencia a la compresión (ISRM)	5-25 MPa	Roca blanda
Calidad de roca (RQD)	25-50	Mala
índice de fracturamiento (Jv)	31 a 60 fr/m <sup>3</sup>	Bloques muy pequeños
índice de resistencia geológico (GSI)	Entre 20 y 30	Desajustado a fragmentos en bloque desajustados
<b>Clasificación del macizo rocoso (RMR)</b>		<b>Roca pobre</b>

**Apéndice 31.** Propiedades físicas- Roca Blanda del Grupo Mesa.

<b>Unidad: Roca Blanda del Grupo Mesa</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Calificación</b>	<b>Observaciones</b>
Meteorización (Dearman, 1976)	Grado III a Grado IV	Moderadamente descompuestas a altamente descompuestas
Resistencia a la compresión (ISRM)	0,25-5 MPa	Roca muy blanda a extremadamente blanda
Calidad de roca (RQD)	0-40	De mala a muy mala
índice de fracturamiento (Jv)	> 30 fr/m <sup>3</sup>	Bloques muy pequeños
índice de resistencia geológico (GSI)	Entre 10 y 30	Desajustado a fragmentos en bloque desajustados
<b>Clasificación del macizo rocoso (RMR)</b>		<b>Roca pobre a muy pobre</b>

**Apéndice 32.** Propiedades físicas- Roca Blanda del Grupo Real.

<b>Unidad: Roca Blanda del Grupo Real</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Calificación</b>	<b>Observaciones</b>
Meteorización (Dearman, 1976)	Grado IV a Grado V	Altamente descompuesta a completamente descompuesta

Resistencia a la compresión (ISRM)	0,25-5 MPa	Roca muy blanda a extremadamente blanda
Calidad de roca (RQD)	< 25	Muy mala
índice de fracturamiento (Jv)	> 30 fr/m <sup>3</sup>	Bloques muy pequeños
índice de resistencia geológico (GSI)	Entre 10 y 20	Desajustado
<b>Clasificación del macizo rocoso (RMR)</b>	<b>Roca pobre a muy pobre</b>	

**Apéndice 33.** Propiedades físicas- Roca Blanda de la Fm. Umir.

<b>Unidad: Roca Blanda de la Fm. Úmir</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Calificación</b>	<b>Observaciones</b>
Meteorización (Dearman, 1976)	Grado III	Moderamente descompuestas
Resistencia a la compresión (ISRM)	50-100 MPa	Roca dura
Calidad de roca (RQD)	25-50	Mala
índice de fracturamiento (Jv)	31 a 60 fr/m <sup>3</sup>	Bloques muy pequeños
índice de resistencia geológico (GSI)	Entre 30 y 40	Fragmentos en bloque desajustados
<b>Clasificación del macizo rocoso (RMR)</b>	<b>Roca pobre</b>	

**Apéndice 34.** Propiedades físicas- (St) Aluvial Depósito de Abanico.

<b>Unidad: (St) Aluvial Depósito de Abanico</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Calificación</b>	<b>Observaciones</b>
Espesor		1 a 3m
Granulometría		Heterogénea, pobremente sorteada, granos angulares de baja esfericidad.
Descripción textural		Conglomerados en matriz limo-arcillosa.
Origen del depósito		Por flujos, incluyendo también depósitos de movimientos en masa.
Resistencia a la compresión (ISRM)	0,05 a 0,10 Mpa	Suelo firme
Humedad natural o condición de humedad	No es constante	Dependerá del sector

**Apéndice 35.** Propiedades físicas- (St) Aluvial Depósito Fluviotorrencial.

<b>Unidad: (St)Aluvial Depósito Fluviotorrencial</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Calificación</b>	<b>Observaciones</b>
Espesor	1 a 5m	
Granulometría	Granos subangulares a subredondeados	
Descripción textural	Principalmente areniscas, chert muy meteorizados en matriz areno-limosa y en algunos sectores arcillosa. Clastosoportado, se reportan gravas, cantos y bloques sueltos.	
Característica	Tienen una geoforma ondulada y al ser disectada por drenajes superficiales, dan paso a un paisaje de valle en “U” o abiertos.	
Resistencia a la compresión (ISRM)	0,05 a 0,10 Mpa	Suelo firme

**Apéndice 36.** Propiedades físicas- (St) Aluvial Depósito de Glacis.

<b>Unidad: (St)Aluvial Depósito de Glacis</b>	
<b>Parámetros</b>	<b>Observaciones</b>
Espesor	1 a 3m
Granulometría	Granos subangulares y de esfericidad baja, sorteado medio.
Descripción textural	Textura areno-limosa en matriz lodo soportada. Las arenas son de grano fino y se reportan gravas.
Origen del depósito	Por flujos, incluyendo también depósitos de movimientos en masa.
Humedad natural o condición de humedad	Seco
Permeabilidad	Baja a moderada

**Apéndice 37.** Propiedades físicas- (St) Aluvial de Lechos Fluviales.

<b>Unidad: (St)Aluvial de Lechos Fluviales</b>	
<b>Parámetros</b>	<b>Observaciones</b>
Espesor	1 a 3m
Granulometría	Heterogénea, mal sorteado
Descripción textural	Matriz areno- limosa con presencia de arenas, gravas, cantos y hasta bloques.
Origen del depósito	Por transporte y acumulación a lo largo de los cauces, se consideran recientes.

Humedad natural o condición de humedad	Seco
Permeabilidad	Baja
Compacidad	Media

**Apéndice 38.** Propiedades físicas- (St) Aluvial de Terraza.

<b>Unidad: (St)Aluvial de Terraza</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Calificación</b>	<b>Observaciones</b>
Granulometría	Granos de esfericidad baja, subredondeados a redondeados	
Descripción textural	Suelo limo-arcilloso, que recubre un depósito de arenas de grano fino, con niveles de gravas envueltas en arenas más gruesas y clastos correspondientes a fragmentos de roca sedimentaria.	
Origen del depósito	Por flujos, incluyendo también depósitos de movimientos en masa.	
Resistencia a la compresión (ISRM)	0,05 a 0,10 Mpa	Suelo firme
Humedad natural o condición de humedad	Seco	
Permeabilidad	Alta	
Compacidad	Media a baja	

**Apéndice 39.** Propiedades físicas- (St) Aluvial de Terraza Baja.

<b>Unidad: (St)Aluvial de Terraza Baja</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Calificación</b>	<b>Observaciones</b>
Espesor	0,5 a 1m	
Descripción textural	Suelo conformado principalmente por arcillas, limos y arenas de grano muy fino con una variación de color entre gris claro a pardo rojizo a causa de un ambiente oxidante y consistencia blanda, presentando intercalaciones de materia orgánica en los costados.	
Resistencia a la compresión (ISRM)	0,05 a 0,10 Mpa	Suelo firme

**Apéndice 40.** Propiedades físicas- (St) Coluvio- Aluvial.

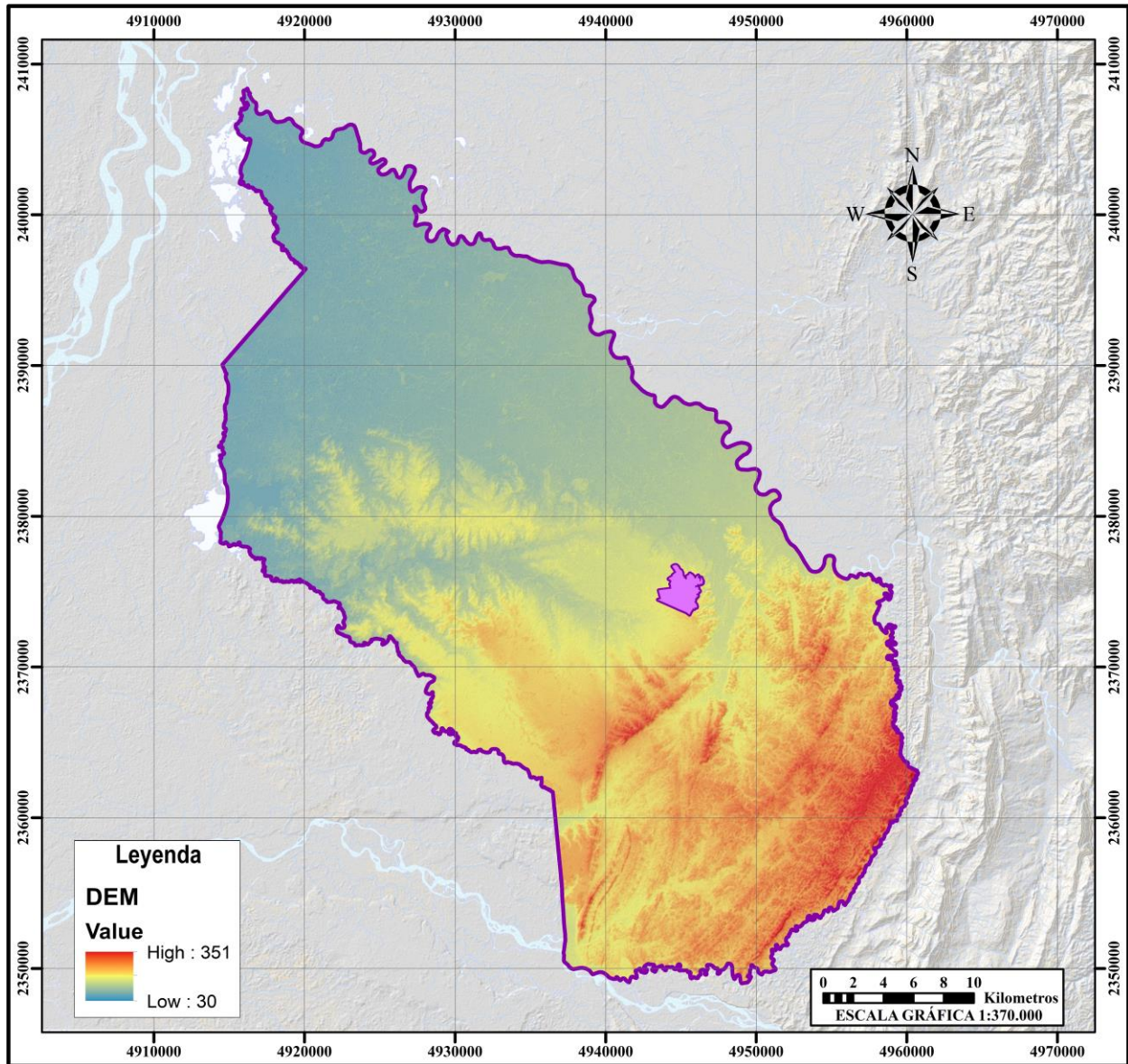
<b>Unidad: (St) Coluvio-Aluvial</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Calificación</b>	<b>Observaciones</b>
Granulometría	Bien sorteado, con granos subangulares a subredondeados.	

Descripción textural	Suelo de matriz grano-soportada de consistencia media, con presencias de gravas, cantos y bloques.	
Origen del depósito	Por acumulación de material ante fenómenos como reptación o erosión fluvial.	
Resistencia a la compresión (ISRM)	0,05 a 0,25 Mpa	Suelo firme a rígido
Humedad natural o condición de humedad	Seco	

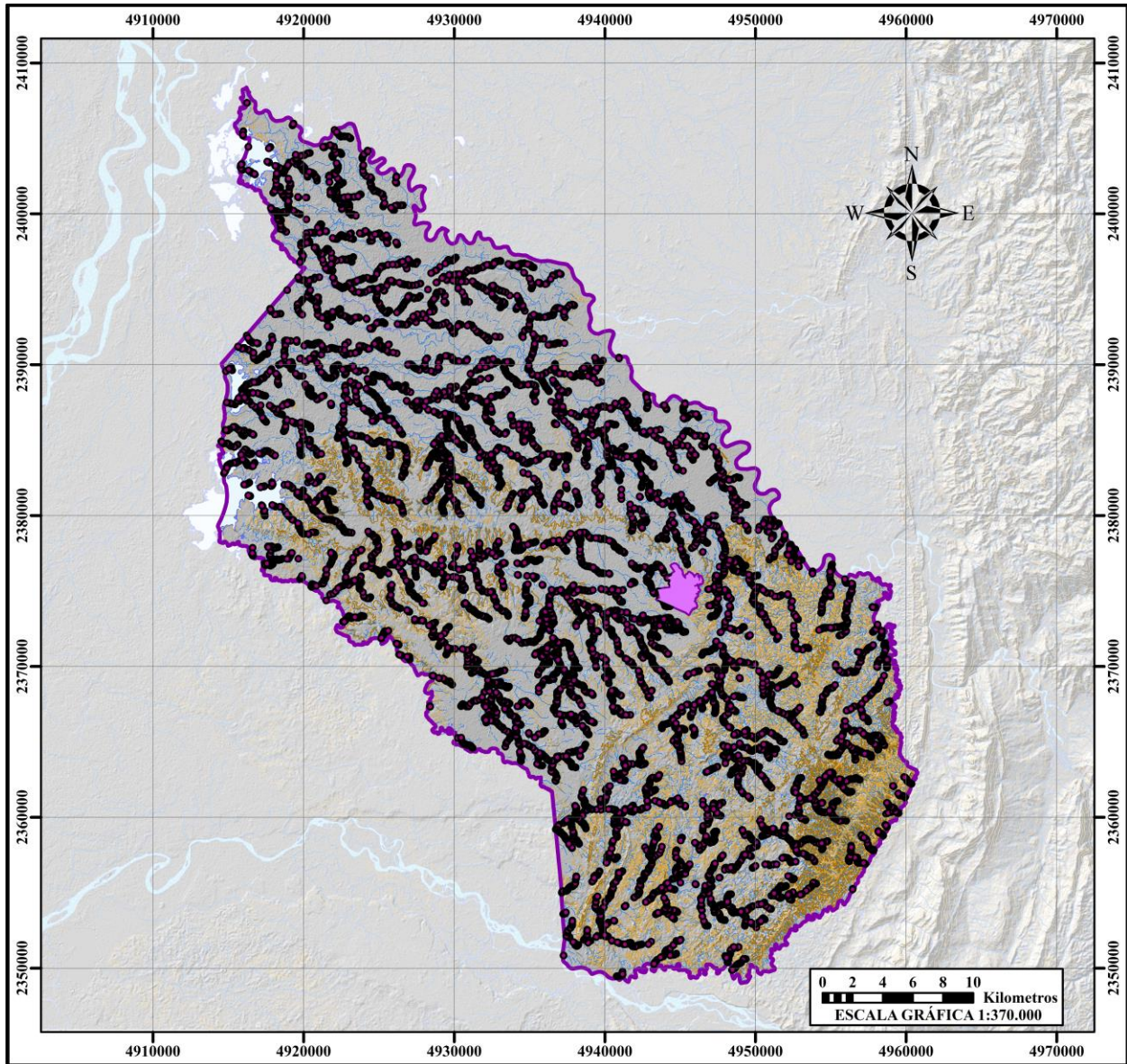
**Apéndice 41.** Propiedades físicas- (St) Lagunar Depósito Fluviolacustre.

<b>Unidad: (St) Lagunar Depósito Fluviolacustre</b>	
<b>Parámetros</b>	<b>Observaciones</b>
Granulometría	Granos subredondeados a redondeados, no esféricos, bien sorteados.
Descripción textural	Se encuentran sedimentos como limos color gris a marrón oscuro y arenas finas.
Origen del depósito	Por flujos, incluyendo también depósitos de movimientos en masa.
Humedad natural o condición de humedad	Seco
Característica	Depósito reciente, de morfología suave y aplanada, con estructuras onduladas masivas.
Permeabilidad	Media

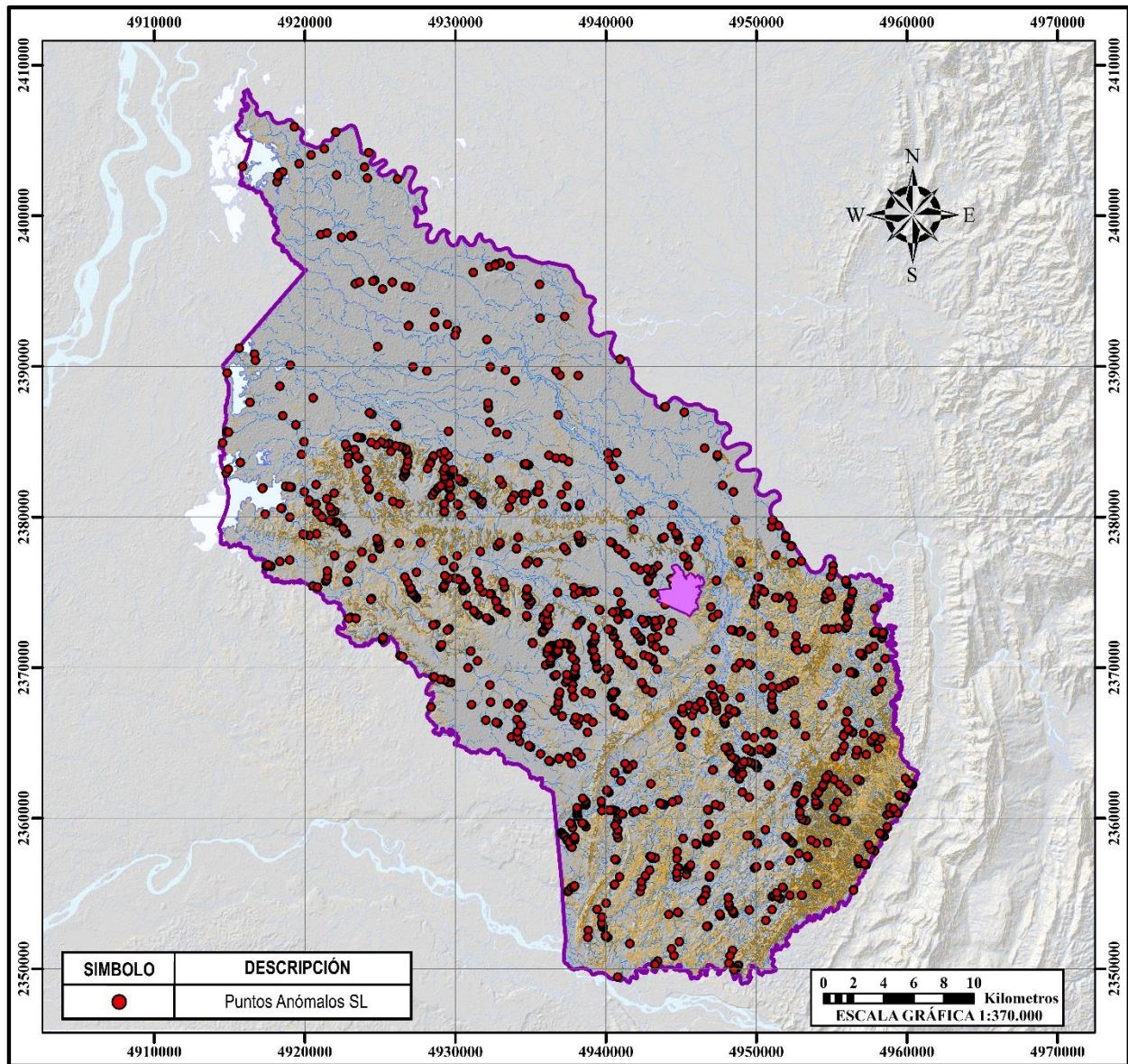
Apéndice 42. Modelo Digital de Elevación (DEM).



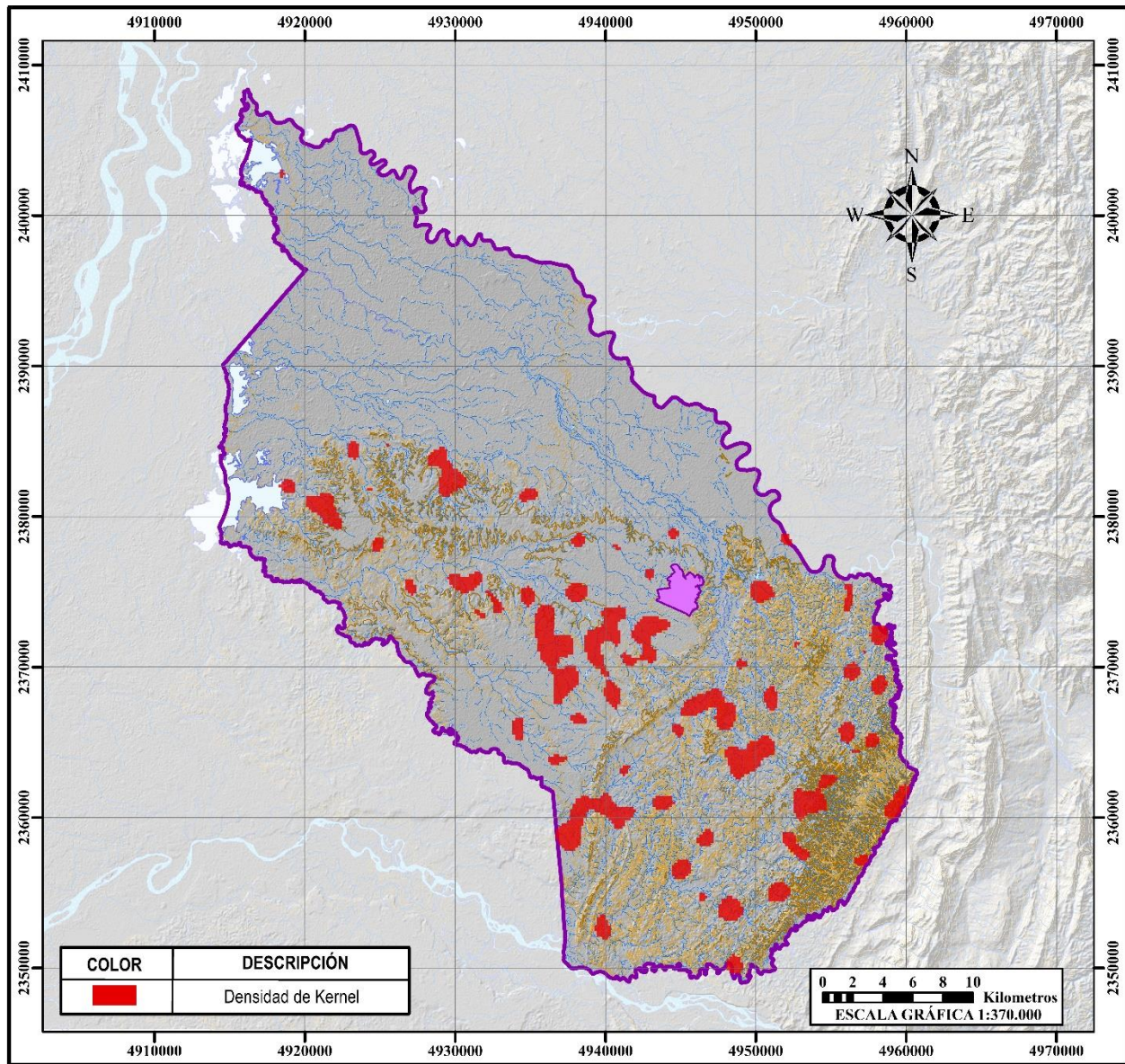
Apéndice 43. Puntos valorados en el índice del Gradiente de Longitud (SL).



Apéndice 44. Valores anómalos SL.



Apéndice 45. Densidad de Kernel.



Apéndice 46. Coberturas de tierra con susceptibilidad media y baja.

Cod	Descripción	Área (Ha)	Porcentaje (%)
1.1.1	Tejido urbano continuo	11,97	0,01
1.1.2	Tejido urbano discontinuo	268,56	0,19
1.2.1.1	Zonas industriales	183,25	0,13
1.2.2.1	Red vial y territorios asociados	92,68	0,07
1.2.4.2	Aeropuerto con infraestructura asociada	11,96	0,01
1.3.1.2	Explotación de hidrocarburos	281,89	0,2

1.3.1.5	Explotación de materiales de construcción	156,1	0,11
2.1.1	Otros cultivos transitorios	373,21	0,27
2.1.2	Cereales	2922,69	2,09
2.2.1	Cultivos permanentes herbáceos	181,41	0,13
2.2.3	Cultivos permanentes arbóreos	24256,46	17,38
2.3.2	Pastos arbolados	3459,6	2,48
2.4.1	Mosaico de cultivos	19,39	0,01
2.4.2	Mosaico de pastos y cultivos	206,46	0,15
2.4.5	Mosaico de cultivos y espacios naturales	51,43	0,04
3.1.1.1	Bosque denso alto	8747,24	6,27
3.1.1.2	Bosque denso bajo	9967,3	7,14
3.1.2.1	Bosque abierto alto	4122,45	2,95
3.1.2.2	Bosque abierto bajo	72,18	0,05
3.1.3.1	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	3337,62	2,39
3.1.3.2	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	3742,44	2,68
3.1.5	Plantación forestal	138,14	0,1
3.2.1.1	Herbazal denso	3028,92	2,17
3.2.1.2	Herbazal abierto	246,56	0,18
3.2.2.1	Arbustal denso	3268,18	2,34
3.2.2.2	Arbustal abierto	3165,89	2,27
3.2.3	Vegetación secundaria o en transición	3387,39	2,43
3.3.1.2	Arenales	106,47	0,08
3.3.4	Zonas quemadas	15	0,01
5.1.4.1	Embalses	31,75	0,02
5.1.4.3	Estanques para acuicultura continental	32,55	0,02

**Apéndice 47.** Susceptibilidad según registro histórico.

Descripción	Peso
Zonas inundadas	5
Zonas sin registro	1

**Apéndice 48.** Susceptibilidad según geomorfología.

Ambiente	Unidad	Descripción	Peso
----------	--------	-------------	------

Ambiente Fluvial	Llanuras Inundación	Cubeta de desborde	5
Ambiente Fluvial	Llanuras Inundación	Cubeta de decantación	5
Ambiente Fluvial	Llanuras Inundación	Napa de desborde	5
Ambiente Fluvial	Llanuras Inundación	Napa de desborde nivel superior	5
Ambiente Fluvial	Llanuras Inundación	Albardón	5
Ambiente Fluvial	Llanuras Inundación	Complejo de orillares	5
Ambiente Fluvial	Llanuras Inundación	Vega	5
Ambiente Fluvial	Llanuras Inundación	Meandro abandonado	5
Ambiente Fluvial	Llanuras Inundación	Bajo	4
Ambiente Fluvial	Llanuras Inundación	Plano	4
Ambiente Fluvial	Abanico Fluvial	Cubeta en abanico reciente	3
Ambiente Fluvial	Abanico Fluvial	Plano de abanico reciente	3
Ambiente Fluvial	Terrazas fluviales	Plano de terraza alta	3
Ambiente Fluvial	Terrazas fluviales	Plano de terraza baja	3
Ambiente Denudacional	Mesas	Cubetas en mesas residuales	2
Ambiente Fluvial	Abanico Fluvial	Cubeta en abanico antiguo	2
Ambiente Fluvial	Abanico Fluvial	Cubeta en abanico subreciente	2
Ambiente Fluvial	Abanico Fluvial	Talud de abanico antiguo	2
Ambiente Fluvial	Abanico Fluvial	Talud de abanico subreciente	2
Ambiente Fluvial	Abanico Fluvial	Plano de abanico antiguo	2
Ambiente Fluvial	Abanico Fluvial	Plano de abanico subreciente	2

Ambiente Fluvial	Glacis	Glacis piedemonte con materiales coluvioaluviales	2
Ambiente Fluvial	Lomas	Laderas en material Fluviotorrencial	2
Ambiente Fluvial	Llanuras Inundación	Vallecito coluvio-aluvial	2
Ambiente Fluvial	Terrazas fluviales	Plano de terraza baja	2
Ambiente Denudacional	Lomas	Ladera de lomas denudadas	1
Ambiente Denudacional	Lomas	Laderas de lomas estructurales denudadas	1
Ambiente Denudacional	Lomas	Cubetas en lomas denudadas	1
Ambiente Denudacional	Mesas	Cima de mesas residuales	1

**Apéndice 49.** Susceptibilidad según pendientes.

Descripción	Peso
Ligeramente plana	5
Ligeramente inclinada	4
Moderadamente inclinada	3
Inclinada	2
Empinada	2
Muy empinada	1
Escarpada	1
Fuertemente escarpada	1

**Apéndice 50.** Susceptibilidad según Unidades Geológicas de Superficie (UGS).

Descripción	Peso
Suelo Transportado Aluvial de Lechos Fluviales	4
Suelo Transportado Lagunar Depósito Fluviolacustre	4
Suelo Transportado Aluvial de Terraza	3
Suelo Transportado Aluvial de Terraza Baja	3
Suelo Transportado Aluvial Depósito de Abanico	2
Suelo Transportado Aluvial de Glacis	2
Suelo Transportado Aluvial Depósito Fluviotorrencial	2
Suelo Transportado Coluvio-Aluvial	2

Roca Blanda de la Formación Colorado	1
Roca Blanda de la Formación Esmeraldas	1
Roca Blanda de la Formación La Paz	1
Roca Blanda de la Formación Lisama	1
Roca Blanda de la Formación Mesa Miembro Inferior	1
Roca Blanda de la Formación Mesa Miembro Superior	1
Roca Blanda de la Formación Mugrosa	1
Roca Blanda de la Formación Real Miembro Inferior	1
Roca Blanda de la Formación Real Miembro Medio	1
Roca Blanda de la Formación Real Miembro Superior	1
Roca Blanda de la Formación Umir	1

**Apéndice 51.** Susceptibilidad según cobertura de tierras

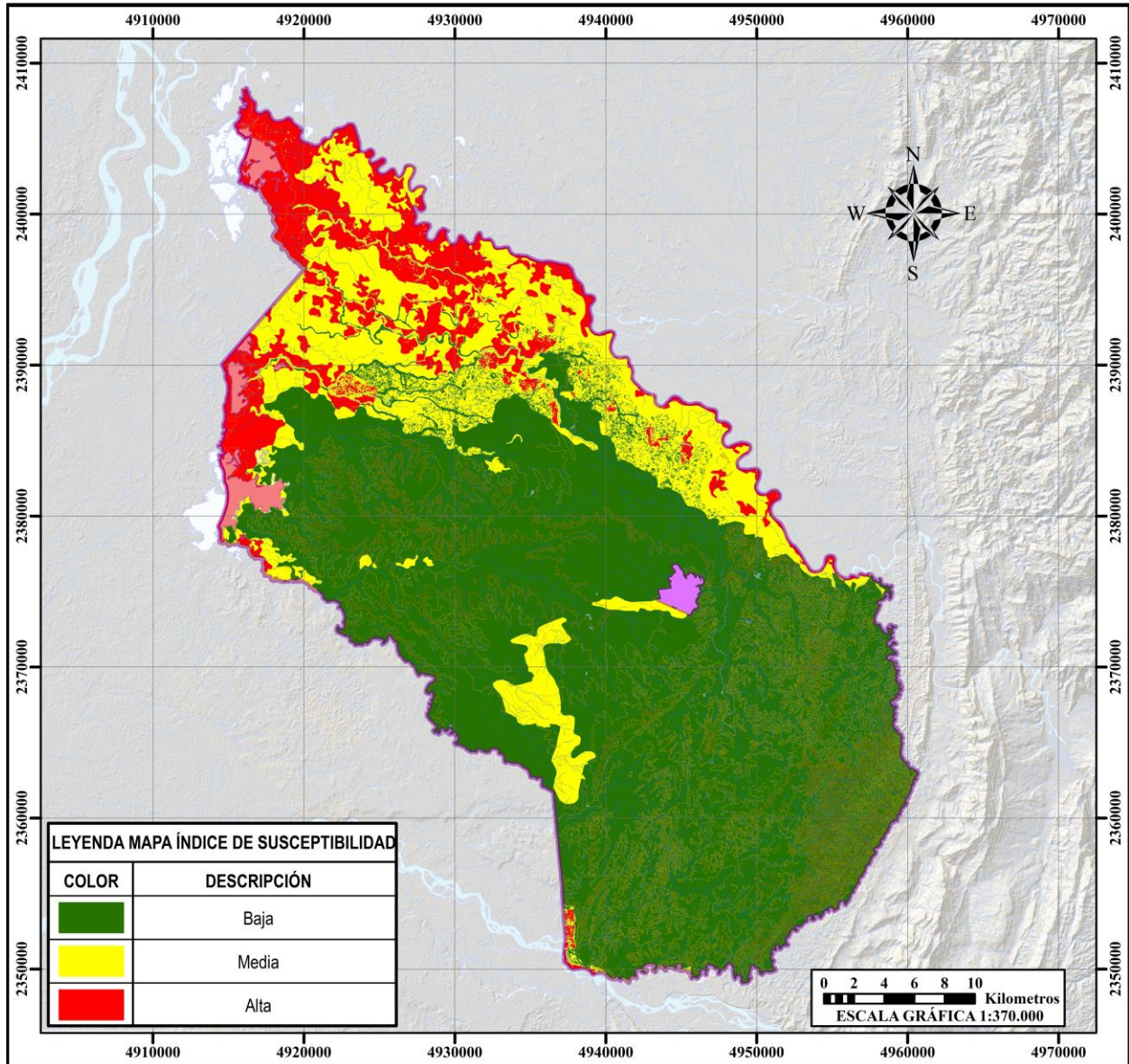
<b>Descripción</b>	<b>Peso</b>
Ríos (50 m)	5
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	5
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	5
Pastos limpios	4
Pastos enmalezados	4
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	4
Mosaico de pastos con espacios naturales	4
Bosque de galería y/o ripario	4
Tierras desnudas y degradadas	4
Zonas pantanosas	4
Otros cultivos transitorios	3
Cereales	3
Cultivos permanentes herbáceos	3
Cultivos permanentes arbóreos	3
Pastos arbolados	3
Mosaico de cultivos	3
Mosaico de pastos y cultivos	3
Mosaico de cultivos y espacios naturales	3
Herbazal abierto	3

Embalses	3
Zonas quemadas	3
Herbazal denso	3
Explotación de hidrocarburos	2
Explotación de materiales de construcción	2
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	2
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	2
Plantación forestal	2
Arbustal abierto	2
Vegetación secundaria o en transición	2
Arenales	2
Estanques para acuicultura continental	2
Red vial y territorios asociados	2
Aeropuerto con infraestructura asociada	2
Tejido urbano continuo	2
Tejido urbano discontinuo	2
Zonas industriales	2
Arbustal denso	2
Bosque denso alto	1
Bosque denso bajo	1
Bosque abierto alto	1
Bosque abierto bajo	1

**Apéndice 52.** Factor detonante.

<b>Precipitación Anual Acumulada (mm)</b>	<b>Peso</b>
< 2366 - 2576	1
2576- 2769	2
2769- 2970	3
2970- 3167	4
> 3167	5

Apéndice 53. Índice de susceptibilidad.



**Apéndice 54.** Clasificación de la amenaza por inundación- Escenario 1.

<b>Rango de valores para definir la amenaza- Esc 1</b>		
<b>Clase</b>	<b>Valores</b>	<b>Descripción</b>
1	1- 2,41044	Amenaza baja
2	2,41044- 3,17357	Amenaza media
3	3,17357- 5	Amenaza alta

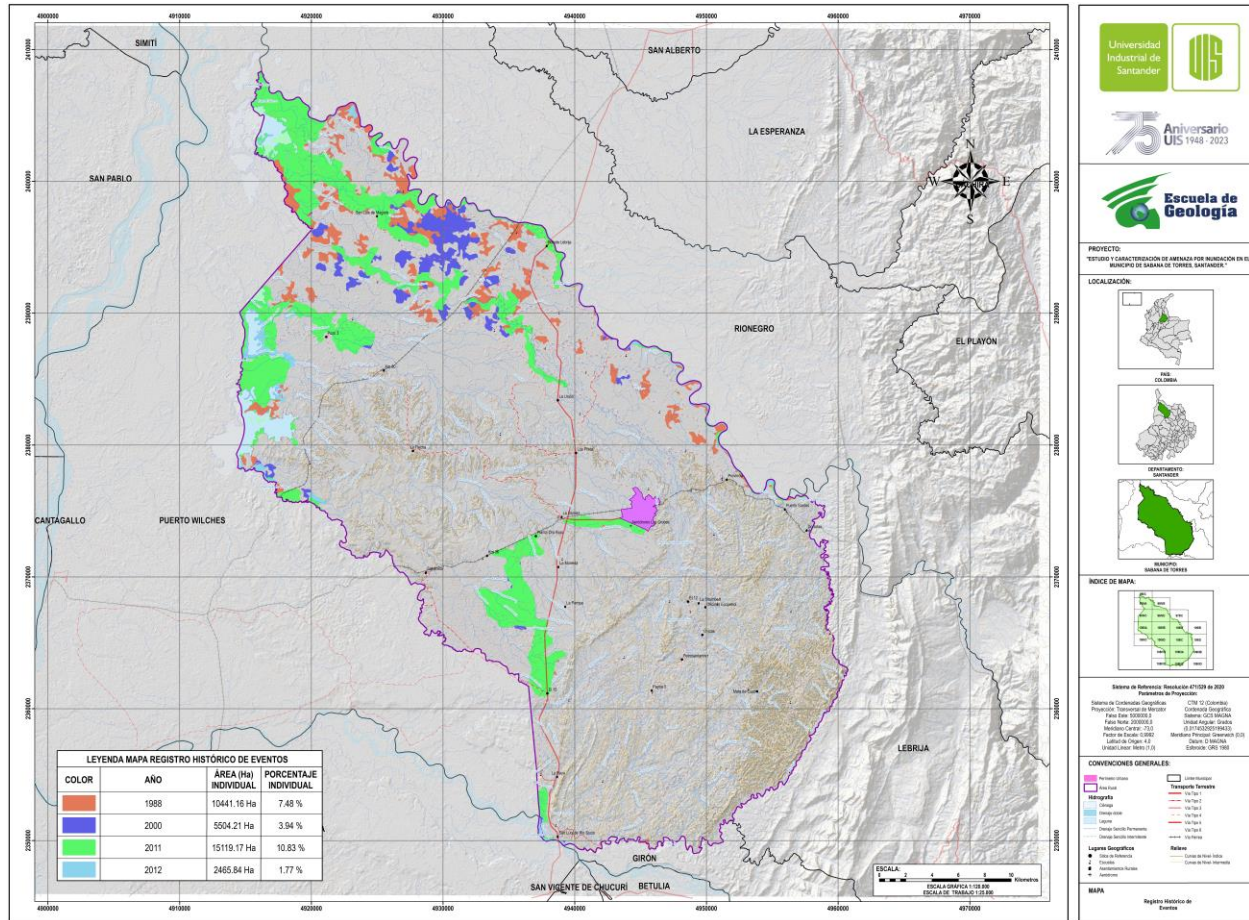
**Apéndice 55.** Clasificación de la amenaza por inundación- Escenario 2.

<b>Rango de valores para definir la amenaza- Esc 2</b>		
<b>Clase</b>	<b>Valores</b>	<b>Descripción</b>
1	1- 2,36203	Amenaza baja
2	2,36203- 3,04779	Amenaza media
3	3,04779- 5	Amenaza alta

**Apéndice 56.** Clasificación de la amenaza por inundación- Escenario 3.

<b>Rango de valores para definir la amenaza- Esc 3</b>		
<b>Clase</b>	<b>Valores</b>	<b>Descripción</b>
1	1- 2,31886	Amenaza baja
2	2,31886- 3,08200	Amenaza media
3	3,08200- 5	Amenaza alta

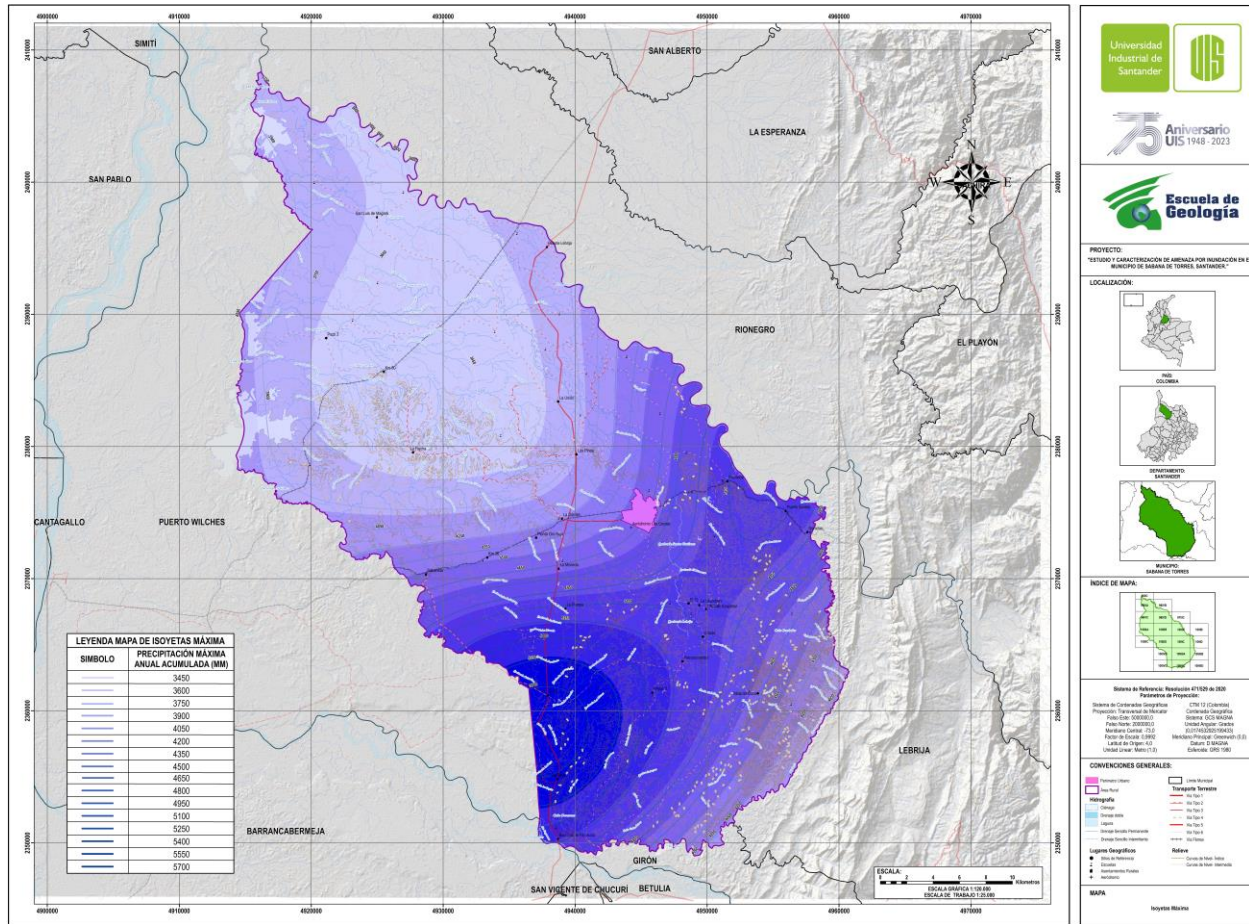
Apéndice 57. Mapa registro histórico de eventos.







Apéndice 60. Mapa isoyetas Máxima.



PROYECTO:  
"ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE AMENAZAS POR INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO DE SABANA DE TORRES, SANTANDER"

LOCALIZACIÓN:



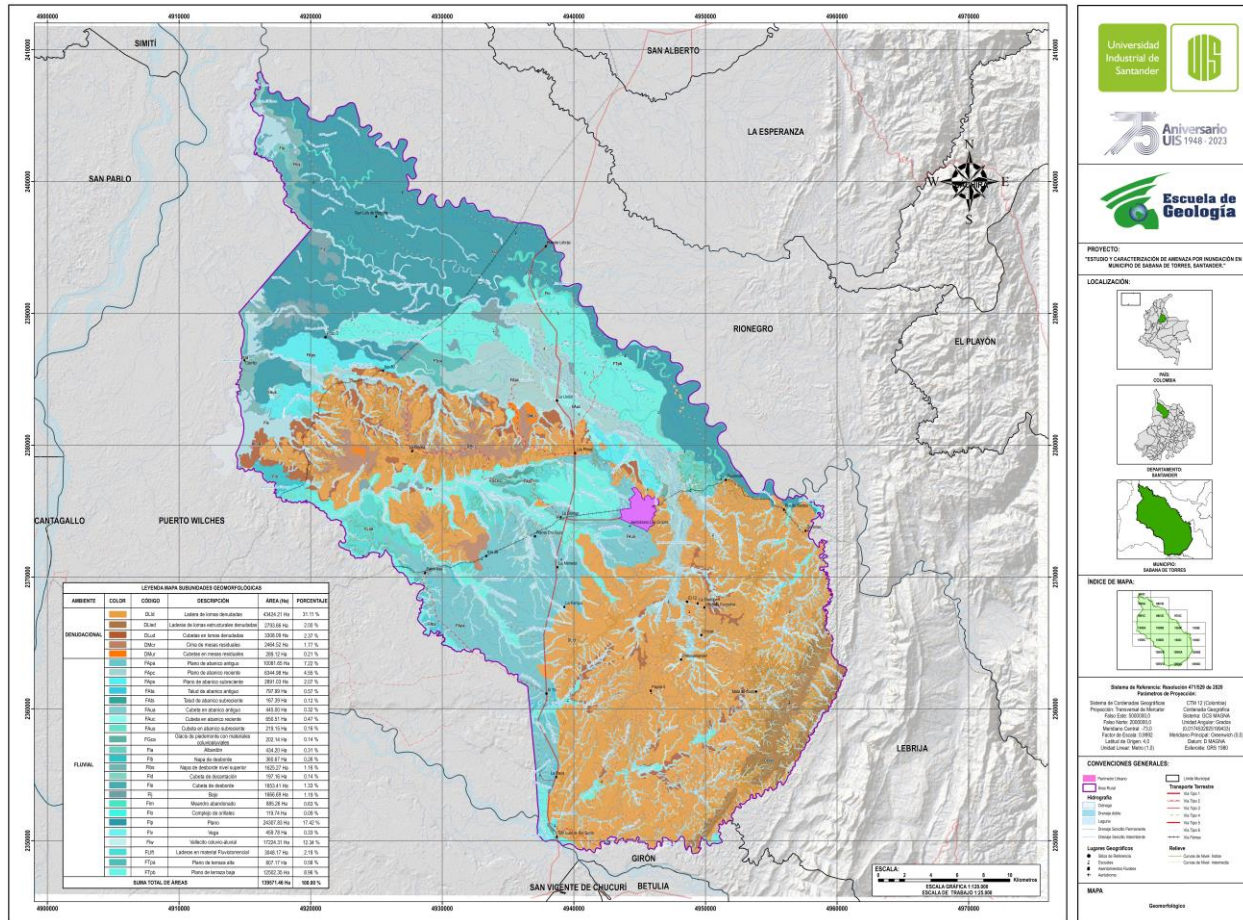
ÍNDICE DE MAPA:



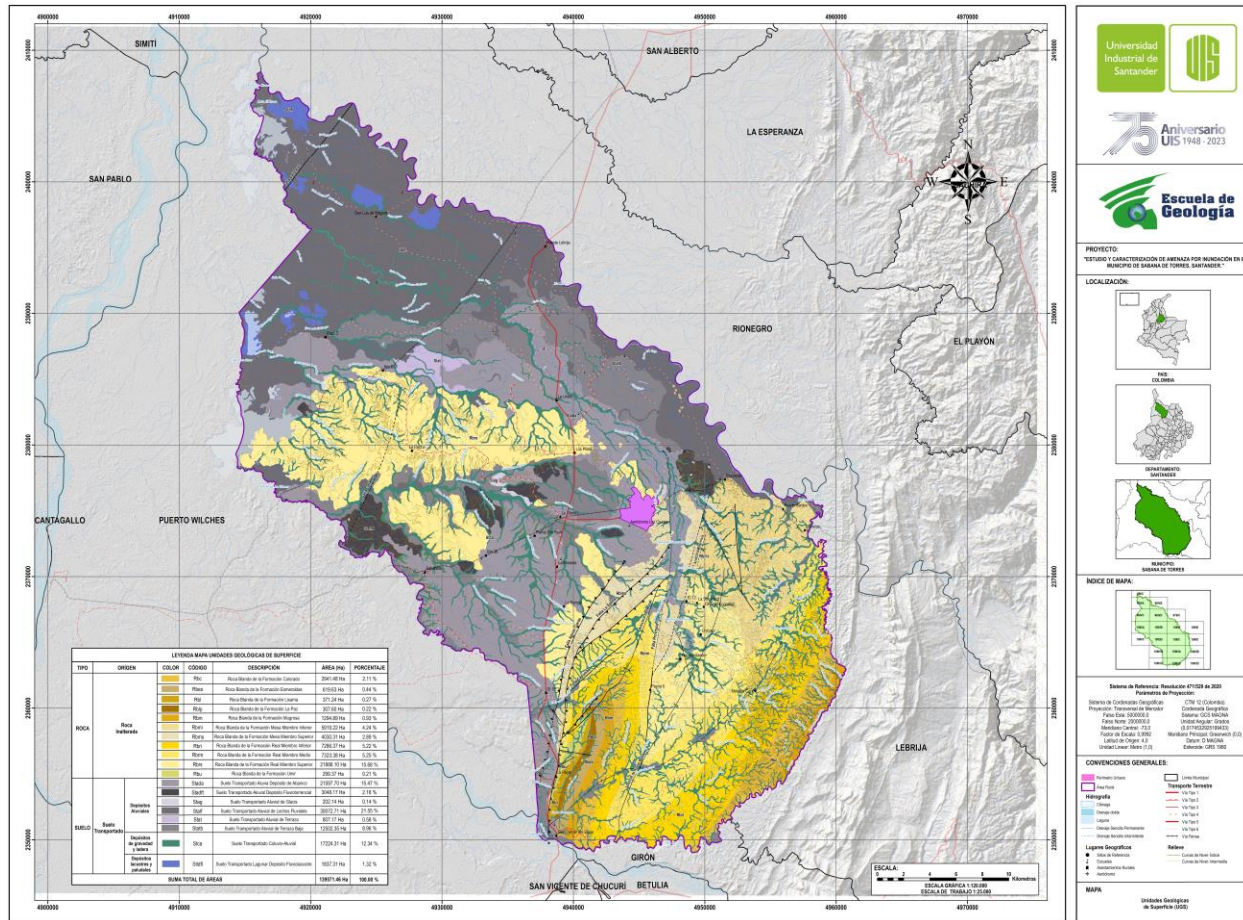
Barrera de Referencia: Resolución 41709 de 1990  
Autoridad de Planeación Municipal  
Escuela de Geografía - UIS (Santander)  
Proyecto: Investigación de Amenazas por Inundación  
Fecha: 2023  
Autores: [Names]  
Escala: 1:100,000  
Fecha de Edición: 2023

CONVENIONES GENERALES:  
 Símbolos: [List of symbols for roads, rivers, etc.]  
 Líneas Geográficas: [List of geographical lines]  
 Mapa: [Title]

Apéndice 61. Mapa geomorfológico.



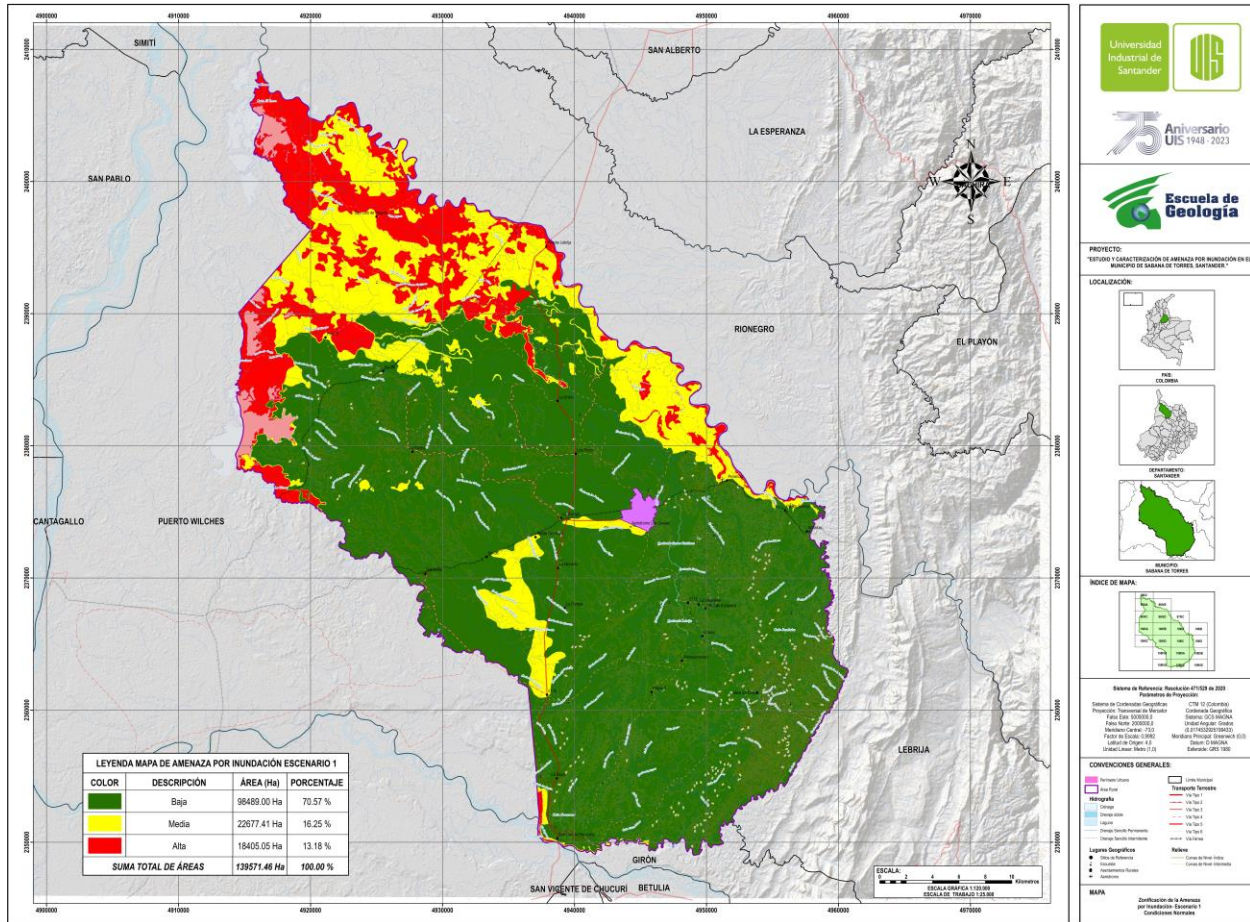
Apéndice 62. Mapa Unidades Geológicas de Superficie.







Apéndice 65. Mapa zonificación de la amenaza por inundación- Escenario 1.





Apéndice 67. Mapa zonificación de la amenaza por inundación- Escenario 3.

