

**EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A EVENTOS DE INUNDACIÓN
MEDIANTE CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS Y DE RELIEVE EN LAS
CUENCAS DEL RÍO GUARAPAS Y LAS CEIBAS DEPARTAMENTO DEL
HUILA**

**Presentado por:
ANDRES MAURICIO SALAZAR ANDRADE**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
Especialización en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas
Bogotá D. C., Mayo – 2020**

**EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A EVENTOS DE INUNDACIÓN
MEDIANTE CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS Y DE RELIEVE EN LAS
CUENCAS DEL RÍO GUARAPAS Y LAS CEIBAS**

Presentado por:

ANDRES MAURICIO SALAZAR ANDRADE

Presentado a:

JORGE ALBERTO SANCHEZ ESPINOSA

PhD. Ciencias Agrarias

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS

Especialización en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

Bogotá D. C., Mayo – 2020

DEDICATORIA

Un esfuerzo, una Ilusión y el desarrollo de un proceso académico son los principales objetivos de este estudio, que son fruto primeramente de Dios quien donó las virtudes de la paciencia, fortaleza e inteligencia para su culminación; el apoyo constante de mi familia, a mi madre quien siempre con sus consejos y preguntas me impulsaron a continuar, y finalmente a Angélica por su constante apoyo y amor para no desfallecer.

“El hombre sabio busca lo que desea en su interior; el no sabio, lo busca en los demás”

Confucio

AGRADECIMIENTOS

Muchas fueron las personas que hicieron un aporte al presente estudio, Sin embargo, ofrezco mis más sinceros agradecimientos a mis buenos amigos Jonathan Nogales y Pablo Andrés García, quienes, a través de sus aportes y consejos, enriquecieron el presente estudio.

A la Corporación del Alto Magdalena CAM, por su colaboración con el suministro de la información cartográfica base para el desarrollo de la investigación.

Al profesor Jaime Izquierdo Bautista por su disposición y colaboración en la estructuración del proceso de priorización y calificación de variables.

A Carlos Cardona por su disposición y apoyo continuo en cada una de las etapas finales del estudio.

Finalmente, al profesor Jorge Sánchez por su amable atención, disposición y colaboración con la revisión del presente trabajo de grado.

NOTA DE ACEPTACIÓN

=====

=====

=====

=====

JURADO 1

JURADO 2

JURADO 3

Bogotá D.C., 03 de agosto de 2020

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO.....	6
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE ECUACIONES	10
LISTA DE TABLAS	11
1. INTRODUCCIÓN	12
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 TRABAJOS RELACIONADOS CON LA TEMÁTICA A INVESTIGAR	14
2.2 TRABAJOS RELACIONADOS CON EL ÁREA DE ESTUDIO	18
3. JUSTIFICACIÓN	19
4. FORMULACION DEL PROBLEMA	23
4.1 Planteamiento Del Problema.....	23
4.2 Delimitación Del Problema	25
4.3 Descripción Del Problema	25
4.4 Preguntas Directrices Del Problema	26
5. OBJETIVOS.....	27
5.1 OBJETIVO GENERAL	27
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
6. MARCO TEÓRICO.....	28
6.1 Marco Conceptual.....	28
6.2 Marco Teórico	31
6.2.1 Descripción del Área de Estudio	31
6.2.2. Marco Legal.....	35
7. METODOLOGIA	36
7.1 Enfoque Investigativo	36
7.2 Morfometría Cuencas Guarapas y Ceibas.....	39
7.2.1 Área de la cuenca	39
7.2.2. Coeficiente de sinuosidad (Ks)	40
7.2.3. Densidad de la red hidrográfica (D)	40
7.2.4. Ancho medio de la cuenca (B).....	41
7.2.5. Elongación de la cuenca o coeficiente de forma (σ).....	41

7.2.6. Coeficiente de Compacidad (K_c)	41
7.2.7. Perfil longitudinal del cauce principal	42
7.2.8. Altura del cauce principal (H_{cauce})	43
7.2.9. Pendiente del cauce principal (I_{cauce})	43
7.2.10. Curva Hipsométrica.....	44
7.2.11. Altura de la cuenca (H_{cuenca})	45
7.2.12. Pendiente de la cuenca (I_{cuenca})	46
7.2.13. Numero de Orden de la cuenca (N)	46
7.2.14. Tiempos de Concentración (T_c).....	47
7.2.15. Mapas de Isócronas.....	50
7.3 Geología Cuenca Ceibas y Guarapas	52
7.3.1. Cuenca Hidrográfica Ceibas.....	52
7.3.1.1. Tectónica del Valle Superior del Magdalena.....	52
7.3.1.2. Plegamientos.....	53
7.3.1.3. Fallamiento (CAM, 2007).....	53
7.3.2. Cuenca Hidrográfica Guarapas.....	54
7.4 Geomorfología Cuenca Ceibas y Guarapas.....	55
7.4.1. Cuenca Hidrográfica Ceibas.....	55
7.4.2. Cuenca Hidrográfica Guarapas.....	58
7.5 Suelos Cuenca Ceibas y Guarapas	59
7.5.1. Cuenca Hidrográfica Ceibas (CAM, 2007).....	60
7.6 Valle de Inundación Herramienta Module Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness (MRVBF) (Gallant & Dowling, 2003)	65
7.7 Metodología (AHP) Analytic Hierarchy Process (Proceso Analítico Jerárquico) (Hurtado & Bruno, 2005).....	67
7.7 Herramienta Overlay - Superposición Ponderada (Arcgis for Desktop, 2020).....	69
8. RESULTADOS	71
8.1. Morfometría	71
8.1.1. Cuenca las Ceibas y Gurapas.....	71
8.2. Valles de Inundación Guarapas y Ceibas	85
8.3. Caracterización de Capas y valoración de Parámetros.....	87
8.3.1. Caracterización Capas Morfometría.....	88

8.3.2. Caracterización Capas Suelos.....	93
8.3.3. Caracterización Capas Complementarias	99
8.4. Análisis Jerárquico (AHP).	102
8.5. Modelo Conceptual Herramienta Argics y Flujograma.....	104
8.6. Zonificación y caracterización zonas susceptibles a inundación	107
8.7. Determinación de áreas de susceptibilidad a nivel veredal	112
8.7.1. Veredas Cuenca Las Ceibas	113
8.7.1.1. Susceptibilidad Baja	113
8.7.1.2. Susceptibilidad Moderada.....	114
8.7.1.3. Susceptibilidad Alta	114
8.7.2. Veredas Cuenca Guarapas	115
8.7.2.1. Susceptibilidad Alta	115
8.7.2.2. Susceptibilidad Moderada.....	117
8.7.2.3. Susceptibilidad Baja	118
8.8. Validación espacial del modelo conceptual y Comparativa POMCH Guarapa y Ceibas	121
8.9. Medidas de prevención y/o mitigación para los niveles de susceptibilidad Alta y Media.	124
9. CONCLUSIONES.....	126
10. RECOMENDACIONES.....	128
11. BIBLIOGRAFÍA.....	129

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización Cartográfica Ceibas.....	33
Figura 2. Localización Cartográfica Cuencas Guarapas.....	34
Figura 3. Herramienta Flow Length Software Argics Fuente: Propia	51
Figura 4. Herramienta Map Algebra Software Argics Fuente: Propia	51
Figura 5. Curvas Hipsométricas Cuenca Río Las Ceibas. Fuente: (Propia 2020)	77
Figura 6. Curvas Hipsométricas Cuenca Río Guarapas. Fuente: (Propia 2020)	78
Figura 7. Perfil Longitudinal Cuenca Río Las Ceibas. Fuente: (Propia 2020)	80
Figura 8. Perfil Longitudinal Cuenca Río Guarapas. Fuente: (Propia 2020)	80
Figura 9. Distribución de Vertiente Guarapas - Alos Palsar. Fuente: (Propia 2020).....	81
Figura 10. Distribución de Vertiente Ceibas - Alos Palsar. Fuente: (Propia 2020).....	82
Figura 11. Red de Drenajes Guarapas - Alos Palsar. Fuente: (Propia 2020)	83
Figura 12. Red de Drenajes Ceibas - Alos Palsar. Fuente: (Propia 2020)	83
Figura 13. Mapas de Isócronas Ceibas. Fuente: (Propia 2020)	84
Figura 14. Mapas de Isócronas Guarapas. Fuente: (Propia 2020)	84
Figura 15. Mapas Valles de Inundación Ceibas y Gurapas. Fuente: (Propia 2020)	86
Figura 16. Susceptibilidad Morfometría Las Ceibas. Fuente: (Propia 2020)	90
Figura 17. Susceptibilidad Morfometría Guarapas. Fuente: (Propia 2020).....	92
Figura 18. Susceptibilidad Suelos Las Ceibas. Fuente: (Propia 2020)	96
Figura 19. Susceptibilidad Suelos Cuenca Guarapas. Fuente: (Propia 2020).....	98
Figura 20. Model Builder Susceptibilidad Inundación Cuenca Ceibas. Fuente: (Propia 2020)	104
Figura 21. Model Builder Susceptibilidad Inundación Cuenca Guarapas. Fuente: (Propia 2020)	105
Figura 22. Modelo Conceptual Susceptibilidad Inundación. Fuente: (Propia 2020).....	106
Figura 23. Susceptibilidad Inundación Cuenca Las Ceibas. Fuente: (Propia 2020).....	107
Figura 24. Susceptibilidad Inundación Cuenca Guarapas. Fuente: (Propia 2020)	108
Figura 25. Veredas en Susceptibilidad Baja. Fuente: (Propia 2020)	113
Figura 26. Veredas en susceptibilidad moderada. Fuente: (Propia 2020)	114
Figura 27. Veredas en susceptibilidad Alta. (Propia 2020)	115
Figura 28. Veredas en Susceptibilidad Alta. (Propia 2020).....	116
Figura 29. Veredas en Susceptibilidad Moderada. (Propia 2020)	117
Figura 30. Veredas en susceptibilidad Baja. (Propia 2020).....	119
Figura 31. Validación Modelo Conceptual Ceibas. Fuente (Propia,2020)	123
Figura 32. Validación Modelo Conceptual Guarapas. Fuente (Propia,2020).....	123

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Coeficiente de Sinuosidad	40
Ecuación 2. Densidad de Drenaje	40
Ecuación 3. Ancho Medio de la Cuenca	41
Ecuación 4. Coeficiente de Forma	41
Ecuación 5. Coeficiente de Compacidad.....	41
Ecuación 6. Altura promedio ponderada del cauce.....	43
Ecuación 7. Pendiente promedio del cauce principal.....	43
Ecuación 8. Pendiente promedio ponderada del cauce principal	44
Ecuación 9. Altura Promedio Ponderada de la Cuenca.....	45
Ecuación 10. Pendiente promedio ponderada de la cuenca	46
Ecuación 11. Tiempo de Concentración por Kirpich Fuente: (Wanielista, 1997)	47
Ecuación 12. Tiempo de Concentración por Temez Fuente:(Chow, 1994)	48
Ecuación 13. Tiempo de Concentración por Giandotti Fuente: (Burgos, 2018).....	48
Ecuación 14. Tiempo de Concentración por California Culvert Practice. Fuente: (Velez & Botero, 2011)	48
Ecuación 15. Tiempo de Concentración por Bransby–Williams. Fuente: (Velez & Botero 2010)	49
Ecuación 16. Tiempo de Concentración por Guaire. Fuente: (Reyes T. et al., 2010).....	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normatividad	35
Tabla 2. Proceso Metodológico del Trabajo de Grado	37
Tabla 3. Clasificación de unidades hidrográficas en función del área geométrica	40
Tabla 4. Clasificación de cuenca de la FAO en función del índice de compacidad	42
Tabla 5. Unidades geológicas de la Cuenca Guarapas	54
Tabla 6. Unidades geomorfológicas del área de la cuenca del rio Guarapas	58
Tabla 7. Escalas de comparación de Saaty	69
Tabla 8. Resumen Morfometría Cuenca Hidrográfica Las Ceibas	71
Tabla 9. Resumen Morfometría Cuenca Hidrográfica Guarapas	73
Tabla 10. Longitudes Red de Drenaje Ceibas (DEM ALOS PALSAR).....	82
Tabla 11. Longitudes Red de Drenaje Guarapas (DEM ALOS PALSAR)	82
Tabla 12. Listado de Variables.....	87
Tabla 13. Parametrización Variable Pendiente Cuenca Ceibas	89
Tabla 14. Parametrización Variable Drenajes Cuenca Ceibas	89
Tabla 15. Parametrización Variable Tiempos de Concentración Cuenca Ceibas	90
Tabla 16. Parametrización Variable Pendiente Cuenca Guarapas	91
Tabla 17. Parametrización Variable Drenajes Cuenca Guarapas.....	91
Tabla 18. Parametrización Variable Tiempos de Concentración Cuenca Guarapas.....	92
Tabla 19. Parametrización variables Suelo – USDA Cuenca Las Ceibas.....	94
Tabla 20. Parametrización de Variables Vocación del Suelo Cuenca Las Ceibas.....	94
Tabla 21. Parametrización de Variables Cobertura del Suelo Cuenca Las Ceibas	95
Tabla 22. <i>Parametrización de Variables del Suelo Cuenca Guarapas.</i>	97
Tabla 23. Parametrización de Variables de Vocación del Suelo Cuenca Guarapas	97
Tabla 24. Parametrización de Variables de Cobertura del Suelo Cuenca Guarapas.....	97
Tabla 25. Parametrización Variables Geología Cuenca Las Ceibas	99
Tabla 26. Parametrización Variables Geomorfología Cuencas Las Ceibas.....	100
Tabla 27. Parametrización Variables Valles de Inundación Cuenca Las Ceibas.....	100
Tabla 28. Parametrización Variables Geología Cuenca Guarapas.....	101
Tabla 29. Parametrización Variables Geomorfología Cuenca Guarapas.....	101
Tabla 30. Parametrización Variables Valles de Inundación Cuenca Guarapas	102
Tabla 31. Análisis Jerárquico Capas Suelos.....	102
Tabla 32. Análisis Jerárquico Modelo Principal	103
Tabla 33. Porcentaje de área según susceptibilidad	108
Tabla 34. Porcentaje de área según susceptibilidad	109
Tabla 35. Caracterización Niveles de Susceptibilidad	110

1. INTRODUCCIÓN

El uso del recurso hídrico como fuente del desarrollo de cualquier actividad humana data desde la antigüedad, teniéndose como ejemplo el establecimiento de asentamientos humanos cercanos a los afluentes hídricos para el uso de actividades agropecuarias, a través de sistemas de riego primarios, los cuales inundaban zonas con pendientes bajas para la producción de cultivos de consumo básico. Estas técnicas de producción se destacan asentamientos como Mesopotamia en el antiguo Egipto, los cuales se establecieron entre los ríos Tigris y Éufrates; al igual que otras poblaciones del antiguo continente. (Mujeriego, 2014)

Pero el crecimiento demográfico actual ha conllevado al incremento de las áreas urbanas, debido a la migración de la población rural a la ciudad, causando la intervención en zonas no aptas para el establecimiento de infraestructura por sus condiciones de cercanía a los afluentes hídricos, áreas inestables o inundables con un grado elevado de riesgo; sumado a lo anterior el consumo de servicios y la presión sobre los recursos edáficos incrementan los niveles de vulnerabilidad de la población.

Estas condiciones de riesgo por inundación mencionadas se ven incrementadas por el uso de suelos con actividades no aptas a sus condiciones *in situ*, causando un deterioro a las coberturas vegetales, disminución de las propiedades de conductividad hidráulica del suelo y erosión, originadas por la desforestación de las zonas de recarga hídrica, rondas de afluentes y zonas con pendientes pronunciadas, favoreciendo altamente la ocurrencia de eventos de

inundación, remoción en masa y crecientes súbitas, que afectan a las diferentes actividades que se realicen aguas abajo de las zonas intervenidas.

Es importante destacar, que cada una de las características producidas por la intervención antrópica del hombre son agravadas por los incrementos de las precipitaciones impactadas por la variabilidad climática, cambio climático y las condiciones propias de la Zona de Convergencia Intertropical, padecidas en el territorio nacional, alterando notablemente el ciclo del agua y por consiguiente los comportamientos hidrológicos de los afluentes en cada una de sus áreas hidrográficas.

En la actualidad, los análisis de riesgo por inundación presentan un considerable número de requisitos o insumos técnicos para su evaluación, siendo esto un factor poco positivo para el estudio de las diferentes cuencas del país, las cuales, gracias a las modificaciones resaltadas del ciclo hidrológico, presentan un incremento de la probabilidad de ocurrencia a eventos de inundación, siendo de alta prioridad la implementación de metodologías que permitan la toma de decisiones oportunamente, evitando así el daño económico, cultural y social.

Para lo cual, de acuerdo a lo mencionado, el presente trabajo propende por la evaluación de la susceptibilidad ante eventos de inundación de dos (2) cuencas en jurisdicción de la corporación CAM, a través del uso de los parámetros morfométricos y la consecución de un modelo conceptual, el cual permitirá la categorización de las zonas inundables, sin incurrir en el empleo de información climatológica (precipitación, humedad relativa, entre otros parámetros) que son base para el desarrollo de un modelo determinista y/o estocástico.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 TRABAJOS RELACIONADOS CON LA TEMÁTICA A INVESTIGAR

- En el trabajo presentado por Rodríguez Peña, (2017), se realiza un análisis de la susceptibilidad ante inundaciones, haciendo énfasis en las variables condicionantes del evento, como la geología, geomorfología, tipo de suelo, pendiente, uso del suelo, cobertura vegetal y parámetros morfométricos, los cuales a través del uso de la Evaluación Multicriterio permitieron generar un escenario en la zona, donde a cada uno de los parámetros se asignaron pesos de acuerdo a su nivel de importancia en los eventos de inundación, obteniéndose una buena clasificación de las zonas susceptibles y al igual un buen contraste de los resultados obtenidos por medio de EMC con el comportamiento de la cuenca, demostrando una alta coincidencia espacial y precisión cartográfica, aportando a la gestión del riesgo en la zona de estudio.
- El trabajo de Olivera et al., (2011), mostró la potencialidad que presentan los SIG y la Evaluación Multicriterio (EMC), para determinar con precisión, la cartografía de las zonas favorables al desarrollo de inundaciones recurrentes en cuencas fluviales. La metodología empleada en este trabajo fue la información del Modelo Digital de Elevación del Terreno (MDT) y los productos derivados de este (Dirección de Flujo, Flujo acumulado, Curvatura Vertical, Inclinación de la Pendiente, Índice de Humedad), la geología, la geomorfología y la de los suelos por agrupamiento. La aplicación combinada de los SIG y el empleo de la EMC, permitieron delimitar las zonas susceptibles a ser inundadas en la cuenca fluvial del Rio Guanabo. Los

resultados presentaron una buena coincidencia espacial considerándose esta metodología de una buena precisión cartográfica, los cuales incrementan el nivel de conocimiento para reducir los riesgos de desastres naturales.

- Benitez & Gomez, (2015), Se basó en la aplicación de herramientas de geoprocésamiento de software ArcGIS 10.2 para el análisis y modelamiento espacial de zonas susceptibles a inundaciones en las áreas de influencia de la Quebrada Chapal en la zona urbana de pasto. Se realizó un análisis integral de la zona de estudio, considerando los elementos físicos que potencian los efectos de las lluvias, como la pendiente, el tipo de usos del suelo de la planta urbana, el comportamiento de las precipitaciones presentes y además los predios cercanos al curso de agua en estudio. Para este estudio se realizó un análisis de precipitación, tomando como referencia un periodo de 20 años (1988-2008). Se implementó la técnica de EMC para poder visualizar las áreas, construyeron un modelo de ponderación *Weighted Overlay*. A cada variable se le asignó un peso, considerando, el mayor peso en porcentaje a la variable de pendientes, luego la composición geológica del área de estudio y por último un menor peso a la precipitación. Las tres variables determinaron la zonificación de la susceptibilidad de inundación presente en cada zona, a mayor precipitación, menor permeabilidad del suelo y menor pendiente; esto será alta susceptibilidad a inundación. Concluyendo que, de la implementación del modelo y el análisis de dichas áreas, obtuvieron como resultado una zonificación de la susceptibilidad a inundación acorde a la realidad del área.

- El estudio de Mendoza, (2017), evalúa los factores físico-naturales y sociales que definen el grado de susceptibilidad de los asentamientos humanos a los riesgos por inundación en la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT). Se analiza la susceptibilidad física y social a inundaciones en la región y en cinco localidades del municipio de Lerma; mismas que han sido afectadas repetidamente por las inundaciones que se producen como resultado de las características físiconaturales de la cuenca, las condiciones de terreno no apto para la urbanización y las decisiones u omisiones gubernamentales. Se determinaron los parámetros morfométricos de la cuenca, mediante el software ArGis 9.2 y la extensión DetermHidro se elaboró el Modelo Digital de Elevación (MDE), para modelar los flujos de agua y la red de drenaje. La clasificación de la susceptibilidad hidrológica se realizó mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el método evaluación multicriterio (EMC).
- El objetivo de la investigación Chávez Cortés et al., (2016), consistió en evaluar y zonificar la susceptibilidad a inundaciones de la subcuenca río Atoyac-Oaxaca de Juárez, a partir del índice de vulnerabilidad biofísica (IVBF) construido con criterios ponderados con el Proceso Jerárquico Analítico (PJA) e implementados en una plataforma de Sistema de Información Geográfica (SIG). Los resultados muestran que la susceptibilidad clasificada como alta, ocupa 38.39 % de la superficie de la cuenca, condición que está determinada por factores fisiográficos como cercanía con cuerpos de agua, coberturas del suelo, tipos de suelo y geología. Finalmente concluye que la regionalización de la susceptibilidad biofísica ante inundaciones es una aproximación efectiva para el ordenamiento del territorio, los programas de

crecimiento urbano, los atlas de riesgo y la definición de políticas de gestión ambiental.

- El propósito de la investigación de Cartaya et al., (2007), consistió en generar mapas de zonificación de la susceptibilidad a los deslizamientos e inundaciones en las microcuencas de drenaje de la vertiente norte del macizo El Ávila. En esta investigación utilizaron la metodología de INGEOMINAS de Colombia modificada. La cual consistió en combinar el método explícito semianalítico para asignar puntajes ponderados a las variables y categorías. Ante este estudio el mayor peso lo obtuvo la variable “Geología de Superficie 40%”, seguido de la “Geomorfología con un 30%”, “Pendiente Media del Terreno 20%” y por último “Conflicto de Uso 10%”, Aunado a ello calcularon parámetros morfométricos, modelando hidrogramas unitarios para determinar el tiempo de escurrimiento en eventos extremos, así como aspectos relacionados con la percepción de los riesgos ambientales de los habitantes del área. Para todo ello se utilizaron sistemas automatizados de análisis de datos espaciales como *MapInfo*, con el módulo *Vertical Mapper*, para trabajar altimetría (hipsometría, mapa de pendiente); *ArcShell*, para facilitar el ajuste y arreglo de capas temáticas; y *ArcView*, para cruzar las capas temáticas y obtener los mapas de síntesis. Finalmente concluyeron los autores que los resultados fueron tan acertados comparándose con la afectación de 1999 en la zona, por lo que recomiendan su empleo.

2.2 TRABAJOS RELACIONADOS CON EL ÁREA DE ESTUDIO

En las cuencas del Río Guarapas y Río Las Ceibas se desarrollaron los Planes de Ordenamiento para cada cuenca, a través del estudio ambiental, económico y social, evidenciando los problemas que presentan en cada uno de estos aspectos. En el ámbito ambiental ambas cuencas presentan estudios de amenaza por inundación, pero no se evidencia un estudio de susceptibilidad a estos eventos, teniéndose una amplia necesidad de realizar una zonificación de las áreas en cada cuenca y así complementar estos planes de alta importancia para el ordenamiento regional del Departamento del Huila.

Los planes anteriormente mencionados presentan una relación marcada para la presente investigación, puesto que comprenden el área de estudio y sus resultados obtenidos por la Corporación del Alto Magdalena “CAM”; fueron suministrados por dicha entidad y se constituyen en un insumo valioso del presente trabajo, facilitando los procesos de investigación y también en una guía para la categorización de las zonas susceptibles y, al finalizar, contribuir a la toma de decisiones en lo relacionado con la gestión del riesgo en una visión prospectiva y preventiva en favor de las diferentes poblaciones que se encuentran asentadas en las cuencas.

3. JUSTIFICACIÓN

Los eventos de inundación a lo largo de la historia han causado un sin número de afectaciones a la población rural y urbana de los diferentes asentamientos en el mundo, retribuyendo en pérdidas económicas y humanas, incrementando los niveles de desigualdad, desplazamiento y pobreza. Entre 1970-2013, el desastre natural por inundación fue el más frecuente de todos los desastres naturales en América Latina y el Caribe (EM-DAT, 2018), El *Center for Research of the Epidemiology of Disasters* CRED, (2010), describió que se estima que el 40% de todos los desastres naturales, provocaron cerca del 26% de las muertes relacionadas con desastres. En los últimos 30 años se han registrado 3.119 eventos según lo citado por Pons, (2011).

En América Latina la susceptibilidad a las inundaciones es alta debido a las condiciones sociales de pobreza, crecimiento demográfico acelerado y expansión urbana, además de las condiciones hidrológicas favorables para una alta pluviosidad, la cual se ha visto modificada por los fenómenos climáticos ENSO, y el Cambio Climático.

Colombia es uno de los países más susceptibles a las afectaciones de inundación por sus características fisiográficas, teniéndose territorios aluviales formados a través de los afluentes principales, los cuales son los medios más utilizados para la construcción de viviendas e infraestructuras, debido a las condiciones sociales y económicas que se presentan actualmente. También a nivel de drenajes, muchos de los suelos colombianos presentan características deficientes para la conducción del agua en las zonas de recarga hídrica y en

las zonas urbanas los sistemas de drenaje pluvial son insuficientes para la conducción de aguas hasta los afluentes principales, lo cual agrava las zonas susceptibles a inundación. Las afectaciones y pérdidas presentadas por los eventos de inundación a nivel nacional transcurridas en el periodo 2010 - 2011, enmarcan una población de 3 millones de personas, 193 heridos, 108 muertos y 410.399 Viviendas afectadas y a nivel económico un valor de \$11.23 billones de acuerdo al reporte BID & CEPAL, (2011).

El Departamento del Huila presenta una oferta hídrica representativa, distribuyendo el territorio en trece (13) Cuencas hidrográficas, las cuales tienen su desembocadura en el río Magdalena y son fuentes de abastecimiento para los diferentes asentamientos urbanos, pero debido al uso indebido de los suelos en zonas de recarga hídrica, y aledañas a los afluentes muchos sectores habitados han sido afectados por las inundaciones en épocas de lluvias, las cuales en el territorio presentan un comportamiento bimodal según la pertenencia a las condiciones de la Zona de Convergencia Intertropical ZCIT, incrementando las pérdidas económicas y sociales en dos épocas al año, llevando a las direcciones gubernamentales a un gasto considerable de recursos para la recuperación de las afectaciones y como también a la conservación de las condiciones nativas de las zonas altas de las Cuencas hidrográficas. En el Huila se tiene priorizada la planificación de las cuencas del Río las Ceibas y Gurapas los cuales surten de agua a centros poblados representativos en el sur y centro del Departamento, llevando a la Corporación del Alto Magdalena a la implementación de la herramienta de planificación POMCA en las cuencas mencionadas en los años 2006 y 2009 respectivamente, en los cuales se presenta un análisis de las amenazas por inundación, siendo este un referente para la evaluación de la susceptibilidad de la parte baja de ambas cuencas.

Es importante resaltar a nivel social y económico el Departamento del Huila presentó unas afectaciones representativas en la ola invernal del 2010 – 2011 con 33.475 personas, 5.142 viviendas y 136.686 Millones de pesos de daños por efectos de eventos de inundación según informe de BID & CEPAL, (2011).

Todos los análisis y demás acciones encaminadas para la gestión del riesgo utilizan las herramientas SIG en sus procedimientos, las cuales en la actualidad son fundamentales para la celeridad de los estudios y posterior toma de decisiones, facilitando la planificación del territorio y la disminución de afectaciones por los fenómenos de inundación.

En virtud de lo anterior, la presente investigación tiene como finalidad la implementación de las herramientas SIG, para la evaluación de la susceptibilidad ante eventos de inundación en dos (2) subzonas hidrográficas en jurisdicción de la CAM, las cuales son Río Las Ceibas y Guarapas, priorizadas por la misma y que presentan un histórico representativo de eventos, se tiene para la cuenca del Río Las Ceibas en el sector urbano de la ciudad de Neiva en los últimos 36 años el reporte de más de 25 crecidas o avalanchas (CAM, 2007), para la cuenca del Río Guarapas se reportan más 30 eventos de inundación con afectaciones principalmente al corregimiento de Bruselas, sectores productivos y áreas urbanas del municipio de Pitalito (CAM, 2009), incrementando su nivel de importancia para estudio frente a otras cuencas del Departamento; siendo los resultados del presente trabajo de grado una consideración de las características morfológicas de las cuencas (variables físicas) así como los tiempos de respuesta en mapas de Isócronas, permitiendo la generación de información aplicada que será de utilidad como un instrumento preventivo para la toma de decisiones en territorio y además

incentiva a la implementación de nuevas investigaciones sobre la temática y por ultimo presenta especial atención sobre los niveles de susceptibilidad del área de estudio según el modelo conceptual empleado.

4. FORMULACION DEL PROBLEMA

4.1 Planteamiento Del Problema

Los desastres ocurren en todo el mundo, pero sus repercusiones económicas, sociales y ambientales han ido en aumento, siendo generalmente mucho mayores en los países en desarrollo. Los desastres pueden eclipsar años de inversión para el desarrollo de los países, pero a su vez, las causas del riesgo pueden estar arraigadas en errores y problemas de los mismos procesos de desarrollo (Parker, 2006).

A nivel mundial las inundaciones a través de la historia han causado un sin número de víctimas las cuales, según la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y Luna Creciente, en los 10 años desde 1993 a 2002, los desastres debidos a inundación han afectado a más personas en todo el mundo, que las afectadas por todos los desastres naturales y tecnológicos juntos (Societies & Cross, 2003).

En Colombia las inundaciones han causado un sin número de afectaciones sociales y económicas representativas a lo largo de la historia, viéndose en incremento las reiteraciones de ocurrencia de los eventos debido los diferentes fenómenos climáticos como el ENSO, el cambio climático y la variabilidad climática, como también la deforestación de las zonas de recarga hídrica y rondas de los ríos, lo cual incrementa las posibilidades de afectación a las comunidades que en su gran mayoría son personas migradas del sector rural al urbano por factores económicos y de desplazamiento forzoso. Para el Banco Mundial, (2012), el nivel de exposición antes eventos de inundación del País se encuentra en un 28%.

El estudio de la susceptibilidad ante eventos de inundación es fundamental para la toma de decisiones a nivel local, debido a que reduce en gran medida las afectaciones producidas por el evento, y ofrece al país una disminución en las inversiones para la recuperación de las zonas impactadas. En el Huila, los desastres por inundación han causado pérdidas económicas fuertes para el sector agropecuario, teniéndose daños en cultivos y semovientes, y como también en viviendas e infraestructuras, dejando saldos considerables de personas afectadas, viéndose el gobierno en la necesidad de inversiones para su recuperación, que en algunos casos no son suficientes para cubrir los costos de inversión de todas las personas. También es importante resaltar que los tiempos de recuperación de las zonas impactadas son prolongados y en algunas ocasiones irrecuperables por los daños producidos.

Los ordenamientos de las cuencas hidrográficas priorizados por la CAR regional del Huila, han dado luces para la toma de decisiones, pero aún se encuentran vacíos en estudios de susceptibilidad de zonas inundables. La cuenca rio La Ceibas y Gurapas son dos (2) cuencas del Departamento del Huila que presentan una alta importancia regional, ya que abastecen de recurso hídrico a dos grandes urbes, siendo esta la razón de su priorización por la CAM para el desarrollo de POMCA; documento el cual presenta un análisis de gestión del riesgo, a través de la presentación de los riesgos por inundación, pero no se precisa de manera clara un estudio de susceptibilidad del mencionado evento. Por tal motivo la implementación de una herramienta para el análisis de susceptibilidad, permitirá mostrar los niveles en que se encuentran las dos cuencas, y como también otra fuente para la toma de decisiones por parte de las entidades encargadas de velar por la gestión del riesgo.

4.2 Delimitación Del Problema: El problema se enmarca en las cuencas del Río Las Ceibas y Guarapas, donde la primera, se localiza en el costado oriental de la ciudad de Neiva, sobre la vertiente occidental de la cordillera oriental, delimitada por accidentes geográficos muy definidos, que van desde las altas montañas, que dividen al municipio con el departamento del Caquetá, hasta la desembocadura del río, en las aguas del río Magdalena, en un área aproximada de 29.968,14 Ha aproximadamente, representando el 18.3 % del municipio de Neiva (CAM, 2007). La cuenca del Río Guarapas está situada al sur del departamento del Huila en jurisdicción de los municipios de Palestina y Pitalito, con un área de 70.567 hectáreas, nace en el macizo colombiano en el flanco occidental de la cordillera oriental una altura aproximada de 2715 msnm en la vereda Villas del macizo en el municipio de Palestina, recorre 71,4 km antes de llegar a su desembocadura en el río Magdalena a una altura de 1203 msnm en la vereda Chillurco del municipio de Pitalito (CAM, 2009).

4.3 Descripción Del Problema: Los POMCA del Río Las Ceibas (2007) y Guarapas (2009) presentan análisis de amenazas ante eventos de inundación, pero no presentan un estudio de la susceptibilidad, siendo esto un factor clave para la toma de decisiones en territorio y así disminuir las afectaciones a la población. Sumado a lo anterior los análisis anteriores surgen a través del uso de modelos deterministas, los cuales requieren de un volumen considerable de parámetros climáticos, los cuales, en zonas sin cobertura de estaciones climáticas, se tendría que emplear métodos matemáticos para la complementación de datos y así contar con la información necesaria, pero se incurría en imprecisiones no reales de la zona.

4.4 Preguntas Directrices Del Problema. ¿Cuáles son los niveles de susceptibilidad ante eventos de inundación en las cuencas del Rio Las Ceibas y Guarapas?

¿El uso de modelos determinísticos y/o estocásticos es la metodología de mayor celeridad para el estudio de la susceptibilidad ante eventos de inundación?

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la susceptibilidad a eventos de inundación mediante características morfométricas y de relieve en las cuencas del río Guarapas y río Las Ceibas.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los parámetros morfométricos y de relieve de mayor relevancia que permitan dilucidar de forma adecuada la susceptibilidad de las cuencas del río Guarapas y río Las Ceibas a eventos de inundación.
- Construir un modelo conceptual de susceptibilidad a eventos de inundaciones en las cuencas del río Guarapas y río Las Ceibas, a partir de parámetros morfométricos y de relieve identificados.
- Definir la zonificación de susceptibilidad de las cuencas del Río Guarapas y Las Ceibas a eventos de inundación.
- Proponer posibles medidas de manejo y/o mitigación para las zonas con alta y media susceptibilidad a eventos de inundación.

6. MARCO TEÓRICO.

6.1 Marco Conceptual

- **Susceptibilidad:** Esta referida a la mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico. (Soldano, 2009)
- **Cuenca hidrográfica:** El HIMAT (1985) definió, que la cuenca es un espacio geográfico limitado por divisorias de agua donde se expresa el ciclo hidrológico en un volumen de control que permite, a partir del agua precipitada que entra a este dominio, determinar la parte que escurre a lo largo de las laderas y que puede ser interceptada por las depresiones naturales del terreno, la fracción que se evapora o infiltra y finalmente la cantidad que fluye a través de los drenajes naturales de la cuenca y forma el flujo superficial. Los fenómenos de escorrentía se producen de forma dinámica, las aguas de los valles confluentes se reúnen, los cauces se alargan y los arroyos y quebradas dan origen a los ríos principales. Los flujos superficial, subterráneo y subsuperficial conforman la escorrentía que integra los cauces de las corrientes, alimenta los diferentes almacenamientos y dan lugar a toda una red hidrográfica que drena sus aguas finalmente hacia el mar. (IDEAM, 2013)
- **Análisis Morfométrico:** Según Gaspari (2012), es el estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje; que permite conocer las características físicas de una cuenca, lo cual permite realizar comparaciones entre varias cuencas, así como ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de su manejo (Lux, 2014).

- **Mapa de Isócronas:** Para Efentakis (2013), Los mapas de isócronas se utilizan comúnmente para describir las áreas de igualdad de tiempo de viaje. El concepto de isócrona se deriva del griego “igual tiempo”, es decir que un mapa de isócronas, es un mapa que muestra las áreas relacionadas con respecto al tiempo. La isócrona se define como una línea dibujada en un mapa, carta o diagrama en donde ocurre algo en un tiempo específico, a esta línea se le llama isolínea y es la que conecta los puntos que tienen el mismo valor en la magnitud del tiempo. Los puntos que delimitan las isócronas se forman a partir de una ubicación origen (Ornelas Lopez et al., 2017).
- **Subzonas Hidrográficas:** cuencas que tributan sus aguas a su vez a las zonas hidrográficas. (IDEAM, 2013).
- **Desastre:** Según la terminología de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres UNISDR (2009), se define a un desastre como el resultado de la combinación de la exposición a una amenaza, las condiciones de vulnerabilidad presentes y capacidades o medidas insuficientes para reducir o hacer frente a las posibles consecuencias negativas. El impacto de estos puede incluir muertes, lesiones, enfermedades y otros efectos negativos en el bienestar físico, mental y social humano, conjuntamente con daños a la propiedad, la destrucción de bienes, la pérdida de servicios, trastornos sociales, económicos y la degradación ambiental. (Vega & Castiblanco, 2016)
- **Inundación:** Una inundación es según la terminología del UNISDR, (2009), una invasión lenta o violenta de aguas de río, lagunas o lagos, debido a fuertes precipitaciones o rupturas de embalses, que causa daños considerables. Se pueden

presentar en forma lenta o gradual en llanuras y de forma violenta o súbita en regiones montañosas de alta pendiente (Vega & Castiblanco, 2016)

- **DEM:** El modelo de elevación digital (DEM) es la representación digital de la elevación de la superficie terrestre con respecto a cualquier dato de referencia. Se usa con frecuencia para referirse a cualquier representación digital de una superficie topográfica y es la forma más simple de representación digital de la topografía. Los DEM se utilizan para determinar los atributos del terreno, como la elevación en cualquier punto, pendiente y aspecto. Hoy en día, las aplicaciones SIG dependen principalmente de los DEM (Balasubramanian, 2017).
- **EMC:** La Evaluación Multicriterio se puede entender como: “Un mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, en base a una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo a varios criterios. Estos criterios pueden representar diferentes aspectos de la teleología: objetivos, metas, valores de referencia, niveles de aspiración o utilidad” (Gómez & Barredo, 2012)

6.2 Marco Teórico

6.2.1 Descripción del Área de Estudio

Cuenca Río Las Ceibas: La cuenca hidrográfica del Río Las Ceibas, se localiza en el costado oriental de la ciudad de Neiva, sobre la vertiente occidental de la cordillera oriental, delimitada por accidentes geográficos muy definidos, que van desde altas montañas, que dividen al municipio con el Departamento del Caquetá, hasta las planicies aluviales en la desembocadura del Río en las aguas del río Magdalena. Su área aproximada es de 29.968 Ha. Este afluente presenta importancia debido a que es la principal fuente hídrica de la ciudad de Neiva; su cauce principal tiene su nacimiento en la cuchilla El Refugio (cerro de Alto Rosalía), en la frontera con el departamento del Caquetá, en la divisoria de aguas de la cordillera Oriental, (sector denominado Reserva Forestal Santa Rosalía), a una altura aproximada de 2.800 msnm y después de un recorrido de 55 kilómetros, desemboca en la margen derecha aguas abajo, del Río Grande de la Magdalena a una altura de 431 msnm. La Cuenca presenta una forma de pera en la parte alta y media-alta y una forma rectangular en la parte baja y media, la cual posee una dirección Este – Oeste, recorre inicialmente una zona de relieve muy escarpado sobre la cordillera oriental, pasando luego por un sector ondulado en su parte media, para finalmente presentar una topografía casi plana. La altura máxima de la cuenca se alcanza a los 3150 msnm en los ecosistemas estratégicos Santa Rosalía (Costado nororiental de la cuenca) y La Siberia y la cota más baja está a una altura de 430 msnm que coincide con el casco urbano del Municipio de Neiva. Las coordenadas geográficas de la Cuenca son:

Al Sur, 2°18'29" de latitud norte en el nacimiento del afluente del Río Motilón.

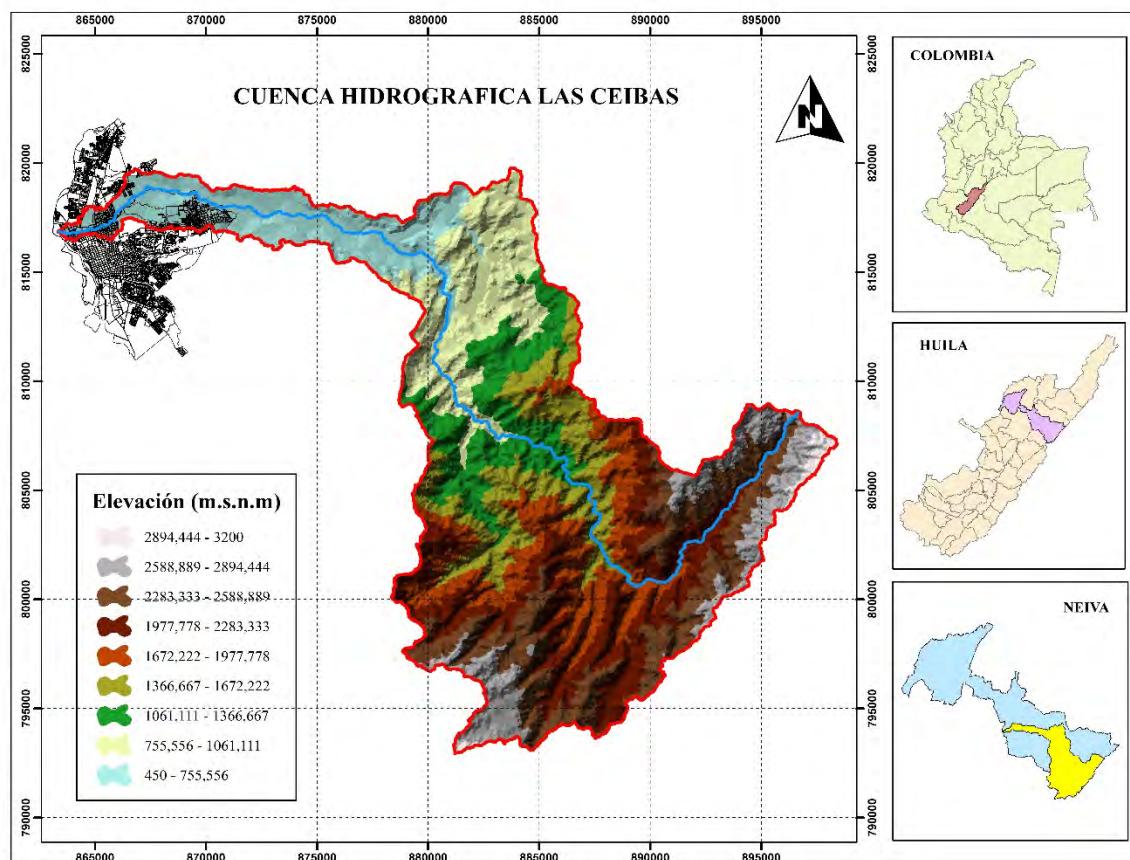
Al Norte 2°58'02" de latitud Norte en el Alto El Olivo, microcuenca de la Quebrada Los Micos.

Al Este, 74°59'48" de longitud Este, en el cerro de Santa Lucía, en límites con el departamento del Caquetá.

Al Oeste, 75°18'29" de longitud Oeste en la desembocadura del Río Las Ceibas, en las aguas del Río grande de la Magdalena.

Las Ceibas tiene unas características de significativa diversidad climática, connotadas por sus rangos altitudinales y los demás factores climáticos inmersos en ella: Temperatura, precipitación, humedad relativa, los cuales contribuyen a conformar provincias bióticas desde lo más cálido, hasta el piso frío y muy húmedo. Como Ecosistema Natural Regional posee una interacción biótica permanente con Ecosistemas aledaños como el Parque Nacional Natural Los Picachos y la Reserva Natural de Santa Rosalía. En su costado más sur-oriental, se encuentran los nacimientos de las quebradas San Bartolo, Motilón y La Plata, que en su conjunto hacen parte del ecosistema de La Siberia, todo este núcleo posee una sinergia con la Amazonía Colombiana, en el denominado corredor de Transición Andino-Amazónico, región biogeográfica que hace parte del Sistema de áreas Protegidas del Departamento del Huila SIRAP-Huila, (CAM, 2007).

Figura 1. Localización Cartográfica Ceibas



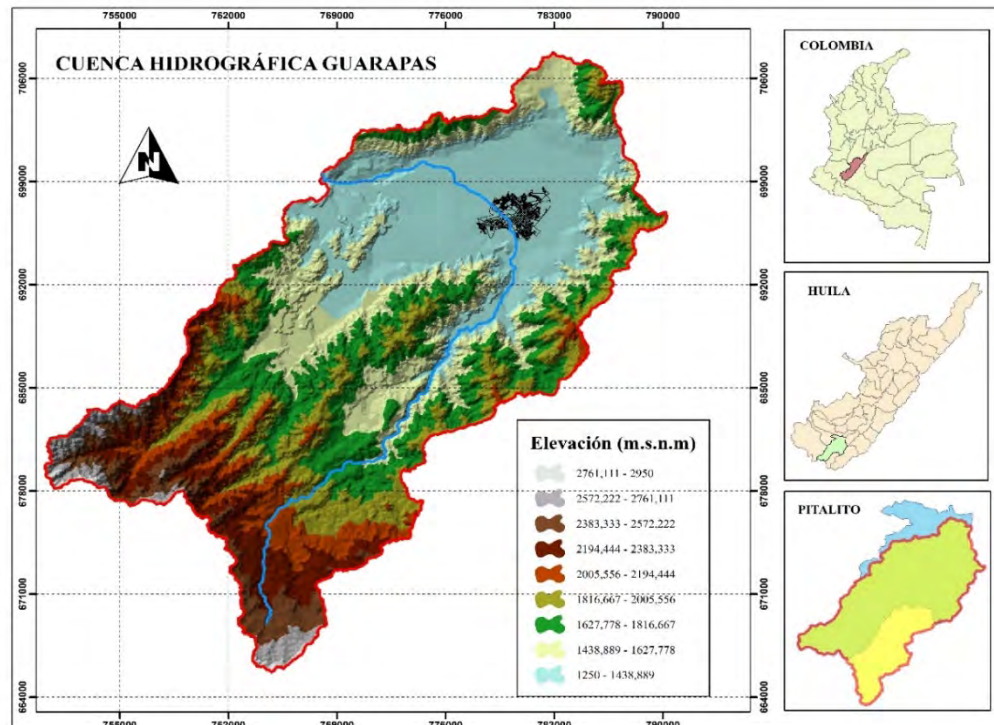
Fuente: (Propia 2020)

Cuenca Río Guarapas: La cuenca del Río Guarapas se encuentra al sur del departamento del Huila en los municipios de Palestina y Pitalito, con un área de 70.567 hectáreas, nace en el macizo colombiano en el flanco occidental de la cordillera oriental a una altura aproximada de 2715 msnm en la vereda Villas del macizo en el municipio de Palestina, recorre 71,4 km antes de llegar a su desembocadura en el río Magdalena a una altura de 1203 msnm en la vereda Chillurco del municipio de Pitalito. Esta cuenca presenta importancia debido a que uno de sus efluentes el Río Guachicos abastece el acueducto municipal de la ciudad de

Pitalito con una cobertura de 24.500 usuarios y una proyección de 240.000 en un horizonte de 30 años. (CAM, 2009)

Estas cuencas, como se menciona en los apartados anteriores, son de importancia regional, por lo cual sus afectaciones por fenómenos de inundación en temporada de lluvias causan traumatismos a las poblaciones aledañas, ya que por su ubicación y ordenamiento se ubican asentadas a las márgenes de los afluentes siendo altamente susceptibles a daños y al igual a un desabastecimiento prolongado por averías de bocatomas y demás infraestructuras de los acueductos municipales. Por tal motivo el estudio de las áreas susceptibles es importante para gestionar la toma de decisiones preventivas a futuros eventos de inundación como lo pretende el presente trabajo.

Figura 2. Localización Cartográfica Cuencas Guarapas



Fuente: (Propia 2020)

6.2.2. Marco Legal

Tabla 1. Normatividad

Norma	Alcance
Decreto 1640 de 2012	Reglamentación de los instrumentos para la Planificación, Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas y Acuíferos.
Decreto 1076 de 2015	Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible
Decreto 1547 de 1984	Creación del Fondo Nacional de Calamidades FNC
Ley 46 de 1988	Se crea el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres
Decreto 4147 de 2011	Se crea la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD)
Ley 1523 de 2012	Se gestó la creación del Sistema Nacional de Atención y Prevención de Desastres SNPAD y se adopta la política nacional de gestión del riesgo
Decreto 1640 de 2012	Se incluye la gestión del riesgo desde el Recurso Hídrico y a nivel de Cuenca Hidrográfica Haciendo énfasis en el riesgo por exceso e Incendios Forestales.
Decreto 1807 de 2014	Se incluye la gestión del riesgo desde el Recurso Hídrico y a nivel de Cuenca Hidrográfica Haciendo énfasis en el riesgo por exceso e Incendios Forestales.

Fuente: (Propia 2020)

7. METODOLOGIA

7.1 Enfoque Investigativo: El trabajo de grado se enmarca en el enfoque sistémico, por cuanto que al momento del análisis o abordaje del área de estudio los procesos que ocurren en una cuenca hidrográfica presentan interrelaciones de influencia-dependencia, que conllevan a realizar un estudio en conjunto de los diferentes parámetros que se presenten en la investigación, teniéndose como inicio la recopilación de datos morfométricos de las cuencas objetos de estudio, imágenes satelitales, mapas de cobertura de suelos y usos de suelos, los cuales permitirán realizar un modelo conceptual al interrelacionar las variables mencionadas y obtener una jerarquización y Evaluación Multicriterio EMC, para clasificar los diferentes tipos de susceptibilidad en el área de estudio y así permitir a los diversos actores involucrados obtener una herramienta para la planificación y toma de decisiones, siendo este abordaje un enfoque sistémico de naturaleza, debido a la combinación de variables para ser estudiadas como un sistema o conjunto que responde a las estímulos o precipitaciones que se realizan en las diferentes épocas del año.

El enfoque sistémico planteado en el trabajo de grado se adapta a las condiciones más importantes que el mismo conlleva:

1. Recolección de datos o insumos para el desarrollo de los procesos investigativos siendo estos los “INPUT” del trabajo de grado.
2. Obtención de datos secundarios como variables morfométricas, delimitación de cuencas, cruces de usos de suelos y coberturas.

3. Implementación de modelo conceptual para la obtención de la clasificación de susceptibilidad del área objeto de estudio.
4. Análisis de los resultados obtenidos por el modelo, procurando la comparación con los ya obtenidos en los POMCH de ambas cuencas.

Estos procesos mencionados permiten obtener una visión del enfoque sistémico planteado en el trabajo de grado, garantizando la obtención de un producto a base del análisis de variables interrelacionadas como un sistema al cual se considera la Cuenca Hidrográfica, empleando datos de fácil obtención y sin incurrir en procesos de procesamiento gruesos para realizar los procesamientos necesarios en un modelo determinista o un estudio con uso de datos hidrológicos de alto computo.

Los procesos metodológicos a realizar según los eventos enmarcados por el enfoque sistémico son:

Tabla 2. Proceso Metodológico del Trabajo de Grado

FASE	TAREAS	ACTIVIDADES
I-Preliminares	1. Selección y determinación de Problemática 2. Delimitación del área a estudiar 3. Desarrollo de Perfil y Anteproyecto 4. Recopilación de Información	• Revisión bibliográfica de temas relacionados con la problemática elegida • Determinación de las zonas a intervenir. • Selección de información base para la construcción de documentos de avance del trabajo de grado. • Selección de Modelos de Elevación Digital según área de intervención. • Solicitud a Corporación Autónoma Regional del alto

		Magdalena CAM, información de cartografía base.
II-Implementación de Propuesta	1. Categorización de Variables Morfométricas 2. Identificación de Capas Insumo para la Superposición 3. Análisis de información recopilada	• Cálculo de Variables Morfométricas Seleccionadas • Elaboración de ISOCRONAS Temez y Kirpich. • Selección y cruce de capas (Geología, Geomorfología, Llanuras de Inundación, Morfometría y Suelos)
	1. Aplicación de Evaluación Multicriterio (EMC). 2. Jerarquización de Variables (AHP) Saaty Seleccionadas. Matriz de comparación pareada. 3. Clasificación de las zonas delimitadas según los resultados del índice	• Estimación de la Evaluación Multicriterio a través de los parámetros seleccionados para la priorización en los estudios de susceptibilidad • Jerarquización de variables y asignación de pesos ponderados según matriz de comparación pareada (Saaty) • Desarrollo de clasificación de susceptibilidad según resultados del cruce de mapas.
III-Análisis de Resultados	1. Análisis de resultados según la bibliografía consultada 2. Comparación de resultados con Planes de Ordenación o POMCH de las cuencas seleccionadas	• Determinar las variables o indicadores para analizar según lo obtenido en la bibliografía consultada. • Planteamiento de hipótesis para la validación de resultados obtenidos.
IV-Validación y Recomendación de Resultados	1. Corrección de resultados y validación de datos obtenidos. 2. Recomendaciones según clasificación de susceptibilidad.	• Validación de resultados obtenidos • Determinación de las recomendaciones para las áreas susceptibles del área de estudio

Fuente: (Propia 2020)

7.2 Morfometría Cuencas Guarapas y Ceibas

La caracterización morfométrica de las cuencas Gurapas y Ceibas se realizó a escala 1:100.000 teniendo como insumo la información suministrada por la Corporación Autónoma del Alto Magdalena (CAM) y la cartografía nacional del IGAC, los modelos de elevación digital (DEM) obtenidos de las plataformas *Alaska Satellite Facility*, (ALOS – PALSAR), *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer and Global Digital Elevation Mode* (ASTER GDEM), *Hydrological data and maps based on SHuttle Elevation Derivatives at multiple Scales* (HYDROSHED) y *TerraSAR-X satellite* (TANDEM X) los cuales tienen resoluciones de 12.5m, 30m, y 92m por pixel respectivamente. Los procesamientos de cada uno de los DEM se realizaron a través del software Argics, en un sistema de georreferenciación para la cuenca Ceibas Magna Colombia Bogota y Guarapas Magna Colombia Oeste. Los parámetros obtenidos presentan su definición y metodología de cálculo a continuación:

7.2.1 Área de la cuenca

Se define como el área plana (Proyección horizontal) incluida sobre la divisoria topografía (Monsalve, 1995). Según Reyes T. et al., (2010), este parámetro resulta ser uno de los más importantes, puesto que está directamente relacionado con los procesos hidrológicos que se dan al interior de una cuenca, el mismo autor propone una clasificación en función del área de la unidad hidrográfica.

Tabla 3. Clasificación de unidades hidrográficas en función del área geométrica

Área (Km ²)	Unidad hidrológica
<5	Unidad
5-20	Sector
20-100	Microcuenca
100-300	Subcuenca
>300	Cuenca

Fuente: (Reyes T. et al. 2010)

7.2.2. Coeficiente de sinuosidad (Ks)

Se define L_t presenta un grado de sinuosidad, el cual se representa a través del coeficiente de sinuosidad K_s que constituye la relación entre la distancia total configurada por el recorrido de la corriente L_t , sobre la distancia lineal desde el nacimiento hasta la desembocadura L_l (Domínguez C., 2010).

$$K_s = \frac{L_t}{L_l}$$

Ecuación 1. Coeficiente de Sinuosidad

7.2.3. Densidad de la red hidrográfica (D)

Este parámetro se define como el cociente entre la longitud total de los cauces que conforman el sistema fluvial de la cuenca, expresados en kilómetros y el área total de la cuenca expresada en kilómetros cuadrados (Horton, 1945). Matemáticamente se expresa como:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n L_{t_i}}{A}$$

Ecuación 2. Densidad de Drenaje

Donde n es el número de corrientes visibles en la cartografía disponible y A es el área en kilómetros cuadrados la cuenca evaluada. La densidad de la red hidrográfica está controlada por el clima, la geología y la estructura del relieve (Dominguez, 2010).

7.2.4. Ancho medio de la cuenca (B)

Se determina cómo el cociente entre el área de la cuenca y la longitud lineal de la corriente principal:

$$B = \frac{A}{L_l}$$

Ecuación 3. Ancho Medio de la Cuenca

7.2.5. Elongación de la cuenca o coeficiente de forma (σ)

Se calcula como el cociente entre la longitud lineal de la corriente principal L_l y el ancho medio de la cuenca B :

$$\sigma = \frac{L_l}{B} = \frac{A}{L_l^2}$$

Ecuación 4. Coeficiente de Forma

7.2.6. Coeficiente de Compacidad (Kc)

Es la relación entre la longitud del perímetro de la cuenca P_{cuenca} y el perímetro de un círculo con área equivalente a la de la cuenca $P_{circulo}$:

$$k_c = \frac{P_{cuenca}}{P_{circulo}} = \frac{P_{cuenca}}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P_{cuenca}}{\sqrt{A}}$$

Ecuación 5. Coeficiente de Compacidad

La **Tabla 4** contiene la clasificación de cuenca en función del índice de compacidad según la FAO (FAO, 1985)

Tabla 4. *Clasificación de cuenca de la FAO en función del índice de compacidad*

Tipo	Rango	Descripción
KC1	1.00 – 1.25	Redonda a oval redonda
KC2	1.26 – 1.50	Oval redonda a oval oblonga
KC3	1.51 – 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
KC4	> 1.75	rectangular oblonga

7.2.7. Perfil longitudinal del cauce principal

Este perfil muestra la evolución de las cotas de altitud del cauce principal. El corte longitudinal, se puede construir con base en batimetrías realizadas en campo o en su defecto con base en los modelos de elevación digital mundiales. El levantamiento de campo del perfil longitudinal puede realizarse para toda la corriente o en su defecto para tramos característicos. Los tramos característicos se pueden delimitar de acuerdo con los sitios de cambios fuertes en las profundidades del río, puntos de socavación o acumulación, lugares con cambio en el ancho superior del cauce, etc. Para construir el perfil longitudinal, con una línea recta horizontal, según la escala seleccionada, se expresa la longitud de la corriente. En el eje vertical se representan las cotas del fondo del río o del nivel del agua para cada punto de la corriente donde se tenga información. (Domínguez C., 2010).

7.2.8. Altura del cauce principal (H_{cauce})

Se calcula como la altura promedio de los tramos característicos utilizados en la construcción del perfil longitudinal del cauce principal. Para las corrientes con muchos cambios de altura en el recorrido del cauce principal se calcula la pendiente promedio ponderada con base en las frecuencias relativas producto de la agrupación en clases (usualmente entre 8 a 12 clases) de los valores de altura tomados en los tramos característicos Dominguez, (2010):

$$H_{cauce} = H_1f_1 + H_2f_2 + \dots + H_nf_n$$

Ecuación 6. Altura promedio ponderada del cauce

Aquí: H_i es la cota de altura en la mitad del intervalo de cada clase y f_i es la frecuencia que le corresponde a ese intervalo.

7.2.9. Pendiente del cauce principal (I_{cauce})

Por pendiente se entiende el cociente entre los incrementos de alturas/cotas y los incrementos de longitud de la corriente para un tramo determinado. Se distingue la pendiente promedio y el pendiente promedio ponderada. La pendiente promedio I_{cauce} es el cociente entre la caída de alturas/cotas ΔH sobre la longitud del tramo ΔL en la que esta caída ocurre Domínguez C., (2010):

$$I_{cauce} = \frac{\Delta H}{\Delta L}$$

Ecuación 7. Pendiente promedio del cauce principal

Para las corrientes con muchos cambios de pendiente se calcula el pendiente promedio ponderada. Ésta utiliza las frecuencias relativas producto de la agrupación en clases (usualmente entre 8 a 12 clases) para ponderar los valores de pendiente calculados. Domínguez C., (2010):

$$I_{cauce} = I_1f_1 + I_2f_2 + \dots + I_nf_n$$

Ecuación 8. Pendiente promedio ponderada del cauce principal

Aquí: I_i es la pendiente en la mitad del intervalo de cada clase y f_i es la frecuencia que le corresponde a ese intervalo.

La pendiente del cauce es uno de los factores importantes que inciden en la capacidad que tiene el flujo para transportar sedimentos, por cuanto está relacionada directamente con la velocidad del agua. En los tramos de pendiente fuerte los cauces tienen pendientes superiores al 5 %, y las velocidades de flujo resultan tan elevadas que pueden mover como carga de fondo sedimentos de diámetros mayores de 5 centímetros, además de los sólidos que ruedan por desequilibrio gracias al efecto de lubricación producido por el agua. (Reyes T. et al., 2010).

7.2.10. Curva Hipsométrica

Esta curva da una interpretación clara de la distribución de las áreas de la cuenca contenidas en distintas zonas altitudinales. También son un indicativo a los patrones evolutivos de las cuencas Strahler, (1952), así, cuencas con mayor parte del área con elevación por encima de los valores medios de la cuenca, son consideradas cuencas con gran potencial erosivo

(cuencas inmaduras), de lo contrario son consideradas cuencas maduras o sedimentarias. Para cuencas donde esta relación se encuentre en equilibrio (área relativa cuenca – elevación ponderada) se consideran como cuencas en equilibrio.

Para construirla se determinan de 8 a 12 zonas altitudinales y de acuerdo con la información del modelo digital de terreno, se calcula el porcentaje de área contenido en cada una de ellas. En el eje horizontal se gráfica el porcentaje de área de la cuenca cubierto por cada zona altitudinal y en el vertical los intervalos de clase de cada zona altitudinal. Domínguez C., (2010)

7.2.11. Altura de la cuenca (H_{cuenca})

Se calcula con base al diagrama de frecuencias de la curva hipsométrica, homólogo al cálculo de H_{cauce} , pero usando las 8 a 12 zonas altitudinales definidas. Domínguez C., (2010)

$$H_{\text{cuenca}} = H_1f_1 + H_2f_2 + \cdots + H_nf_n$$

Ecuación 9. Altura Promedio Ponderada de la Cuenca

Aquí: H_i es la cota de altura en la mitad del intervalo de cada clase y f_i es la frecuencia que le corresponde a ese intervalo.

7.2.12. Pendiente de la cuenca (I_{cuenca})

Para obtener la pendiente media de la cuenca con base en el DEM, se construye el diagrama de pendientes con las pendientes locales de cada celda calculada a partir del cambio de alturas de las 8 celdas vecinas (Arriba, Abajo, Derecha, Izquierda, Arriba derecha, Arriba izquierda, Abajo derecha, Abajo izquierda). De modo similar al aplicado para definir la altura media, la pendiente promedio ponderada de la cuenca se obtiene cómo Domínguez C., (2010):

$$I_{\text{cuenca}} = I_1f_1 + I_2f_2 + \dots + I_nf_n$$

Ecuación 10. Pendiente promedio ponderada de la cuenca

Aquí: I_i es la pendiente en la mitad del intervalo de cada clase y f_i es la frecuencia que le corresponde a ese intervalo.

7.2.13. Numero de Orden de la cuenca (N)

Se determina con base en el número de orden máximo obtenido para el cauce principal de la red hídrica de la cuenca. El orden de los ríos se calcula con base en el método propuesto por Strahler en (1952), donde los ríos en su nacimiento tienen valor de orden 1 y estos aumentan de orden solo cuando 2 o más ríos de un mismo orden se cruzan. Por lo tanto, la intersección de un río de primer orden y un río de segundo orden mantendrá el río de segundo orden, mientras si se unen 2 o más ríos de segundo orden el río resultante será de tercer orden.

7.2.14. Tiempos de Concentración (T_c)

Es el tiempo transcurrido entre el final del hietograma de excesos y el final del escurrimiento directo, siendo ésta la definición que aparece reseñada en la literatura con mayor frecuencia. Sin embargo, otros autores reportan el T_c como el tiempo comprendido entre el centroide del hietograma de excesos y el punto de inflexión sobre la curva de recesión del hidrograma de escurrimiento directo.

Además, se puede definir como el tiempo que demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto hasta el punto de interés. Corresponde al lapso entre el final de la lluvia y el momento en que cesa el escurrimiento superficial. Existen una serie de fórmulas que permiten el cálculo de este tiempo desarrolladas por diversos autores. Algunas de las fórmulas que se emplean para el cálculo de este indicador se encuentran, Kirpich (1940), Temez, Giandotti (1934), California Culvert Practice (1942), Bransby-Williams, Guaire empleadas en el presente trabajo. Sus fórmulas se describen a continuación:

Formula de Kirpich (1940)

Calcula el tiempo de concentración (T_c), en minutos, según la **Ecuación 9**:

$$T_c = 0.02 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

Ecuación 11. Tiempo de Concentración por Kirpich Fuente: (Wanielista, 1997)

Donde:

T_c: Tiempo de concentración (min)

L: Longitud del cauce principal de la cuenca (m)

S: Diferencia entre las dos elevaciones extremas de la cuenca H (m), dividida por la longitud del cauce principal de la cuenca L (m) (m/m)

Formula de Temez

La fórmula de Temez describe la **Ecuación 10**:

$$T_c = 0.3 * \left[\frac{L}{S^{0.25}} \right]^{0.75}$$

Ecuación 12. Tiempo de Concentración por Temez Fuente:(Chow, 1994)

Donde:

T_c: Tiempo de concentración (h)

L: Longitud del cauce principal de la cuenca (km)

S: Pendiente promedio del cauce principal (m/m)

Formula de Giandotti (1934)

Relaciona el tiempo de concentración de la cuenca, T_c en Horas, mediante la siguiente formula:

$$T_c = \left[\frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{25.3\sqrt{S * L}} \right]$$

Ecuación 13. Tiempo de Concentración por Giandotti Fuente: (Burgos, 2018)

Donde:

T_c: Tiempo de concentración (h)

L: Longitud del cauce principal de la cuenca (Km)

S: Pendiente promedio del cauce principal (m/m)

A: Área de la cuenca en (Km²)

Formula de California Culvert Practice (1942)

$$T_c = \left[\frac{0.87075L^3}{H} \right]^{0.385}$$

Ecuación 14. Tiempo de Concentración por California Culvert Practice. Fuente: (Velez & Botero, 2011)

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (h)

L: Longitud del cauce principal de la cuenca (Km)

H: Diferencia entre las dos altitudes o elevaciones extremas del cauce principal de la cuenca (m)

Formula de Bransby - Williams

$$T_c = 14.6LA^{-0.1}S^{-0.2}$$

Ecuación 15. Tiempo de Concentración por Bransby–Williams. Fuente: (Velez & Botero 2010)

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (min)

A: Área de la cuenca en (Km²)

L: Longitud del cauce principal de la cuenca (Km)

S: Pendiente promedio del cauce principal (m/m)

Formula de Guaire

La fórmula de Guaire para calcular el tiempo de concentración se expresa de la siguiente manera:

$$T_c = 0.355 \left[\frac{A}{S^{0.5}} \right]^{0.595}$$

Ecuación 16. Tiempo de Concentración por Guaire. Fuente: (Reyes T. et al., 2010)

7.2.15. Mapas de Isócronas

En el contexto morfométrico, es importante resaltar que la identificación de los tiempos de concentración de la cuenca permite tener una referencia del recorrido en duración de una precipitación, según el Área, Longitud y Pendiente. Por tal motivo la representación de un mapa de isócronas por medio del uso de las fórmulas relacionadas anteriormente, facilitan la obtención de una zonificación de la cuenca, la cual detalla las zonas que tienen similitud en su tiempo de concentración. Para este proceso, se realizó el uso de la Ecuación 10 y Ecuación 9, iniciando por la conceptualización de las variables de la ecuación, donde se tiene la Longitud y la Pendiente y que a través de los insumos obtenidos de la morfometría en el procesamiento del Modelo de Elevación Digital, en el software Argics se generaron a través de la herramienta Flow Length, la Longitud del Cuenca, la cual por medio del toolbox Map Algebra de Argics, se realizó el cálculo del Delta de Alturas extremas del DEM y su posterior división con la Longitud de la Cuenca, y así el desarrollo de la capa de Pendientes, siendo esta la variable faltante para la aplicación de las ecuaciones en la herramienta Map Algebra de Argics y obtener los Mapas de Isocronas, los cuales son parte fundamental para el reconocimiento del estudio de susceptibilidad del presente trabajo.

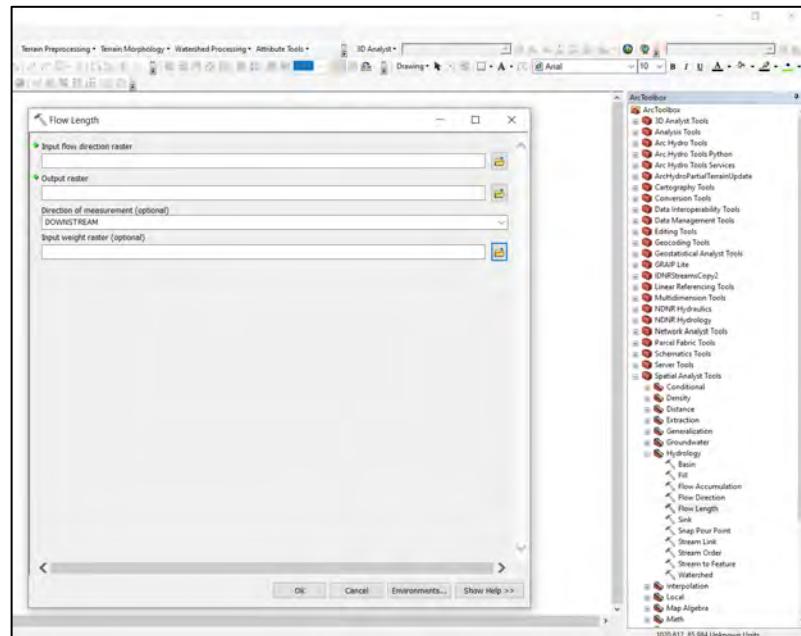


Figura 3. Herramienta Flow Length Software Arcgis Fuente: Propia

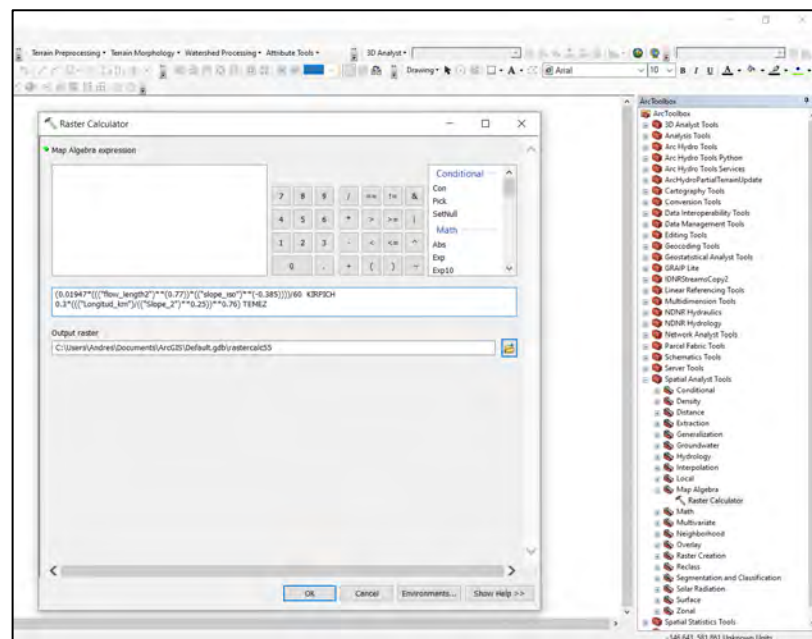


Figura 4. Herramienta Map Algebra Software Arcgis Fuente: Propia

7.3 Geología Cuenca Ceibas y Guarapas

7.3.1. Cuenca Hidrográfica Ceibas

Para la CAM, (2007), Desde el punto de vista regional, el área de la cuenca del río Las Ceibas corresponde a tres bloques principales: el Valle de Magdalena dominado por rocas sedimentarias suave a moderadamente plegadas; el flanco bajo de la Cordillera Oriental dominado por rocas sedimentarias terciarias a cretácicas moderada a fuertemente plegadas en el Sinclinal de San Antonio; y la zona alta caracterizada por rocas ígneo-metamórficas altamente fracturadas del Macizo de Garzón.

7.3.1.1. Tectónica del Valle Superior del Magdalena

El valle del Magdalena corresponde a una depresión estructural, relacionada con el levantamiento de las cordilleras Central y Oriental, generado por la acción tectónica compresiva de la zona andina durante el Terciario superior. Mientras las rocas sedimentarias sufrieron un plegamiento y fallamiento progresivo a finales de Terciario, la Cordillera Oriental fue levantada por un conjunto de fallas inversas y transcurrentes, asociadas al sistema de Fallas de Algeciras – Garzón al oriente. Localmente, los sedimentos alrededor de Neiva presentan deformaciones significativas que involucran las rocas del Cretácico al Mioceno con intensidad menor durante el Cuaternario. Los movimientos tectónicos también comprometen los depósitos cuaternarios a nivel regional, lo cual indicaría una etapa de deformación post-Mioceno e inclusive en el Cuaternario, aspectos que se describen a continuación. (CAM, 2007)

7.3.1.2. Plegamientos

Así mismo CAM, (2007) define El valle del Magdalena corresponde a una depresión estructural, relacionada con el levantamiento de las cordilleras Central y Oriental, generado por la acción tectónica compresiva de la zona andina durante el terciario superior. Mientras las rocas sedimentarias sufrieron un plegamiento y fallamiento progresivo a finales de Terciario, la Cordillera Oriental fue levantada por un conjunto de fallas inversas y transcurrentes, asociadas al sistema de Fallas de Algeciras – Garzón al oriente.

7.3.1.3. Fallamiento (CAM, 2007)

El Valle del Magdalena en la región de Neiva está separado geológicamente de la parte montañosa de la Cordillera Oriental por una serie de fallas inversas con convergencia al noroccidente relacionados con el Sistema de Fallas de Algeciras. Este sistema tectónico presenta un régimen compresivo con el resultante desplazamiento lateral derecho y cabalgamiento de los bloques comprometidos (Velandia P. et al., 2001).

El Valle del río Magdalena está limitado por fallas de tipo inverso, las cuales han puesto en contacto el basamento con rocas cretácicas y terciarias. Al sureste, corre la falla fundamental de Garzón – Algeciras con un rumbo N45E y la falla de Rivera – Baraya de rumbo N30E. En la travesía de la cordillera Oriental, este sistema tectónico también ha generado una serie de valles tectónicos, el propio valle de Algeciras y Balsillas, estructuras conocidas como cuencas de tracción y evidencia clara de su actividad neotectónica, aspectos que serán precisados en el capítulo de Geomorfología. Este sistema de fallas probablemente fue la fuente de los eventos sísmos históricos de terremoto de Vegalarga de 1967 y el terremoto de Timaná de 1827 (Ramirez, 1975). Como resultado de los esfuerzos compresivos, también se

han desarrollado grandes pliegues sinclinales con rumbo general N-S al occidente de esta falla, específicamente el sinclinal de San Antonio.

7.3.2. Cuenca Hidrográfica Guarapas

Para el POMCH de la cuenca Guarapas la CAM, (2009), realizó el estudio geológico de la cuenca a escala 1:50.000; en ella se encuentran expuestas grupos de rocas que van desde el paleozoico hasta el reciente, con características geológicas muy variadas; rocas ígneas, metamórficas, vulcano-sedimentarias y rocas sedimentarias, la cual se describe en la **Tabla 5** :

Tabla 5. Unidades geológicas de la Cuenca Guarapas

Edad/periodo		Unidad geológica	Descripción litológica	Símbolo
Paleozoico		Lodolitas y Calizas de Granadillo	Lodolitas negras piritosas, lodolitas verdes y areniscas cuarzosas de grano medio a grueso	PZlcg
Mesozoico	Jurásico	Formación Saldaña	Piroclastitas, rocas sedimentarias y cuerpos porfiríticos hipoabisales.	T2jsal
		Granito de Altamira	Rocas faneríticas, medio a grueso granulares, de color rosado a gris en diferentes tonos.	Jgal
		Cuarzo Monzodiorita de Sombrerillo	Son rocas de color gris y rosado, con diversas tonalidades entre mediana y altamente meteorizadas. Generan suelos areno arcillosos y saprolito.	Jmsdo
	Cretácico	Formación Caballos	Seg inf: Arenitas cuarzosas de color blanco, grano medio a fino. Seg intemed: alternancia de lodolitas laminadas de color gris oscuro, con capas de arenisca cuarzosa. Seg sup:	Kb

			arenisca cuarzosa de color blanco, grano subredondeado de tamaño medio a grueso	
		Formación Hondita	Capas gruesas lumaquéticas, de color gris, con abundantes moldes de fósiles de bivalvos y braquiópodos	K1K2hd
		Formación Loma Gorda	Paquetes calcáreos con abundantes moldes de fósiles (bivalvos) correspondientes a calizas lumaquética o micrita fosilífera	K2lg
Cenozoico	Neógeno	Lahar de Altamira	Tobas andesíticas, heterométricas, con matriz limo-arenosa	Nlal
		Formación Guacacallo	Flujos piroclásticos	Ngc
	Cuaternario	Depósitos Fluvio – Lacustres de Pitalito	Depósitos de material grueso (grava y arena) y material fino (arcillas y limos)	Qlp
		Conos y Abanicos Aluviales	Depósitos de rocas volcano-sedimentarias	Qab
		Aluviones	Depósitos conformados por fragmentos de tamaño grava, arena y limo	Qal

Fuente: (CAM, 2009)

7.4 Geomorfología Cuenca Ceibas y Guarapas

7.4.1. Cuenca Hidrográfica Ceibas

La CAM, (2007), relaciona cuatro unidades principales en la evolución de la cuenca, cada una con su dinámica particular: 1) Piedemonte Oriental Disectado; 2) Laderas Sedimentarias Plegadas; 3) Las Cuchillas Ígnea-metamórficas Erosionados; y 4) Altiplanicie Disectada:

Piedemonte Oriental Disectado: La zona baja de la cuenca de Las Ceibas corresponde a una secuencia de terrazas aluvio-torrenciales depositados durante la evolución del sistema fluvial y el levantamiento de la Cordillera Oriental. Están compuestos por depósitos aluviales de arena, gravilla y cantos de composición sedimentaria, ígnea y metamórfica. Su textura tiende a ser arenogravilosa que junto con un sustrato aluvial gruesa permite una alta permeabilidad. La vega y terrazas bajas son altamente susceptibles a las crecientes súbitas del río las Ceibas. La pendiente no sobrepasa el 7%. En las terrazas medias y altas por su altura sobre el nivel medio del río, no se reanticipa un riesgo por inundación. La pendiente está entre el 2 y el 12.5 %.

Laderas Sedimentarias Plegadas: Esta zona de filos y laderas en rocas sedimentarias coincide con un conjunto de rocas sedimentarias plegadas del sinclinal de San Antonio, compuestos por rocas duras (areniscas y conglomeradas) y blandas (arcillolitas, lutitas y limonitas) erosionadas son de pendiente intermedia entre el 12 y 50%. Los suelos tienden a ser superficiales con fenómenos comunes de erosión bien sea de tipo laminar o con reptación, solifluxión o deslizamientos superficiales en la forma de golpes de cuchara. Por el alto contenido de arcillas en el subsuelo, esta zona se caracteriza por su baja permeabilidad y escorrentía rápida.

Cuchillas Ígnea-metamórficas Erosionados: Se encuentran en la zona alta de la cuenca se desarrollan con paisaje de cuchillas, caracterizado por filos con pendientes largas y homogéneas en ambas direcciones en rocas ígneas y metamórficas de alto grado de meteorización. En los sectores de La Siberia, La Plata y Santa Rosalía los suelos tienden a

ser profundos en saprolito, bien sea en rocas graníticas o metamórficas, predomina la cobertura vegetal forestal. Sobre la cuenca media alta se desarrolla una morfología de laderas fuertes en rocas ígneometamórficas definidas como cuchillas. Esta unidad corresponde a la profundización del sistema fluvial en las rocas del basamento con el correspondiente desarrollo de pendientes fuertes mayores al 60% con una cobertura superficial de material alterado. Bajo estas condiciones de pendiente fuerte son comunes los suelos superficiales de permeabilidad baja y los desprendimientos superficiales de tipo golpe de cuchara. La cobertura dominante de pastos casi exclusiva en esta unidad también favorece estos procesos erosivos.

Altiplanicie Disectada: Esta unidad corresponde al sector alto de valles amplios y pendientes suaves de la cuenca del 10%, especialmente en la zona de Santa Rosalía y La Plata. Aunque las rocas metamórficas dominan en esta zona, las pendientes están cubiertas por una espesa cobertura de suelos orgánicos, saprolito y coluviones. Los afluentes de esta zona presentan pendientes muy suaves, inclusive con morfología meándrica como es el caso de la quebrada La Plata. Esta zona se caracteriza por una cobertura variable de pastos para ganadería lechera y bosques primarios y secundarios, en condiciones relativamente buenas. Para este sector se estima una permeabilidad alta, dadas las condiciones ambientales, con pendientes suaves, suelos profundos y una cobertura boscosa importante.

7.4.2. Cuenca Hidrográfica Guarapas

La CAM, (2009) caracteriza el relieve del área de la cuenca del río Guarapas como el resultado de la interacción de varios factores entre los que se destacan la composición litológica, los fenómenos tectónicos y climáticos y los fenómenos denudativos. Geomorfologicamente el área muestra dos grandes unidades una zona de montaña de origen denudacional con relieve moderado hasta abrupto y patrón de disección de moderado alto y una zona de origen agradacional con relieve plano a casi plano de bajas pendientes. Las unidades geomorfológicas se describen en **Tabla 6**:

Tabla 6. Unidades geomorfológicas del área de la cuenca del río Guarapas

Unidad genética de relieve	Unidad Geomorfológica	Procesos Morfodinámicos	Litología	Unidad Geológica
MONTAÑOSA ESTRUCTURAL DENUDACIONAL	I. Montañosa de control estructural	Deslizamientos traslacionales y erosión hídrica	Alternancia de arenitas cuarzosas y lodositas. Capas gruesas lumaquéllicas y paquetes calcáreos	Fm. Caballos – Hondita y Lomagorda
		Deslizamientos y reptación		
	II. Montañosa	Pequeños deslizamientos y erosión laminar	Piroclastitas, rocas sedimentarias y cuerpos porfiríticos hipoabisales y rocas faneríticas, medio a grueso granulares.	Fm. Saldana y Granito de Altamira
		Deslizamientos, erosión laminar y concentrada		

Unidad genética de relieve	Unidad Geomorfológica	Procesos Morfodinámicos	Litología	Unidad Geológica
	III. Laderas medias e inferiores	Deslizamientos, erosión en surcos, erosión laminar	Tobas andesíticas, heterométricas, con matriz limo-arenosa y flujos Piroclásticos.	Lahar de Altamira – Formación Guacacallo
AGRADACIONAL O ACUMULATIVA	IV. Depositacional en ápices de abanico	Erosión en surcos y erosión laminar	Depósitos de material grueso (grava y arena) y material fino (arcillas y limos)	Depositos Fluvio – Lacustres de Pitalito
	V. Depositacional Fluvio Lacustre	Socavación lateral, meandros activos y cortados	Depósitos de rocas volcánicas sedimentarias	Conos y Abanicos Aluviales
	VI. Depositacional de aluviones	Erosión en surcos y socavación lateral de márgenes	Depósitos conformados por fragmentos de tamaño grava, arena y limo	Aluviones

Fuente: (CAM, 2009)

7.5 Suelos Cuenca Ceibas y Guarapas

Para el desarrollo de un análisis incluyente y apropiado de las diferentes variables que concurren en los procesos de caracterización de una zonificación en el marco de los procesos de inundación se utilizaron como complemento las capas de Cobertura y Vocación del suelo, las cuales reflejan por un lado la disposición de recursos presentes en el espacio y por el otro

el tipo de actividad apropiada a realizar en las condiciones dadas por el suelo en la zona, siendo estas dos características muy importantes para el reconocimiento de las áreas susceptibles a inundación.

7.5.1. Cuenca Hidrográfica Ceibas (CAM, 2007)

Desde el punto de vista de la evolución geomorfológica se pueden clasificar diferentes tipos de suelo, que también representarían una zonificación general según el paisaje, ya que este es determinado por la geomorfología de la cuenca y la cobertura vegetal:

Suelos de formas aluviales. Los cuales están conformados por procesos de inundación del Río Magdalena y el Río Las Ceibas que han creado planicies aluviales y coluviales, entre las cotas 430 a 800 msnm perteneciente al piso térmico cálido, comprendiendo un área de 2961 ha caracterizados por una alta permeabilidad y que a su vez facilitan una alta evaporación ocasionando pérdidas considerables de humedad que hacen indispensable la aplicación del riego en los cultivos establecidos en la época de verano. De relieve plano a ligeramente ondulados, pendientes de 3 a 12%; son suelos formados a partir de materiales sedimentarios; moderadamente profundos y en algunas partes limitados por pedregosidad bien drenados y con fertilidad media a alta.

Suelos de colinas y cerros. Se encuentran localizados en el piso cálido hacia el templado, comprende aproximadamente 2290 hectáreas, son terrenos de colinas y serranías, de relieve ondulado a fuertemente quebrado, con pendientes entre 25 y 50%, estos suelos están formados a partir de materiales sedimentarios arcillosos, caracterizados por presentar un buen drenaje, fertilidad moderada, horizontes bien definidos cuya profundidad varía entre

superficiales a moderadamente profundos, de buen drenaje y fertilidad baja a moderada y de gran susceptibilidad a la erosión.

Suelos de cordillera. Suelos ubicados en los pisos térmicos templados a fríos; desarrollados en condiciones húmedas y muy húmedas a partir de rocas metamórficas, ígneas, sedimentarias y del complejo ígneo-metamórfico. En un medio tan variado en condiciones climáticas, geológicas y formas de la tierra en que ocurre, propician el desarrollo de una gama de suelos, desde los ricos en materia orgánica hasta los suelos erosionados, desde suelos arcillosos derivados de granitos y areniscas cuarcíticas.

Algunos suelos son profundos, tienen agregados estables, textura variable, estructura granular y masivo, resistentes al avance del proceso erosivo; pero, otras son superficiales, débilmente estructurados y altamente susceptibles al deterioro. Suman alrededor de 22013 ha.

Son tierras aptas para la protección y recuperación del medio, la mayoría del área se debe mantener en cobertura boscosa permanente ya que en las partes altas se encuentran los nacimientos de agua por su vocación forestal protectora.

En general los suelos de la cuenca pueden ser considerados poco fértiles y susceptibles a procesos erosivos debido al origen geológico, las altas pendientes y la distribución de la lluvia que se presenta en la zona.

Esta clasificación se basa en la geomorfología, clima, contenido pedológico, relieve y erosión.

7.5.2. Cuenca Hidrográfica Guarapas (Plan de Ordenamiento Territorial de Pitalito, 1999)

Suelos de montaña en clima frío y húmedo: Corresponden a las zonas de vida bosque muy húmedo montano bajo. Estos suelos se encuentran principalmente en la cuenca alta del río Guarapas en alturas entre 2000 y 2500 metros sobre el nivel del mar (msnm). Se caracterizan por presentar relieves fuertemente quebrados y escarpados. Se han desarrollado a partir de rocas ígneas y volcánicas como granitos y cuarzodioritas, de igneo-metamórficas como gneis y de rocas sedimentarias como arcillolitas que en algunos sectores se encuentran cubiertos de ceniza volcánica. Los suelos con ceniza volcánica son ácidos y ricos en humus, profundos y están compuestos por Hapludands y Humitropeps. Químicamente estos suelos son ácidos, de capacidad de intercambio catiónico bajo y sus niveles de fertilidad son bajos.

Suelos de montaña de clima medio húmedo: Estos suelos se encuentran en la cuenca alta del río Guarapas en alturas entre 1000 y 2000 msnm. A este suelo corresponden las zonas de vida de bosque húmedo y muy húmedo premontano. Se caracterizan por presentar relieves fuertemente quebrados y escarpados con pendientes mayores de 50%. Al igual que el anterior tipo de suelos, estos se han desarrollado a partir de rocas volcánicas, igneo-metamórficas y sedimentarias y gran parte de ellos se han recubierto de cenizas volcánicas. Son suelos ácidos y de capacidad de intercambio catiónico alto. La mayor parte de estas tierras están usadas en cultivos de café asociado con plátano, maíz y frutales.

Suelos de Piedemonte de clima medio y húmedo: Este paisaje está formado por abanicos coalescentes y glaciares de erosión localizada al pie de las estribaciones de las cordilleras Central y Oriental en altitudes comprendidas entre 1000 y 2000 msnm., en la formación vegetal bosque húmedo Premontano. El relieve es inclinado y no sobrepasa el 12%. En las

disecciones la pendiente varía entre el 12 y 15 %. Estos suelos se han originado a partir de sedimentos arcillosos y coluviones detríticos ígneo metamórficos y sedimentarios. La mayoría de estos suelos son evolucionados, generalmente superficiales, limitados por la presencia de un horizonte compacto o por capas muy pedregosas. En la actualidad estos suelos están utilizados en ganadería extensiva con pastos naturales sin manejo. Este tipo de uso hace que estos suelos estén subutilizados puesto que son aptos para cultivos intensivos permanentes.

Suelos de lomerío de clima medio y húmedo: Este tipo de paisaje se encuentra al norte y noroccidente del municipio de Pitalito, a una altitud entre 1200 y 2000 msnm. dentro de la zona de vida de bosque muy húmedo premontano según la clasificación de Holdridge. Está compuesto por una serie de colinas y lomas desarrolladas a partir de tobas, areniscas tobáceas, conglomerados y areniscas calcáreas. El relieve es ondulado y fuertemente quebrado, con laderas cortas y pendientes entre 7 y 50%. Los suelos son superficiales a moderadamente profundos, de secuencia de horizontes ABC y AC; bien drenados a excesivamente drenados. El material parental deleznable y las pendientes fuertes, han contribuido para causar los procesos de erosión que se evidencian en grado moderado a severo en el norte y noroccidente del municipio. La cobertura vegetal natural ha sido reemplazada por pastos y algunos cultivos de plátano, maíz y frutales, sin embargo, están siendo subutilizados pues son aptos para todos los cultivos apropiados a su clima.

Suelos de altiplanicies de clima medio y húmedo: Este paisaje corresponde a mesas o superficies planas y onduladas disectadas por profundos vallecitos, por donde fluyen quebradas y riachuelos que tributan sus aguas al río Magdalena. Comprende dos tipos de

relieve, las mesas propiamente dichas con un relieve plano y ligeramente ondulado cuyas pendientes oscilan entre 0 y 7% y las colinas y lomas (antiguas mesas disectadas), cuyo relieve de colinas de cimas planas y angostas y 18 laderas fuertemente inclinadas, presentan pendientes hasta del 50%. Este paisaje se encuentra entre 1000 y 1700 msnm. correspondiendo a las formaciones vegetales de bosque muy húmedo premontano y bosque húmedo premontano. Sus suelos han evolucionado a partir de flujos ignimbríticos y otros depósitos volcánicos (Tobas) y sobre cenizas volcánicas que han recubierto arcillas residuales de la alteración de rocas volcánicas. Aquellos que se han desarrollados sobre cenizas son profundos, humíferos, ácidos de perfil ABC friables y bien drenados; los que se han desarrollado sobre arcillas residuales, son superficiales, poco permeables, arcillosos, de complejo saturado y de reacción ácida. Actualmente los suelos de las altiplanicies, están cubiertos por un mosaico de parches de bosque nativo, pastos, cultivos de café plátano y pancoger. La aptitud de estos suelos para actividades agropecuarias es moderada en las colinas y lomas y alta en las mesas.

Suelos de los Valles de clima medio y húmedo: Del Macizo Colombiano se desprende la Cordillera Oriental conformada por una serie de estribaciones, que delimitan pequeños y grandes valles. Una de ellas es la Serranía de Buenos Aires que al bifurcarse da origen al valle de Laboyos. El paisaje de este valle está formado por relieves de vegas y terrazas recientes, compuestas por suelos de origen aluvial de la actividad de los ríos Guarapas y Guachicos. Se encuentran a una altitud entre 1000 y 1400 msnm. Y corresponden a las formaciones vegetales de bosque muy húmedo Premontano y bosque húmedo Premontano. Los suelos de las vegas se han originado a partir de aluviones y materiales detríticos de

textura gruesa. Son poco evolucionados y se caracterizan por la presencia de gravilla, cascajo y piedra, son en general bien drenados. En las terrazas los depósitos son arcillosos y de origen lacustre. En las áreas planocóncavas, los suelos son poco evolucionados, mal drenados y en algunos casos inundables como es el caso de la Coneca; en las áreas planas los suelos son más evolucionados pero limitados por horizontes arcillosos endurecidos. La vegetación natural ha sido destruida y reemplazada por pasto natural y cultivos de subsistencia como cacao, café en parcelas pequeñas, cacao, frutales, maíz, hortalizas, tomate entre otros.

7.6 Valle de Inundación Herramienta Module Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness (MRVBF) (Gallant & Dowling, 2003)

Los fondos del valle funcionan como amortiguadores hidrológicos que afectan significativamente el comportamiento de la escorrentía. Distinguir los fondos de los valles de las laderas es un primer paso importante para identificar y caracterizar los depósitos de sedimentos con fines hidrológicos y geomórficos. Los fondos de los valles ocurren en un rango de escalas desde unos pocos metros hasta cientos de kilómetros de extensión.

El algoritmo MRVBF está diseñado para identificar los fondos de los valles como áreas planas y bajas en relación con su entorno. La motivación para desarrollar este índice es la necesidad de discriminar entre las regiones deposicionales (se supone que corresponden a los fondos de los valles) y las regiones erosivas (áreas distintas de los fondos de los valles) y estimar los volúmenes de almacenamiento para aplicaciones hidrológicas.

Hay varias aplicaciones para el índice MRVBF. En el nivel más simple, proporciona una herramienta en apoyo de la interpretación de los accidentes geográficos. El índice discrimina entre tierras altas (cimas de colinas, crestas y pendientes) y tierras bajas (áreas convergentes

y fondos de valles), así como también separa los grados de planicidad de los fondos de los valles. En contraste con un mapa de pendientes, que generalmente sufre de variabilidad de grano fino incluso en áreas planas anchas, MRVBF representa los fondos de los valles como regiones contiguas más acordes con el mapeo geomórfico convencional.

A través del software de uso libre GRASS y la herramienta desarrollada para el cálculo del MRVBF “r.valley.bottom” se obtuvieron los raster de los valles de inundación presentes en la cuenca del Río Guarapas y Ceibas. La herramienta evalúa la planitud y la escasez del terreno en escalas múltiples y resoluciones DEM para identificar fondos de valles, que representan áreas que son planas en escalas múltiples y permanecen bajas en relación con el relieve circundante en escalas más gruesas. El algoritmo utiliza una transformación sigmoidea / logística para reescalar los ángulos de pendiente del terreno y el percentil de elevación en un rango de 0 a 1, y luego combina estos resultados en múltiples niveles de suavizado DEM y resoluciones de cuadrícula más gruesas. Aunque el índice resultante representa un valor continuo, los valores <0.5 generalmente no representan fondos de valle, los valores de 0.5 a 1.5 representan los fondos de valle resueltos más empinados, y los fondos de valle más planos / más grandes están representados por valores > 1.5 . (Pawley & Steven, 2020)

7.7 Metodología (AHP) Analytic Hierarchy Process (Proceso Analítico Jerárquico) (Hurtado & Bruno, 2005)

El AHP es una metodología para estructurar, medir y sintetizar. Es un método matemático creado para evaluar alternativas cuando se tienen en consideración varios criterios y está basado en el principio que la experiencia y el conocimiento de los actores son tan importantes como los datos utilizados en el proceso.

El AHP utiliza comparaciones entre pares de elementos, construyendo matrices a partir de estas comparaciones, y usando elementos del álgebra matricial para establecer prioridades entre los elementos de un nivel, con respecto a un elemento del nivel inmediatamente superior

Cuando las prioridades de los elementos en cada nivel se tienen definidas, se agregan para obtener las prioridades globales frente al objetivo principal. Los resultados frente a las alternativas se convierten entonces en un importante elemento de soporte para quien debe tomar la decisión. La notación utilizada es la siguiente:

- Para i objetivos dados $i = 1, 2, \dots, m$; se determinan los respectivos pesos w_i .
- Para cada objetivo i , se comparan las $j = 1, 2, \dots, n$ alternativas y se determinan los pesos w_{ij} con respecto al objetivo i
- Se determina el peso final de la alternativa W_j con respecto a todos los objetivos así $W_j = w_{1j}w_1 + w_{2j}w_2 + \dots + w_{mj}w_m$

Las alternativas se ordenan de acuerdo con el W_j en orden descendente, donde el mayor valor indica la alternativa más preferida. Las diferentes metodologías para la solución de problemas multicriterios se diferencian en la forma como determinan el objetivo y las ponderaciones a

los factores. La validez general del AHP está fundamentada en las múltiples y variadas aplicaciones que ha tenido para la solución de problemas de toma de decisiones.

Algunos autores plantean que el AHP no ha sido bien comprendido, ya que va más allá de ser una simple metodología para situaciones de elección (Forman & Gass, 2001). afirma, que la mejor manera de entender el método es describiendo sus tres funciones básicas: estructurar la complejidad, medir en una escala y sintetizar. A continuación, se describen éstas de una manera breve (Saaty, 2011):

Estructuración de la Complejidad. Saaty buscó una manera para resolver el problema de la complejidad, y utilizó la estructuración jerárquica de los problemas en subproblemas homogéneos. De hecho, el uso de la descomposición jerárquica es una de las grandes virtudes del método, puesto que se descompone una meta u objetivo en factores más simples, es decir, un problema se descompone en subproblemas, los cuales están relacionados directamente con el problema inicial, y al lograr la solución de los subproblemas y manteniendo la relación existente entre ellos, se consigue la solución del problema inicial.

Medición en escalas. El AHP permite realizar mediciones de factores tanto subjetivos como objetivos a partir de estimaciones numéricas, verbales o gráficas, lo cual le provee una significativa flexibilidad, permitiendo esto, variedad de aplicaciones en campos tan distintos unos de otros. El hecho de tener definida una escala general, aplicable a cualquier situación, permite la universalidad del método y lo hace sencillo de aplicar para quien toma la decisión. Además, la escala es clara y provee una gran amplitud para las comparaciones. En la se presenta la escala propuesta por Saaty, (1994).

Síntesis. Aunque el nombre incluya la palabra Análisis, el enfoque del AHP es totalmente sistémico, ya que, aunque analiza las decisiones a partir de la descomposición jerárquica, en ningún momento pierde de vista el objetivo general y las interdependencias existentes entre los conjuntos de factores, criterios y alternativas, por lo tanto, este método está enfocado en el sistema en general, y la solución que presenta es para la totalidad, no para la particularidad.

Tabla 7. Escalas de comparación de Saaty

Escala	Definición	Explicación
1	Igualmente, preferida	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo
3	Moderadamente preferida	La experiencia y el juicio favorecen un poco a un criterio frente al otro
5	Fuertemente preferida	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente al otro
7	Muy fuertemente preferida	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro. En la práctica se puede demostrar su dominio
9	Extremadamente preferida	La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente al otro
NOTA: Los valores 2, 4, 6 y 8 se utilizan cuando no se puede definir con claridad la preferencia entre los factores. Estos son valores intermedios de preferencia		

Fuente: (Saaty, 1994)

7.7 Herramienta Overlay - Superposición Ponderada (Argics for Desktop, 2020)

Una de las herramientas SIG disponibles actualmente en los procesos de análisis para la gestión del riesgo es el software Argics (Licencia de No uso Libre), el cual dispone de una amplia variedad de utilidades las cuales permiten el procesamiento de las imágenes satelitales y demás insumos disponibles en la actualidad para el reconocimiento de un área de estudio.

La herramienta Superposición ponderada es un Tool de las herramientas que incluye la licencia del software, la cual aplica uno de los enfoques más utilizados en el análisis de

superposición para resolver problemas de varios criterios como la selección de sitios y los modelos de adecuación. En un análisis de superposición ponderada, se sigue cada uno de los pasos del análisis de superposición general. Como en todo análisis de superposición, en el análisis de superposición ponderada, debe definirse el problema, dividirse el modelo en submodelos e identificarse las capas de entrada.

Cuando las capas de criterios de entrada están en sistemas de numeración distintos con rangos diferentes, cada celda de cada criterio se debe reclasificar con una escala de preferencia común como 1 a 10, siendo 10 el más favorable, para combinarlas en un único análisis. Una preferencia asignada en la escala común implica la preferencia del fenómeno para el criterio. Los valores de preferencia están en una escala relativa. Es decir, una preferencia de 10 es dos veces una preferencia de 5.

Los valores de preferencia no sólo deben asignarse en relación a los otros valores dentro de la capa, sino que también deben tener el mismo significado entre las capas. Los criterios del análisis de superposición ponderada tal vez no tengan la misma importancia. Puede darse más peso a los criterios importantes que a los otros criterios. El último paso del proceso del análisis de superposición es validar el modelo a través de la verificación del resultado contrastado con el criterio de la situación real que se aborde en el proceso de análisis y uso de la herramienta.

8. RESULTADOS

8.1. Morfometría

La caracterización morfométrica se obtuvo a partir del uso de los DEM descargados en las diferentes plataformas disponibles de uso libre, para lo cual solo se elegía la zona de estudio y se organizaban por carpetas detallando los niveles de resolución para el procesamiento, y seguidamente empleando las herramientas hidrológicas incluidas en la herramienta ArcHydro Tools, en el software ARGICS.

8.1.1. Cuenca las Ceibas y Gurapas

El procesamiento de los DEM y las ecuaciones mencionadas en la metodología, permitieron la obtención de la **Tabla 8** que se relaciona a continuación:

Tabla 8. Resumen Morfometría Cuenca Hidrográfica Las Ceibas

PARÁMETRO	ALOS PALSAR	ASTERDEM	HYDROSHED	TANDEM	PROMEDIO DEM
Área (Km ²)	299,54	304,47	300,41	297,58	300,50
Perímetro (Km)	182,06	181,83	167,82	165,42	174,28
Centroide en X (m)	884328,3 0	883970,34	884346,44	884250,99	884224,02
Centroide en Y (m)	806330,1 2	806432,76	806404,42	806256,32	806355,90
Elevación mínima de la cuenca (m.s.n.m)	450,00	442,00	431,00	452,00	443,75
Elevación máxima de la cuenca (m.s.n.m)	3217,00	4555,00	3184,00	3203,00	3539,75
Elevación media de la	1650,28	1613,40	1627,25	1652,35	1635,82

cuenca (m.s.n.m)					
Longitud de la cuenca (Km)	61,96	60,75	60,41	58,96	60,52
Longitud del cauce principal (km)	57,56	56,87	54,78	53,75	55,74
Longitud en línea Recta del cauce (Km)	34,35	33,25	33,85	33,36	33,70
Elevación mínima del cauce (m.s.n.m)	450,00	442,00	431,00	452,00	443,75
Elevación máxima del cauce (m.s.n.m)	2480,00	2464,50	2400,50	2424,50	2442,38
Elevación media del cauce (m.s.n.m)	1090,55	1071,15	1049,92	1091,24	1075,71
Pendiente de la cuenca (m/m)	0,46	0,45	0,20	0,38	0,37
Pendiente del cauce principal (m/m)	0,08	0,10	0,06	0,13	0,09
Vertiente Menor (Km2)	119,48	118,99	120,29	118,14	119,22
Vertiente Mayor (Km2)	180,06	185,48	180,12	179,44	181,28
Longitud de Drenajes (Km)	117,55	116,89	102,62	101,15	109,55
Longitud maxima de la cuenca (km)	36,39	35,74	36,40	35,94	36,12
Ancho maximo de la cuenca (km)	22,40	22,36	22,41	22,42	22,40
Coefficiente de Sinuosidad	1,68	1,71	1,62	1,61	1,65
Densidad de Drenaje (D)	0,39	0,38	0,34	0,34	0,36
Ancho medio de la cuenca (B)	8,72	9,16	8,87	8,92	8,92
Factor de forma	0,25	0,28	0,26	0,27	0,26

Índice de compacidad	2,95	2,92	2,71	2,68	2,81
Coeficiente de Masividad	5,51	5,30	5,42	5,55	5,44
Coeficiente Orográfico	0,009	0,009	0,009	0,009	0,01
Índice de Alargamiento	1,62	1,60	1,62	1,60	1,61
Índice de Asimetría	1,51	1,56	1,50	1,52	1,52
Temiz (h)	4,49	4,20	4,64	3,96	4,32
Kirpich (h)	4,33	3,83	4,73	3,47	4,09
California CP (h)	3,99	3,55	4,27	3,15	3,74
Giandotti (h)	1,19	1,21	1,82	1,32	1,39
Bransby-Williams (h)	13,15	12,27	13,22	11,16	12,45
Guaire (1978) (h)	22,45	20,87	24,43	19,38	21,78
Tiempo de Concentración Promedio	8,27	7,66	8,85	7,07	7,96

Fuente: (Propia 2020)

Tabla 9. Resumen Morfometría Cuenca Hidrográfica Guarapas

PARAMETRO	ALOS PALSAR	ASTERDEM	HYDROSHED	TANDEM	PROMEDIO DEM
Área (Km2)	705,73	707,37	704,48	705,28	705,71
Perímetro (Km)	210,15	210,06	197,69	197,88	203,95
Centroide en X (m)	1105540,12	1105531,56	1105597,40	1105584,02	1105563,27
Centroide en Y (m)	688201,34	688197,04	688304,70	688245,65	688237,18
Elevación mínima de la cuenca (m.s.n.m)	1202,00	1185,00	1176,00	1206,00	1192,25
Elevación máxima de la cuenca (m.s.n.m)	2980,00	3476,00	2944,00	2968,00	3092,00
Elevación media de la cuenca (m.s.n.m)	1738,66	1711,94	1712,98	1737,37	1725,24
Longitud de la cuenca (Km)	62,07	62,61	61,43	61,25	61,84

Longitud del cauce principal (km)	56,27	56,54	54,35	54,51	55,42
Longitud en línea Recta del cauce (Km)	30,74	30,72	30,56	30,78	30,70
Elevación mínima del cauce (m.s.n.m)	1202,00	1185,00	1176,00	1206,00	1192,25
Elevación máxima del cauce (m.s.n.m)	2409,00	2385,00	2393,00	2417,00	2401,00
Elevación media del cauce (m.s.n.m)	1543,84	1509,75	1519,80	1535,93	1527,33
Pendiente de la cuenca (m/m)	0,31	0,29	0,24	0,24	0,27
Pendiente del cauce principal (m/m)	0,05	0,07	0,10	0,10	0,08
Vertiente Menor (Km2)	306,66	303,60	303,99	304,16	304,60
Vertiente Mayor (Km2)	399,07	403,77	400,49	401,12	401,11
Longitud de Drenajes (Km)	235,35	239,16	224,33	221,48	230,08
Longitud máxima de la cuenca (km)	46,23	46,33	46,29	46,46	46,33
Ancho máximo de la cuenca (km)	24,32	24,43	24,41	24,43	24,40
Ancho Cuenca (km)	22,95	23,03	23,05	22,91	22,99
Coefficiente de Sinuosidad	1,83	1,84	1,78	1,77	1,81
Densidad de Drenaje (D)	0,33	0,34	0,32	0,31	0,33
Ancho medio de la cuenca (B)	22,95	23,03	23,05	22,91	22,99
Factor de forma	0,75	0,75	0,75	0,74	0,75
Índice de compacidad	2,21	2,21	2,09	2,09	2,15
Coefficiente de Masividad	2,46	2,42	2,43	2,46	2,44
Coefficiente Orográfico	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Índice de Alargamiento	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90
Índice de Asimetría	1,30	1,33	1,32	1,32	1,32
Temiz (h)	4,88	4,65	4,26	4,23	4,50

Kirpich (h)	5,12	4,60	3,91	3,86	4,37
California CP (h)	4,63	4,15	3,47	3,44	3,92
Giandotti (h)	1,79	1,86	2,05	2,04	1,93
Bransby-Williams (h)	12,86	12,18	10,85	10,82	11,68
Guaire (1978) (h)	42,51	38,97	34,70	34,43	37,65
Tiempo de Concentración Promedio	11,97	11,07	9,87	9,80	10,68

Fuente: (Propia 2020)

De acuerdo a los resultados obtenidos se observan algunas diferencias entre los datos calculados por cada DEM, esto conforme a que cada uno de ellos fueron seleccionados con resoluciones diferentes y en algunas ocasiones se encontraban sectores con nubes, los cuales dificultan el procesamiento de imagen y sus resultados presentan un grado de incertidumbre en su respectivo calculo.

El área de la cuenca Las Ceibas obtenido del promedio de los cuatro (4) DEM es de 300,5 km² y según la **Tabla 3**, se clasifica en Unidad Hidrológica de Cuenca; Londoño Arango, (2001), presenta una clasificación de las cuencas por tamaño, donde la cuenca rio las Ceibas con un valor de 30.050Ha, se clasifica en una cuenca de tamaño pequeña; ya que se encuentra en el rango de 10.000 ha a 100.000 ha. Para la cuenca Guarapas se tiene en promedio de los cuatro (4) DEM un valor de 705,71 km² según la **Tabla 9**, se clasifica de igual manera como Unidad Hidrológica de Cuenca y por su tamaño según Londoño, (2001), pertenece a una cuenca Pequeña.

El coeficiente de sinuosidad promedio presente en la cuenca Las Ceibas es de 1,65, representando que el cauce no tiene una alineación recta a lo largo de su recorrido desde su nacimiento hasta su desembocadura, ya que los valores de sinuosidad menores o iguales a

1,25 clasifican al cauce una alineación recta según lo afirmado por Monsalve, (1995), y por consiguiente la velocidad de escorrentía del agua a lo largo de la corriente es baja. Para la cuenca Guarapas el valor promedio es de 1,81 de acuerdo a la **Tabla 9**, siendo este valor superior al encontrado por Monsalve, para cauces con alineación recto y al igual que la cuenca Ceibas la velocidad del cuerpo de agua a lo largo del cauce es reducida.

La densidad de la red hídrica en la cuenca es de 0,36. Lo cual representa un valor significativamente bajo en la cantidad de drenajes presentes. Según Londoño Arango, (2001) los valores de D menores a 1.5 corresponden a zonas de drenajes deficientes, indicando que la cuenca del río Las Ceibas presenta una baja densidad de drenajes, es decir es una cuenca mal drenada, con características de escurrimientos muy escasas, grandes zonas inundables y también una lenta respuesta hidrológica. La textura correspondiente a un D de 0,36 es gruesa teniendo en cuenta la clasificación realizada por Londoño Arango, (2001), esto debido a la baja cantidad de drenes presentes en el área de la cuenca; para Way (1978), citado por Ministerio del Medio Ambiente de España, (1992), una cuenca con textura de drenaje gruesa, la escorrentía superficial es menor, la roca es más resistente, aunque más permeable, y los suelos tienen elevada permeabilidad. De acuerdo a la **Tabla 9** la cuenca del Río Guarapas presenta una Densidad de Drenaje Promedio de los cuatro (4) DEM de 0,33 el cual se clasifica de acuerdo a los autores mencionados en una cuenca mal Drenada de Textura Gruesa creando condiciones similares a los relacionados en la cuenca del Río Las Ceibas.

El ancho medio de la cuenca se obtuvo a partir de la **Ecuación 3** con un resultado de 8.92 km promedio de los cuatro (4) DEM y para la cuenca del Río Gurapas un valor promedio de los cuatro (4) DEM de 22,9 km

De acuerdo a la topografía de la cuenca y las curvas de nivel obtenidas, se realizó el análisis de la curva hipsométrica destacando que la elevación media de la cuenca promedio de los cuatro DEM es de 1635,82 m.s.n.m calculada con la **Ecuación 9**, y se muestra a través de la **Figura 5**. Esta figura nos muestra que el 50% del área se encuentra por encima de los 1.800 m.s.n.m, siendo esto un factor preponderante para el desarrollo de avenidas torrenciales debido a la cantidad de energía potencial y cinética disponible del relieve y sumado a las características factibles de erosibilidad en la zona alta de la cuenca. También la **Figura 5** nos permite observar que el 50% restante corresponde a zonas de valle, entre las cuales se destacan cascados urbanos que para el caso de la figura corresponde a la Ciudad de Neiva y algunos sectores rurales que en épocas de alta pluviosidad se han visto afectados por las inundaciones y como también el desabastecimiento del agua potable en el sector urbano.

Para las curvas hipsométricas obtenidas en la cuenca Guaraparas tenemos una elevación media promedio de los cuatro DEM de 1725,24 m.s.n.m obtenida a través de la **Ecuación 9** y se observan en la **Figura 6**.

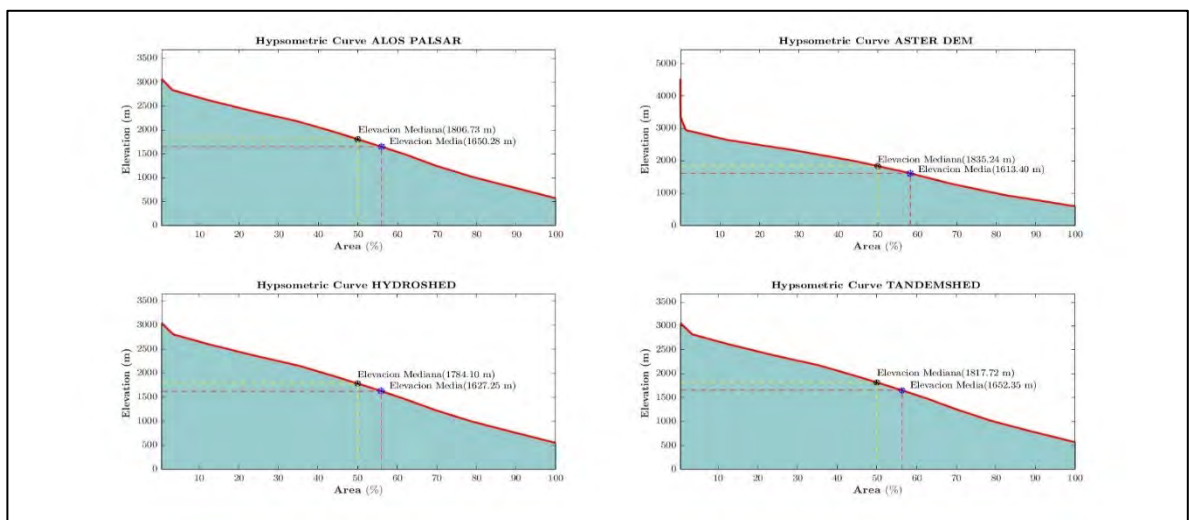


Figura 5. Curvas Hipsométricas Cuenca Río Las Ceibas. Fuente: (Propia 2020)

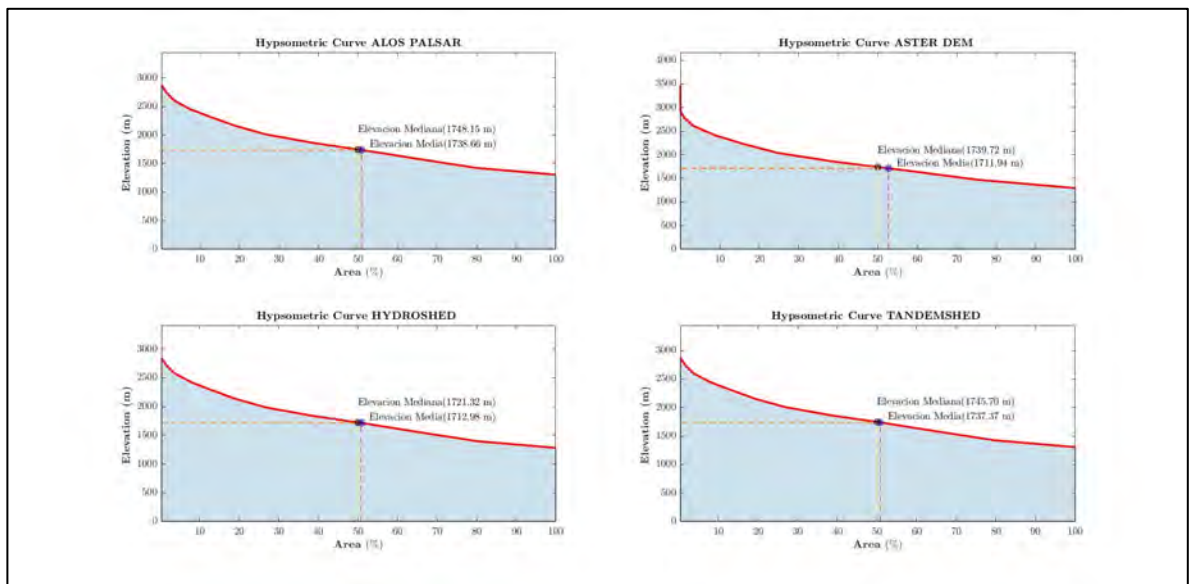


Figura 6. Curvas Hipsométricas Cuenca Río Guarapas. Fuente: (Propia 2020)

De la **Figura 6** se observa que la cuenca presenta en su relieve una distribución plana de llanura a lo largo del área de la cuenca incrementando las probabilidades de inundación en la parte baja, teniendo en cuenta que una vez por encima de la elevación mediana observamos que la curvatura relaciona una forma convexa pronunciada y por debajo se atenúa cóncava; lo cual implica la predominancia de procesos erosivos y de generación de precipitaciones asociadas al ascenso orográfico forzado de masas de aire por encima del valor de la altura mediana, y de procesos de transporte y depositación por debajo de ella. Se resalta que en la parte valle de la cuenca se encuentra el Casco Urbano del Municipio de Pitalito y algunas Unidades Productivas del compendio agropecuario del municipio. Las pendientes de las cuencas Ceibas y Gurapas fueron de 37% y 27% respectivamente, siendo estos valores de acuerdo a lo expresado por Reyes T. et al., (2010), para la cuenca Ceibas una representación característica de un relieve Muy fuertemente Accidentado y en Guarapas su relieve Fuertemente Accidentado, siendo estas características expresadas en la preponderancia de las

cuencas a ser afectadas por fuertes crecidas y tiempos rápidos de respuesta traducidos en alta torrencialidad.

La **Ecuación 4** empleada para el cálculo del factor de forma en las Cuencas Guarapas y Ceibas arrojó los valores de 0,76 y 0,25 respectivamente, de acuerdo a la clasificación propuesta por Reyes T. et al., (2010), las dos cuencas presentan una forma alargada con baja susceptibilidad a avenidas torrenciales, baja tendencia a la concentración de escurrimiento, disminuyendo la formación de grandes crecientes

El coeficiente de compacidad obtenido por medio de la **Ecuación 5** para la cuenca del Río Guarapas y Ceibas en promedio de los DEM empleados fue de 2,15 y 2,81 respectivamente. Estos valores de acuerdo a la clasificación establecida por FAO, (1985), mencionan que su forma es Rectangular Oblonga y permiten inferir que ambas tienen similitud geométrica teniendo en cuenta la cercanía de los valores obtenidos del índice. Finalmente, de acuerdo a la forma de las cuencas estas presentan características de baja torrencialidad debido a la baja acumulación de los flujos de agua luego de una precipitación.

El perfil longitudinal de las cuencas fueron obtenidos para cada uno de los DEM de acuerdo a la **Figura 7** y **Figura 8** y sus datos de elevación y longitud fueron procesados y empleados en la **Ecuación 6**, obteniendo el valor de Altura Promedio para la cuenca Ceibas y Guarapas de 1075,71 m.s.n.m y 1527,33 m.s.n.m respectivamente, para la **Ecuación 8** se utilizaron los datos del perfil y se calculó la pendiente promedio ponderada para Ceibas del 8% y Guarapas del 9%. Estos porcentajes según la clasificación relacionada por Reyes T. et al., (2010), presentan un tipo de relieve Medianamente Accidentado, el cual refleja una alta susceptibilidad a eventos de inundación, asociados a malos drenajes y sedimentación.

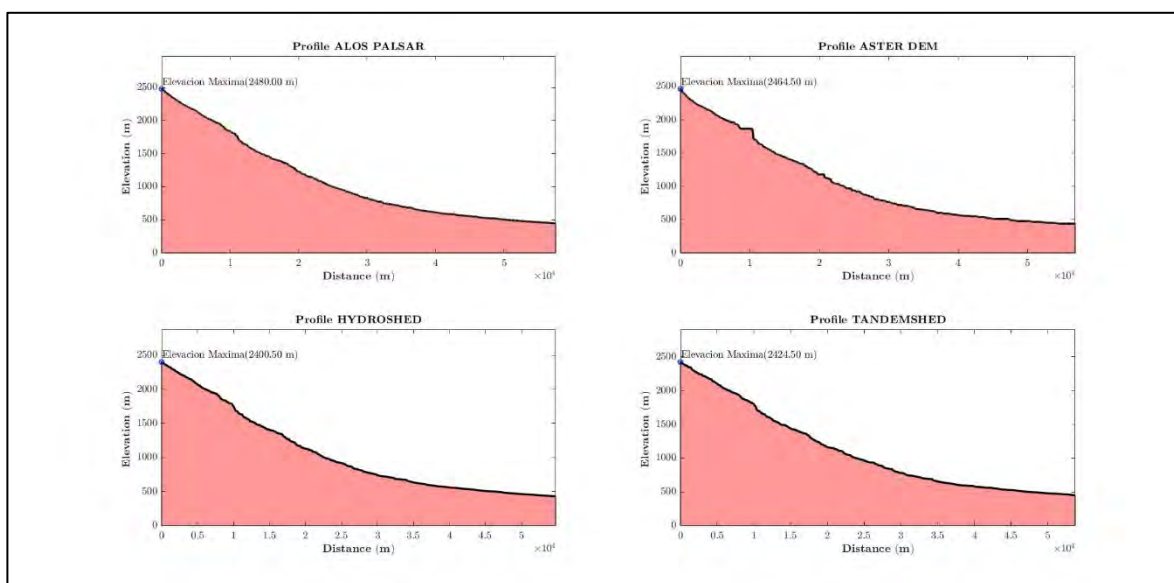


Figura 7. Perfil Longitudinal Cuenca Río Las Ceibas. Fuente: (Propia 2020)

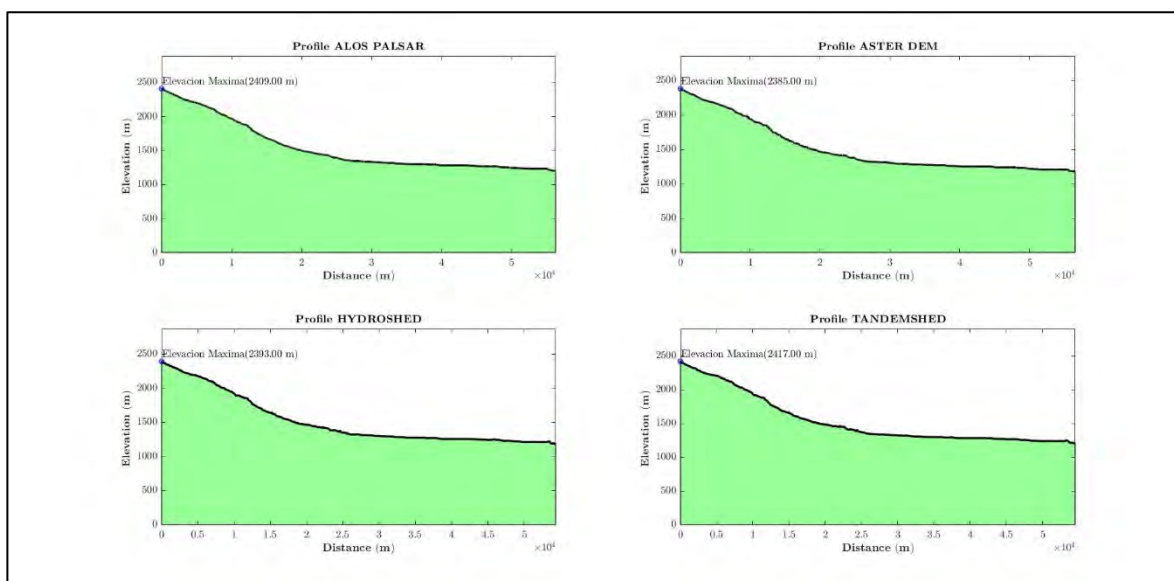


Figura 8. Perfil Longitudinal Cuenca Río Guarapas. Fuente: (Propia 2020)

De acuerdo a la **Tabla 8** y **Tabla 9** el índice de alargamiento para la cuenca Ceibas y Gurapas corresponden a 1.61 y 1.90 respetivamente. Estos valores de acuerdo a la clasificación mencionada por Reyes T. et al., (2010) clasifica a las cuencas como alargadas, las cuales presentan un alto grado de evolución del sistema en capacidad de absorber mejor una alta

precipitación sin generar crecidas torrenciales en enormes proporciones. En cuanto al índice de asimetría relacionado en las tablas anteriores los valores para Ceibas y Guarapas son de 1.52 y 1.32, los cuales de acuerdo a Reyes T. et al., (2010), en las cuencas su cauce principal se encuentra bastante recargado a una de las vertientes (Ceibas – Izquierdo / Guarapas – Izquierdo), lo cual implica una heterogeneidad en la distribución de la red de drenaje, aumentando la descarga hídrica de la cuenca a esta vertiente, lo que incrementa en cierto grado los niveles de erodabilidad a causa de los altos eventos de escorrentía superficial obtenidos. Los coeficientes de Masividad y Orográfico para la cuenca las Ceibas fueron de 5,44 y 0,01 y Guarapas de 2,44 y 0,004 respectivamente, estos reflejan a nivel de Masividad moderadamente montañoso para las dos cuencas, pero por su valor reducido se enmarca en cuencas planas en su parte baja; para el índice orográfico se observa que su valor es cercano a 0 en las dos cuencas, caracterizando un relieve poco accidentado propio de cuencas extensas y de baja pendiente, siendo esta particularidad expresada en un bajo potencial de degradación de la cuenca, teniendo en cuenta a lo mencionado por (Ibídem).

Figura 9. Distribución de Vertiente Guarapas - Alos Palsar. *Fuente: (Propia 2020)*

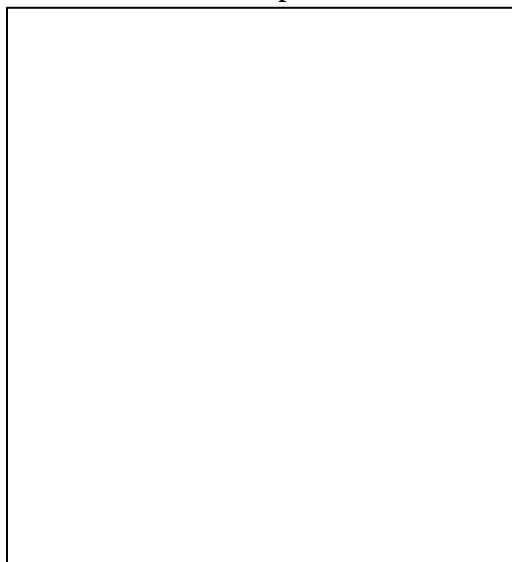


Figura 10. Distribución de Vertiente Ceibas - Alos Palsar. *Fuente: (Propia 2020)*



El número de orden de las cuencas se obtuvo mediante la metodología de Strahler, (1952) la cual se encuentra incluida en el software Argics 10.3 para el ordenamiento de cauces, este ordenamiento presento los siguientes resultados.

Tabla 10. Longitudes Red de Drenaje Ceibas (DEM ALOS PALSAR)

Orden del Cauce	Longitud (Km)
1	47,09
2	27,31
3	43,15
TOTAL	117,55

Fuente: Fuente: (Propia 2020)

Tabla 11. Longitudes Red de Drenaje Guarapas (DEM ALOS PALSAR)

Orden del Cauce	Longitud (Km)
1	126,81
2	50,47
3	43,63
4	14,45
TOTAL	235,35

Fuente: Fuente: (Propia 2020)

En las **Tabla 8** y **Tabla 9**, se relacionan los valores totales de las longitudes de la red de Drenajes obtenidos por cada uno de los DEM y su promedio.

Figura 11. *Red de Drenajes Guarapas - Alos Palsar. Fuente: (Propia 2020)*

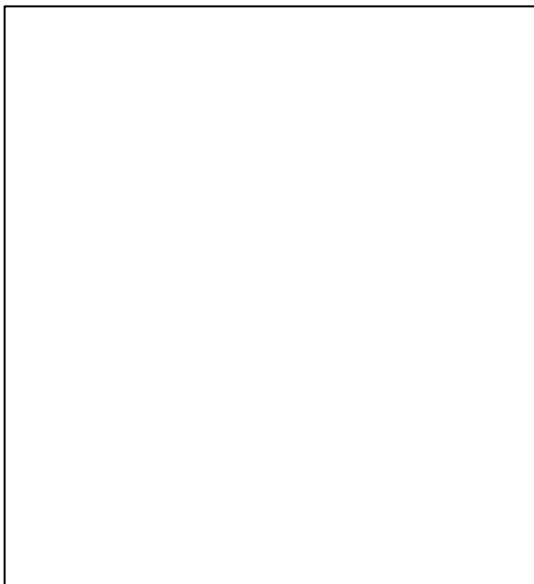


Figura 12. *Red de Drenajes Ceibas - Alos Palsar. Fuente: (Propia 2020)*



Los tiempos de concentración fueron obtenidos de acuerdo a la aplicación de las ecuaciones 11 a 16 y sus resultados se detallan para Ceibas en la **Tabla 8** y Guarapas en la **Tabla 9**, teniendo en cuenta que estos fueron calculados para cada uno de los DEM, los cuales se promediaron por el autor y por el Total de ecuaciones, descartando los valores extremos (>10) y obteniendo un Tiempo de Concentración promedio de la Cuenca Ceibas en 5.26 Horas y Guarapas en 5.28 Horas. Estos tiempos de concentración fueron graficados a través de un Mapa de Isócronas de los tiempos de concentración aplicando las **Ecuación 11** y **Ecuación 12**.

Figura 13. Mapas de Isócronas Ceibas. Fuente: (Propia 2020)

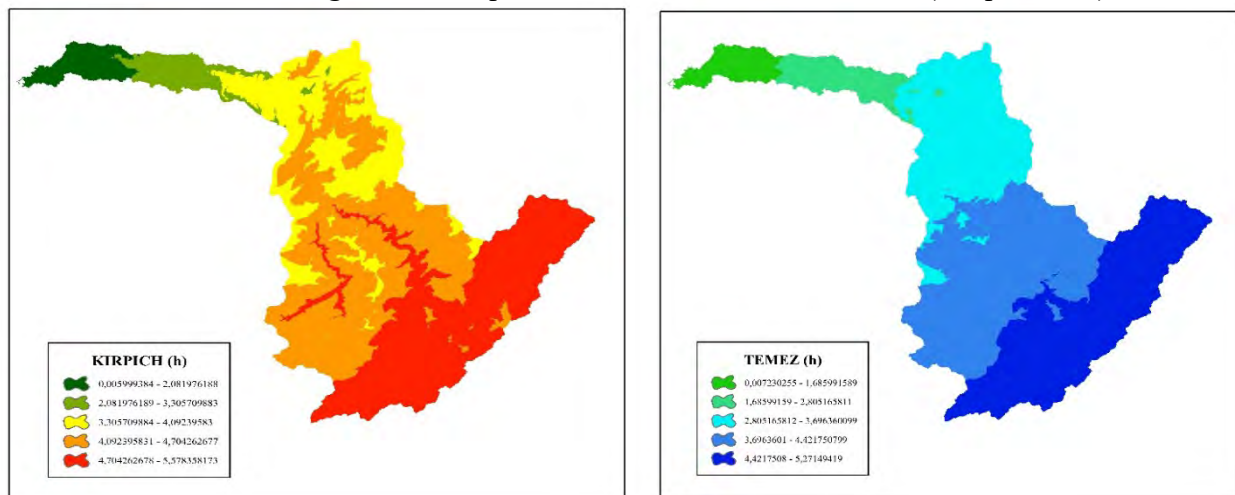
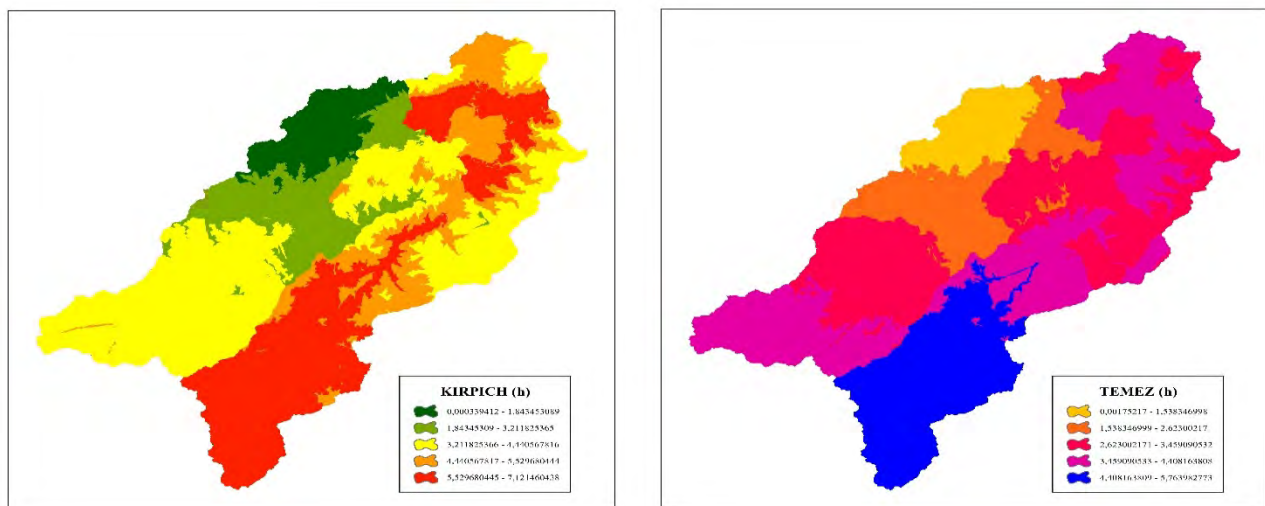


Figura 14. Mapas de Isócronas Guarapas. Fuente: (Propia 2020)



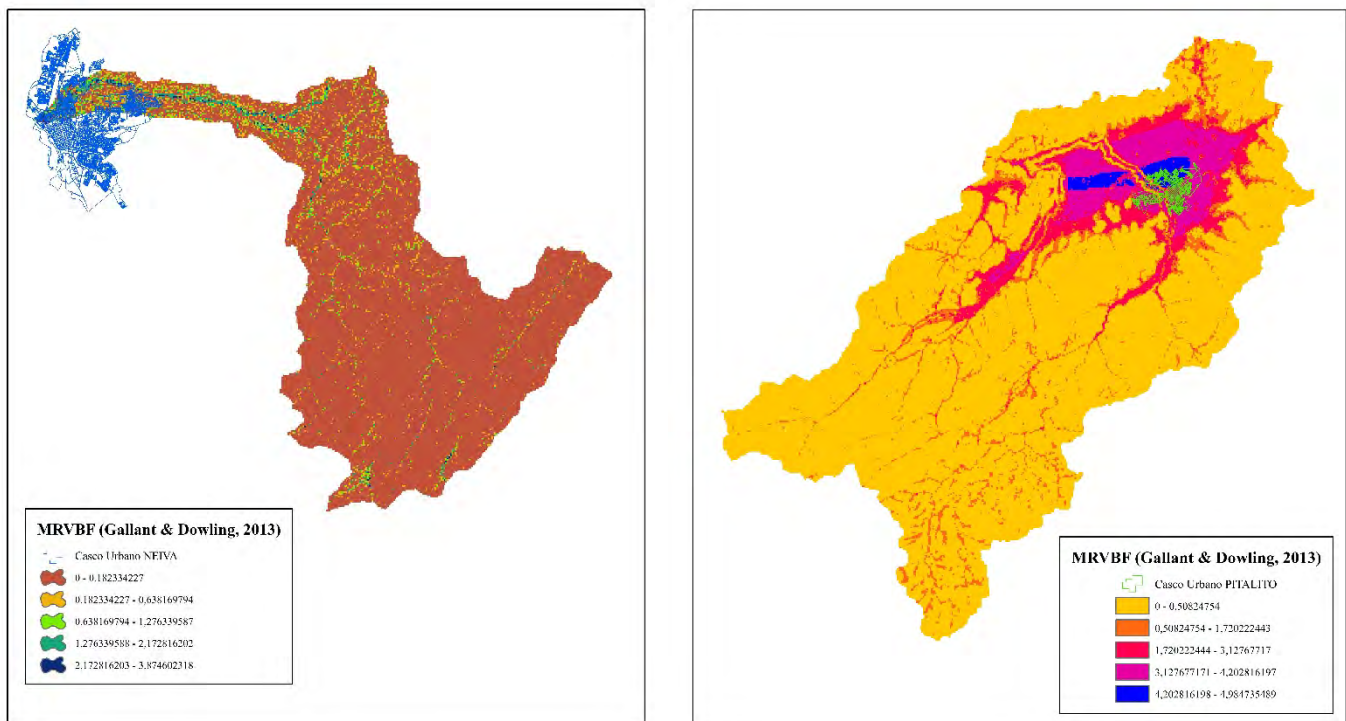
Estos mapas permiten observar que la correspondencia entre los tiempos obtenidos del uso de las ecuaciones y el modelado de Isócronas es acorde, reflejando un comportamiento de acuerdo a las variables de Pendiente y Longitud del flujo, de rápida respuesta en el recorrido de un flujo desde zonas con pendientes pronunciadas con respecto a las zonas de valle. Es importante destacar que las ecuaciones empleadas para los mapas corresponden a un enfoque hidráulico sencillo en el cual solo se tiene en cuenta los cambios de pendiente y la longitud del flujo. Los resultados del presente modelado fueron empleados como una variable física de las cuencas para incluir en los criterios del análisis de susceptibilidad, incluyendo además la clasificación de cauces y la pendiente, obtenidos y relacionados en el presente capítulo de Morfometría. Los respectivos análisis de clasificación, se mencionan en el capítulo de Jerarquías de Variables.

8.2. Valles de Inundación Guarapas y Ceibas

Estos modelos según lo expuesto en la metodología, permiten detallar las zonas con planicies pronunciadas, a través de procesos de algoritmos aplicados a los modelos de elevación digital de la zona que se quiera estudiar, permitiendo la identificación de zonas con altos niveles de sedimentación y como también aquellas zonas con pendientes pronunciadas que reflejan procesos erosivos, relacionados con el flujo hídrico en relación con la topografía; la herramienta de acuerdo a lo expresado por Gallant & Dowling, (2003), permite la identificación de los valles a través de tres suposiciones: (1) Los fondos del valle son bajos y planos en relación con su entorno. (2) Los fondos de los valles se encuentran en un rango de escalas. (3) Los fondos de valles grandes son más planos que los más pequeños, las cuales

el MRVBF identifica los fondos de los valles utilizando una clasificación de pendientes restringida a áreas convergentes, en otra definición es un índice topográfico diseñado para identificar áreas de material depositado en un rango de escalas basado en las observaciones de que los fondos de los valles son bajos y planos en relación con su entorno y que los grandes fondos de los valles son más planos que los más pequeños. Los resultados obtenidos para la cuenca Guarapas y Ceibas se relacionan en la **Figura 15**. Estos valores se califican teniendo en cuenta lo relacionado (Ibídem) así: Los valores inferiores a 0,5 no son áreas del fondo del valle. Se considera que los valores de 0.5 a 1.5 son los fondos de valle resueltos más pequeños y empinados para un DEM de 25 m. Los fondos de valle más planos y más grandes están representados por valores de 1.5 a 2.5, 2.5 a 3.5, y así sucesivamente; en otras palabras, los valores cero indican terreno erosivo con valores 1 y mayores que indican progresivamente mayores áreas de deposición.

Figura 15. Mapas Valles de Inundación Ceibas y Gurapas. Fuente: (Propia 2020)



Se evidencia en los mapas que los valores superiores a uno se encuentran cercanas a los cascos urbanos de los municipios de Neiva y Pitalito, razón por la cual estas zonas presentan procesos de sedimentación y planicies extensas, que comparten comportamientos de flujo similares en sus zonas más planas, pero que a diferencia de una a otra la zona de valle en el caso de Guarapas presenta una mayor extensión y pronunciación de acuerdo a lo obtenido, siendo estos resultados una variable muy importante a tener en cuenta para el análisis de susceptibilidad, por cuanto que las zonas con valores superiores a 1, presentan favorecimiento a inundaciones, las cuales por su grado de importancia al encontrarse los asentamientos urbanos, deben ser analizados al detalle para la toma de decisiones oportuna y como también reconocer que esta variable es de significativa importancia para el modelo a desarrollar.

Los detalles y resultados precisos se encuentran relacionados con el nivel de resolución del DEM, que, para el presente estudio se empleó el DEM Alos Palsar con una resolución de 30m.

8.3. Caracterización de Capas y valoración de Parámetros.

Una vez obtenidas las características morfométricas y valles de inundación de la cuenca, se completaron los insumos necesarios para el modelado de la susceptibilidad a inundación para ambas cuencas; estos insumos presentan los siguientes detalles:

Tabla 12. Listado de Variables

Capa	Variable	Año	Fuente	Formato
Morfometría	Red de Drenajes	2019	Propia	Ráster
	Isócronas			
	Pendientes			

Valles de Inundación	Valles de Inundación			
Suelos	Suelos	2018	CAM*	Vector
	Vocación del Suelo			
	Cobertura del Suelo			
Geología	Geología			
	Geomorfología			
* Corporación Autónoma del Alto Magdalena				

Fuente: (Propia 2020)

Estas Capas a través de sus respectivas variables facilitan la concepción de una relación cercana y acertada del comportamiento físico del territorio para los procesos de susceptibilidad de inundaciones, puesto que ayudan a inferir condiciones particulares, a través de pequeñas proyecciones futuras propias de sus características concebidas desde un punto conceptual, lo que permite aplicar pequeños procesos de jerarquización dentro de sus variables, a partir de sustentos correlacionados con los diferentes aspectos, los cuales presentan estrechas relaciones unos a otros, siendo estas los medios necesarios para un análisis individual o grupal que enmarque un comportamiento y funcionalidad centrado en sus problemas o restricciones, o como también una vista de su potencialidad o aporte a la caracterización. Estas variables o capas en cualquier proceso de análisis de susceptibilidad son empleadas como un medio que permite establecer lineamientos a los eventos objeto de estudio.

8.3.1. Caracterización Capas Morfometría.

Las características morfométricas como Red de Drenajes, Pendientes e Isócronas son unos insumos muy valiosos para el análisis de susceptibilidad frente a inundaciones, puesto que permiten conocer dimensiones de los tributarios con posibilidades de inferir capacidad de transporte de caudal, inclinaciones y comportamiento de los flujos hídricos y los tiempos en

los cuales se tardan estos caudales en transportarse según el relieve del terreno. Estas características a través de un proceso de parametrización en términos de susceptibilidad permiten a través de su calificación y jerarquización en valores de 1-10, obtener un mapa representativo de las 3 capas mencionadas. Estas calificaciones fueron analizadas, procesadas y evaluadas con el apoyo del Dr. Jaime Izquierdo Bautista, Docente de Planta de la Universidad Surcolombiana asignado a la Facultad de Ingeniería en el Programa de Ingeniería Agrícola y donde es el encargado de la dirección del Laboratorio de Hidráulica, su formación inicia como Ingeniero Agrícola, Magister en Ingeniería Civil y candidato a Doctor en el programa de Planificación y Manejo Ambiental de Cuencas Hidrográficas de la Universidad del Tolima. Las Calificaciones obtenidas fueron las siguientes:

Tabla 13. *Parametrización Variable Pendiente Cuenca Ceibas*

Pendientes		
Descripción	Calificación	Nivel Susceptibilidad
Plano <9%	9	Alta
Poco Inclinado 9 -27%	7	Media
Moderadamente Inclinado 27-58%	5	
Muy Inclinado 58 -100%	3	Baja
Extremadamente Inclinado >100%	1	

Fuente: (Propia 2020)

Tabla 14. *Parametrización Variable Drenajes Cuenca Ceibas*

Drenajes		
Descripción	Calificación	Nivel Susceptibilidad
Orden 1	3	Baja
Orden 2	5	Media
Orden 3	9	Alta

Fuente: (Propia 2020)

Tabla 15. Parametrización Variable Tiempos de Concentración Cuenca Ceibas

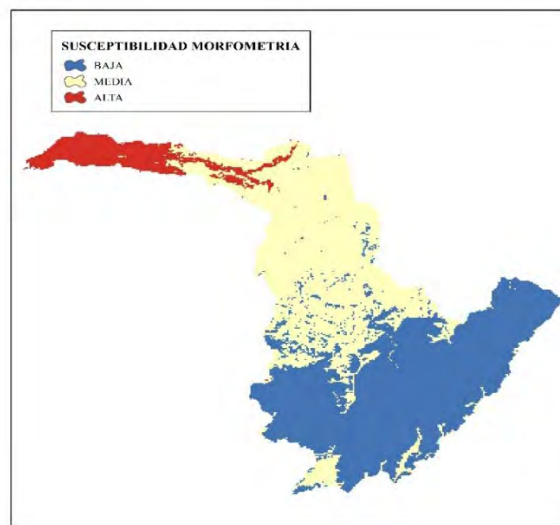
Tiempos de Concentración		
Descripción (h)	Calificación	Nivel Susceptibilidad
5 - 6	1	Baja
4 - 5	3	
3 - 4	5	Media
2 - 3	7	
1 - 2	9	Alta
0 - 1	10	

Fuente: (Propia 2020)

Teniendo en cuenta cada una de las calificaciones realizadas, se procedió al uso de la herramienta Overlay del software argics, la cual permitió obtener en un proceso de superposición de capas el mapa de susceptibilidad con el uso de las variables de Tiempo de Concentración (Mapa de Isocronas), Red de Drenajes y Pendientes, siendo el resultado el insumo unitario de la combinación de cada una de estas capas para su introducción en el modelo principal.

El resultado obtenido para la cuenca del Río Las Ceibas es el siguiente:

Figura 16. Susceptibilidad Morfometría Las Ceibas. Fuente: (Propia 2020)



La **Figura 16**, permite detallar las zonas que de acuerdo a sus condiciones de morfometría (Relieve, Forma, Tiempo), mencionadas presentan un nivel de susceptibilidad Bajo, Medio y Alto, a lo cual se resalta que el casco urbano de la ciudad de Neiva se encuentra en la franja roja del Mapa, presentando una alta susceptibilidad a eventos de inundación. En términos de Área se relaciona en mayor proporción las zonas de susceptibilidad Baja, Seguido de la Media y finalizando con la Alta.

Las clasificaciones realizadas para la cuenca Guarapas se relacionan a continuación:

Tabla 16. Parametrización Variable Pendiente Cuenca Guarapas

Pendientes		
Descripción	Calificación	Clasificación
Plano <9%	10	Alta
Poco Inclinado 9 -27%	7	Media
Moderadamente Inclinado 27-58%	5	
Muy Inclinado 58 -100%	3	Baja
Extremadamente Inclinado >100%	1	

Fuente: (Propia 2020)

Tabla 17. Parametrización Variable Drenajes Cuenca Guarapas

Drenajes		
Descripción	Calificación	Clasificación
Orden 1	2	Baja
Orden 2	4	
Orden 3	7	Media
Orden 4	10	Alta

Fuente: (Propia 2020)

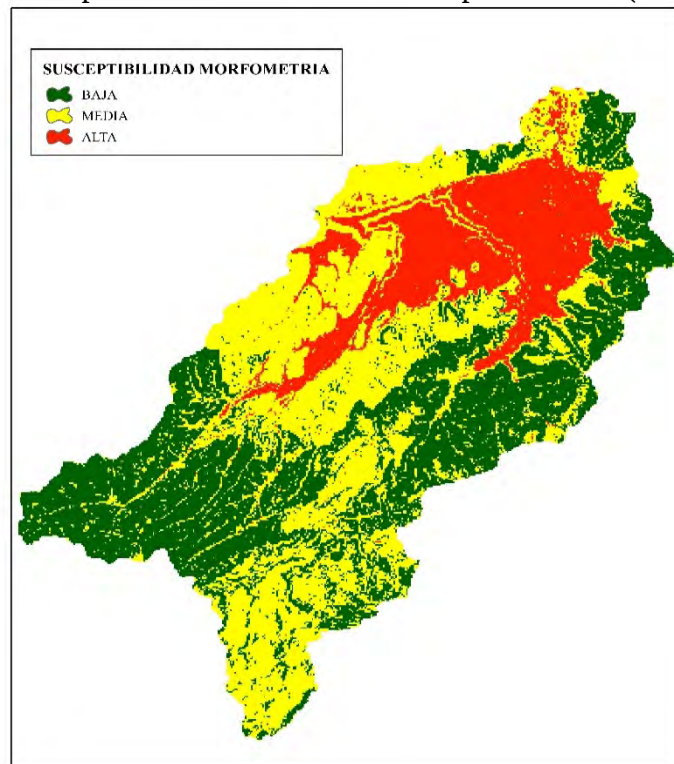
Tabla 18.Parametrización Variable Tiempos de Concentración Cuenca Guarapas

Tiempos de Concentración		
Descripción (h)	Calificación	Clasificación
5 - 6	1	Baja
4 - 5	3	
3 - 4	5	Media
2 - 3	7	
1 - 2	9	Alta
0 - 1	10	

Fuente: (Propia 2020)

De la misma manera a través de la herramienta Overlay del software Argics, se realizó el procesamiento de cada una de las capas, obteniéndose como resultado la unificación de las tres variables e identificando las zonas con susceptibilidad Baja, Media O Alta teniendo en cuenta características de relieve, tiempo y transporte de flujos. El resultado es el siguiente:

Figura 17. Susceptibilidad Morfometría Guarapas. *Fuente: (Propia 2020)*



8.3.2. Caracterización Capas Suelos.

Uno de los aspectos más importante al realizar un análisis de susceptibilidad de inundación es el suelo, toda vez que permite obtener información del comportamiento hidrodinámico del agua, que influye en la generación de inundaciones, como también las condiciones de infiltración, permeabilidad y retención de humedad que arrojan indicios adecuados para clasificar los niveles de susceptibilidad teniendo en cuenta las condiciones mencionadas y agregando las diferentes coberturas y usos de suelos que reflejan un sistema de balance entre la cantidad de agua que se retiene por la cobertura, la que se almacena en el suelo, la que se evapora y luego se transforma a través de los procesos de evapotranspiración de los diferentes elementos vegetales del paisaje. En el presente ejercicio se eligió como insumos las capas de Suelos, Vocación del Suelo y Cobertura del Suelo, las cuales contaban con la información del tipo de suelo de acuerdo a la clasificación del USDA, el tipo de cultivo presente en la zona y el cultivo adecuado a las condiciones que ofrece el suelo según a las priorizaciones realizadas en procesos de ordenamiento del territorio.

El proceso de clasificación se realizó del mismo modo que las capas de morfometría, a través del apoyo del Dr. Jaime Izquierdo Bautista, quien a través de su experticia y conocimientos del tema de investigación aportaron en la toma de decisiones en la jerarquización. Estas capas tienen relación en las condiciones de favorecimiento a los eventos de inundación de acuerdo Rodríguez Peña, (2017), las características de suelos nos determinan condiciones de permeabilidad, infiltración y tiempos de escurrimiento de los flujos de agua causado por precipitaciones y en conjunto con la cobertura estiman la capacidad del territorio la disminución de escurrimiento y erosión en zonas boscosas, frente a tierras empleadas con

cultivos de bajo porte o desforestadas en procesos de praderización para actividades pecuarias, las cuales favorecen el desarrollo de fenómenos de acumulación de flujos, en proyecciones a condiciones de compactación o en el caso de las zonas de estudio los espacios urbanos generan un incremento exponencial a la generación de zonas inundables. El resultado de las calificaciones para la cuenca del río Las Ceibas fueron:

Tabla 19. Parametrización variables Suelo – USDA Cuenca Las Ceibas.

Suelos		
Descripción	Calificación	Clasificación
Inceptisoles	9	Alta
Entisoles	7	Media
Zonas Urbanas	8	Alta
Oxisoles	5	Media
Alfisolos	4	Baja
Misceláneo Rocoso	3	
Molisolos	2	
Andisolos	2	
Cuerpos de Agua	10	Alta

Fuente: (Propia 2020)

Tabla 20. Parametrización de Variables Vocación del Suelo Cuenca Las Ceibas

Vocación		
Descripción	Calificación	Clasificación
Cuerpos de Agua	10	Alta
Cultivos Permanentes semi intensivos de Clima Cálido	6	Media
Conservación y recuperación de Erosión	6	
Cultivos Transitorios semi intensivos de Clima Cálido	7	
Forestal de producción de clima cálido	4	Baja
Protección y Producción	3	
Forestal Producción	2	
Pastoreo extensivo de clima cálido	9	Alta
Zona Urbana	8	

Fuente: (Propia 2020)

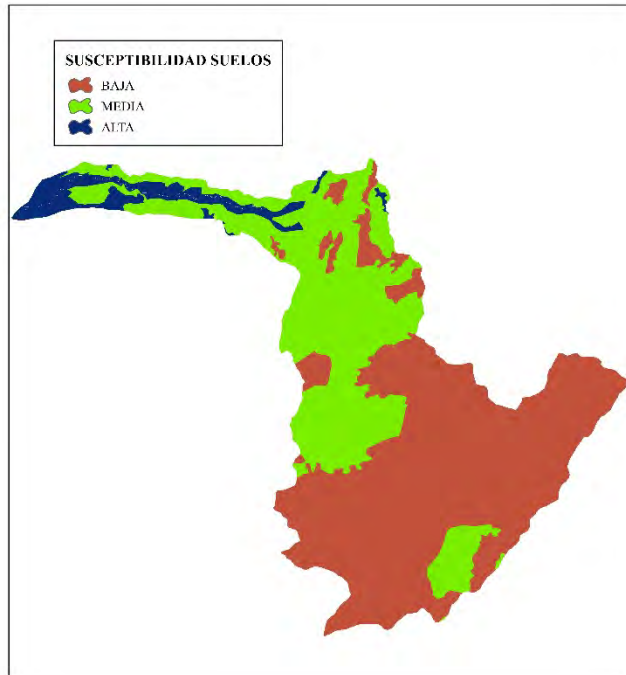
Tabla 21. Parametrización de Variables Cobertura del Suelo Cuenca Las Ceibas

Cobertura		
Descripción	Calificación	Clasificación
Aeropuerto	8	Alta
Arbustal Abierto	6	Media
Arbustal Denso	6	
Arroz	7	
Bosque de Galería y ripario	3	Baja
Bosque denso alto de tierra firme	3	
Herbazal denso alto de tierra firme	2	
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	5	Media
Mosaico de pastos con espacios naturales	5	
Mosaico de Pastos y Cultivos	5	
Nubes	1	Baja
Pastos enmalezados	6	Media
Pastos Limpios	6	
Tejido Urbano Continuo	9	Alta
Tejido Urbano Discontinuo	8	
Tierras desnudas y degradados	10	
Vegetación secundaria o en transición	6	Media
Zonas industriales y comercio	8	Alta

Fuente: (Propia 2020)

Realizando el uso nuevamente de la herramienta Overlay del software Argics se estableció una superposición de capas, con los ítems de Suelos, Vocación y Cobertura, obteniéndose un modelo único de los 3 insumos el cual se empleará en el modelo principal. El resultado obtenido es el siguiente:

Figura 18. Susceptibilidad Suelos Las Ceibas. *Fuente: (Propia 2020)*



De acuerdo a lo evidenciado en la **Figura 18**, las zonas con susceptibilidad alta a los procesos de inundación se conjugan perfectamente con los resultados obtenidos en el mapa de morfometría, siendo el casco urbano del municipio de Neiva el área de interés con mayor afectación y para la categoría media se tiene en gran parte sectores rurales de la cuenca, enmarcando áreas productivas agropecuarias. En la zona baja se tienen territorios de conservación de la cuenca; por tal motivo se refleja una alta vegetación y zona boscosa, que combinado con las condiciones de relieve y pendiente disminuyen en gran medida su nivel de susceptibilidad.

Las calificaciones realizadas para la cuenca del Río Guarapas corresponden al mismo proceso metodológico expuesto anteriormente y sus resultados son:

Tabla 22. Parametrización de Variables del Suelo Cuenca Guarapas.

Suelos		
Descripción	Calificación	Clasificación
Alfisolos	8	Alta
Cuerpos de Agua	10	
Inceptisolos	9	
Andisolos	2	Baja
Entisolos	7	Media
Molisolos	5	
Zonas Urbanas	9	Alta

Fuente: (Propia 2020)

Tabla 23. Parametrización de Variables de Vocación del Suelo Cuenca Guarapas

Vocación		
Descripción	Calificación	Clasificación
Agrosilvopastoril con cultivos permanentes	8	Alta
Cuerpos de Agua	10	
Cultivos Permanentes semi intensivos de clima medio	5	Media
Cultivos Permanentes intensivos de clima medio	7	
Cultivos Transitorios semi intensivos de clima medio	9	Alta
Protección-Producción	4	Baja
Forestal de protección	3	
Pastoreo semi intensivo de clima medio	5	Media
Zonas Urbanas	8	Alta

Fuente: (Propia 2020)

Tabla 24. Parametrización de Variables de Cobertura del Suelo Cuenca Guarapas

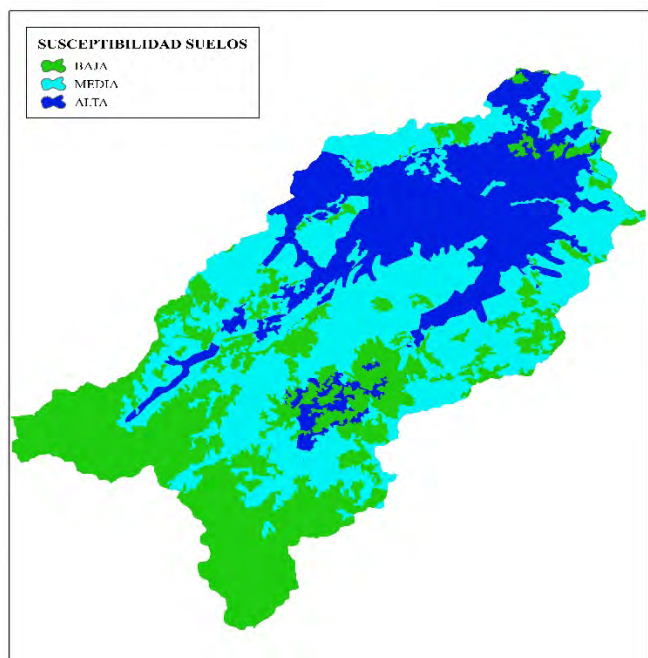
Cobertura		
Descripción	Calificación	Clasificación
Aeropuertos	8	Alta
Bosque de galería y ripario	3	Baja
Bosque denso alto de tierra firme	2	
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	4	
Bosque fragmentado con Vegetación Secundaria	2	
Café	2	

Caña panelera	3	
Mosaico de cultivos y espacios naturales	5	Media
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	5	
Mosaico de pastos con espacios naturales	5	
Mosaico de pastos y cultivos	5	
Nubes	1	Baja
Pastos enmalezados	6	Media
Pastos limpios	6	
Ríos	10	Alta
Tejido urbano continuo	8	
Vegetación secundaria o en transición	6	Media
Zonas industriales o comerciales	8	Alta

Fuente: (Propia 2020)

Empleando estas calificaciones en la herramienta Overlay del software Arcgis, se conjugan las capas de suelos, vocación y cobertura de la cuenca Guarapas, obteniéndose un único ítem así:

Figura 19. *Susceptibilidad Suelos Cuenca Guarapas. Fuente: (Propia 2020)*



En la **Figura 19**, se observa que, de acuerdo a las áreas obtenidas, el casco urbano del municipio de Pitalito se encuentra en susceptibilidad Alta, siendo este un factor importante de resaltar, por cuanto si se tiene en cuenta los resultados obtenidos en la capa de morfometría, estos son similares, y conllevan a inferir que la zona presenta una considerable importancia de estudio, puesto que el cauce del Río Guarapas cruza la ciudad y en eventos de alta precipitación las afectaciones pueden ser considerables para la población.

8.3.3. Caracterización Capas Complementarias

Una vez obtenidas, las capas únicas de Suelos y Morfometría, se realizó el respectivo alistamiento de las capas de Geología, Geomorfología y Valles de inundación a través de la parametrización de variables la cual se relaciona a continuación:

Tabla 25. *Parametrización Variables Geología Cuenca Las Ceibas*

Geología		
Descripción	Calificación	Clasificación
Batolito	1	Baja
Depósitos Aluviales Recientes	9	Alta
Depósitos Coluviales	8	
Fm. Gigante	8	
Fm. Guadalupe	4	Baja
Fm. Guaduas	6	Media
Fm. Gualanday	6	
Fm. Honda	5	
Fm. Saldaña	3	Baja
Fms. Villeta y Caballos	4	
Terrazas Altas	7	Media
Terrazas Medias	8	Alta

Fuente: (Propia 2020)

Tabla 26. Parametrización Variables Geomorfología Cuencas Las Ceibas

Geomorfología		
Descripción	Calificación	Clasificación
Altiplanicie en depósitos coluviales polimelíticos de rocas ígneo-metamórficas, de pendientes suaves y suelos profundos de permeabilidad alta.	7	Media
cuchillas en roca ígnea, pendiente moderada a suave, con suelos profundos en saprofita profunda, de permeabilidad alta.	3	Baja
cuchillas en roca ígnea, pendiente moderada, con suelos en saprofita medio profunda, de permeabilidad media.	2	
cuchillas en rocas ígneo- metamórficas, con pendiente moderada a fuerte y suelos superficiales de permeabilidad baja.	3	
depósitos aluviales de islas y barras inundables, compuestas por arena, gravilla y cantos, pendiente baja con suelos superficiales y permeabilidad alta.	8	Alta
depósitos aluviales inundables de arena, gravilla y cantos, con pendientes bajas y suelos superficiales de permeabilidad alta.	9	
depósitos aluviales y torrenciales no inundables, compuestos por gravilla y cantos con lentes areno-arcillosos y ceniza volcánica, con pendientes medias a bajas y suelos profundos de permeabilidad media.	3	Baja
depósitos aluviales y torrenciales no inundables, compuestos por gravilla y cantos en matriz de lodo, con pendientes bajas y suelos de profundidad media y de permeabilidad media.	3	
depósitos aluvio-coluviales de gravilla y cantos, de pendiente moderada con suelos superficiales permeabilidad media.	6	Media
laderas de pendiente intermedia con cantos y bloques en matriz arcillo-limosa y suelos superficiales con permeabilidad media.	2	Baja
laderas de pendiente intermedia en arcillolita y limonita y suelos superficiales con permeabilidad baja.	2	
laderas estructurales en arenisca y conglomerados con pendientes moderadas a fuertes, suelos superficiales de permeabilidad alta.	1	

Fuente: (Propia 2020)

Tabla 27. Parametrización Variables Valles de Inundación Cuenca Las Ceibas

Valles de Inundación		
Descripción	Calificación	Clasificación
Valles Planos <0,5	3	Baja
Valles Empinados 0,5<a>1,5	7	Media
Sin fondos >1,5	9	Alta

Fuente: (Propia 2020)

Estas calificaciones fueron realizadas de la misma manera que las capas de morfometría y suelos, y se tomaron como insumos únicos al modelo conceptual de susceptibilidad a inundación propuestos, sin combinar con otras capas de información debido a la importancia que estas tienen frente al estudio de susceptibilidad de inundación.

Tabla 28. Parametrización Variables Geología Cuenca Guarapas

Geología		
Descripción	Calificación	Clasificación
Aluviones	10	Alta
Conos y abanicos aluviales	8	
Cuarzomonzodiorita Sombrerillos	7	Media
Deposito fluviolacustre de Pitalito	7	
Formación Caballos	6	
Formación Guacacallo	4	Baja
Formación Hondita	4	
Formación Loma Gorda	4	
Formación Saldaña	6	Media
Granito de Altamira	3	Baja
Lahar de Altamira	6	Media
Lodolitas y calizas de granadillo	4	Baja

Fuente: (Propia 2020)

Tabla 29. Parametrización Variables Geomorfología Cuenca Guarapas

Geomorfología		
Descripción	Calificación	Clasificación
Alternancia de arenitas cuarzosas y lodolitas. Capas gruesas lumaquéllicas y paquetes calcáreos	4	Baja
Depósitos conformados por fragmentos de tamaño grava, arena y limo	9	Alta
Depósitos de material grueso (grava y arena) y material fino (arcillas y limos)	6	Media
Depósitos de rocas volcano sedimentarias	10	Alta
Piroclastitas, rocas sedimentarias y cuerpos porfiríticos hipoabisales y rocas faneríticas, medio a gruesogranulares	5	Media
Tobas andesíticas, heterométricas, con matriz limo-arenosa y flujos piroclásticos	3	Baja

Fuente: (Propia 2020)

Tabla 30. Parametrización Variables Valles de Inundación Cuenca Guarapas

Valles de Inundación		
Descripción	Calificación	Clasificación
Valles Planos <0,5	2	Baja
Valles Empinados 0,5<a>1,5	7	Media
Sin fondos >1,5	10	Alta

Fuente: (Propia 2020)

Una vez con todas las capas ajustadas para el proceso de modelación de acuerdo a las calificaciones realizadas, se continuo con el proceso de jerarquización de cada una de estas capas a través de la metodología propuesta por Saaty, (1994) y Saaty, (2011), los cuales definirían el peso ponderado de cada uno en el modelo principal de susceptibilidad para la cuenca correspondiente.

8.4. Análisis Jerárquico (AHP).

Empleando la metodología propuesta por(Saaty, (1994) y Saaty, (2011), se realizó la respectiva programación de una hoja de cálculo para la valorar cada una de las capas y obtener su jerarquización en el proceso de análisis.

De acuerdo a la metodología se eligieron las matrices según el tamaño de las variables a jerarquizar, teniéndose para las capas de suelos y morfometría matrices de 3x3, así:

Tabla 31. Análisis Jerárquico Capas Suelos

MATRIZ 3X3				
	X	Y	Z	VECTOR PROPIO
X	1	2	3	0,5278
Y	1/2	1	3	0,3325
Z	1/3	1/3	1	0,1396
CR	4,08%	< 5%		1

Fuente: (Propia 2020)

Las variables X, Y, Z corresponden a las capas de Cobertura, Vocación y Suelos y fueron calificadas por el experto Jaime Izquierdo, en las casillas que se encuentran sin resaltar. El índice de consistencia fue de 4.08% cumpliendo con la condición que se relaciona en color verde, razón por la cual las calificaciones dadas son adecuadas y los pesos de jerarquización obtenidos en la columna de Vector Propio están listos para ser utilizados en la herramienta Overlay, de acuerdo al orden anteriormente descrito. Esta acción fue utilizada en el análisis obtenido para las capas de Morfometría.

Para el análisis de jerarquización del modelo principal se utilizó una matriz de 5x5 así:

Tabla 32. Análisis Jerárquico Modelo Principal

MATRIZ 5X5						
	X	Y	Z	V	K	VECTOR PROPIO
X	1	5	3	5	3	0,4913
Y	1/5	1	3	2	3	0,2019
Z	1/3	1/3	1	1	1	0,0990
V	1/5	1/2	1	1	3	0,1240
K	1/3	1/3	1	1/3	1	0,0838
CR	9,14%	< 10%				1

Fuente: (Propia 2020)

De la misma manera que la valoración anterior en la Matriz 3x3, se calificaron los cruces de las variables, X, Y, Z, V, K que corresponden a Geología, Geomorfología, Valles de Inundación, Suelos y Morfometría respectivamente, obteniéndose un índice de consistencia de 9,14%, el cual cumplía con el parámetro indicado en verde y por ende los pesos de jerarquización obtenidos en el Vector Propio, se utilizaron con las cifras obtenidas en el orden especificado por cada peso. Estas calificaciones fueron realizadas por el experto Jaime Izquierdo y replicadas para cada una de las cuencas y utilizadas en el modelo generado en la herramienta Overlay del software Argics.

8.5. Modelo Conceptual Herramienta Argics y Flujograma.

Una vez obtenidas las calificaciones y revisadas cada una de las capas se procedió al desarrollo del Modelo Conceptual a través de la herramienta *Argics*, en su módulo de *Model Builder*, se eligieron las diferentes fuentes (Capas elegidas y procesadas) y herramientas como *Reclassify*, *Weighted Overlay* y *Fill*, las cuales constituyeron los siguientes modelos:

Figura 20. Model Builder Susceptibilidad Inundación Cuenca Ceibas. Fuente: (Propia 2020)

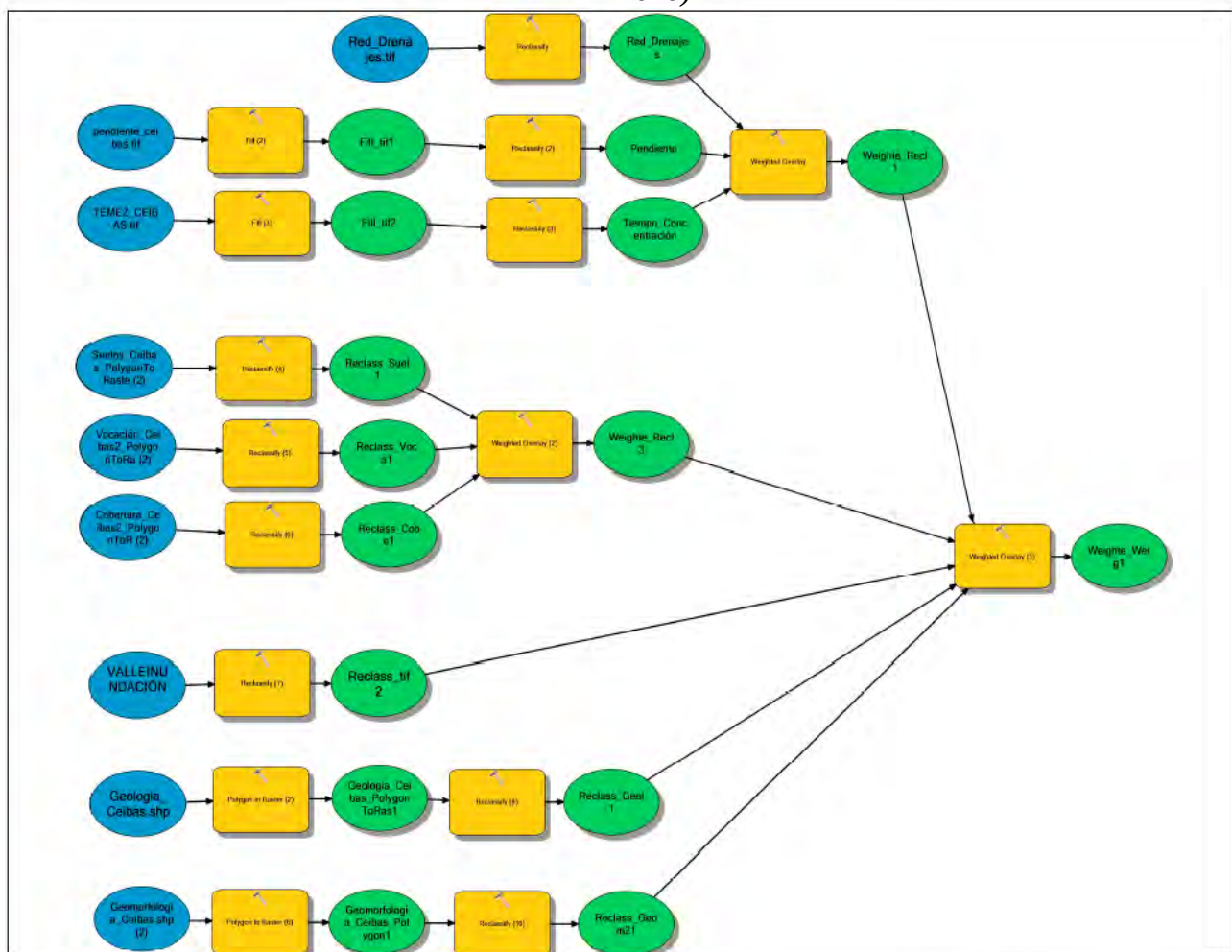


Figura 21. Model Builder Susceptibilidad Inundación Cuenca Guarapas. Fuente: (Propia 2020)

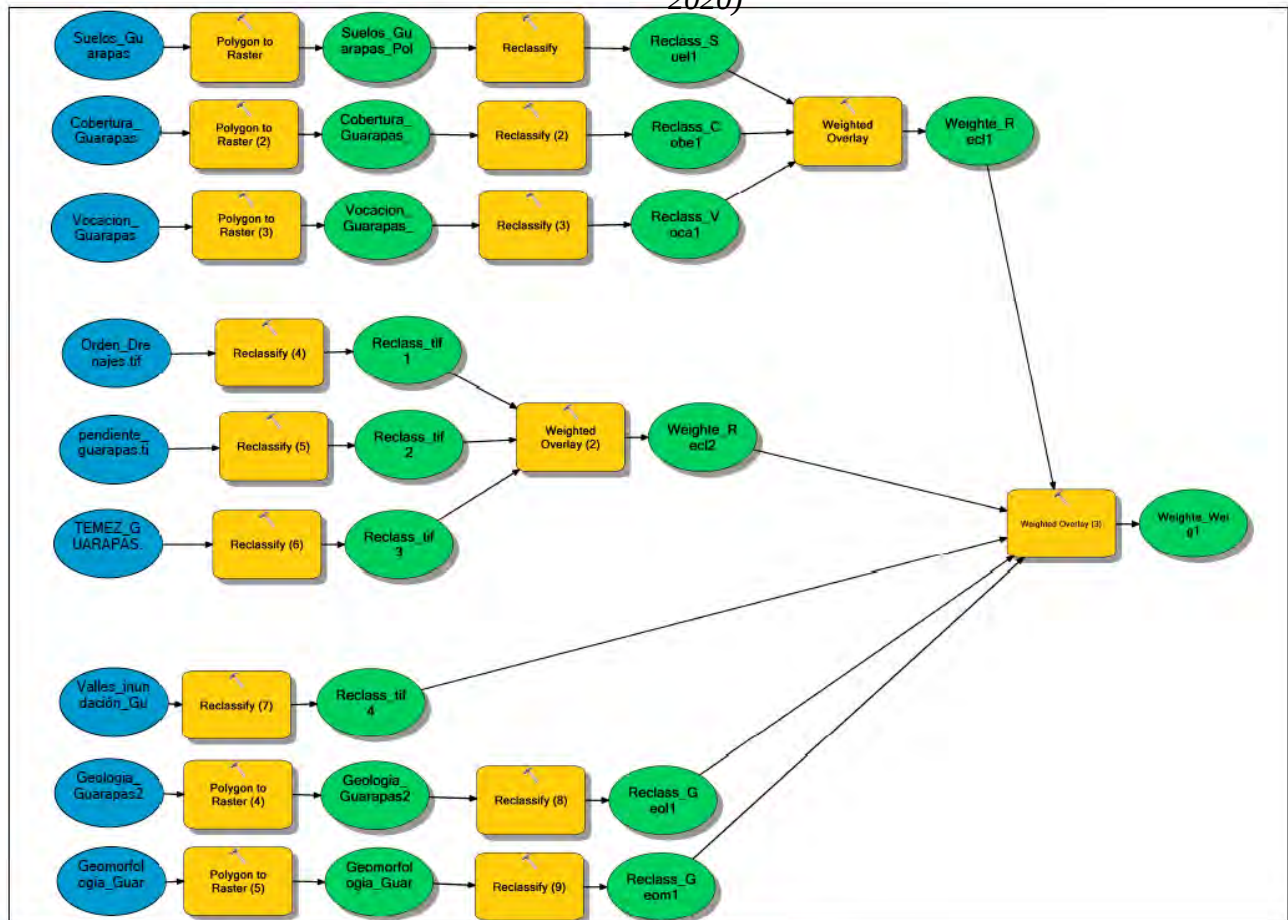
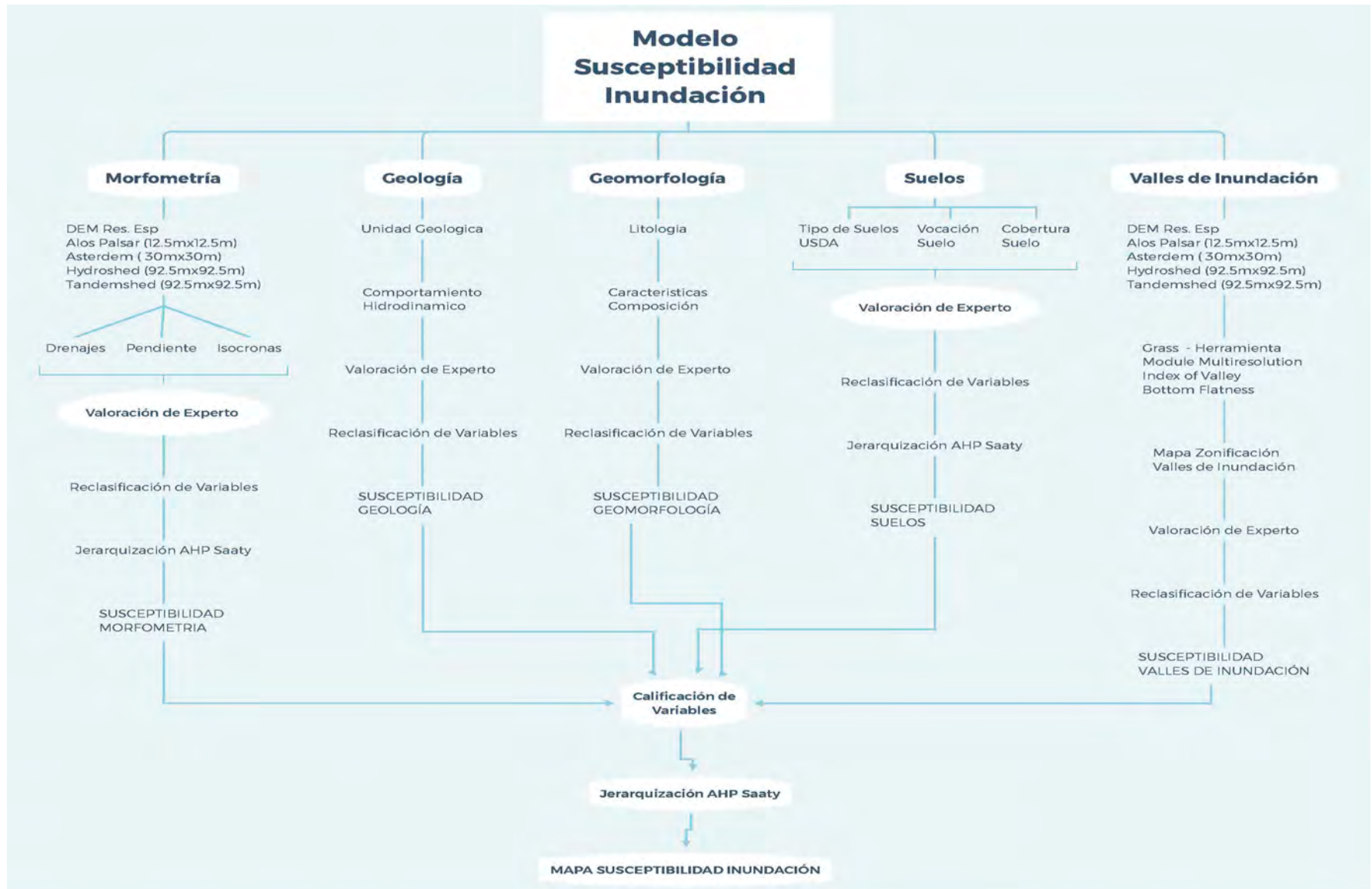


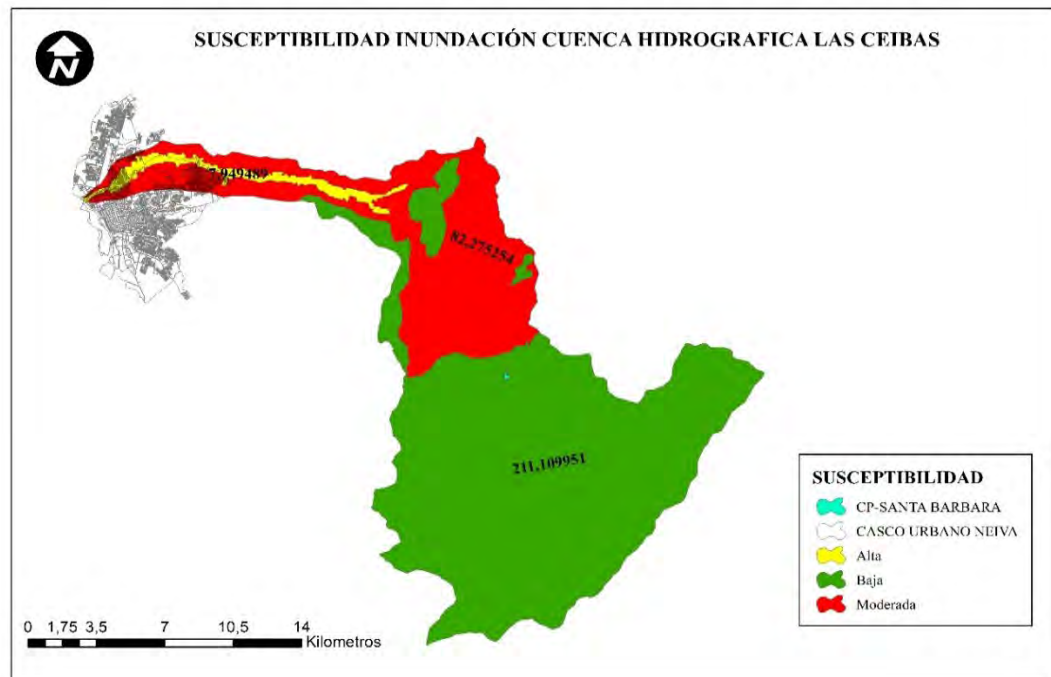
Figura 22. Modelo Conceptual Susceptibilidad Inundación. Fuente: (Propia 2020)



8.6. Zonificación y caracterización zonas susceptibles a inundación

A partir de cada uno de los insumos alistados para el uso del modelo, se realizó la respectiva validación y ejecución del model builder de cada cuenca de acuerdo a lo relacionado en la Figura 20 y Figura 21, el resultado de la modelación para cada cuenca es el siguiente:

Figura 23. Susceptibilidad Inundación Cuenca Las Ceibas. Fuente: (Propia 2020)



De acuerdo al resultado obtenido del modelo se observa, que una porción del Casco Urbano de Neiva, se encuentra en áreas de susceptibilidad Alta y Moderada, las cuales de acuerdo a sus características presentan condiciones de colmatación de sedimentos, uso inadecuado de los espacios de rondas hídricas, deforestación, establecimiento de cultivos semestrales y actividades de ganadería extensiva, los cuales favorecen los procesos de erosión y arrastre de sedimentos, y sumado a lo anterior la alta erodabilidad de los suelos en la parte alta, intensifican los procesos de remoción en masa que finalmente se distribuyen la cuenca baja, específicamente en los sectores del casco urbano, favoreciendo las condiciones de pérdidas

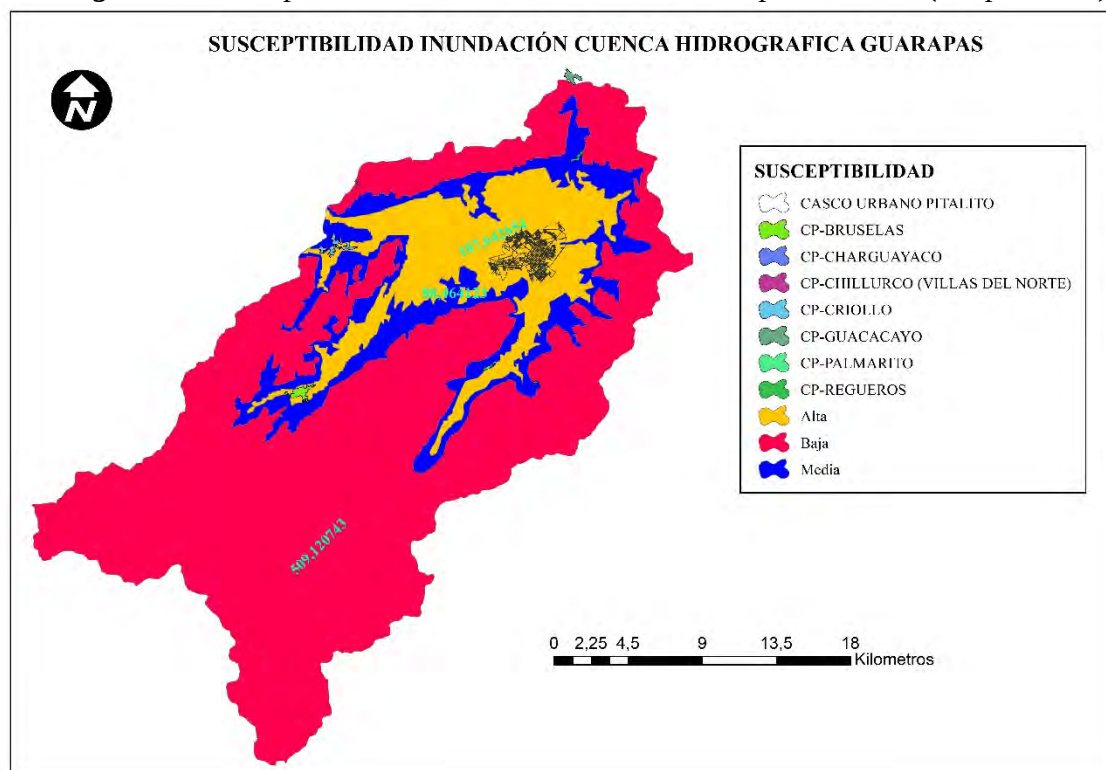
del vaso hidráulico del cauce e incrementando procesos de socavación de las áreas urbanas y siendo estos sedimentos factores de cambio para la rugosidad del cauce y velocidad de transporte de sedimentos, lo cual en eventos de torrencialidad o altas precipitaciones favorecerán las inundaciones en las zonas aledañas al cauce. Las áreas susceptibles obtenidas corresponden a:

Tabla 33. Porcentaje de área según susceptibilidad

ESCALA DE SUSCEPTIBILIDAD	AREA(Km2)	Porcentaje
ALTA	7,949489	2,64%
MODERADA	82,275254	27,30%
BAJA	211,109951	70,06%

Fuente: (Propia 2020)

Figura 24. Susceptibilidad Inundación Cuenca Guarapas. Fuente: (Propia 2020)



La **Figura 24** refleja las condiciones de susceptibilidad en que se encuentra el Casco Urbano del municipio de Pitalito y veredas aledañas, frente a un evento de inundación teniéndose un nivel de alta susceptibilidad, puesto que en esta parte de la cuenca las características propicias como terrazas aluviales a nivel de relieve, actividades de ganadería extensiva, y la expansión urbana que se desarrolla en el municipio de Pitalito, facilitan e incrementan los valores de afectación en un evento de alta pluviosidad, lo cual sumado a los procesos de sedimentación del cauce en esta zona y las características de suelos, impiden una rápida respuesta a los incrementos de la pluviosidad. Por tal razón es importante resaltar que el presente estudio es un insumo pertinente para la toma de decisiones en el marco de la gestión del riesgo frente a eventos de inundación.

Tabla 34. Porcentaje de área según susceptibilidad

ESCALA DE SUSCEPTIBILIDAD	AREA(Km2)	Porcentaje
ALTA	107,642654	15,26%
MODERADA	88,464123	12,54%
BAJA	509,120743	72,19%

Fuente: (Propia 2020)

Las **Tabla 33** y **Tabla 34**, muestran que para la cuenca Las Ceibas el Porcentaje en nivel Alto corresponde al 2,64% de la cuenca, el cual comparado con el porcentaje de la cuenca Guarapas del 15,26% es mucho más bajo, reflejando una mayor afectación en el municipio de Pitalito, frente a Neiva. En el sector rural se observa que debido a las condiciones de relieve, cobertura y vocación los niveles oscilan en Moderado y Bajo y estos porcentajes para las dos cuencas son superiores del 10% del área de la cuenca, que para el caso del área moderada, se deben priorizar aquellas zonas aledañas a los cauces, en las cuales se desarrollen actividades agropecuarias; para los sectores en nivel bajo se deben profundizar

estudios en otros tipos de enfoque como remoción en masa, represamiento de cauces, derrumbes entre otros, que ocasionen afectaciones a la población de la zona.

De acuerdo a las clasificaciones relacionadas por Rodríguez Peña, (2017), se realizó la respectiva descripción de las condiciones o características generales para las dos cuencas:

Tabla 35. Caracterización Niveles de Susceptibilidad

Nivel de Susceptibilidad	Condiciones o Características generales
ALTA	Para este nivel de susceptibilidad se evidencian características ligadas a zonas con condiciones de alta predisposición a eventos de inundación, los cuales conllevan a una alta probabilidad de ocasionar un alto grado de afectación en la zona. Los detalles geomorfológicos corresponde a fondos de valle, terrazas aluviales y/o depósitos aluvio - coluviales de baja permeabilidad, correspondientes a los afluentes hídricos que confluyen en un solo punto, lechos aluviales recientes, pendientes que varían entre el 5% al 9% es decir zonas de valle o planicie de baja inclinación, suelos de bajo desarrollo por condiciones de litificación y sedimentación propias de la dinámica fluvial del río, estos presentan suelos arcillo - arenosos propicios para el desarrollo de actividades agropecuarias, dentro de los usos del suelos se hallan actividades de explotación ganadera, arroz, maíz, en los cuales se caracterizan por ser bosques intervenidos para el desarrollo de actividades agropecuarias o de expansión urbana, conforme a la evidente alteración de suelos, procesos de remoción en masa y erosión que se desarrollan en las vertientes, lo que conlleva al arrastre de sedimentos a los afluentes hídricas principales, cambiando las características de rugosidad y vaso hidráulica creando así procesos de socavación que incrementan los impactos causados por

	crecidas torrenciales o eventos de alta pluviosidad.
MODERADA	En este nivel se relacionan áreas con condiciones poco propicias para la ocurrencia de inundaciones. Dentro de sus características encontramos pendientes que varían entre el 27% - 58%, su geomorfología es de Altiplanicie en depósitos coluviales polimelíticos de rocas ígneo-metamórficas, presenta suelos poco consolidados, pero debido a la alta intervención de la actividad del hombre generan apariencia de encontrarse consolidados, teniendo claridad que su origen fue a partir de las dinámicas hídricas del pasado. Su relieve es inclinado, lo cual refleja que propiamente no se afecta ante eventos de inundación, las afectaciones se relacionan con procesos de socavación lateral; su relación en los eventos objeto del estudio es el aporte de sedimentos a los diferentes cauces producto de suelos erosionados, meteorizados o afectados por procesos de degradación. Los usos de suelo corresponde a pastos, arbustos y cultivos semipermanentes a transitorios susceptibles a procesos de erosión; en algunos sitios se encuentran zonas con altas probabilidades de remoción en masa, por el paso de vías o expansión de la frontera urbana y agrícola, el sobrepastoreo incrementa las afectaciones a la estructura de los suelos creando compactación y deterioro de la capa vegetal disminuyendo la capacidad de retención y facilitando el arrastre de sedimentos a través de la escorrentía superficial trayendo consigo afectaciones aguas abajo por el transporte de sedimentos hacia los afluentes hídricos modificando su dinámica hidrológica.
BAJA	Dentro de este nivel encontramos pendientes superiores al 58% con características geomorfológicas que van desde cuchillas en roca ígnea, pendiente moderada a suave, con suelos profundos en saprofita profunda, de

	permeabilidad alta, hasta laderas de pendiente intermedia con cantos y bloques en matriz arcillo-limosa y suelos superficiales con permeabilidad media. Dentro de los usos de la tierra encontramos zonas de recarga hídrica con coberturas densas de bosque, la intervención del hombre en actividades agropecuarias es reducido, pero se deben realizar campañas de recuperación de bosque y protección, puesto que a través de su elevada inclinación se generan procesos de remoción en masa y represamientos que pueden ocasionar crecidas torrenciales y aporte de sedimentos a cauce de ordenes superior.
--	---

Fuente: (Propia 2020)

8.7. Determinación de áreas de susceptibilidad a nivel veredal

Para el reconocimiento de la superficie a nivel veredal en cada uno de los niveles, se llevó a cabo el cruce de las capas para cada modelo conceptual de inundación de la Cuenca Ceibas y Guarapas con la capa veredal desarrollada por el IGAC a escala 1:100.000, a través del software ARGICS, obteniendo así los valores en Km² de las áreas de cada vereda inmersas en un nivel de susceptibilidad.

Con estos datos se procedió a calcular los porcentajes de inclusión por vereda de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ AI} = \left(\frac{(\text{Área de la vereda inmersa en un nivel de susceptibilidad (Km}^2\text{)})}{\text{Área Total de la Vereda (Km}^2\text{)}} \right) * 100$$

Ecuación 17. Porcentaje de Área Veredal de Inmersión

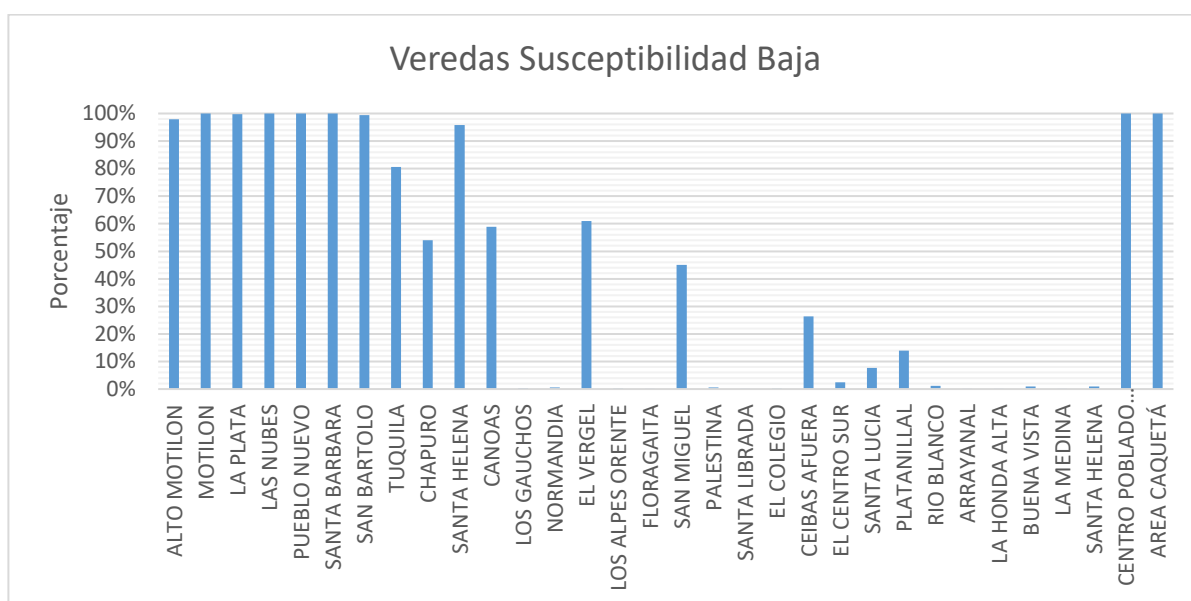
%AI= Porcentaje de Área Veredal Inmersa

8.7.1. Veredas Cuenca Las Ceibas

8.7.1.1. Susceptibilidad Baja

En este nivel se hallaron alrededor de 32 zonas de las cuales se tiene un sector del Departamento del Caquetá y el restante del Huila, con un área de 211,11 km², en total se presentan 30 veredas en esta zona con un porcentaje de inclusión así:

Figura 25. Veredas en Susceptibilidad Baja. Fuente: (Propia 2020)

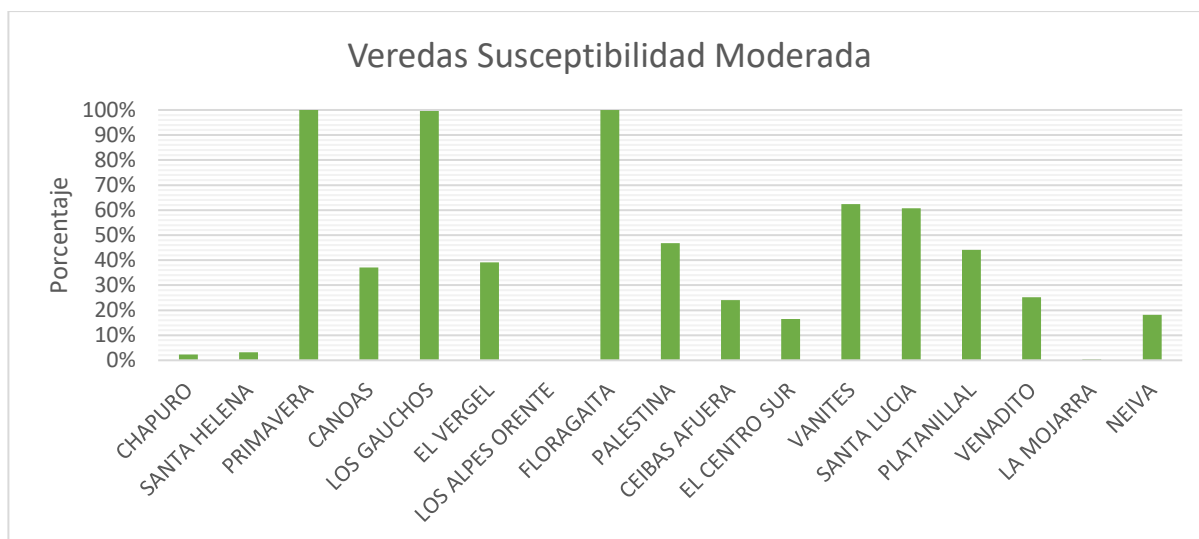


En esta **Figura 25**, se observa que alrededor de 11 zonas se encuentran con un porcentaje superior al 80% del área de su extensión en susceptibilidad baja, destacando que el centro poblado Santa Barbara se encuentra totalmente inmerso siendo su porcentaje de cobertura el único sector correspondiente de la vereda Santa Helena, por tal razón 9 veredas se encuentran en áreas de susceptibilidad baja por sus condiciones de aporte de sedimentos a los afluentes hídricos, a través de los procesos de erosión, remoción en masa, y demás aportantes generados por medio de procesos de extracción agropecuaria.

8.7.1.2. Susceptibilidad Moderada

Para la cuenca el modelo reflejo con un porcentaje superior al 50% cinco (5) zonas. El área que se encuentra en este nivel corresponde a 82,28 km² del total de la cuenca el cual se representa así:

Figura 26. Veredas en susceptibilidad moderada. Fuente: (Propia 2020)

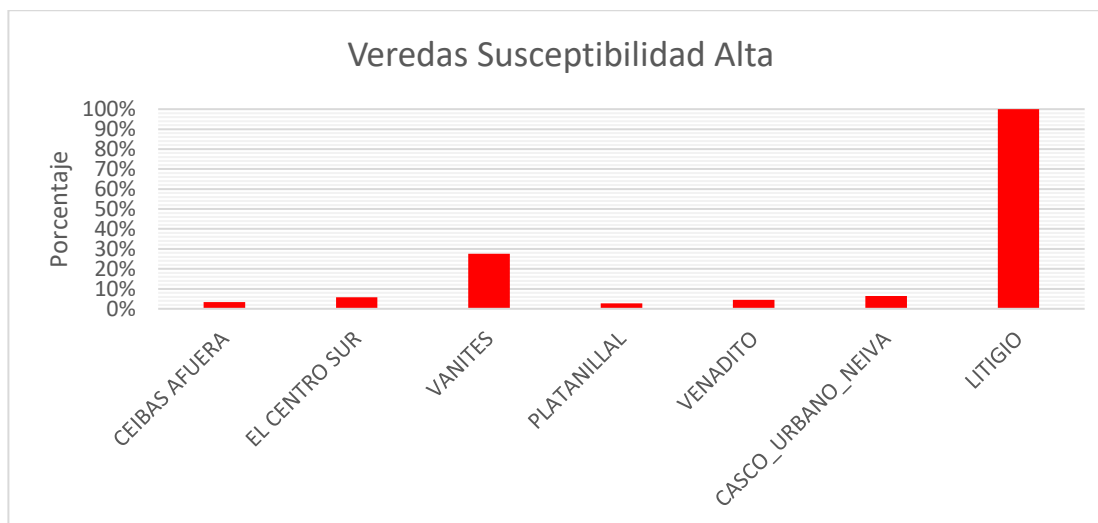


Las cinco zonas corresponden a las veredas Primavera, Los Gauchos, Floragaita, Vanites y Santa Lucia, las cuales de su área total presentan más del 50% en nivel de susceptibilidad moderada. El casco urbano del Municipio de Neiva manifiesta un porcentaje del 18,22% en este nivel.

8.7.1.3. Susceptibilidad Alta

Finalmente, en este nivel se tiene un área de 7,94 km², con una afectación a 6 zonas con porcentajes inferiores al 50% así:

Figura 27. Veredas en susceptibilidad Alta. (Propia 2020)



De estas zonas según lo reflejado por la **Figura 27**, la mayor afectación se produce en un sector en litigio por parte del Municipio de Neiva, siendo importante resaltar que en el casco urbano del municipio de Neiva encontramos un porcentaje de afectación del 6.34%, y en la actualidad como acciones de mitigación se viene desarrollando un proyecto de canalización del río las Ceibas en el casco urbano el cual se encuentra en su tercera fase. En la cuenca se han realizado otras actividades como disipadores de energía, mallas de retención de material particulado y reforestación en las zonas de recarga hídrica, a través de la adquisición de predios y campañas de siembra a las orillas del cauce.

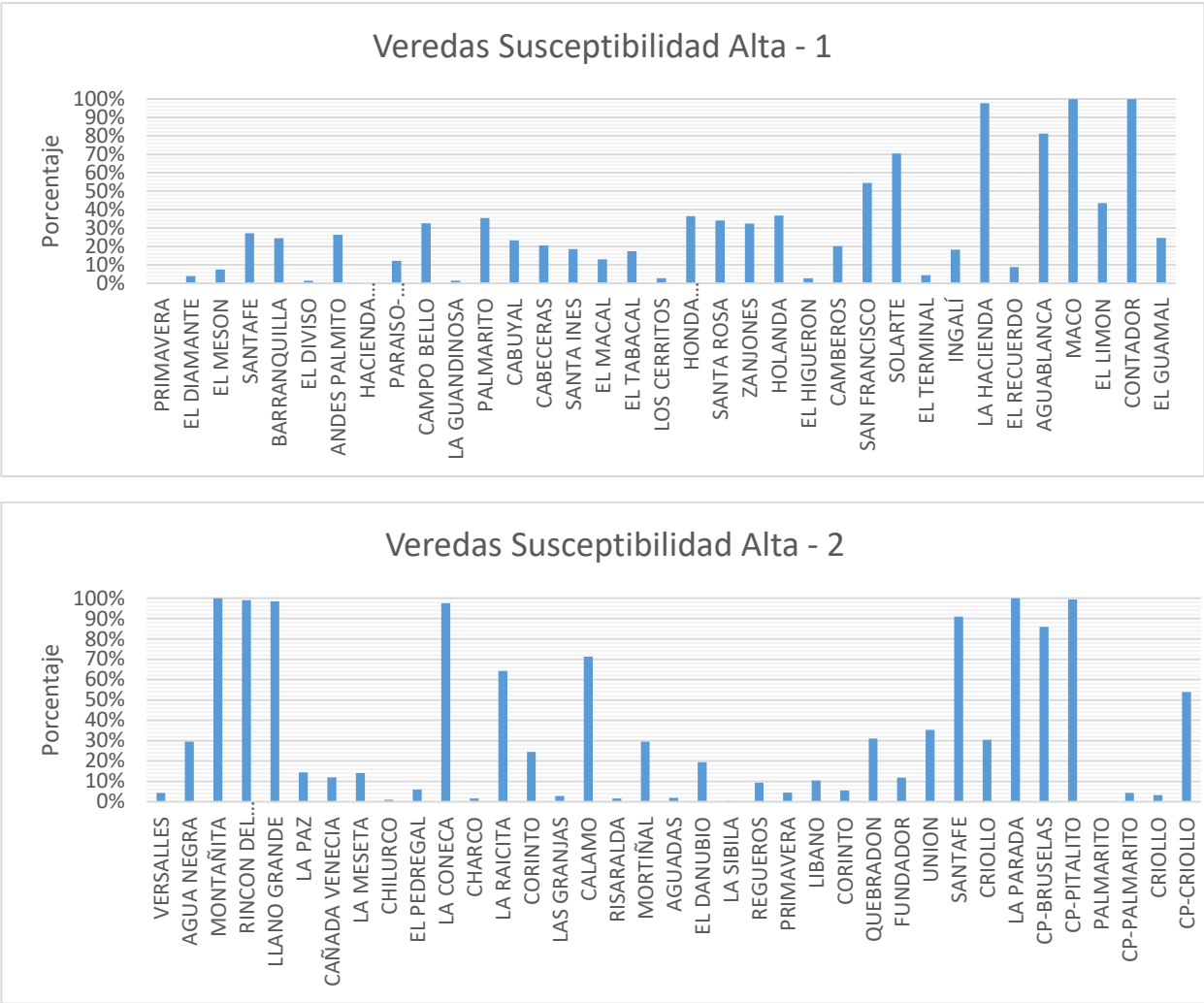
8.7.2. Veredas Cuenca Guarapas

8.7.2.1. Susceptibilidad Alta

En la cuenca se identifica para este nivel 17 zonas con un porcentaje igual o superior al 50% de su área inmerso en la susceptibilidad catalogada por el modelo; las veredas identificadas

se dividen entre el municipio de Pitalito y Palestina con un área total para todo el nivel de 108,015 km², distribuido así:

Figura 28. Veredas en Susceptibilidad Alta. (Propia 2020)

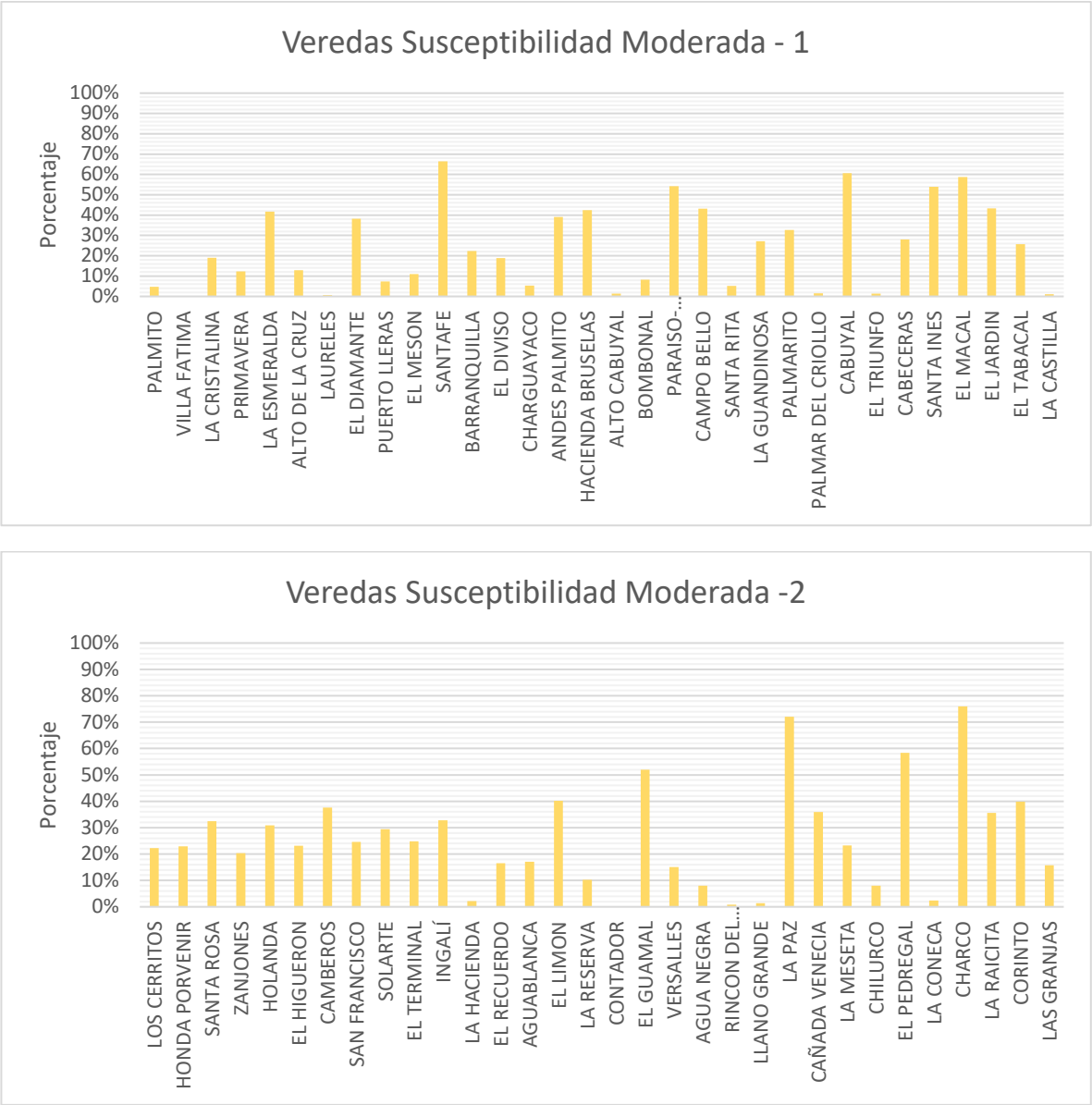


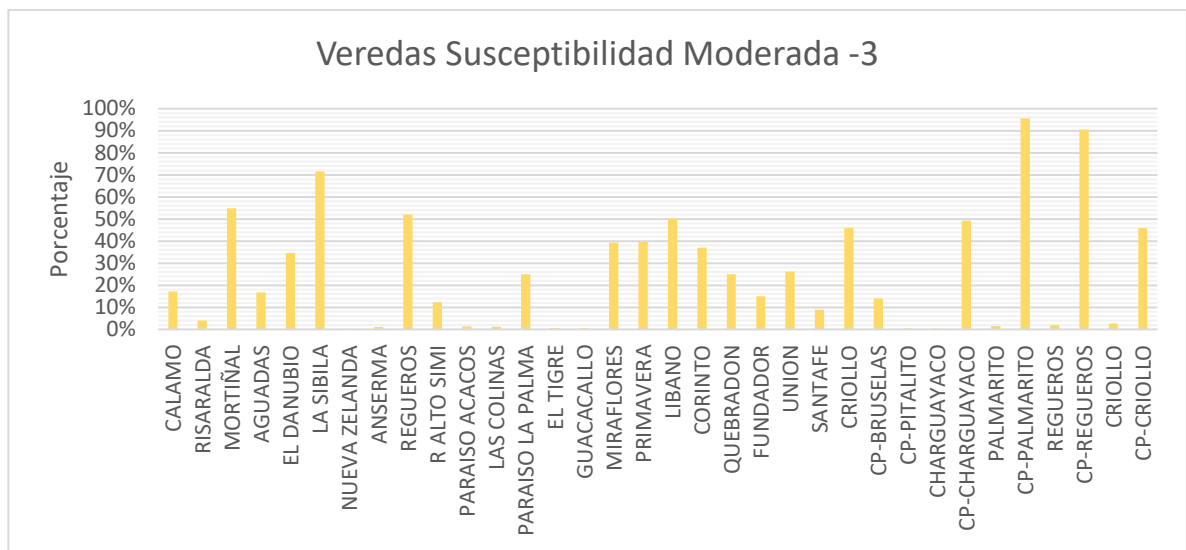
De acuerdo a lo expuesto en la **Figura 28** se evidencia que el Casco Urbano del Municipio de Pitalito se encuentra en un porcentaje superior al 90% de su área inmersa en el nivel al igual que las veredas La Hacienda, Maco, Contador, Montañita, Rincón del Contador, Llano Grande, La Coneca, Santafé y La Parada

8.7.2.2. Susceptibilidad Moderada

Este nivel refleja que 15 zonas se encontraban con un porcentaje superior al 50% de su área inmerso, siendo para este nivel un área de extensión total de 89 km², relacionados así:

Figura 29. Veredas en Susceptibilidad Moderada. (Propia 2020)



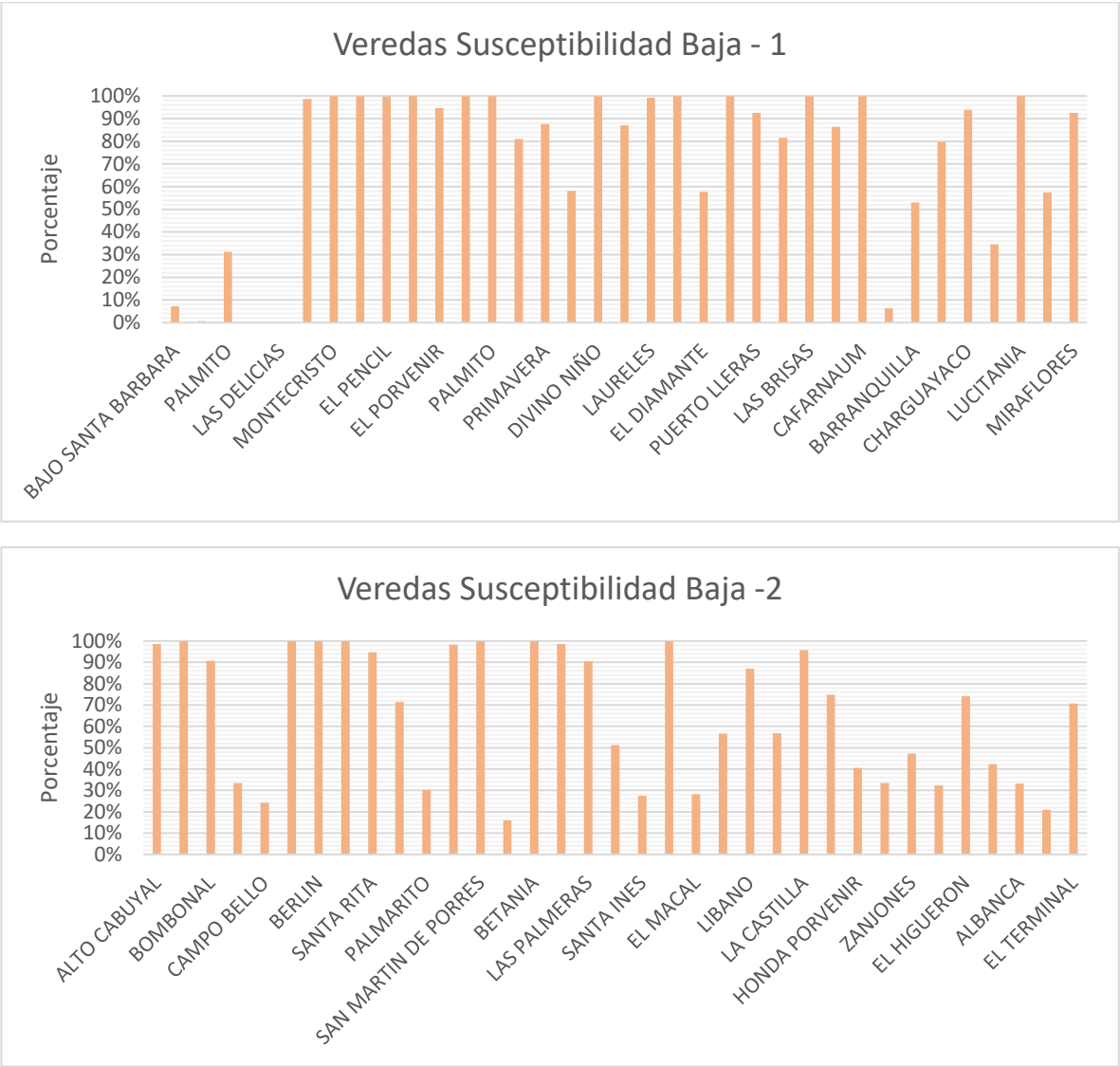


De las anteriores graficas se puede reconocer que los Centros Poblados de Palmarito y Regueros se encuentran por encima del 70% de inmersión en susceptibilidad moderada; a nivel veredal se halla una inclusión superior al 50% se tiene las veredas Santafe, Paraiso-Charguayaco, Cabuyal, Santa Ines, El Macal, El Guamal, La Paz, El Pedregal, Charco, Mortiñal, La Sibila, y Regueros

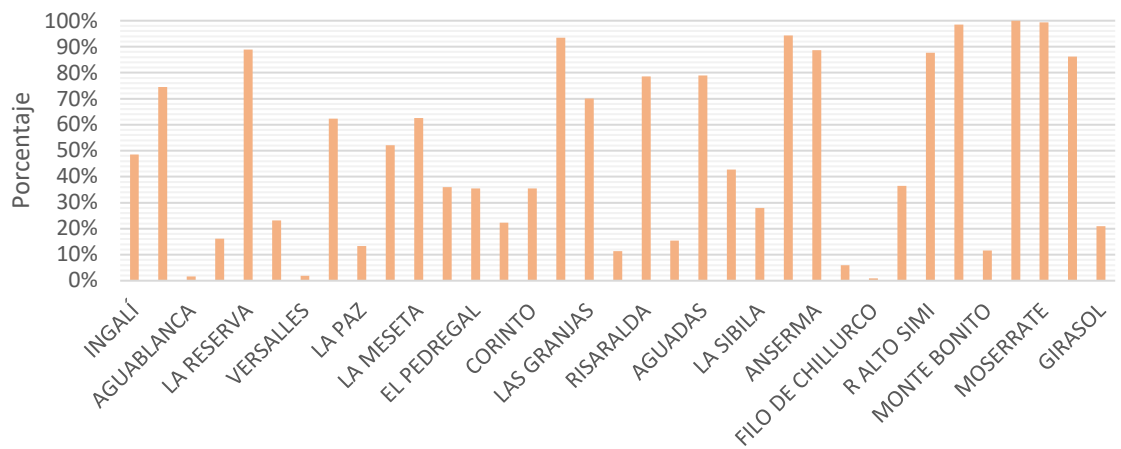
8.7.2.3. Susceptibilidad Baja

Para la cuenca del Río Guarapas el modelo reflejo una inclusión de 175 veredas y 3 Centros Poblados inmersos, con un área de 506,84 Km², las veredas y su distribución en porcentaje se relaciona así:

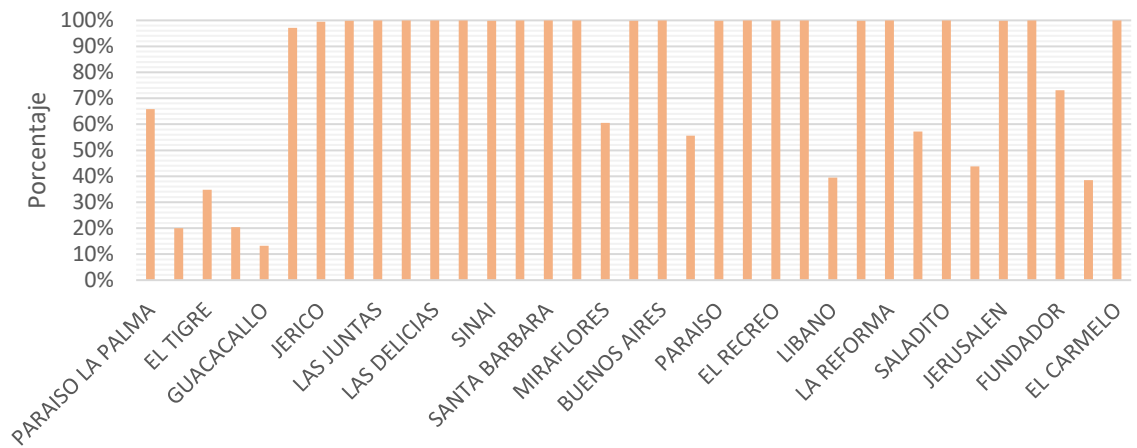
Figura 30. Veredas en susceptibilidad Baja. (Propia 2020)

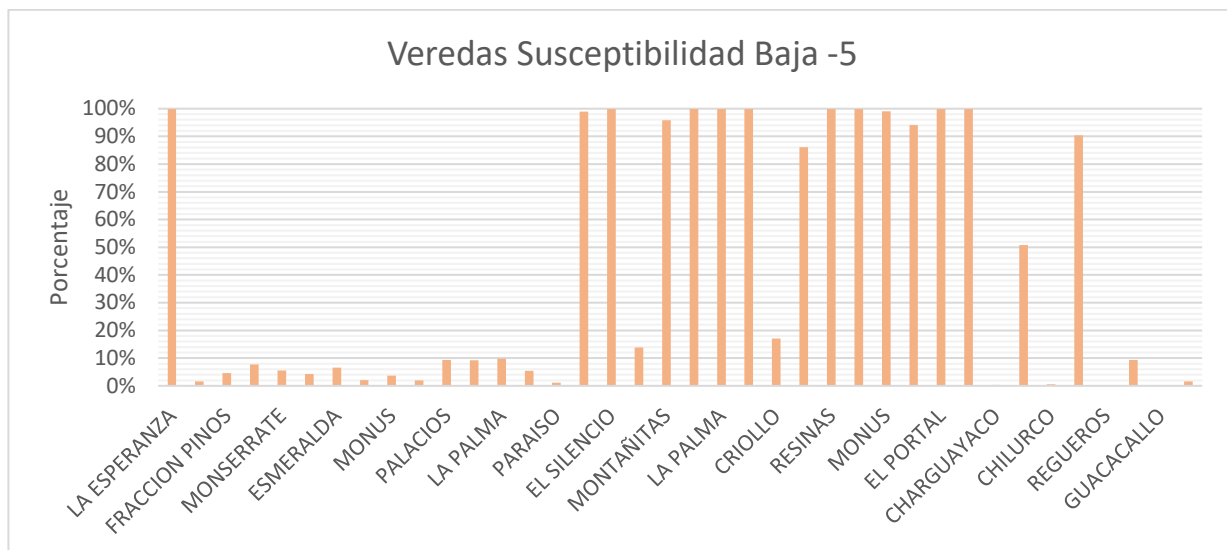


Veredas Susceptibilidad Baja -3



Veredas Susceptibilidad Baja -4





De las anteriores figuras se resalta que los Centros Poblados de Charguayaco, Palestina y Chillurco presentan unos porcentajes superiores al 50% de su área en este nivel, siendo importante iniciar procesos de socialización y atención a los eventos que se relacionen con procesos de represamiento o remoción en masa en la zona. A nivel veredal se evidenció que 110 veredas presentan porcentajes superiores al 50% de su área en susceptibilidad baja, motivo por el cual la cuenca manifiesta un tamaño representativo de susceptibilidad en nivel bajo.

8.8. Validación espacial del modelo conceptual y Comparativa POMCH Guarapa y Ceibas

De acuerdo a los resultados obtenidos a nivel veredal para la cuenca Guarapas se obtuvo que las veredas Los Andes – Palmito, Fundador, Quebradon y La unión fueron identificados como zonas con alto riesgo de inundación en el POMCH Guarapas 2009 (CAM, 2009), evidenciando una buena compatibilidad, puesto que estas veredas, de acuerdo a los cruces

arrojados por el modelo conceptual se encuentra con un porcentaje de área superiores al 10% en susceptibilidad alta a eventos de inundación.

Para el POMCH Ceibas, refleja un análisis de susceptibilidad a eventos de inundación, con resultados de alta susceptibilidad en la zona urbana del casco urbano del municipio de Neiva, siendo esta categoría semejante con lo obtenido en el presente estudio, con áreas urbanas del orden del 6.54% incluidas en este nivel.

En general, los resultados obtenidos presentan una buena relación con los proyectados en cada uno de los POMCH, pero debido a su año de desarrollo, exponen información desactualizada en los insumos empleados para el proceso metodológico de la zonificación de los niveles de susceptibilidad.

La validación de resultados obtenidos de las áreas de susceptibilidad de los respectivos modelos conceptuales de las cuencas, se hizo por medio de un análisis espacial con el cruce de áreas de inundación, relacionadas en los mapas de inundación desarrollados por el IDEAM para las olas invernales de los años 1988, 2000, 2010 y 2011; como se aprecia en la **Figura 31 y Figura 32**

Figura 31. Validación Modelo Conceptual Ceibas. Fuente (Propia,2020)

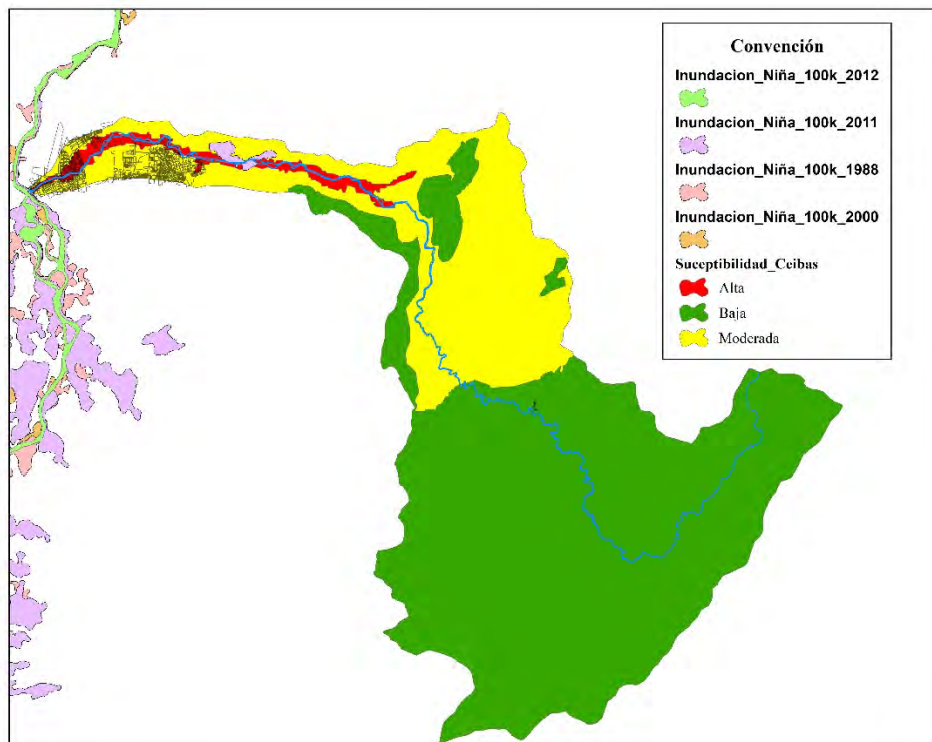
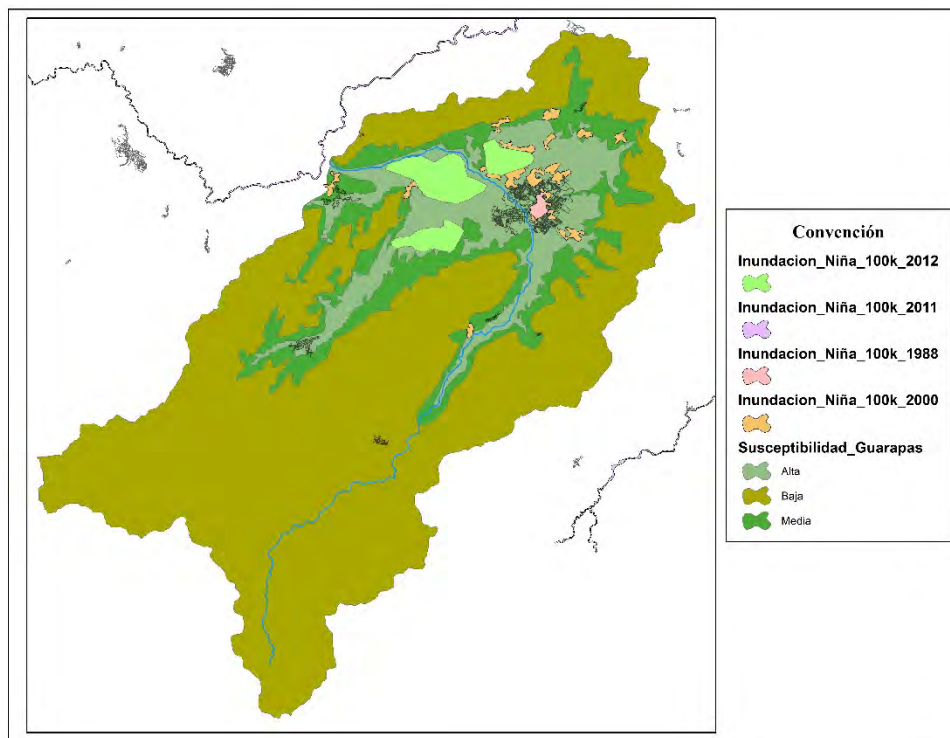


Figura 32. Validación Modelo Conceptual Guarapas. Fuente (Propia,2020)



Las respectivas áreas que se encuentran proyectadas en los mapas de inundación, permiten evidenciar que los resultados del modelo en sus diferentes niveles se encuentran a nivel espacial acordes a las características del territorio y se constituye en una herramienta apropiada para las respectivas gestiones del desarrollo de estudios en el marco de la gestión del riesgo. Se evidencia que para la cuenca del Rio La Ceibas, el área presente en los niveles de susceptibilidad Media y Alta corresponde a un evento del año 2011, cercano al casco urbano del municipio de Neiva; para el caso de la cuenca del Rio Gurapas se presentan áreas de inundadas (Casco Urbano y área rural) en los eventos del 1988, 2000 y 2012 para los niveles de susceptibilidad Media y Alta. Para los niveles de susceptibilidad Baja no se presentan áreas en los mapas de inundación, toda vez que por condiciones del territorio a la fecha no se han manifestado este tipo de eventos.

8.9. Medidas de prevención y/o mitigación para los niveles de susceptibilidad Alta y Media.

1. Desarrollar iniciativas de reforestación de las zonas de recarga hídrica, a través de la adquisición de predios o incentivos por servicios ambientales.
2. Adelantar estudios detallados de gestión del riesgo (Estudios Amenaza Vulnerabilidad Riesgo) para los cascos urbanos de Neiva y Pitalito.
3. Implementar programas de capacitación para el desarrollo de actividades productivas acordes a las características del entorno.
4. Gestionar a través de la CAR o entidades territoriales medidas correctivas para evitar el desarrollo de actividades de deforestación o producción que difieran con las características inherentes del territorio.

5. Recuperar gradualmente las rondas hídricas de los afluentes para permitir el curso natural de los cuerpos de agua, a través de la reubicación de actividades productivas o asentamientos localizados en la ribera de ríos y quebradas.
6. Para el municipio de Pitalito, gestionar estudios detallados para la canalización del río Guarapas o el desarrollo de obras de protección (Muros de contención, Disipadores de Energía, Jarillones, Gaviones, y traviesas).
7. Restringir el desarrollo de proyectos de urbanización o permisos de construcción en las zonas de susceptibilidad alta y media.
8. Capacitar a las poblaciones en susceptibilidad alta y media en medidas de prevención y atención de desastres.
9. Implementar un plan de reubicación de las infraestructuras construidas en el margen de la ronda Hídrica de los ríos Guarapas y Ceibas.

9. CONCLUSIONES

- El análisis de susceptibilidad a través de la implementación de un modelo conceptual permite comparar metodologías de rápida aplicación, afianzando resultados con márgenes de error reducidos, según lo encontrado en la literatura consultada.
- Las técnicas de reconocimiento de imágenes, percepción remota y procesamiento de modelos de elevación digital, son de significativa utilidad en la actualidad, para ser incluidas al interior de un marco metodológico, toda vez que facilitan los procesos de planificación y toma de decisiones en el margen de la gestión del riesgo.
- El uso de la información obtenida y procesada por las Corporaciones Autónomas, facilita los procesos de investigación y, además, complementa los estudios realizados por estas entidades, creando articulaciones académicas y de apoyo para los procesos de planificación que las mismas desarrollan según sus actividades misionales.
- Los objetivos propuestos en la presente investigación se alcanzaron, de acuerdo a cada uno de los temas abordados en el cuerpo del trabajo.
- Los cascos urbanos de los Municipios de Neiva, Pitalito y Palestina, presentan porcentajes superiores al 50% de su área en zonas de susceptibilidad moderada y alta.
- El uso de herramientas de software libre, permite obtener resultados de alta calidad con nulos o bajos costos en el desarrollo de investigaciones o estudios de ordenamiento, análisis de riesgo, entre otros temas de importancia para la gestión del territorio.
- La metodología de análisis jerárquico propuesta por Saaty, (1994), se constituye en una herramienta muy apropiada para el desarrollo de procesos priorización o

valoración de pesos entre una o más variables con resultados muy apropiados en modelos conceptuales, como el desarrollado en la presente investigación.

- El adelanto de estudios enmarcados en la gestión del riesgo, deben emplear escalas de alto detalle que permitan obtener resultados acordes al territorio, disminuyendo la incertidumbre y el margen de error presente en la cartografía disponible en territorio.
- La articulación interinstitucional para el desarrollo de investigaciones o estudios de gestión del riesgo, es fundamental para consolidar esfuerzos y generar documentos apropiados para la toma de decisiones por parte de las autoridades locales.
- La inclusión de los tiempos de concentración o mapas de isócronas, permiten conocer de manera acertada la duración del recorrido ante un evento pluviométrico, facilitando así el desarrollo metodológico y técnico del modelo de susceptibilidad de inundación.

10. RECOMENDACIONES

- El presente estudio se constituye en un insumo para el uso de las entidades encargadas de la gestión del riesgo en la toma de decisiones o desarrollo de investigaciones a escalas de 1:25.000, teniendo en cuenta que su desarrollo se realizó en escala 1:100.000.
- Para la cuenca Guarapas es necesario el desarrollo de infraestructuras como disipadores de energía y canalización del afluente, con el fin de mitigar y/o reducir el nivel de susceptibilidad presente en los centros poblados y el casco urbano del municipio de Pitalito.
- El desarrollo de acciones encaminadas a la conservación de las zonas de recarga hídrica en las cuencas Guarapas y Ceibas es fundamental para la reducción de los eventos de remoción en masa, erosión y pérdida de la cobertura vegetal, los cuales aportan a los posibles sucesos de inundación en la parte baja de la cuenca.
- En la cuenca del río las Ceibas se identifica, para el casco urbano, el desarrollo del proyecto de canalización del afluente, el cual se encuentra en su tercera fase, siendo esto un aspecto muy positivo para la reducción del nivel de susceptibilidad presente en su casco urbano.
- El empleo de otras variables al modelo como estudios hidráulicos, hidrológicos, sedimentológicos, entre otros, permitirán aportar resultados más acordes a los procesos reales que se presentan en el territorio.

- La actualización de la base cartográfica empleada en el presente estudio es fundamental para la generación de resultados apropiados, teniendo en cuenta que algunas de las capas presentan una antigüedad superior a los 5 años.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Argics for Desktop. (2020). *Cómo funciona Superposición ponderada*.
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-weighted-overlay-works.htm>
- Balasubramanian, A. (2017). Digital Elevation Model (Dem) in Gis. *Researchgate.Net*, September. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23976.47369>
- Banco Mundial. (2012). *Analisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia Un aporte para la construcción de políticas públicas* (Primera Ed).
- Benitez, K., & Gomez, D. (2015). *ZONIFICACIÓN POR SUSCEPTIBILIDAD A FENOMENOS DE INUNDACIÓN EN EL ÁREA DE INFLUENCIA URBANA DE LA QUEBRADA CHAPAL EN SAN JUAN DE PASTO, NARIÑO*. Universidad de Nariño.
- BID, & CEPAL. (2011). *Valoración de daños y pérdidas*.
- Burgos, T. (2018). *CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES MORFOMÉTRICAS Y LAS RESERVAS DE AGUA EN CUENCAS DE CHILE* (Issue 1). Universidad de Talca.
- CAM. (2007). Plan de Ordenación y Manejo Cuenca Hidrografica del Rio Las Ceibas. In *Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

CAM. (2009). *Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Guarapas*.

Cartaya, S., Pacheco, H., & Méndez, W. (2007). METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN MICROCUENCAS DE DRENAJE, ESTADO VARGAS, VENEZUELA. In *II Jornadas Nacionales de Geomática*.

Chávez Cortés, M. M., Binnqüist-Cervantes, G., & Salas-Flores, A. C. (2016). Evaluación multicriterio de la vulnerabilidad biofísica ante inundaciones en la subcuenca río Atoyac-Oaxaca de Juárez. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(10), 97.
<https://doi.org/10.19136/era.a4n10.816>

Chow, V. T. (1994). *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill.

Domínguez C., E. A. (2010). *Cálculo de parámetros morfométricos*.

Dominguez, E. (2010). *Cálculo de parámetros morfométricos*.

EM-DAT. (2018). *Datos sobre desastres naturales en América Latina y el Caribe*.
<https://www.emdat.be/>

FAO. (1985). Revista Internacional de Silvicultura e Industrias Forestales Unasyliwa. *IX Congreso Forestal Mundial México*.

Forman, E., & Gass, S. (2001). The analytic Hierarchy Process - An exposition. *Operations Research*, 49(4), 469–486.

Gallant, J. C., & Dowling, T. I. (2003). A multiresolution index of valley bottom flatness for

mapping depositional areas. *Water Resources Research*, 39(12).

<https://doi.org/10.1029/2002WR001426>

Gomez, M., & Barredo, J. (2012). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio* (Alfa Omega Grupo Editor (ed.); Segunda Ed).

Horton, R. ~E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of Geological Society of America*, 56(1), 275–370.

Hurtado, T., & Bruno, G. (2005). El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. *Tesis Digitales UNMSM*, 3, 100. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

IDEAM. (2013). Zonificación y codificación de uniades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia. *Publicación Aprobada Por El Comité de Comunicaciones y Publicaciones Del IDEAM*, 47. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022655/MEMORIASMAPAZONIFICACIONHIDROGRAFICA.pdf>

Londoño Arango, C. (2001). Cuencas hidrográficas: Bases Conceptuales, Carracterización, administración [Universidad del Tolima]. In *Universidad del Tolima* (Vol. 1). [www.ut.edu.co/academico/images/archivos/Fac_Forestal/Documentos/LIBROS/cuencas hidrograficas bases conceptuales caracterizacion planificacion yorganizacion - CARLOS LONDOO.pdf](http://www.ut.edu.co/academico/images/archivos/Fac_Forestal/Documentos/LIBROS/cuencas%20hidrograficas%20bases%20conceptuales%20caracterizacion%20planificacion%20y%20organizacion%20-%20CARLOS%20LONDOO.pdf)

Lux, B. (2014). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. *Maestría En Energía y Ambiente*, 8. [http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas.pdf](http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos_básicos_de_Morfometría_de_Cuencas_Hidrográficas.pdf)

Mendoza, J. (2017). *EVALUACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN ASENTAMIENTOS HUMANOS DE LA ZONA METROPOLITANA DE TOLUCA*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO.

Ministerio del Medio Ambiente de España. (1992). *Guia para la elaboracion de estudios medios del medio fisico*. 809. <http://www.lineaclave.org/web/download/guia-para-la-elaboracion-de-estudios-del-medio-fisico/>

Monsalve, S. (1995). *Hidrologia en la Ingenieria* (Escuela Colombiana de Ingenieria (ed.); Primera Ed).

Mujeriego, M. (2014). *EL ARTE DE LAS PRIMERAS CIVILIZACIONES: EGIPTO Y MESOPOTAMIA*.
http://www.uclm.es/ab/humanidades/profesores/descarga/mujeriego/primeras_civilizaciones.pdf%3E

Olivera, J., Martín, G., García, A., Salgado, E., Lopez, M., Estrada, R., & Campos, M. (2011). El uso de los sig y la evaluación multicriterio (EMC) para la determinación de escenarios de peligros de inundaciones en cuencas fluviales. Estudio de caso cuenca Guanabo, ciudad de La Habana. *Geoinfo*, 1–14.
http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2011_Olivera_GEOINF-O8.pdf

Ornelas Lopez, E., Abascal Mena, R., & Vásquez Aviles, S. (2017). Construcción de mapas

isocronas para la zona poniente de la ciudad de México. *Pistas Educativas*, 39(128), 985–998.

Parker, R. S. (2006). Hazards of Nature, Risks to Development. In *Hazards of Nature, Risks to Development*. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-6650-9>

Pawley, H., & Steven, K. (2020). *r.valley.bottom* - Cálculo del índice de planitud del fondo del valle de resolución múltiple (MrVBF). <https://grass.osgeo.org/grass76/manuals/addons/r.valley.bottom.html>

Plan de Ordenamiento Territorial de Pitalito, (1999) (testimony of Municipio Pitalito).

Pons, D. (2011). *Estudio de la asociación entre desastres naturales por inundación y eventos epidémicos*. Universidad Nacional de Córdoba.

Ramirez, J. (1975). *Historia de los Terremotos en Colombia* (IGAC (ed.); Segunda Ed). <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/19778>

Reyes T., A., Barroso, F., & Carvajal E., Y. (2010). *Guía básica para la caracterización morfológica de cuencas hidrográficas* (Primera Ed). Editorial Universidad del Valle.

Rodriguez Peña, Y. L. (2017). *Análisis de Susceptibilidad por Crecidas Torrenciales, Basado en Herramientas SIG* [UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ CALDAS]. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Saaty, T. L. (1994). To Make a Decision : The Analytic. *Interfaces*, 24(6), 19–43.

Saaty, T. L. (2011). The seven pillars of the analytic hierarchy process. *International Series in Operations Research and Management Science*, 175(July 2011), 23–40.

https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6_2

Societies, R. C., & Cross, N. R. (2003). World Disasters Report Focus on ethics in aid. In *Disasters*. <http://www.ifrc.org>

Soldano, Á. (2009). Inundaciones: ¿Qué es Susceptibilidad? *Foro Virtual de La RIMD Para La Capacitación En Teledetección Aplicada a La Reducción Del Riesgo Por Inundaciones*, 1–5.
<http://www.rimd.org/advf/documentos/4921a360071e58.79575639.pdf>

Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of Geological Society of America*, 63, 1117–1142.

Vega, J., & Castiblanco, J. (2016). Inundaciones y Gestión del Riesgo en Colombia: Un análisis del comportamiento de la Gestión del Riesgo del Estado y su rol del aseguramiento desde el 2003 al 2013. In *Universidad de la Salle*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Velandia P., F., Marquinez, A., & Nuñez T., G. (2001). Memoria Explicativa Mapa Geológico del Departamento del Huila - INGEOMINAS. *Ingeominas, January*, 154.
<https://doi.org/10.13140/2.1.3373.0885>

Velez, J. J., & Botero, A. (2011). Estimización del Tiempo De Concentración y Tiempo De Rezago En La Cuenca Experimental Urbana De La Quebrada San Luis , Manizales. *Dyna*, 78(165), 58–71.

Wanielista, M. P. (1997). *Hydrology and Water Quality Control* (Wiley (ed.); Segunda).

