



**AJUSTE DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO
LEÓN SZH (1201) LOCALIZADA EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA EN
JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE DEL URABÁ (CORPOURABA)**

**FASE DIAGNÓSTICO
CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE RIESGO**

MARZO DE 2019

CONTENIDO

| | | |
|-------|--|----|
| 2 | IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA..... | 6 |
| 2.2 | INUNDACIONES (IN) | 6 |
| 2.2.1 | Susceptibilidad por inundaciones en la cuenca del río León..... | 6 |
| 2.2.2 | Caracterización geomorfológica | 7 |
| 2.2.3 | Zonificación de la susceptibilidad | 15 |
| 2.2.4 | Resultados de la zonificación de la susceptibilidad..... | 21 |
| 2.2.5 | Amenaza por inundaciones en la cuenca del río León..... | 29 |
| 2.2.6 | Mapas de inundación de Colombia - IDEAM | 48 |
| 2.2.7 | Evaluación del terreno mediante el Índice de Uniformidad de la Planicie con Resolución Múltiple | 50 |
| 2.2.8 | Zonificación de la amenaza por inundación lenta. | 53 |
| 2.3 | AVENIDAS TORRENCIALES (AT)..... | 56 |
| 2.3.1 | Descripción de los procesos dominantes asociados a la ocurrencia de avenidas torrenciales..... | 56 |
| 2.3.2 | Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a avenidas torrenciales..... | 56 |
| 2.3.3 | Descripción de las variables para obtener susceptibilidad a avenidas torrenciales..... | 58 |
| 2.3.4 | Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a eventos torrenciales..... | 67 |
| 2.3.5 | Descripción metodológica para obtener amenaza por avenidas torrenciales | 68 |
| 2.3.6 | Descripción de las variables para obtener susceptibilidad a avenidas torrenciales..... | 69 |
| 2.3.7 | Análisis de la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales | 70 |
| 2.4 | INCENDIOS FORESTALES (IF)..... | 73 |
| 2.4.1 | Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a incendios forestales | 73 |
| 2.4.2 | Descripción de las variables para el cálculo de susceptibilidad a incendios forestales..... | 73 |
| 2.4.3 | Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a incendios forestales | 82 |
| 2.4.4 | Descripción metodológica para obtener amenaza por incendios forestales | 84 |
| 2.4.5 | Descripción de las variables de amenaza por incendios forestales..... | 85 |
| 2.4.6 | Análisis de la zonificación de la amenaza a incendios forestales..... | 93 |
| 3 | BIBLIOGRAFÍA..... | 94 |

CONTENIDO DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Clasificación regional de subunidades geomorfológicas - (Carvajal, 2011). | 8 |
| Tabla 2 Clasificación regional de subunidades geomorfológicas - (Zinck, 2012)..... | 10 |
| Tabla 3 Caracterización de los grados de susceptibilidad a la inundación unidades geomorfológicas metodología Carvajal (2011)..... | 15 |
| Tabla 4 Caracterización de los eventos de inundación de susceptibilidad frente a las unidades geomorfológicas metodología Carvajal (2011)..... | 17 |
| Tabla 5 Caracterización Resultados generales de la zonificación de la susceptibilidad Carvajal | 21 |
| Tabla 6 Numero de eventos por Municipio con grado de susceptibilidad alta | 22 |
| Tabla 7. Numero de eventos por Municipio con grado de susceptibilidad alta | 25 |
| Tabla 8. Condiciones de frontera de entrada de los modelos | 37 |
| Tabla 9. Condiciones de frontera de salida de los modelos. | 37 |
| Tabla 10. Coeficiente de rugosidad por cuerpo de agua | 46 |
| Tabla 11. Altura de lámina de agua por período de retorno. | 47 |
| Tabla 12 Areas en amenaza por inundación..... | 55 |
| Tabla 13 Caracterización resultados generales de la zonificación de amenaza..... | 56 |
| Tabla 14. Relaciones para categorizar índices morfométricos..... | 57 |
| Tabla 15. Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales IVET | 58 |
| Tabla 16. Propensividad de subunidades geomorfológicas a eventos torrenciales . | 64 |
| Tabla 17. Propensividad de subunidades geomorfológicas a eventos torrenciales | 66 |
| Tabla 18. Categorización de la recurrencia de los eventos de avenidas torrenciales..... | 67 |
| Tabla 19. Categorización de la recurrencia de los eventos de avenidas torrenciales..... | 70 |
| Tabla 20. Calificación de tipo de combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca..... | 74 |
| Tabla 21. Calificación de la duración del combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca | 77 |
| Tabla 22. Calificación de la carga total del combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca | 80 |
| Tabla 23. Indicador precipitación | 87 |
| Tabla 24. Indicador temperatura. | 87 |
| Tabla 25. Indicador tasa de dispersión. | 90 |
| Tabla 26. Indicador distancia a vías..... | 90 |
| Tabla 27. Indicador de frecuencia de incendios | 93 |

CONTENIDO DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Mapa de geomorfología, según Carvajal (2011)..... | 9 |
| Figura 2. Mapa de geomorfología, según Zinck (2012)..... | 13 |
| Figura 3. Mapa de Densidad de eventos por inundación por km ² | 14 |
| Figura 4. Representación de la susceptibilidad por inundación según la metodología de Zinck..... | 19 |
| Figura 5. Superposición de eventos de inundación y avenidas torrenciales para la corroboración unidades geomorfológicas metodología para la categorización de la susceptibilidad a inundación | 20 |
| Figura 6. Número de eventos por vereda o centro poblado susceptibilidad alta..... | 23 |
| Figura 7. Número de eventos por vereda o centro poblado susceptibilidad media.. | 26 |
| Figura 8. Mapa de susceptibilidad por inundación cuenca del río León | 28 |
| Figura 9. Diagrama de flujo para evaluación de amenaza por inundaciones lentas. | 30 |
| Figura 10. Mapa de Protocolo del análisis de amenaza por inundación..... | 32 |
| Figura 11. Diagrama de flujo de la cuenca del río León | 38 |
| Figura 12. Modelo de elevación digital 5 m, áreas sin información topográfica | 40 |
| Figura 13. Modelo de elevación digital 5 m, secciones bajas dentro del cauce..... | 41 |
| Figura 14. Corrección de profundidad del MED en el río León cuenca media..... | 43 |
| Figura 15. MED de resolución espacial de 5 m para la cuenca del río León. | 44 |
| Figura 16. Refinamiento de malla en el eje y bancas de cauce..... | 45 |
| Figura 17. Análisis multitemporal de manchas de inundación..... | 49 |
| Figura 18. Índice de Uniformidad de la Planicie con Resolución Múltiple cuenca del río León | 51 |
| Figura 19. Índice de Uniformidad de la Planicie con Resolución Múltiple, identificación de las planicies de inundación | 52 |
| Figura 20. Mapa de amenaza por inundación para la cuenca del río León | 54 |
| Figura 21. Relaciones entre variables para el índice morfométrico | 57 |
| Figura 22. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales..... | 59 |
| Figura 23. Índices implícitos en el cálculo del índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales..... | 59 |
| Figura 24. Índice de variabilidad | 60 |
| Figura 25. Categorías necesarias para calcular el índice morfométrico | 60 |
| Figura 26. Índice morfométrico | 61 |
| Figura 27. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales..... | 62 |
| Figura 28. Índice de Melton | 63 |
| Figura 29. Propensividad de subunidades geomorfológicas a eventos torrenciales | 64 |
| Figura 30. Propensividad de unidades del terreno a eventos torrenciales | 66 |
| Figura 31. Susceptibilidad a eventos torrenciales | 68 |
| Figura 32. Variables para la modelación de la amenaza por avenidas torrenciales | 69 |
| Figura 33. Amenaza por avenidas torrenciales..... | 72 |
| Figura 34. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad de la cobertura vegetal a sufrir incendios forestales | 74 |
| Figura 35. Calificación de tipo de combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca..... | 76 |

| | |
|--|----|
| Figura 36. Calificación de la duración del combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca | 79 |
| Figura 37. Calificación de la carga total del combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca | 82 |
| Figura 38. Susceptibilidad a incendios forestales..... | 84 |
| Figura 39. Variables para la modelación de la amenaza por incendios forestales... | 85 |
| Figura 40. Características del clima (Precipitación) en función a la amenaza a incendios forestales. | 86 |
| Figura 41. (Precipitación) en función a la amenaza a incendios forestales | 86 |
| Figura 42. Características del clima (Temperatura) en función a la amenaza a incendios forestales. | 87 |
| Figura 43. (Temperatura) en función a la amenaza a incendios forestales | 88 |
| Figura 44. Características topográficas (pendiente) en función a la amenaza a incendios forestales. | 89 |
| Figura 45. (PENDIENTE) en función a la amenaza a incendios forestales | 89 |
| Figura 46. Características de proximidad (ACCES) en función a la amenaza a incendios forestales. | 90 |
| Figura 47. (ACCES) en función a la amenaza a incendios forestales | 91 |
| Figura 48. Factor histórico en función a la amenaza a incendios forestales..... | 92 |
| Figura 49. Factor Histórico en función a la amenaza a incendios forestales | 92 |
| Figura 50. Amenaza por incendios de la cobertura vegetal..... | 94 |

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN

2 IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

2.2 INUNDACIONES (IN)

2.2.1 Susceptibilidad por inundaciones en la cuenca del río León

Partiendo del análisis de los eventos de inundación presente en las bases de datos, se hace evidente que este fenómeno, tienen un comportamiento persistente por año y de carácter cíclico, consecuente con los periodos invernales y alteraciones del comportamiento por años debido a la incidencia de fenómenos macroclimáticos como la Oscilación del Sur – ENOS, producto de la niña ya que esta amplifica las lluvias y los caudales máximos. Esta predisposición a inundación se acrecienta por las dinámicas socioeconómicas que se llevan a cabo a lo largo de las riberas de los cauces, que son espacios geográficos donde se desarrollan las dinámicas fluviales, pluviales y torrenciales de los valles, siendo estas un condicionante para el uso de suelo, por existir una susceptibilidad por dichos procesos naturales, tales como anegaciones moderadas a altas, acompañados de procesos erosión y socavación del terreno circundante a los sistemas fluviales. Para abordar la metodología de susceptibilidad por inundación hay que partir de una aproximación heurística del territorio de la cuenca del río León, donde hay que tener presente la evolución de procesos naturales y antrópicos, con el objeto de analizar las variables involucradas (factores ambientales) para identificar las zonas donde los fenómenos de inundación tienen mayor predisposición a desarrollarse (susceptibilidad). Para el análisis de la susceptibilidad partimos de la metodología del protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas, (Minambiente, Fondo Adaptación, 2014) el cual se especifica a continuación:

1. Se integran los eventos históricos por inundación, mediante una discriminación temporal de los mismos según su coherencia, clasificándolos como eventos antiguos, recientes y activos en el momento de la evaluación, los cuales son analizados en el numeral **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, haciendo un análisis histórico en la cuenca y espacializados tal como se describió en el numeral **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**
2. Se integra el análisis geomorfológico de la cuenca del río León aplicables mediante la observación de la configuración del relieve, formas y depósitos fluviales y el aspecto morfodinámico. Dadas las peculiaridades de la zona, la caracterización geomorfológica y la evaluación de la susceptibilidad se fundamentarán principalmente en la utilización de información secundaria, como imágenes satelitales Landsat, el Modelo Digital del Terreno (MDT) de ALOS PALSAR, con resolución de 12.5 m y MDT de 5 m, registro fotográfico producto de de visitas técnicas a la cuenca, que junto a estudios adelantados en la zona, tales como los del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y análisis geomorfológicos de la cuenca del río León según la metodología propuesta por Carvajal (2011), permiten hacer una descripción del ambiente fluvial con sus respectivas unidades y subunidades geomorfológicas, generando así la cartografía de la zona.
3. El análisis de susceptibilidad parte de un modelamiento cualitativo del medio físico mediante la definición de grados de susceptibilidad.

2.2.2 Caracterización geomorfológica

El análisis se centra evidenciar la susceptibilidad, definida como la predisposición en mayor o menor medida a que un evento (inundación), ocurra sobre determinado espacio geográfico, mediante una visión retrospectiva de los eventos por inundación de la cuenca y a partir de las características geomorfológicas, zonificando está en zonas altas, medias o bajas según la probabilidad de inundación que ocurra en un área, con base a las condiciones locales del terreno y sus antecedentes. Las inundaciones de origen fluvial (lentas), afectan de forma diferencial la llanura de inundación de los cauces, siendo las zonas más bajas y mal drenadas las más propensas a sufrir por estos procesos; en otras palabras, es definir el grado de afectación de los terrenos en el área de estudio, sin considerar la probabilidad temporal del evento ni la magnitud de la inundación esperada, bajo ciertas condiciones geoambientales. Para obtener las unidades inundables de la cuenca del río León, la metodología se basó en la generación de información primaria mediante la interpretación de las fotografías aéreas, la genética de los suelos y las formas del relieve, donde los rangos y características del suelo permite relacionarse con el paisaje y suelos próximos, asociando las unidades geomorfológicas según las metodologías que se menciona a continuación:

- Información obtenida del estudio realizado mediante la metodología de Carvajal (2011), fundamentada en la jerarquización geomorfológica del sistema de levantamiento y mapeo geomorfológico del International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC – por sus siglas en inglés) adoptada por el Servicio Geológico Colombiano (2002), acorde a la metodología de mapas analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, en los que se describe el ambiente fluvial desarrollado por la dinámica de las cuencas hidrográficas del río León, determinado el Mapa de geomorfología de la zona. La metodología propuesta por Carvajal permite generar el mapa geomorfológico de la cuenca a nivel de “subunidades”, que responde a las necesidades de la zonificación de la Gestión del Riesgo, y donde el análisis del terreno se hace desde un punto de vista regional hasta llegar a uno local, siendo la *Subunidad Geomorfológica*, la que contienen información relacionada a la morfodinámica, morfometría y morfogénesis a partir de las cuales es posible identificar geoformas asociadas a procesos de inundación, cuya unidad de cartografía se contiene en la Tabla 1 y se observa en la Figura 1.
- Información obtenida del estudio realizado mediante la metodología de Zinck, planteada inicialmente en el año 1984 con sus posteriores ajustes y finalmente analizada en el año 2012, la cual es aceptada y utilizada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Esta metodología se considera la geopedología, que, según el mismo autor, establece la relación entre la geomorfología y la pedología, haciendo énfasis en la contribución de la geomorfología hacia la pedología, donde Zinck en el año 2012, cita a Tricart, (1972) al mencionar que las geoformas y suelos son los componentes esenciales de la epidermis de la tierra, para resaltar la estrecha relación que tienen estas dos disciplinas. Lo anterior permite generar levantamientos de suelos, combinando criterios de ambas disciplinas, permitiendo analizar la distribución de los suelos en el paisaje (componentes taxonómicos jerárquico – contenido) y posterior mapeo de las unidades, como se observa en la

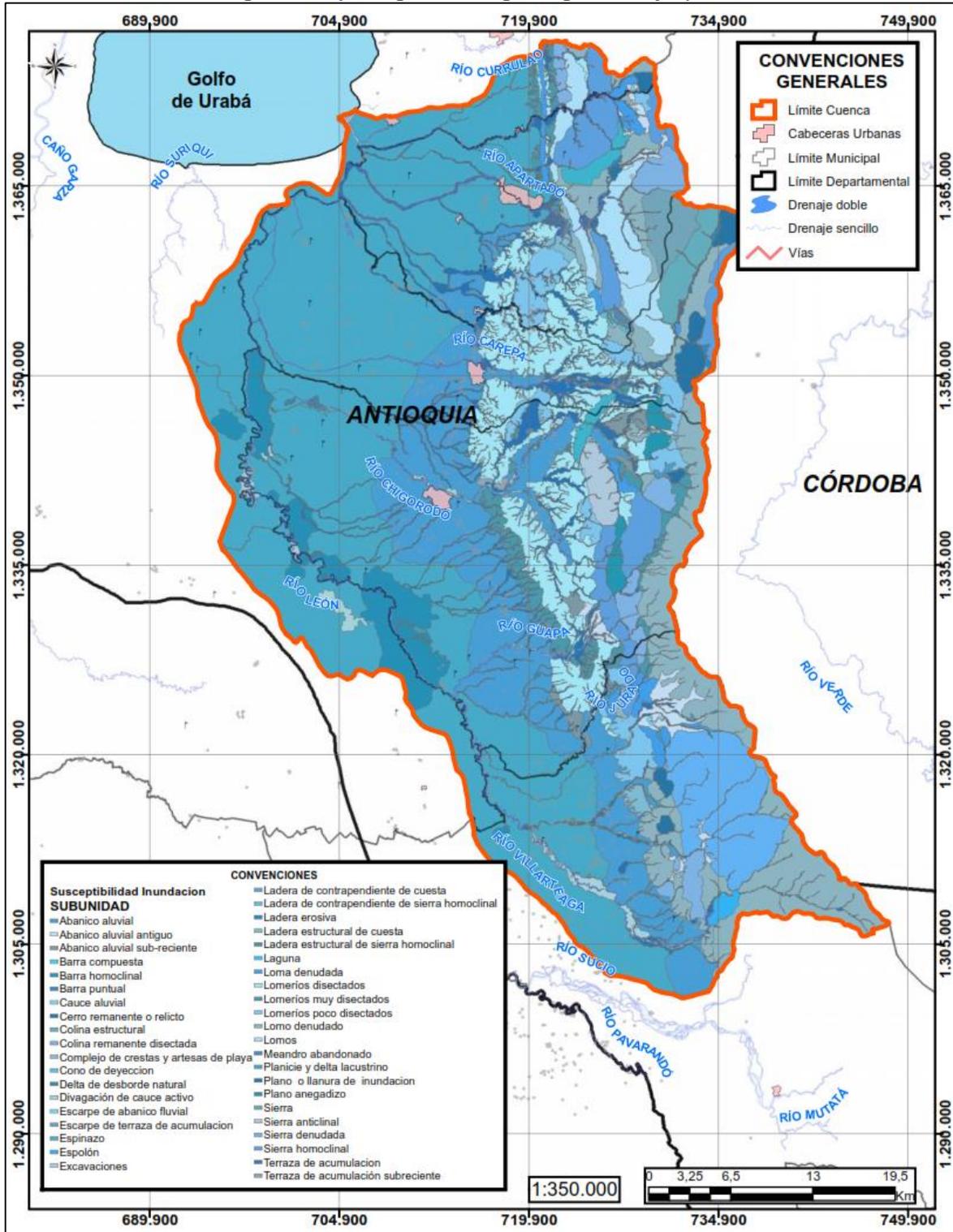
Figura 2 (Zinck, 2012), y la Clasificación regional de subunidades geomorfológicas, como se contiene en la Tabla 2.

Tabla 1 Clasificación regional de subunidades geomorfológicas - (Carvajal, 2011).

| Unidad Geomorfológica | Ambiente Morfogenéticos | Subunidad geomorfológica | Símbolo |
|--|--|---|--|
| Llanura costera | Marino | Complejo de crestas y artesas de playa | Mcpy |
| Llanura aluvial | Fluvial | Cauce aluvial | Fca |
| | Fluvial | Barra puntual | Fbp |
| | Fluvial | Barra compuesta | Fbc |
| | Fluvial | Laguna | Flg |
| | Fluvial | Delta de desborde natural | Fdd |
| Valle aluvial | Fluvial | Meandro abandonado | Fma |
| | Fluvial | Planicie y delta lacustrino | Fpla |
| | Fluvial | Plano o llanura de inundación | Fpi |
| | Fluvial | Divagación de cauce activo | Fdc |
| | Fluvial | Terraza de acumulación | Fta |
| Abanico aluvial | Fluvial | Abanico aluvial | Faa |
| | Fluvial | Abanico aluvial antiguo | Faaa |
| | Fluvial | Abanico aluvial sub-reciente | Faas |
| | Fluvial | Plano anegadizo | Fpa |
| | Fluvial | Escarpe de abanico fluvial | Fea |
| | Fluvial | Terraza de acumulación subreciente | Ftas |
| | Fluvial | Escarpe de terraza de acumulación | Ftae |
| Piedemonte coluvial Colina Residual Cerro residual | Denudaciones | Ladera erosiva | Dle |
| | Denudacional | Colina remanente disectada | Dcred |
| | Denudacional | Lomo denudado | Dlde |
| | Denudacional | Loma denudada | Dld |
| | Denudacional | Lomeríos poco disectados | Dlpd |
| | Denudacional | Lomeríos disectados | Dldi |
| | Denudacional | Lomeríos muy disectados | Dlmd |
| | Denudacional | Cerro remanente o relicto | Dcrem |
| Canteras, taludes, canales | Antrópico - Denudacional | Excavaciones antrópicas | Ase |
| | Valle Sinclinal Montaña Estructural Meseta Tectónica Colina estructural | Estructural | Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal |
| Estructural | | Barra homoclinal | Sbh |
| Estructural | | Ladera estructural de sierra homoclinal | Sshle |
| Estructural | | Ladera estructural de cuesta | Scle |
| Estructural | | Colina estructural | Sces |
| Estructural | | Ladera de contrapendiente de cuesta | Sclc |
| Estructural | | Lomos | Sl |
| Estructural | | Sierra | Ss |
| Estructural | | Sierra anticlinal | Ssan |
| Estructural | | Sierra homoclinal | Ssh |
| Estructural | | Espolón | Ses |
| Estructural | Espinazo | Se | |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Figura 1. Mapa de geomorfología, según Carvajal (2011)



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 2 Clasificación regional de subunidades geomorfológicas - (Zinck, 2012)

| Paisaje | Ambiente Morfogenéticos | Subunidad geomorfológica | Símbolo |
|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------|
| Montaña | Estructural denudacional | Ladera | 1MP40 |
| | Deposicional | Terrazas bajas | 2MV58 |
| | | Cuerpo | 3MV26 |
| | Estructural denudacional | Frente | 4MH31 |
| | | Revés | 5MH32 |
| | | Laderas | 6MH55 |
| | | Ladera | 7MH64 |
| | | Ladera | 8MH54 |
| | | Ladera | 9MH19 |
| | | Frente | 10MH17 |
| | | Revés | 11MH18 |
| | | Revés | 12MH61 |
| | | Frente | 13MH20 |
| | | revés | 14MH21 |
| | | Ladera | 15MH22 |
| | Deposicional | Plano ondulado | 16MV56 |
| | | Plano inclinado | 17MV53 |
| | | 0 | 18MV52 |
| | | Vegas | 19MV24 |
| | | Terrazas | 20MV25 |
| Estructural denudacional | Ladera | 21VS8 | |
| Deposicional | Cuerpo | 22MS10 | |
| Estructural denudacional | Ladera | 23MS23 | |
| Deposicional | Vegas | 24CC1 | |
| Lomerío | Estructural denudacional | Ladera | 25LP39 |
| | Denudacional | Ladera | 26LP35 |
| | | Vegas | 27LV37 |
| | | Terrazas | 28LV38 |
| | Estructural denudacional | Frente | 29LH59 |
| | Denudacional | Revés | 30LH60 |
| | | Ladera | 31LH63 |
| | | Ladera | 32LH41 |
| | | Ladera | 33LH29 |
| | Estructural denudacional | Revés | 34LH64 |
| | | Frente | 35LH42 |
| | Deposicional | Plano inclinado | 36LV43 |
| | | Cuerpo | 37LV45 |
| | | Cuerpo | 38LV44 |
| | | Terrazas agradacionales | 39LV51 |
| | | Vegas | 40LV27 |
| | | Terrazas | 41LV28 |
| | Estructural denudacional | Frente | 42VS6 |
| Reves | | 43VS7 | |
| Denudacional | Ladera | 44LS30 | |
| Deposicional | Terrazas | 45CC2 | |
| Piedemonte | Deposicional | Eje de explayamiento | 46PUAQ |
| | | Napa de desborde | 47PUAE |
| | | Napa de explayamiento | 49PUAF |
| | | Napa de explayamiento | 50PUAH |
| | | Cubeta de desborde | 51PUAD |
| | | Banco | 52PVAT |
| Banco | 53PVAU | | |

| Paisaje | Ambiente Morfogenéticos | Subunidad geomorfológica | Símbolo | | |
|------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|-----------|
| | | Bajos | 54PVAR | | |
| | | Bajos | 55PVAS | | |
| | | Albardones | 56PVAM | | |
| | | Napa de desborde | 57PVAE | | |
| | | Napa de desborde | 58PVAC | | |
| | | Cubeta de desborde | 59PVAB | | |
| | | Parte distal | 61PVGW | | |
| | | Parte medial | 62PVGY | | |
| | | Cuerpo | 112PV04 | | |
| | | Cuerpo | 113PV08 | | |
| | | Depresión | 114PV07 | | |
| | | Albardón | 63CUTM | | |
| | | Eje de explayamiento | 64CUTO | | |
| | | Napa de desborde | 65CUTE | | |
| | | Napa de desborde | 66CUTC | | |
| | | Napa de explayamiento | 67CUTI | | |
| | | Napa de explayamiento | 68CUTH | | |
| Planicie aluvial | Deposicional | Cubeta de desborde | 69CUTL | | |
| | | Cubeta de desborde | 70CUTD | | |
| | | Cubeta de desborde | 71CUTB | | |
| | | Nivel superior | 73CUTGb | | |
| | | Antiguos cauces | 74CVTN | | |
| | | Albardones | 75CVTM | | |
| | | Eje de explayamiento | 76CVTO | | |
| | | Napa de explayamiento | 77CVTI | | |
| | | Napa de explayamiento | 78CVTH | | |
| | | Napa de desborde | 79CVTG | | |
| | | Napa de desborde | 80CVTE | | |
| | | Napa de desborde | 81CVTC | | |
| | | Cubeta de desborde | 82CVTK | | |
| | | Cubeta de desborde | 83CVTD | | |
| | | Cubeta de desborde | 84CVTB | | |
| | | Albardón | 122RV04 | | |
| | | Albardón | 123RV07 | | |
| | | Cauce abandonado | 124RV33 | | |
| | | Complejo de orillares | 125RV12 | | |
| | | Cubeta de decantación | 126RV37 | | |
| | | Cubeta de desborde | 127RV28 | | |
| | | Cubeta de desborde | 128RV30 | | |
| | | Meandro abandonado | 130RV32 | | |
| | | Napa | 131RV18 | | |
| | | Napa | 132RV21 | | |
| | | Vega | 133RV43 | | |
| | | | Deposicional - cauce | Cauce principal | CA |
| | | Planicie fluvio lacustre | Deposicional | Cubeta de decantación | 85CVTA |
| | | | | Albardón | 86ZUIM |
| | | | | Antiguos cauces | 87ZUINa,i |
| | | | | Explayamientos recientes | 88ZUIDai |
| | | | | Napa de desborde | 89ZUIF |
| | | | | Napa de desborde | 90ZUIJ |
| Napa de desborde | 91ZUIG | | | | |
| Napa de desborde | 92ZUII | | | | |
| Napa de desborde | 93ZUIC | | | | |

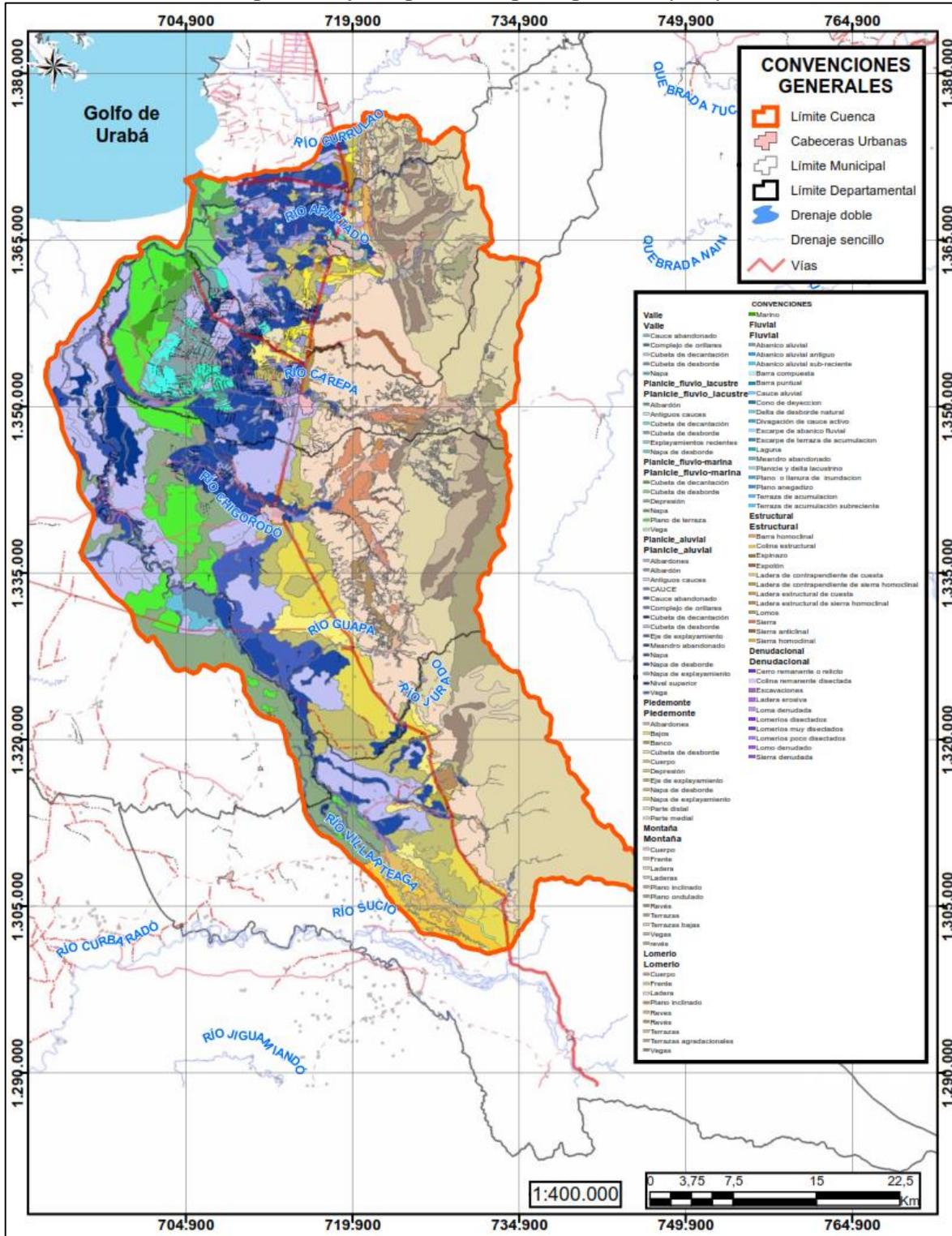


| Paisaje | Ambiente Morfogenéticos | Subunidad geomorfológica | Símbolo |
|------------------------|-------------------------|--------------------------|---------|
| | | Cubeta de desborde | 94ZUIL |
| | | Cubeta de desborde | 95ZUIK |
| | | Cubeta de desborde | 96ZUIB |
| | | Cubeta de decantación | 97ZUIA |
| | | Cubeta de desborde | 98ZVIB |
| Planicie fluvio-marina | Deposicional | Cubeta de decantación | 138RV36 |
| | | Cubeta de desborde | 139RV27 |
| | | Cubeta de desborde | 140RW26 |
| | | Napa | 141RV26 |
| | | Napa | 142RW19 |
| | | Depresión | 145RW07 |
| | | Depresión | 146RW06 |
| | | Plano de terraza | 147RV03 |
| | | Plano de terraza | 148VV01 |
| | | Plano de terraza | 149RW34 |
| Valle | Deposicional | Vega | 151VV09 |
| | | Cauce abandonado | 116VV08 |
| | | Complejo de orillares | 117VV07 |
| | | Cubeta de decantación | 118VV04 |
| | | Cubeta de desborde | 119VV02 |
| | | Cubeta de desborde | 120VV05 |
| | | Napa | 121VV06 |

Fuente: Servicio Geológico Colombiano (2002)

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN

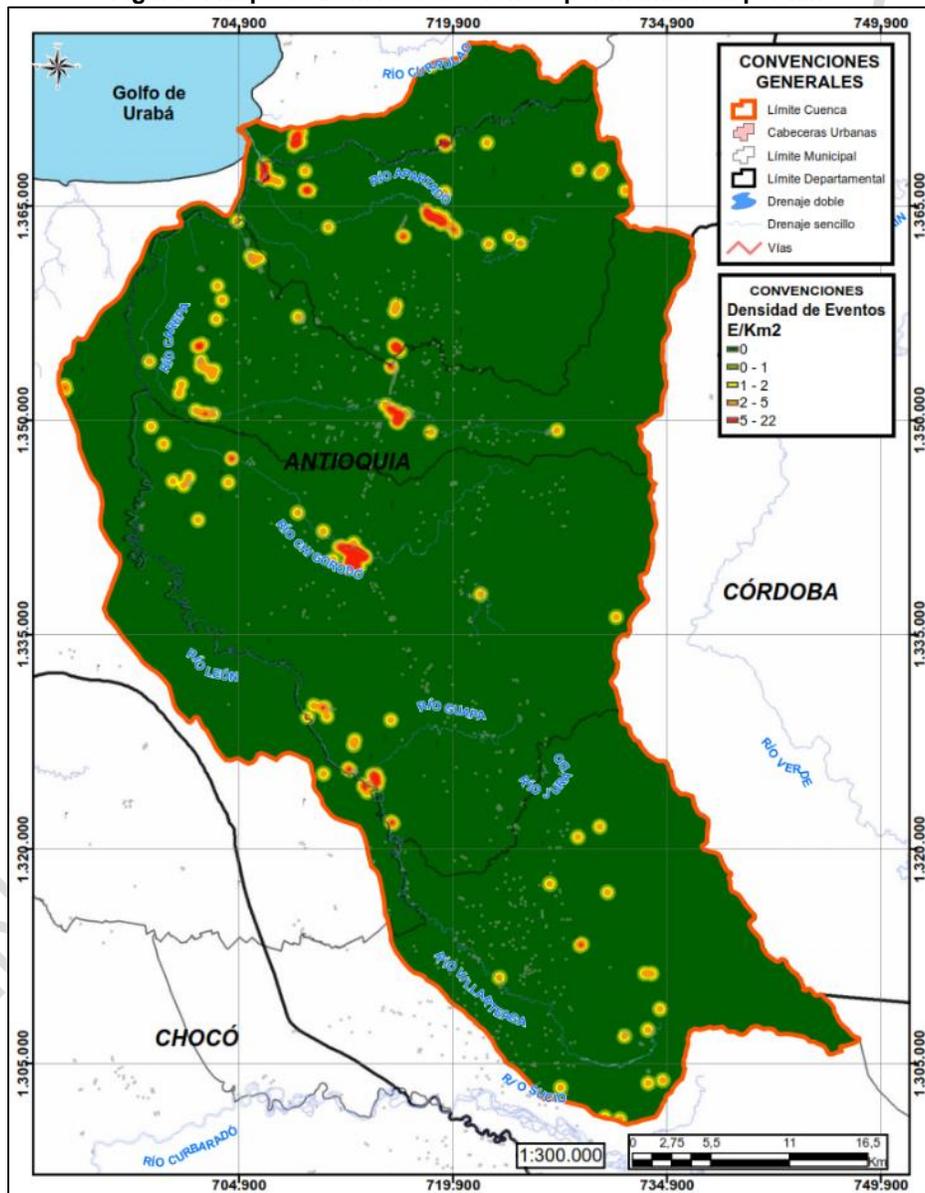
Figura 2. Mapa de geomorfología, según Zinck (2012)



Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2002

La anterior metodología parte del estudio de geomorfología como se establece en el capítulo de geomorfología adjunto al presente documento, y donde su producto traslapa con los registros históricos por inundación obtenidos en la cuenca georreferenciados y clasificados por periodos, de esta manera se tuvo una distribución espacial de los mismos. A fines de limitar las áreas susceptibles a inundarse y que puedan tener una tendencia a dicho comportamiento dentro de la cuenca, para tal efecto se definió la densidad de eventos por inundación permitiendo obtener un numero de sucesos por kilómetro cuadrado, para el inventario de los últimos 15 años en el periodo de 1925 a 2017, lo anterior se observa en la Figura 3.

Figura 3. Mapa de Densidad de eventos por inundación por km²



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

2.2.3 Zonificación de la susceptibilidad

El análisis de la susceptibilidad está basado en la caracterización geomorfológica, la cual se convierte en el insumo principal del análisis. La susceptibilidad se centra en evaluar mediante un método empírico basado en el modelamiento cualitativo del medio físico, en el cual, se establecen 3 grados de susceptibilidad, como se ve en la Figura 4 y Figura 5, establecidas de acuerdo con las características geométricas. Cabe mencionar que se realizó la categorización de los resultados del análisis geomorfológico realizado por las metodologías de Carcajal y Zinck. Lo anterior permitió definir qué Zinck aproxima los paisajes de planicie en relieves con pendientes menores al 5% dentro de la cuenca y donde la diferencia de alturas oscilan dentro de 1 m a 8 m como zonas con susceptibilidad alta, pero dados los resultados se observa que el sistema geopedológico de Zinck tiende a subestimar las unidades relacionadas a las dinámicas fluviales dejando de lado la capacidad de evidencia el sistema complejo fluvial de la cuenca del río León, además que las áreas que categorizan las zonas de valles aluviales considerados como un paisaje fisiográfico tienden a ser superiores a los comportamientos conocidos por la Instituciones y los resultados arrojados por las bases de datos de eventos de inundación y avenidas torrenciales; por lo anterior y una mejor presentación de la susceptibilidad en la cuenca se adoptó la metodología de Carvajal para efectuar el análisis.

Análogamente, los resultados obtenidos se traslaparon y estudiaron con la respuesta a las inundaciones registradas en los mosaicos de imágenes y la distribución espacial de los eventos de inundación fluvial lenta identificados en el análisis de eventos históricos. Con base, en el paquete de información, se logró tener datos sobre las características generales del terreno, las principales geoformas y se hicieron inferencias sobre las características hidrodinámicas de la zona desde el análisis geomorfológico con la identificación de geoformas tales como, valles aluviales, planos de inundación, meandros abandonados, Colina residual, entre otros. La información se complementa mediante los polígonos generados en el análisis de eventos históricos formando una tendencia y distribución del comportamiento en la cuenca validando en cierta medida el nivel de la susceptibilidad asignado como se observa en la Figura 5. Dado la naturaleza espacial de los eventos, sus densidades localizadas y la resolución de la información se queda corta a la hora de generar el análisis ya que no se cuenta con la georreferenciación exacta del epicentro del desastre y la extensión de la mancha del mismo, obligando a georreferenciar el evento al centroide del polígono de cada barrio y vereda contenidos dentro de la cuenca, distorsionando el verdadero comportamiento de la inundaciones a lo largo de las corrientes propensas a dichos fenómenos, descartando en gran medida los anteriores a la hora de sintetizar la salida cartográfica de las áreas susceptibles de inundarse, la descripción de cada grado de susceptibilidad se presenta acorde a la metodología aplicada para generar las unidades geomorfológicas, caracterizando el fenómeno en los niveles que se muestra en la Figura 3

Tabla 3 Caracterización de los grados de susceptibilidad a la inundación unidades geomorfológicas metodología Carvajal (2011).

| Grado de susceptibilidad | Leyenda | Geoformas incluidas |
|--------------------------|---|------------------------------------|
| Alta | Geoformas que denotan procesos activos o inundaciones periódicas y áreas en donde coincidan dos | Fma - Meandro abandonado |
| | | Fca - Cauce aluvial |
| | | Fbp - Barra puntual |
| | | Fbc - Barra compuesta |
| | | Fpla - Planicie y delta lacustrino |

| Grado de susceptibilidad | Leyenda | Geoformas incluidas |
|---------------------------|---|--|
| Alta | o más puntos o polígonos de eventos históricos. | Fpi - Plano o llanura de inundación |
| | | Fta - Terraza de acumulación |
| | | Fdc - Divagación de cauce activo |
| | | Faaa - Abanico aluvial antiguo |
| | | Faas - Abanico aluvial sub-reciente |
| | | Fpa - Plano anegadizo |
| | | Ase - Excavaciones |
| | | Fdd - Delta de desborde natural |
| | | Mcpy - Complejo de crestas y artesas de playa |
| | | Fcdy - Cono de deyección |
| Media | Geoformas que denotan procesos intermitentes y áreas en donde al menos un punto o polígonos de evento histórico haya sido identificada. | Flg - Laguna |
| | | Fea - Escarpe de abanico fluvial |
| | | Ftas - Terraza de acumulación subreciente |
| | | Ftae - Escarpe de terraza de acumulación |
| | | Dle - Ladera erosiva |
| | | Dld - Loma denudada |
| | | Faa - Abanico aluvial |
| | | Dldi - Lomeríos disectados |
| | | Dlpd - Lomeríos poco disectados |
| | | Dlmd - Lomeríos muy disectados |
| Baja | Formas que denotan procesos antiguos | Sbh - Barra homoclinal |
| | | Ssan - Sierra anticlinal |
| | | Ses - Espolón |
| | | Scle - Ladera de contrapendiente de cuesta |
| | | Sshlc - Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal |
| | | Sshle - Ladera estructural de sierra homoclinal |
| | | Dlde - Lomo denudado |
| | | Scle - Ladera estructural de cuesta |
| | | Dcred - Colina remanente disectada |
| | | Dcrem - Cerro remanente o relicto |
| Dsd - Sierra denudada | | |
| Ssh - Sierra homoclinal | | |
| Se - Espinazo | | |
| Ss - Sierra | | |
| Sces - Colina estructural | | |
| SI - Lomos | | |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

La zona se caracteriza por estar recibiendo aportes de caudales y sedimentos por la Serranía de Abibe producto de un pliegue de origen marino compuesta de turbiditas, arcillolitas y areniscas (IDEAM, 1998). Así mismo el Valle del Atrato es propenso a fenómenos de inundación de forma cíclica concordante con los periodos invernales y aquellos influenciados por los fenómenos de la niña y mareas altas, por estar conformado por acumulaciones fluvio-lacustre, que recibe aportes aluviales de otras conformaciones montañosas de la zona. Esta zona se caracteriza por ser sísmicamente activa, que junto con condiciones invernales extremas y alta producción de sedimentos es propensa a sufrir fenómenos de avenidas torrenciales acorde a los conos aluviales del pie de monte de los ríos Sucios, Apartado, Chigorodó y Turbo. Estos fenómenos conjunto se evidencia en el año de 1992 por el sismo de Murindó que desencadenó inundaciones súbitas en la cuenca.

Las geoformas de conos de pie de monte contenidos entre la Sierra de Abibe y las planicies de inundación se presentan en terrenos con topografías de pendientes moderadas entre

8% a 20%, con acumulaciones de las vertientes donde se localizan las principales poblaciones y sus cursos de aguas son fluvio-torrenciales, propiciando un cambio de régimen por cambio de pendientes fuertes a bajas en la transición de montaña a planicies, donde estas últimas son susceptibles a presentar fenómenos de encharcamiento e inundaciones episódicas al ser terrenos con un mal drenaje, (IDEAM, 2001), estas llanuras de inundación tienden a acumular los flujos provenientes de la zona alta, las cuales se concentran cuando ocurren eventos de lluvia intensa y prolongadas. Las adecuaciones por estructuras de encausamiento y control de caudales como diques artificiales y diques naturales hacia el río León, se localizan hacia las zonas donde se contra la población donde la expansión de esta y el incremento de construcciones aumenta el riesgo de las personas que conviven con los cauces. Cabe mencionar que los desbordamientos obedecen al comportamiento normal del río al reclamar las zonas de sus planicies como medida de transporte de exceso de caudales y aporte de nutrientes a la cuenca, (IDEAM, 2001).

Cabe mencionar que para corroborar las zonas de amenaza alta se recurre a la distribución de los eventos por inundación lenta y rápidas que permitan corroborar que realmente los antecedentes de inundación establecidos por análisis sistemático corresponden a subunidades sucesibles a anegaciones periódicas por la evolución de los fenómenos en el tiempo en las llanuras de inundación, en las que se evidencia que la distribución espacial evidencia fenómenos de carácter torrencial identificados a los eventos que se encuentran en la zona alta, paralelamente los eventos bajos, correspondientes a la penillanura o a la llanura última, asociados a inundaciones en manto que afectan a amplias extensiones de llanuras de inundación coalescentes que configuran un pamplano.

El proceso consiste en cruzar la información de eventos de inundación y avenidas torrenciales con las subunidades establecidas en las que se corrobora que cerca del 84.23% de los eventos, es decir 203 pertenecen subunidades susceptibles a inundación validando las unidades establecidas identificado el abanico aluvial antiguo, abanico aluvial sub-reciente, barra compuesta, cauce aluvial, divagación de cauce activo, planicie y delta lacustrino, plano o llanura de inundación y plano anegadizo. El 3.73% pertenece a un nivel medio reportando 9 eventos ocurridos en dichas subunidades cabe mencionar que la prevalencia de fenómenos se debe a avenidas torrenciales producto de los cambios de pendiente y transiciones de montaña a planicies de inundación, identificando el espolón, ladera de contrapendiente de cuesta, lomeríos disectados, lomeríos muy disectados, lomeríos poco disectados. Las unidades pertenecientes a la categoría baja son eventos de origen torrencial afectando la parte alta de la misma, lo anterior se estableció de la Tabla 4 y de la Figura 5.

Tabla 4 Caracterización de los eventos de inundación de susceptibilidad frente a las unidades geomorfológicas metodología Carvajal (2011).

| Subunidad | Avenida torrencial | Inundación | Total general |
|-------------------------------|--------------------|------------|---------------|
| Abanico aluvial | 7 | 56 | 63 |
| Abanico aluvial antiguo | 2 | 1 | 3 |
| Abanico aluvial sub-reciente | | 1 | 1 |
| Barra compuesta | | 2 | 2 |
| Cauce aluvial | 1 | 12 | 13 |
| Divagación de cauce activo | | 1 | 1 |
| Planicie y delta lacustrino | 4 | 82 | 86 |
| Plano o llanura de inundación | 9 | 15 | 24 |

| Subunidad | Avenida torrencial | Inundación | Total general |
|-------------------------------------|--------------------|------------|---------------|
| Plano anegadizo | | 10 | 10 |
| Espolón | | 1 | 1 |
| Ladera de contrapendiente de cuesta | 1 | | 1 |
| Lomeríos disectados | 4 | | 4 |
| Lomeríos muy disectados | | 1 | 1 |
| Lomeríos poco disectados | 2 | | 2 |
| Lomo denudado | 12 | 1 | 13 |
| Lomos | 2 | | 2 |
| Cerro remanente o relicto | 4 | | 4 |
| Espinazo | 1 | | 1 |
| Sierra | 3 | | 3 |
| Sierra denudada | 1 | | 1 |
| Sierra homoclinal | 5 | | 5 |
| Total general | 58 | 183 | 241 |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN

2.2.4 Resultados de la zonificación de la susceptibilidad

El área con información dentro de la cuenca del río León cuenta con un valor de 2241.95 Km², siendo menor a el área a la de la cuenca del río León seleccionada en el aspecto de susceptibilidad a la inundación, de los cuales en la Tabla 5, se presentan las extensiones correspondientes a cada una de las categorías de susceptibilidad establecidas acorde a las metodologías relacionadas para calcular las unidades geomorfológicas de la zona, donde dicho análisis por inundación de origen fluvial afectan de forma diferencial la llanura de inundación de los ríos principales ríos como el León, Chigorodó, La Guapa, Jurado, Carepa, Apartadó y Grande, con la incidencia de quebradas como Vijagual y canales artificiales destinados para distritos de riego de uso agrícola, que son más propensos a sufrir procesos de inundación.

En eso orden de ideas, se puede extraer que el 48.48% del área estudiada es susceptible en algún grado a los procesos de inundación fluvial en la metodología de Carvajal. Dichos procesos correspondiendo al 100% de las áreas activas y de planicies propensas a anegación, entre tanto que el 28.52% pueden considerarse exentas de este fenómeno. La zona de media equivale al 23.00% del área total respectivamente, esta zona se compone de un Abanico aluvial coalescente y fluviotorrencial los cuales son frentes montañosos por la unión de abanicos aluviales asociados a flujos torrenciales de los afluentes del río León (Carvajal, 2011). Asimismo, sobre dicha geoforma, se presenta un desarrollo urbanístico de los cascos urbanos principales, susceptibles a presentar moderados procesos de inundación y encharcamiento hacia las riberas de los cauces y barrios cercanos, lo anterior se puede observar en las Figura 8.

Tabla 5 Caracterización Resultados generales de la zonificación de la susceptibilidad Carvajal

| Grado de susceptibilidad | Km ² | % |
|----------------------------|-----------------|-------|
| Susceptibilidad Alta | 1086.80 | 48.48 |
| Susceptibilidad Media | 515.73 | 23.00 |
| Susceptibilidad Baja | 639.43 | 28.52 |
| Total superficie analizada | 2241.95 | 100 |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Grado de susceptibilidad alta, Corresponde a las zonas de la llanura de inundación, con unidades geomorfológicas localizadas dentro del valle inundable de los cauces principales, caracterizado por depresiones que se encuentran cubiertas por una lámina de agua en forma perenne, como la sección principal de los cauces, ciénagas, lagunas y zonas de inundación establecidas en las adecuaciones hidráulicas en zonas puntuales de los mismos. Son áreas destinadas a recibir la mayor parte de las aguas en los procesos de desarrollo de una inundación lenta. Específicamente la cuenca tiene baja regulación por efecto de las pendientes pronunciadas y cortos trayectos de los cauces desde la Serranía del Abbi, la reducción de la cobertura vegetal por cultivos y ganadería, que se combina con los altos índices de precipitación de la zona, redundando en caudales elevados producto de la escorrentía superficial y arrastre de sedimentos, propiciando inundaciones en el grado alto a medio y susceptibilidad de deslizamientos hacia las bancas de los cauces. Adicionalmente, el comportamiento del régimen de lluvias y caudales se ha aumentado con valores que están por encima del promedio multianual que afecta a comunidades ribereñas y emplazadas en la zona baja de la cuenca, por presentar geometrías cóncavas cercanas

a los ríos, con una tendencia a pendientes bajas y mal drenaje de estas. Dichas áreas concuerdan con la establecida en la Figura 8.

- Las geoformas consideradas en la metodología de Carvajal para la categoría de susceptibilidad alta son Meandro abandonado (Fma), Cauce aluvial (Fca), Barra puntual (Fbp), Barra compuesta (Fbc), Planicie y delta lacustrino (Fpla), Plano o llanura de inundación (Fpi), Terraza de acumulación (Fta), Divagación de cauce activo (Fdc), Abanico aluvial antiguo (Faaa), Abanico aluvial sub-reciente (Faas), Plano anegadizo (Fpa), Excavaciones (Ase), Escarpe de abanico fluvial (Fea), Delta de desborde natural (Fdd), Terraza de acumulación subreciente (Ftas), Escarpe de terraza de acumulación (Ftae), Ladera erosiva (Dle), Complejo de crestas y artesas de playa (Mcpy), Cono de deyección (Fcdy) y Laguna (Flg).

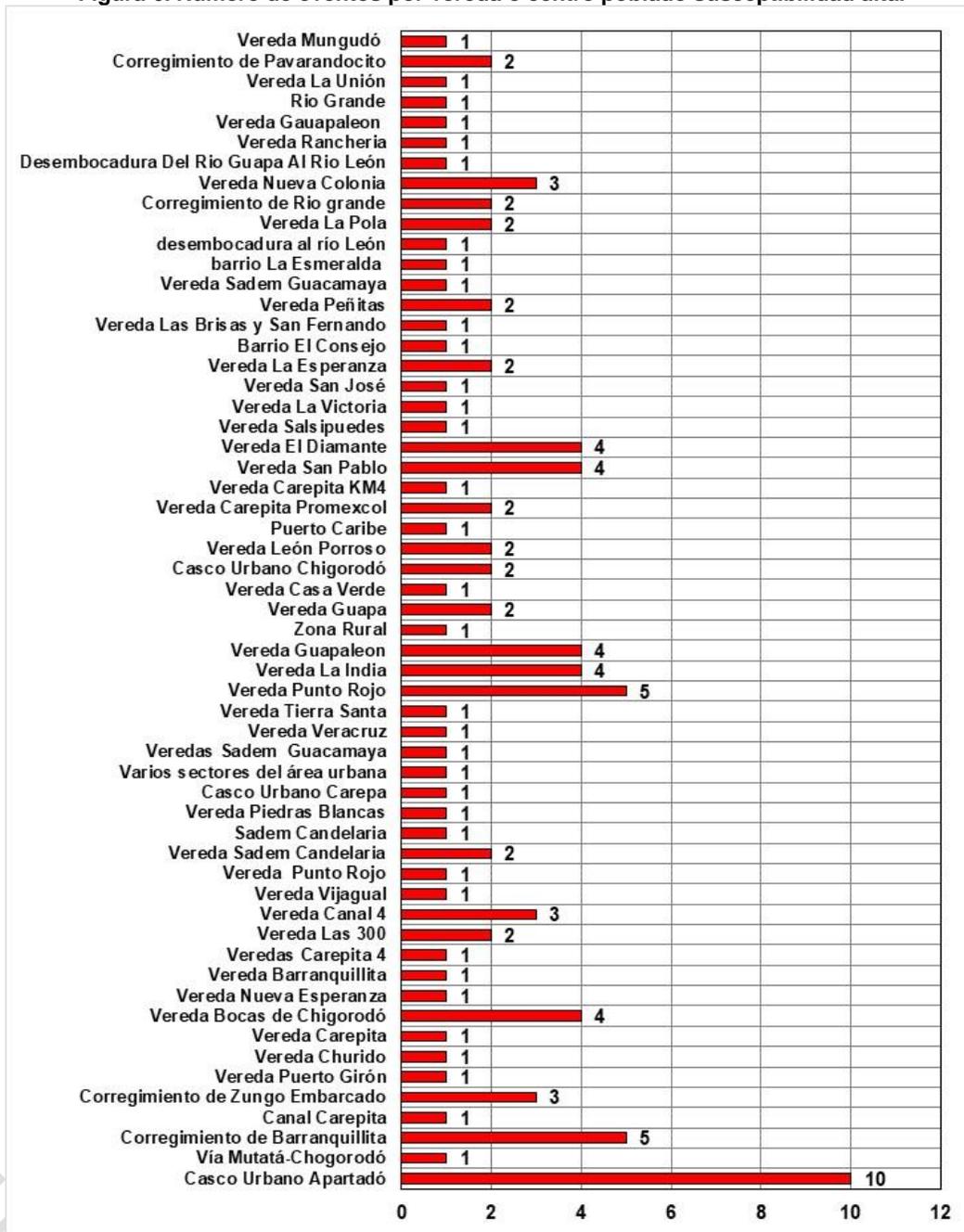
Por otro lado, las zonas establecidas como altas por las unidades geológicas estudiadas, corresponden análogamente a las que mayor número de eventos por inundación lenta dentro de la cuenca, con un total de 106 registrados, de los cuales hacen parte 16.98% (18 eventos) con reportes intermedios dentro de la cuenca durante los años 2001 a 1970, frente a 83.02% (88 eventos), catalogados como eventos activos ocurridos en los últimos 15 años, evidenciando una gran susceptibilidad de las áreas a este tipo de eventos. En relación con lo anterior, podemos evidenciar que el municipio con mayor presencia de eventos por inundación es Apartadó con un total de 32 equivalente a un 30.19% del total relacionado con eventos de la cuenca baja del río León, canal el Zungo y río Apartadó, seguido por el municipio de Chigorodó con 29 eventos (22.64%) por efectos de los canales artificiales de la zona río Apartadó y río León, además este comportamiento es semejante con el municipio de Carepa con 24 eventos (22.64%) producto de las dinámicas del río Carepa y León en la cuenca baja. El municipio de Turbo reporta el 14.15% para un total de 15 sucesos con afectación por inundaciones a la población relacionados con el río León y río Grande; el municipio con menor susceptibilidad dentro de la cuenca del río León es Mutatá con 6 eventos. (ver Tabla 6.)

Tabla 6 Numero de eventos por Municipio con grado de susceptibilidad alta

| Municipio | Eventos | Porcentaje |
|-----------|---------|------------|
| Apartadó | 32 | 30.19% |
| Mutatá | 6 | 5.66% |
| Chigorodó | 29 | 27.36% |
| Carepa | 24 | 22.64% |
| Turbo | 15 | 14.15% |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Figura 6. Número de eventos por vereda o centro poblado susceptibilidad alta.



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Comparando el número de eventos contenidos dentro de la zona con grado de susceptibilidad alta por vereda (ver Figura 6), podemos deducir que casco urbano de Apartadó reporta 10 sucesos por inundación en los barrios cercanos al cauce, producto de la actividad antrópica de la zona. Paralelamente, la vereda Punto Rojo reporta 5 eventos asociados al desbordamiento del Río Grande, generalmente acusando pérdidas de cultivos, enseres y animales, el mismo número de reportes se relaciona para el Corregimiento de Barranquillita por desbordamiento del río León. Por otro lado, las veredas como Bocas de

Chigorodó, La India, Guapaleon, San Pablo y El Diamante con 4 reportes cada una, seguido por Zungo Embarcadero y Nueva Colonia con tres sucesos cada una, por crecientes en los ríos León, Apartadó y Río Grande. Las demás veredas, puntos de referencia y centros poblados reportan 1 evento cada una en rangos que varían entre 15 a 32 años.

En lo que respecta a la identificación de eventos de amenaza o riesgo, se encontró que el mayor riesgo está asociado a los eventos de inundación; mencionando también los actores entrevistados que esta situación tiene mayor acentuación en los meses de septiembre y noviembre; indicando que esto coincide con la época de más lluvias en la región.

Zona de susceptibilidad media, Se caracteriza por presentar geoformas bajas, con zonas planas y levemente inclinadas, por lo anterior se pueden presentar procesos de encharcamiento con duraciones cortas cuando se presenten los períodos de invierno (septiembre y noviembre), pueden ser susceptibles a inundaciones lentas por desbordamiento, cuando se presenta la ocurrencia de fuertes precipitaciones locales, lo anterior está asociada a capacidades de drenaje malas debido a sus pendientes, la cuales se encuentran desde 8 % a 54 % con predominancia de pendientes bajas, la cuenca del río León presenta niveles freáticos altos. Dichas zonas permanecen libres de inundaciones la mayor parte del año. Las geoformas relacionadas a susceptibilidad media indican procesos de intervención, por actividad antrópica relacionada a actividades agrícolas y ganaderas durante periodos de épocas secas; dichas áreas contienen los centros poblados más grandes de la zona, y están relacionados con las siguientes geoformas según la metodología:

- Las geoformas consideradas en la metodología de Carvajal para la categoría de susceptibilidad alta son Loma desnuda (Dld), Abanico aluvial (Faa), Lomeríos disectados (Dldi), Lomeríos poco disectados (Dlpd), Lomeríos muy disectados (Dlmd), Barra homoclinal (Sbh), Sierra anticlinal (Ssan), Espolón (Ses), Ladera de contrapendiente de cuesta (Sclc), Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc) y Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle).

Por otro lado, las zonas establecidas como medias por las unidades geológicas estudiadas, corresponden correlativamente a las segundas con mayor número de eventos por inundación dentro de la cuenca, con un total de 57 registrados, de los cuales hacen parte 28.07%(16 eventos) con eventos intermedios dentro de la cuenca dentro de los años 2001 a 1970, frente a 63.16% (36 eventos), catalogados como eventos activos ocurridos en los últimos 15 años, evidenciando una gran susceptibilidad de las áreas a este tipo de eventos. Esta zona reporta 5 eventos (8.77%) catalogados como pasados, es decir que superan los 32 años de su generación, donde hay información somera de los fenómenos y ya se ha perdido de la percepción de los habitantes actuales de las diferentes regiones, cabe mencionar que dichos eventos se georreferenciaron al casco urbano de Chigorodó relacionado a los barrios Las Palmas, Jardines, El Bosque y La Playa.

En relación con lo anterior, podemos evidenciar que el municipio con mayor presencia de eventos por inundación es Chigorodó con un total de 33 equivalente a un 57.89% del total relacionado con eventos de la cuenca media del Chigorodó hacia los centros poblados y la parte alta, seguido por el municipio de Carepa con 15 eventos (26.32%) producto de las dinámicas del río Carepa en la parte media – alta. El municipio de Apartadó reporta un total de 10.53% para un total de 6 sucesos con afectación por inundaciones a la población

relacionados con el río Aparató, entre tanto, el municipio de Mutatá tiene 2 eventos equivalentes al 3.51% relacionados a desbordamientos del río León, Urrumbay y Sucio: el municipio con menor susceptibilidad media dentro de la cuenca del río León es Turbo con 1 eventos contenido. (ver Tabla 7).

Tabla 7. Numero de eventos por Municipio con grado de susceptibilidad alta

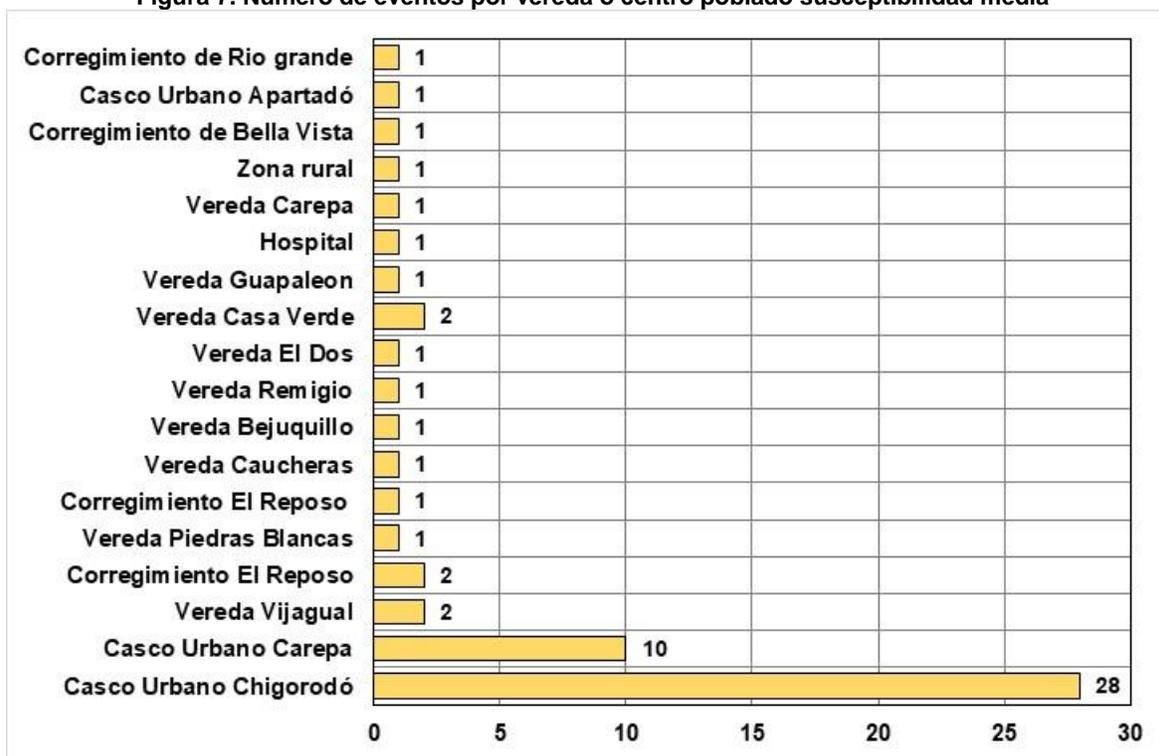
| Municipio | Eventos | Porcentaje |
|-----------|---------|------------|
| Chigorodó | 33 | 57.89% |
| Carepa | 15 | 26.32% |
| Apartadó | 6 | 10.53% |
| Mutatá | 2 | 3.51% |
| Turbo | 1 | 1.75% |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Comparando el número de eventos contenidos dentro de la zona con grado de susceptibilidad media por vereda (ver Figura 7), podemos deducir que casco urbano de Chigorodó reporta 28 sucesos por inundación en los barrios Las Palmas, Jardines, El Bosque y La Playa, cabe mencionar que algunos eventos no pudieron ser georreferenciados al epicentro debido a la escasa información, lo que incrementa el número de reportes en esa zona, es posible que esa concentración esté relacionada con centros poblados cercanos al río Chigorodó. Además, el casco urbano tiene cerca de 683 viviendas en zona de amenaza por inundación en especial los barrios las Palmas y Linares, con anegación constante en periodos invernales fuertes, atribuidas principalmente a las pérdidas de canales naturales de drenaje de aguas lluvias por el avance sin planeación de las urbanizaciones (EAFIT, 2014). De igual forma, las socavaciones se han controlado por estrategias de recuperación de las coberturas vegetales en la cabecera de la cuenca y en las áreas de retiro, las zonas susceptibles no exceden los 1,5 km de longitud teniendo en cuenta las dos márgenes del río; esta área corresponde aproximadamente a un 31% de la proporción de las riberas en el área urbana.

El casco urbano de Carepa es el segundo sector con mayor numero de eventos, para un total de 10, están relacionados a los barrios Jorge Eliecer Gaitán y Ocama, que son los que colindan con el río Carepa. Este centro poblado reporta cerca de 156 viviendas con amenaza por inundación menor en comparación al Chigorodó y Apartadó ya que la cabecera se desarrolla hacia el costado sur del río. Este municipio tiende a presentar eventos por encharcamiento debido a precipitaciones persistentes y reflujo por el sistema de alcantarillado sanitario y pluvial, afectando cerca del 80%; esta zona presenta pendientes bajas, redundando en una incapacidad de drenar naturalmente el exceso de agua. Estos procesos se atribuyen en cierta medida con la pérdida de drenajes naturales debido a la urbanización (EAFIT, 2014). En cuanto a la socavación lateral del río, presenta el 51% de las riberas equivalente a 3.9 Km.

Figura 7. Número de eventos por vereda o centro poblado susceptibilidad media



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

El casco urbano de Apartadó solo presenta 1 reporte, pero esto se debe que la cabecera se encuentra en susceptibilidad alta en un 100 del área, actualmente 342 viviendas en áreas de amenaza por inundación, pues es el municipio tiende incidencia sobre cauce por ambas laderas, siendo susceptibles a inundación cuando se presentan precipitaciones con intensidades altas en la zona hacia el suroeste de la cabecera urbana (EAFIT, 2014). Por otro lado, la socavación en Apartadó tiene 42 Km cerca del 55% de las riberas en el área urbana.

Paralelamente, las veredas Vijagual, El Reposo, Casa Verde reportan 2 eventos cada una, generalmente acusando pérdidas de cultivos, enseres y animales. Las demás veredas, puntos de referencia y centros poblados reportan 1 evento cada una en rangos que varían entre 15 a 32 años.

Zona de susceptibilidad baja, hace referencia a los terrenos conformados por geoformas altas, cuya posición altitudinal es superior a la de la llanura de inundación. Se caracterizan por poseer un drenaje moderado a bueno y superficie levemente inclinada a muy inclinada, con zonas que pueden permanecer encharcadas por cortos periodos de tiempo y presentar inundaciones de corta duración durante un proceso de inundación lenta por desborde de los ríos, la duración en la mayoría de los casos se restringe a unos pocos días.

- Esta categoría de susceptibilidad baja contiene las geoformas establecidas por la metodología de Carvajal, las cuales son Lomo denudado (Dlde), Ladera estructural de cuesta (Scle), Colina remanente disectada (Dcred), Cerro remanente o relicto



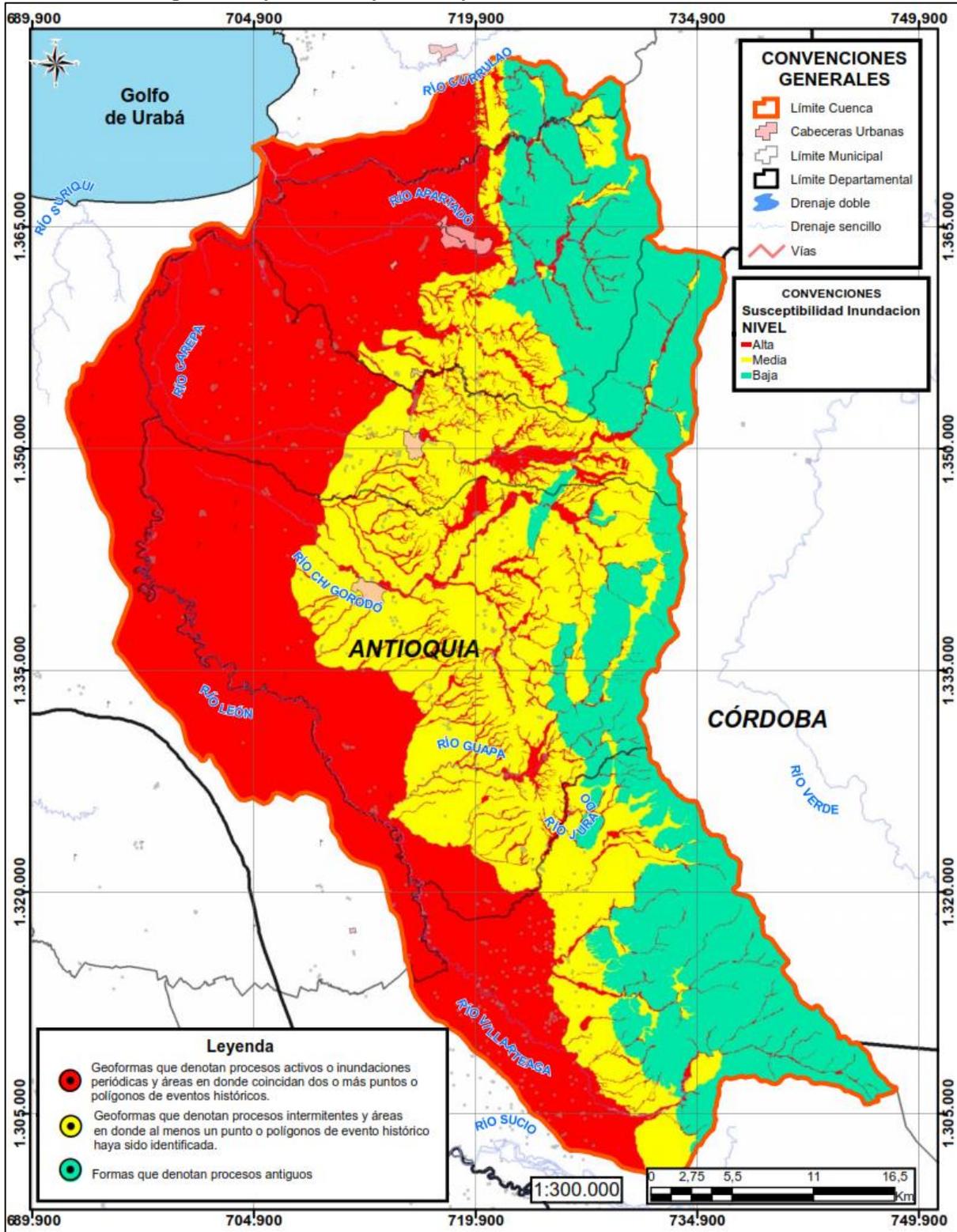
(Dcrem), Sierra denudada (Dsd), Sierra homoclinal (Ssh), Espinazo (Se), Sierra (Ss), Colina estructural (Sces) y Lomos (SI).

- la metodología de Zink, relaciona las geformas siguientes, Laderas de Montaña (6MH55), Revés de Montaña (12MH61), Ladera de Montaña (1MP40), Ladera de Lomerío (25LP39), Frente de Montaña (10MH17), Revés de Montaña (11MH18), Frente de Montaña (13MH20), revés de Montaña (14MH21), Ladera de Montaña (15MH22), Ladera de Montaña (5MH32), Frente de Montaña (4MH31), Revés de Montaña (5MH32), Revés de Montaña (15MH22), Ladera de Montaña (8MH54), Ladera de Montaña (7MH64), Ladera de Montaña (23MS23) y Plano inclinado de Montaña (17MV53).

Dichas áreas hacen referencia a la Serranía de Abibe y Lomas filo Cuchillo en la cordillera Occidental con alturas de 1600 m.s.n.m hasta 1540 m.s.n.m con pendientes desde 50% a 85%- Dichas zonas no presentan eventos por inundación lenta, dada las características del terreno y su buen drenaje, pero, por el contrario, son zonas que son susceptibles a presentar eventos por inundaciones súbitas con producción de sedimentos altas; Cabe anotar que el gran número de inundaciones se debió posiblemente a la falta de criterio de los informantes para diferenciar entre inundación y avenida torrencial, puesto que algunos eventos localizados por su topografía obedece al comportamiento de avenidas torrenciales. En la Figura 8 se establece el mapa de susceptibilidad por inundación cuenca del río León.

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN

Figura 8. Mapa de susceptibilidad por inundación cuenca del río León



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

2.2.5 Amenaza por inundaciones en la cuenca del río León

El mapa de amenaza se generó en las zonas de susceptibilidad media y alta, a partir de la información geomorfológica e histórica metodología recomendada por el protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los POMCA (Minambiente, Fondo Adaptación, 2014), cuando no es posible realizar modelaciones hidráulicas como en este caso, debido a la no disponibilidad de información batimétrica de los cauces, adicionalmente el modelo digital de elevación no tiene suficiente resolución para definir las manchas de inundación que resultarían de la modelación de las crecientes. Esta metodología basada en geomorfología es bastante apropiada para un área tan extensa como la de la cuenca del río León. Esta metodología evalúa la amenaza por inundación mediante información disponible en las áreas críticas previamente identificadas, como por las propias características topográficas, sus zonas bajas y depresiones susceptibles a anegación en las que se deberán evaluar lo siguiente:

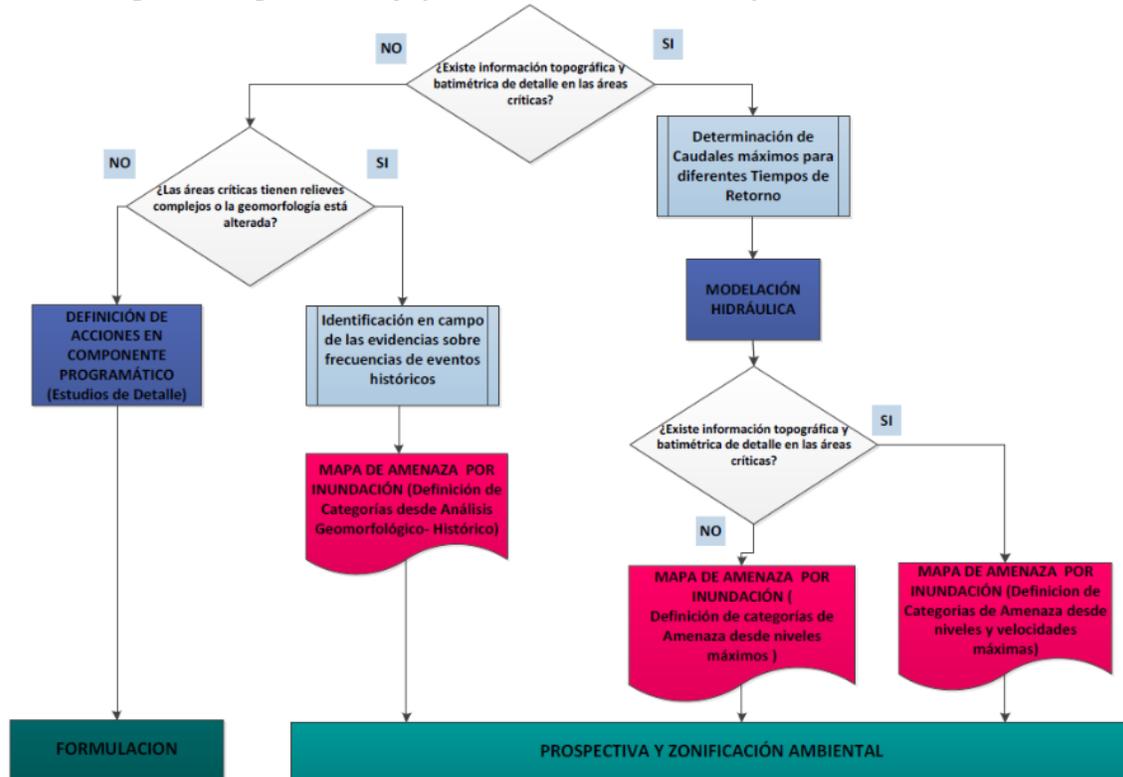
- Frecuencia de eventos históricos de eventos que hayan afectado a la cuenca por procesos de desbordamiento mediante el análisis de bases de datos, realizado en el numeral Figura 3 del presente documento.
- Análisis evolutivo del medio fluvial mediante modelaciones realizadas por IDEAM a diferentes escalas a nivel departamental y municipal
- Integración de análisis geomorfológico-histórico y resultado espacial de los eventos definidos en el subgrupo de inundaciones.

Esta evaluación se realiza de acuerdo con el diagrama de flujo indicado en la Figura 9 partiendo de la carencia de información topobatimétrica de detalle que permita a las modelaciones hidráulicas tener la capacidad de obtener los capos de velocidad y altura de lámina de agua en los que se establecen como alternativa el análisis geomorfológico en los que se establecen los siguientes criterios:

- **Amenaza Alta:** geoformas asociadas a procesos activos como valles aluviales, planos de inundación, terrazas bajas, etc. Evidencias efímeras de inundaciones (restos flotantes, depósitos sueltos de granulometría que denote arrastre de agua) o evidencias erosivas y sedimentarias nítidas (microtopografía muy irregular, altas pendientes y superposición de formas erosivas y sedimentarias, generalmente con morfologías de flujos secundarios representadas por morfologías canaliformes nítidas con trazado continuo y marcado pero sin evidencias de actividad reciente), además de evidencias de inundaciones recientes o actividad fluvial reiterada, identificada en el análisis multitemporal y de eventos históricos con recurrencias menores o iguales a 15 años.
- **Amenaza Media:** geoformas asociadas a procesos intermitentes (ej: terrazas medias, meandros, entre otros), procesos erosivos o sedimentarios suavizados (microtopografía irregular con límites suavizados y de baja pendiente) o flujos secundarios representados por evidencias de morfologías canaliformes de poca definición y continuidad, pero identificables en campo, además de eventos históricos con recurrencia mayor a 15 y hasta 100 años de periodo de retorno.
- **Amenaza Baja:** esta categoría comprende las áreas en las cuales se identifican eventos con periodos de retorno mayores a 100 años y hasta 500 años o mayores.

Se identifica cuando la información geomorfológica-histórica así lo permite, considerando los siguientes criterios: el análisis de eventos históricos señala una unidad inundable con una sola evidencia de evento ocurrido; evidencias topográficas en campo señalan terrenos con mayor altura que la de las dos categorías anteriores y es coincidente con una geoforma asociada a procesos fluviales antiguos (terrazas altas).

Figura 9. Diagrama de flujo para evaluación de amenaza por inundaciones lentas.



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Acorde a la metodología partimos de la información obtenida de los criterios definidos en la sección de análisis de susceptibilidad por fenómenos de inundación en el que se establece el mapa, en las que se definen áreas susceptibles a anegación cuando se presenta fenómenos de precipitación recurrentes y prologados afectado áreas con mal drenaje producto de sus pendientes y conformación, identificables a través de la información de la historia geológica de las subunidades que dan una tendencia de la magnitud de los fenómenos por inundación.

Hay que tener presente que las crecientes traen consigo una variación de velocidades que generan la modificación de la distribución espacial de los puntos donde se producen las acciones elementales clásicas de los procesos fluviales (erosión, transporte y sedimentación) y su concatenación. El sistema fluvial tiene establecido el conjunto de formas como la red de drenaje, cuneca, entre otros, en las que se pueden diferenciar zonas de producción de sedimentos y transferencia de carga en zonas medias (zonas altas y bajas), en las que se pueden identificar el desarrollo espacial y los procesos geomorfológicos en

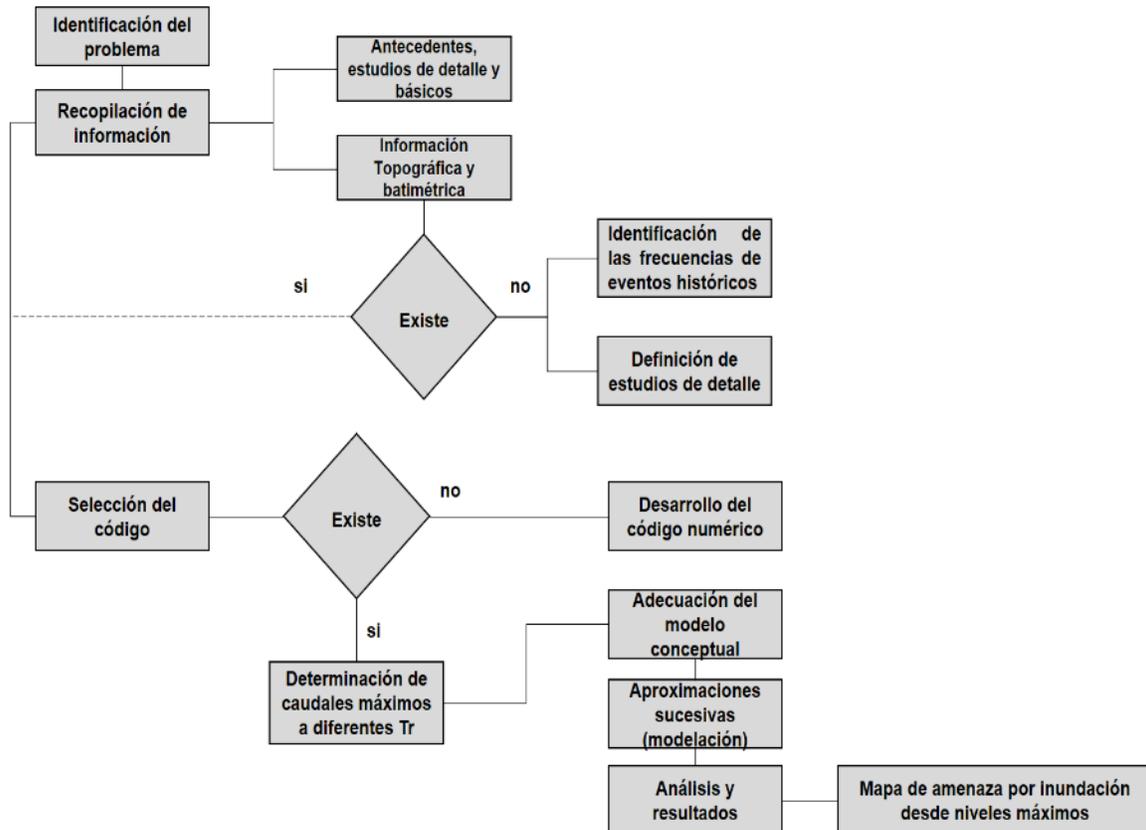
los que se producen inundaciones durante las avenidas y condiciona sobremanera la tipología de estas.

- **Zonas altas:** Suelen ocupar regiones montañosas que concentran el flujo proveniente de las laderas hacia arroyos y cauces, en las que hay altas tasas de producción de sedimentos, cuyos flujos se transportan hacia las planicies donde se presenta las inundaciones que se afectan exclusivamente a las partes altas de la cuenca y suelen estar producidas por lluvias intensas de corta duración sobre un área más o menos reducida, en las que afecta áreas medianas, relacionadas a flujos súbitos, de características combinadas por periodos invernales, altas velocidad y cargas de sedimentos mezcladas en los fluidos.
- **Zonas medias:** En las que se evidencia las corrientes principales como los río Apartadó, Chigorodó, Carepa, Grande, entre otros que transportan el agua y sedimento desde la zona alta en las que predominan las zonas llanas. Por tanto, hay un predominio del desarrollo de la zona de transferencia, perdiendo influencia la producción de sedimentos del cauce principal y suele estar constituida fundamentalmente por cauces de lecho aluvial, siendo el caso más típico el de tipo meandriforme o de alta sinuosidad. Es en estas zonas donde se establecen las estructuras de control de crecientes como diques y intervenciones de dragado en las que la transferencia por desbordamiento del canal principal anega zonas como llanuras de inundación.
- **Zonas bajas:** Zonas bajas en las que se deposita las cargas de sedimentos, en las que se identifican los piedemontes, planos anegadizos y áreas costeras próximas a la desembocadura de los ríos al mar. La carga de sedimentos suele estar restringida a las fracciones más finas, desarrollando amplias zonas de muy escasa pendiente y que constituyen abanicos aluviales de grandes dimensiones, deltas y estuarios. Los cauces suelen ser de tipo meandriformes a rectos, que pueden tener bifurcaciones en varios canales. Las inundaciones que se producen en la zona de deposición son de tipo laminar, con escaso calado y baja velocidad de flujo, afectando a amplias extensiones como es el caso del río León y sus aferentes al interactuar con el Golfo de Urabá.

2.2.5.1 Modelación Hidrodinámica río León

Para el análisis de amenaza por inundación, se deben plantear una secuencia de pasos lógicos como la aproximación al protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas desarrollado en los últimos años, el cual permite una aproximación al manejo y control de los sistemas, caracterizando los fenómenos físicos a modelar. Las etapas por seguir dentro del análisis se describen en la Figura 10.

Figura 10. Mapa de Protocolo del análisis de amenaza por inundación



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

- La identificación del problema, parte de un entendimiento del comportamiento hidrológico de la cuenca, se efectúa mediante diagnósticos previos de la misma en el informe hidrológico anexo en este documento, revisión de bases de datos de eventos relacionados con información de inundaciones lentas que permitan identificar las zonas propensas a este fenómeno, que enriquezcan los estudios de amenaza por susceptibilidad a inundación
- Recopilar de información, que puede ser de tipo secundaria y/o primaria que permita identificar las características principales de la cuenca con el fin de entender el comportamiento hidrológico e hidráulico y que manifieste las alteraciones antrópicas de las cuencas hidrográficas, como las características físicas intrínsecas de la zona de estudio; de esta última depende la posibilidad de generar un mejor resolución espacial y geométrica del sistema a analizar. Lo anterior se logra mediante corrección topobatimétrica o localización de puntos bajos dentro del alineamiento definido por cada uno de los cauces principales presente dentro de la cuenca del río León, mediante la información recopilada o generada.
- Selección del código, va ligado a el modelo matemático que se ajuste a los requerimientos de estudio, según la disponibilidad de información y recursos, esta selección depende de las capacidades del código y si este está o no disponible. En caso de no estar disponible, es necesario su desarrollo, validación frente a soluciones

analíticas y numéricas con complejidades del problema similares o inferiores a los requerimientos del análisis, (Domínguez, 2009).

- Realizar el análisis hidrológico, este permite establecer un estudio hidroclimatológico de las cuencas acorde a la disponibilidad de información e instrumentación de la zona, generando análisis para la obtención de caudales máximos mediante modelos lluvia escurrentía o análisis de frecuencia, partiendo de los registros de caudales máximos instantáneos anuales de cada estación, generando las magnitudes de caudales a diferentes periodos de retorno de 10, 100 y 500 años.
- Generación del modelo conceptual, acorde a la disponibilidad de información se plantea una esquematización geométrica simplificada del sistema a analizar, que permita realizar las aproximaciones sucesivas de la amenaza por inundación lenta, esta etapa se establece como la generación geométrica del modelo hidráulico.
- La modelación hidráulica, proveerá la magnitud del evento en la zona inundable con características fundamentales tales como el nivel máximo alcanzado por la lámina de agua, velocidad máxima, duración, carga de sedimentos, entre otras, lo anterior según los alcances del proyecto. En esta etapa, se subdivide en tres fases, la que contiene todas las actividades del pre-proceso, en la que se encuentra presente la generación geométrica y definición del modelo conceptual, definición de parámetros físicos (en este caso mediante información secundaria), la generación de condiciones iniciales y de frontera mediante los resultados del estudio hidrológico, visitas de campo y estudios previos; siendo esta última la de mayor demanda de las tres. La fase del proceso es aquella en la que se establecen todos los parámetros físicos, geométricos y numéricos, que permita realizar las aproximaciones sucesivas del fenómeno, acorde al número de condiciones de frontera e información disponible. El pos-proceso, el análisis de resultados.
- Análisis de resultados, se centra en la extracción y manipulación de los resultados de niveles de modelo hidrológico y su distribución en el espacio permitiendo categorizar la amenaza por inundación lenta, acorde al protocolo establecido.

2.2.5.1.1 Recopilación de información

Consiste en las actividades tendientes a recopilar, clasificar, analizar e interpretar la información existente, referente a proyectos o estudios realizados en la cuenca del Río León, teniendo en cuenta los lineamientos y conceptos e interdependencias de entidades oficiales.

Se coordina la obtención por parte del contratante de toda la información y se participa en la definición de criterios, solicitudes específicas, y reuniones de coordinación, para la interpretación de la mencionada información. Se consultaron, entre otros, los siguientes documentos:

Información referente a los estudios hidrológicos de las cuencas de estudio:

- Plan de Ordenamiento Territorial Mutatá, en el departamento de Antioquia. Diagnostico Físico Ambiental, (Alcaldía Mutatá, 2000)
- Plan de Ordenamiento Territorial Apartadó, en el departamento de Antioquia. Diagnostico Físico Ambiental, (Alcaldía Mutatá, 2000)

- Plan de Ordenamiento Territorial Chigorodó, en el departamento de Antioquia. Diagnostico Físico Ambiental, (Alcaldía Mutatá, 2000)
- Plan de Ordenamiento Territorial Carepa, en el departamento de Antioquia. Diagnostico Físico Ambiental, (Alcaldía Mutatá, 2000)
- Componente hidrológico y caracterización del medio físico de la cuenca del río León en la jurisdicción de la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá (CORPOURABA)
- Informe de Difluencia del río León hacia el caño Tumarado en la región de Uraba, (IDEAM, 2001).
- Simulación hidráulica de confluencias y difluencias, aplicación al río León en el Urabá Antioqueño, (Duque y Posada, 2011)

Información referente a los estudios topográficos de las cuencas de estudio:

- **Modelo de Elevación Digital de Terreno (DTM):** Representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar de la cuenca del río León, que permite caracterizar las formas del relieve, a una resolución espacial de 5 m, (Ecoforest S.A.S., 2016).
- **Modelo de Elevación Digital de Terreno (DTM):** Representación visual y matemática de los valores de altura de la cuenca del río León, producto de características de los datos PRISM del satélite ALOS de apertura sintética (SAR) de la banda L de PALSAR a una resolución espacial de 12.5 m, Japan Aerospace Exploration Agency.
- **Imágenes Satelitales:**
- **Planchas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC,** (29) las cuales son: 79IVA - 79IVB - 80IIIA - 79IIID - 79IVC - 79IVD - 80IIIC - 90IB - 90IIA - 90IIB - 91IA - 90ID - 90IIC - 90IID - 91IC - 90IIIB - 90IVA - 90IVB - 91IIIA - 90IVC - 90IVD - 91IIIC - 102IIA - 102IIB - 103IA - 103IB - 102IID - 103ID - 103ID del departamento de Antioquia.

Información generan de conceptos teórico y normativa afín al estudio:

- Hidrología aplicada. Ven Te Chow; David R. Maidment; Larry W Mays, Mc Graw Hill 1993.
- Hidráulica de canales abiertos. Ven Te Chow. Editorial Diana, 1982.
- Reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico, RAS 2000.
- Normas de alcantarillado para la ciudad de Medellín, (EPM, 2009).
- Normas de alcantarillado para la ciudad de Medellín, (EPM, 2009).

2.2.5.1.2 Análisis hidrodinámico de la cuenca y selección del código

El objetivo principal de la modelación es la definición de las condiciones de las crecientes máximas en flujo permanente a diferentes períodos de retorno, identificando las planicies de inundación y la magnitud del evento evaluando las características fundamentales tales como el nivel máximo alcanzado por la lámina de agua y velocidad máxima, siguiendo la propuesta de Vélez y otros (2011) para la definición de categorías de amenaza, partiendo de la información secundaria suministrada.

A partir del valor de la creciente de diseño se define la macha de inundación para cada período de retorno, definiendo las categorías de amenaza, a partir de los posibles daños

que puede provocar la relación de estas dos variables de campo. Este trabajo se centra en la modelación en flujo permanente con la posibilidad de observar la sección máxima que puede ocupar el flujo a diferentes períodos de retorno.

2.2.5.1.3 Modelo hidráulico – Código numérico

HEC-RAS en su versión 5.0.3 es un programa para simulaciones unidimensionales o bidimensionales que permite analizar la evolución de la lámina del agua en el tiempo y el espacio en eventos de inundación, posee un modelo hidráulico que permite calcular estados permanentes y no permanentes, módulo de transporte de sedimentos y transporte de contaminantes. Dicho programa fue desarrollado por Hydrologic Engineering Center, en la subdivisión U.S. Army Corps of Engineers, de donde proviene el nombre HEC y "RAS" es un acrónimo de "River Analysis System", (U.S. Corps of Engineers, 2003, Tate et al., 1999).

Este trabajo se centra únicamente en el módulo hidrodinámico simulando un flujo permanente a diferentes períodos de recurrencia para asignar una condición crítica de flujo y posterior superficie total ocupada por la inundación, haciendo un análisis bidimensional.

Este trabajo se centra únicamente en el módulo hidrodinámico simulando un flujo permanente a diferentes períodos de recurrencia para asignar una condición crítica de flujo y posterior superficie total ocupada por la inundación, haciendo un análisis bidimensional, que aproxima las soluciones a un esquema numérico de volúmenes finitos implícito, que resuelve las ecuaciones de aguas someras y ecuación de transporte; el algoritmo puede manejar regímenes de flujo subcríticos, supercríticos y mixtos.

2.2.5.1.4 Ecuaciones de gobierno hidrodinámica

Las ecuaciones de aguas someras parten de las ecuaciones tridimensionales de cantidad de movimiento y continuidad para fluidos Newtonianos e incompresibles. Sin embargo, se consideran las siguientes suposiciones:

- El fluido debe ser homogéneo de profundidad H
- Las velocidades horizontales son mucho mayores a las verticales
- La distribución de presiones es hidrostática
- Son mucho mayores las fuerzas inerciales que las fuerzas viscosas

Como se mencionó con anterioridad las ecuaciones de aguas someras parten de los principios de la conservación de la masa y la conservación de la cantidad de movimiento, donde se obtiene las siguientes ecuaciones diferenciales parciales (Kundu & Cohen, 2008).

Conservación de la masa

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial((H+n)v)}{\partial x} + \frac{\partial((H+n)w)}{\partial y} = 0 \quad \bullet \quad \text{Ec 1}$$

Cantidad de movimiento

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial y} &= -g \frac{\partial n}{\partial x} + S_x \\ \frac{\partial w}{\partial t} + v \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial y} &= -g \frac{\partial n}{\partial y} + S_y \end{aligned} \quad \bullet \quad \text{Ec 2}$$

Donde:

- H** Profundidad media del flujo (m)
- v** Velocidad del flujo en dirección x (m/s)
- w** Velocidad del flujo en dirección y (m/s)
- S_x** Pendiente en la dirección y (m/m)
- S_y** Pendiente en la dirección x (m/m)
- n** Variación de la superficie libre del agua (m)

2.2.5.1.5 Esquema numérico del código

Los volúmenes finitos son un método matemático utilizado para discretizar Ecuaciones Diferenciales Parciales (EDP), que en pocas palabras significa llevar de una EDP a una ecuación algebraica, con el fin de hacer uso de la computación para su solución, a partir de algoritmos. Hay que tener en cuenta que los volúmenes finitos son un método que solo aplica para la discretización de la variación espacial de las EDP, puntualmente los términos advectivos de primer orden y los términos difusivos de segundo orden. El método de los volúmenes finitos está basado en el método de los residuos ponderados, el cual se puede expresar, a partir de la Ec 3.

$$\bullet \quad \int_{\Omega} R W d\Omega = 0 \quad \bullet \quad \text{Ec 3}$$

Donde:

- R** Residual de la EDP
- W** Función de ponderación, que para el caso de volúmenes finitos es igual a 1

Se puede escribir la Ec 3., en forma discreta de la siguiente forma:

$$C^k = \sum_{i=1}^{NN} C_i^k \phi_i(x) \quad \bullet \quad \text{Ec 4}$$

Donde:

- C^k** Variable de las EDP
- ϕ_i(x)** Función base, que para volúmenes finitos es igual a 1
- ∑_{i=1}^{NN}** Sumatoria de i igual a 1 hasta el número de nodos que tenga la malla
- k** Superíndice que representa el tiempo
- i** Subíndice que representa el espacio

2.2.5.1.6 Análisis hidrológico de la cuenca y condiciones de contorno

Las condiciones de contorno requeridas para la simulación numérica, se imponen en las fronteras del dominio computacional, definidas a partir de los caudales obtenidos de la información de resolución temporal mensual multianual de máximos instantáneos, permitiendo generar un análisis de frecuencias para determinar los escenarios plateados mediante tránsito de son caudales extremos (Tr 10, 100 y 500 años) para diferentes probabilidades de ocurrencia por medio de las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log–Pearson Tipo III, Log–Normal y de Extremos (EV3) de los cuales se selecciona la que mejor ajuste de los datos presente con la distribución Chi². Para lo anterior se tomó la red hidrométrica localizada en la cuenca del río León y los afluentes de río Villarteaga, Guapa, Grande, Apartadó, Carepa, Chigorodó y la entrada de caudal de la cuenca del río Zungo, cuyos valores se presentan en la Tabla 8. Condiciones de frontera de entrada de los modelos Para tener un mayor detalle, ver en la sección de Hidrología contenida dentro del presente documento.

Las condiciones de entrada para cada modelo van a estar determinadas por las estaciones hidrométricas (punto de medición de los caudales), siendo estas una condición del tipo Dirchlet (ver Tabla 8) impuestas por el usuario a partir de datos conocidos, y esta es constate en el tiempo hasta obtener un estado estacionario, dentro del dominio establecido. Para todos los casos dependiendo de la ubicación de las subcuencas a lo largo del río León se establece la entrada acorde a un balance de caudales según los valores aportados por cada cuerpo de agua para los diferentes períodos de análisis, (ver Figura 11).

Tabla 8. Condiciones de frontera de entrada de los modelos

| TR años | Río León Villarteaga | Río Guapa | Río León Barranquillita | Río Chigorodó | Río Carepa | Río Zungo | Río Grande | Río Apartadó |
|---------|----------------------|-----------|-------------------------|---------------|------------|-----------|------------|--------------|
| | LOG- PEAR | LOG- PEAR | GUMBEL | LOG- PEAR | LOG-NOR | EV3 | PEARSON | LOG- PEAR |
| 10 | 139,52 | 70,90 | 322,03 | 136,75 | 185,34 | 128,11 | 59,98 | 107,27 |
| 100 | 200,07 | 101,66 | 406,75 | 238,06 | 309,80 | 250,46 | 101,11 | 169,28 |
| 500 | 243,94 | 123,96 | 464,92 | 302,35 | 406,32 | 330,03 | 128,66 | 210,33 |

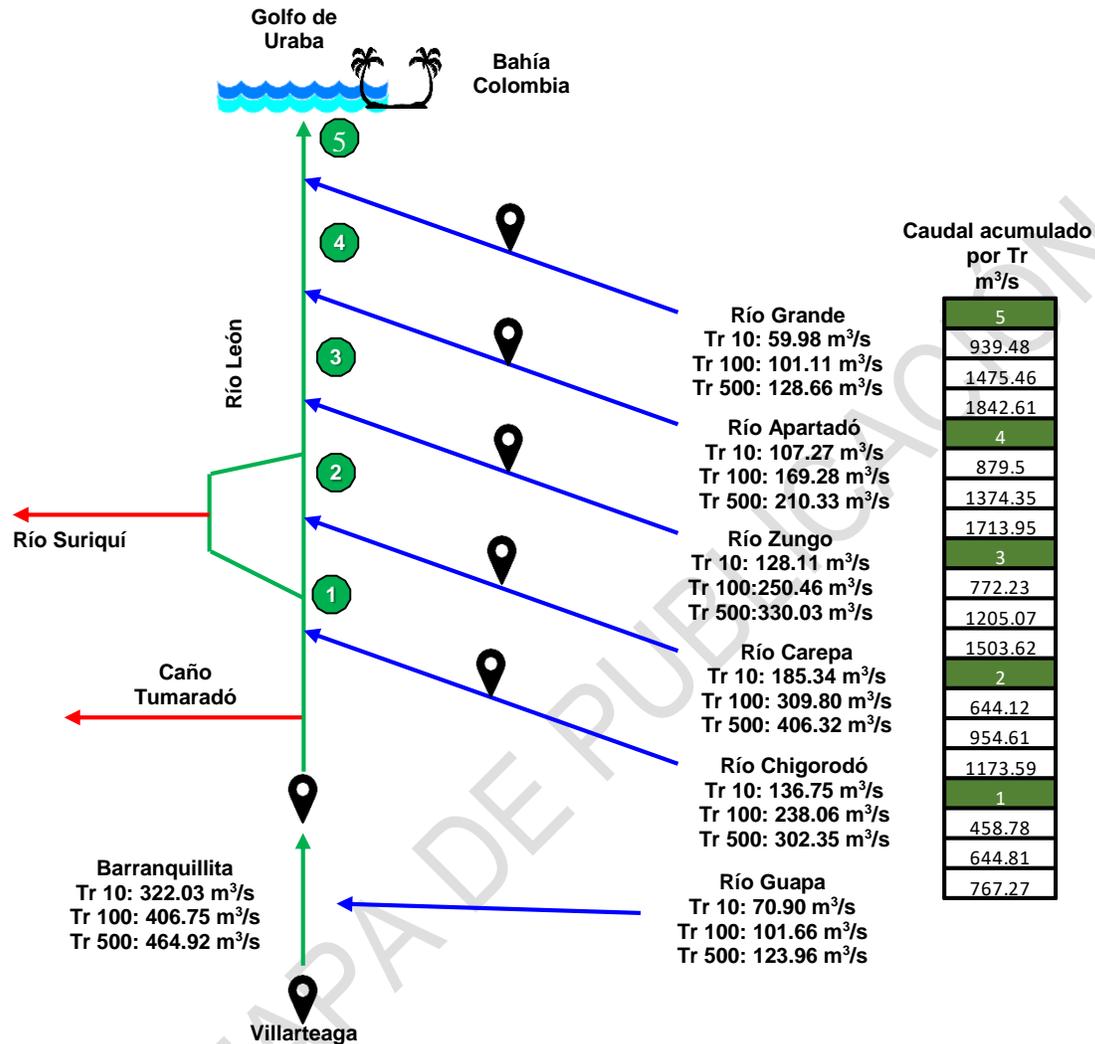
Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 9. Condiciones de frontera de salida de los modelos.

| MODELO | CORRIENTE | PENDIENTE | | |
|--------|-------------------------|-----------|--------|--------|
| | | S1 | S2 | S3 |
| 1 | Río León-Villarteaga | 0.063 | 0.04 | --- |
| | Río Guapa | | | |
| 2 | Río Apartadó | 0.0702 | 0.075 | --- |
| | Río Grande | | | |
| 3 | Río Chigorodó | 0.0654 | 0.0702 | 0.0702 |
| | Río Carepa | | | |
| 4 | Río León Barranquillita | 0.0134 | 0.0126 | --- |
| | Río Zungo | | | |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Figura 11. Diagrama de flujo de la cuenca del río León



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Para poder establecer la frontera de salida de cada una de las cuencas se realizó un modelo en el que se determinó que la entrega del río León al golfo de Urabá era afectado por una lámina de agua que afecta la capacidad de descarga de la sección transversal de salida, que permita recrear el remanso que afecta la descarga de los cauces, Apartado, Grande y en menor medida Carepa, generando un aumento de los niveles como condición inicial al como instante de previo a la llegada de la creciente, esto permite al programa calcular la salida del flujo a medida que el cauce principal de cada modelo se llena, asumiendo un comportamiento de un cambio de régimen supercrítico a crítico, para poder generar esa entrada se establecen las pendientes consecutivas al alineamiento del cauce a la salida establecida, que permita tener presente la condición de contorno aguas abajo, de la pendiente entre la sección aguas abajo y su inmediata superior. Entre tanto los cauces Chigorodó, Guapa y Villarteaga, tiene una condición tipo Neumann, ya que no son afectados por la condición de descarga del río León, dejando libre el flujo asumiendo un flujo régimen supercrítico.

2.2.5.1.7 Modelo conceptual de la cuenca

Dentro de los parámetros iniciales a tener en cuenta para la modelación numérica hidráulica del cauce principal y los afluentes del río León se parte de un modelo conceptual utilizando información topográfica (DEM, curvas de nivel) coberturas y análisis de precipitación, escorrentía e infiltración, descritos a continuación:

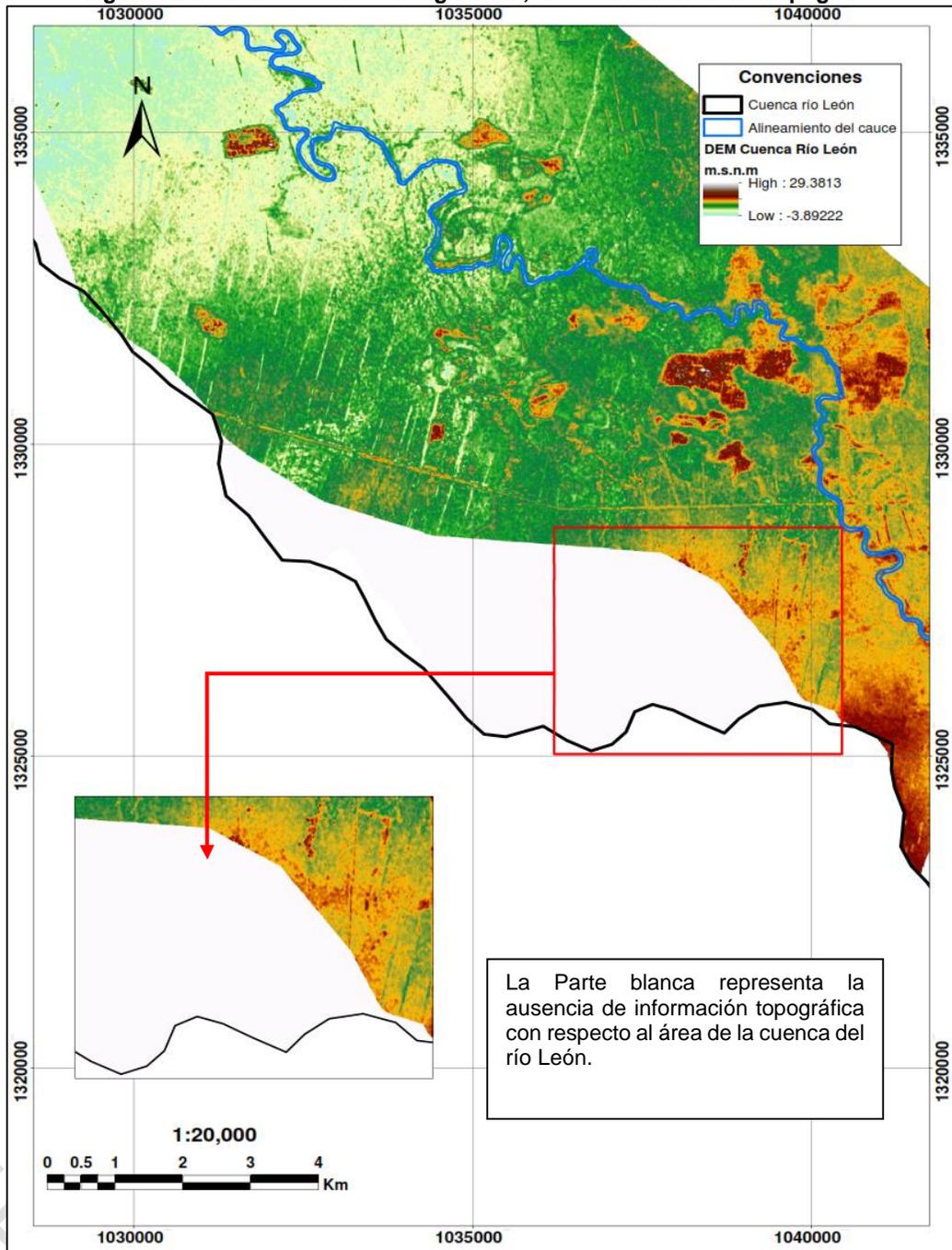
2.2.5.1.8 Modelo de elevación digital - MED

Para representar la topografía del terreno se dio uso información del DEM GEOSAR, el cual se generó por técnicas de interferometría radar de la banda P, mediante un proceso de remuestreo de dicha área para obtener la resolución espacial de 5 m de la totalidad de la superficie de la cuenca del río León, (Ecoforest S.A.S., 2016). Dicho modelo no representa de forma correcta la geometría de los cauces, por lo que se hace necesario integrar la resolución geométrica de la sección hidráulica de los afluentes, además de que el mismo tiene pixeles sin información que afecta el dominio en las planicies de inundación, cabe mencionar que la zona carece de topobatimetrías que permita acoplarse al MED como información secundaria, con el objeto de dar al mismo una alta resolución. Para lo anterior, se realiza un llenado de información para garantizar la representación correcta de cuencas y cauces, evitando que una red de drenaje derivada puede ser discontinua, llenado los pixeles al límite z especificado. La información faltante en las planicies de inundación se completa mediante la integración de la información del DEM ALOS PALSAR que corrige el terreno Radiométricamente con una resolución de 12.5 m por pixel. Se utilizó la proyección para el proyecto la MAGNA Colombia Oeste, con datum Magna y proyección Transverse Mercator.

EN ETAPA DE

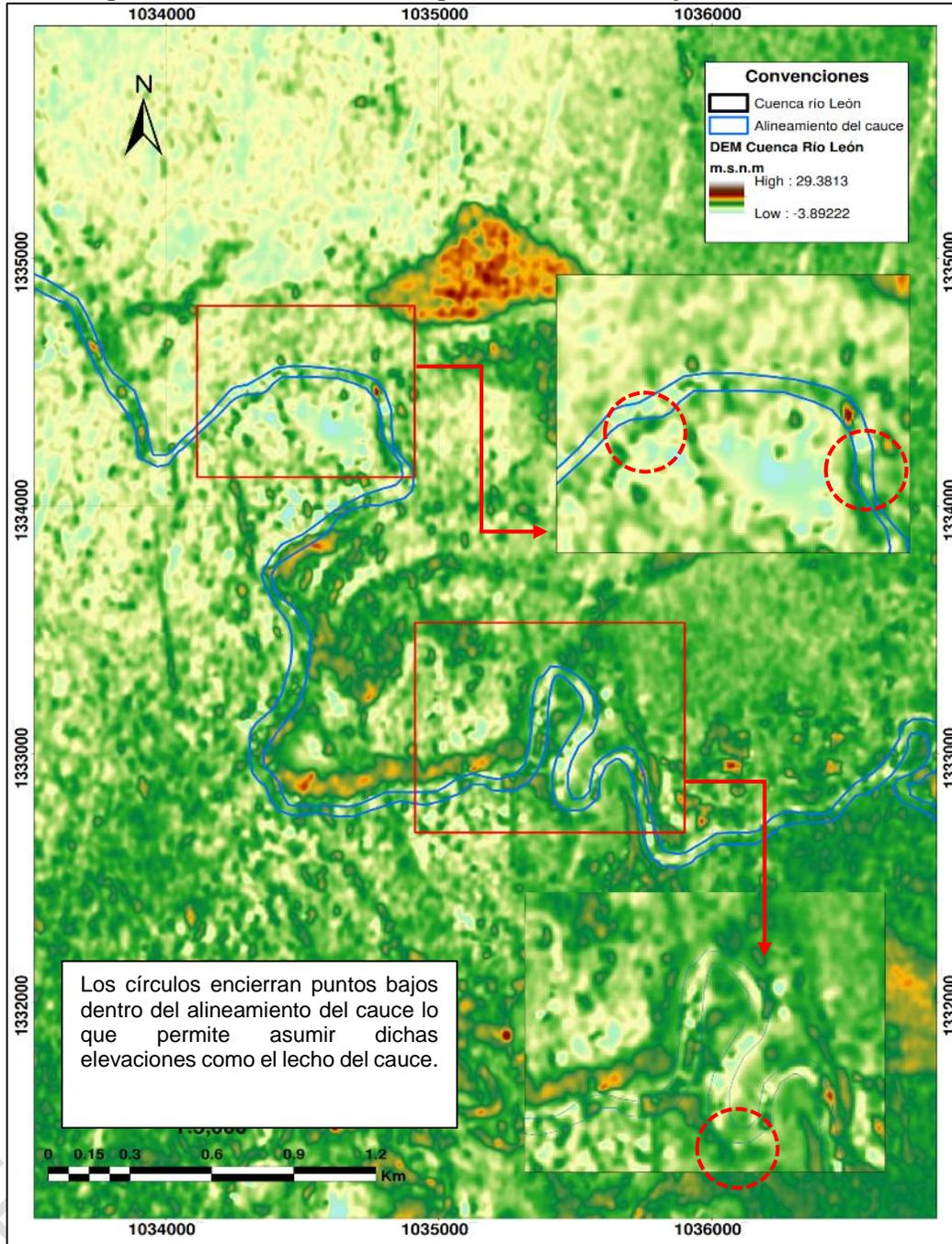


Figura 12. Modelo de elevación digital 5 m, áreas sin información topográfica



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Figura 13. Modelo de elevación digital 5 m, secciones bajas dentro del cauce



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En cuanto a la carencia de información batimétrica, se identificaron puntos bajos dentro del alineamiento de los cursos de agua dentro del DEM de 5 m, de los cuales, se extrajeron las secciones transversales y se asumió dicha conformación geométrica a lo largo del alineamiento de cada cauce, teniendo presente la pendiente de fondo del río entre puntos con información, generando profundidades en cada cauce del orden de 4.5 m a 7.5 m , permitiendo dar continuidad y alta resolución al Modelo de Elevación Digital integrando una

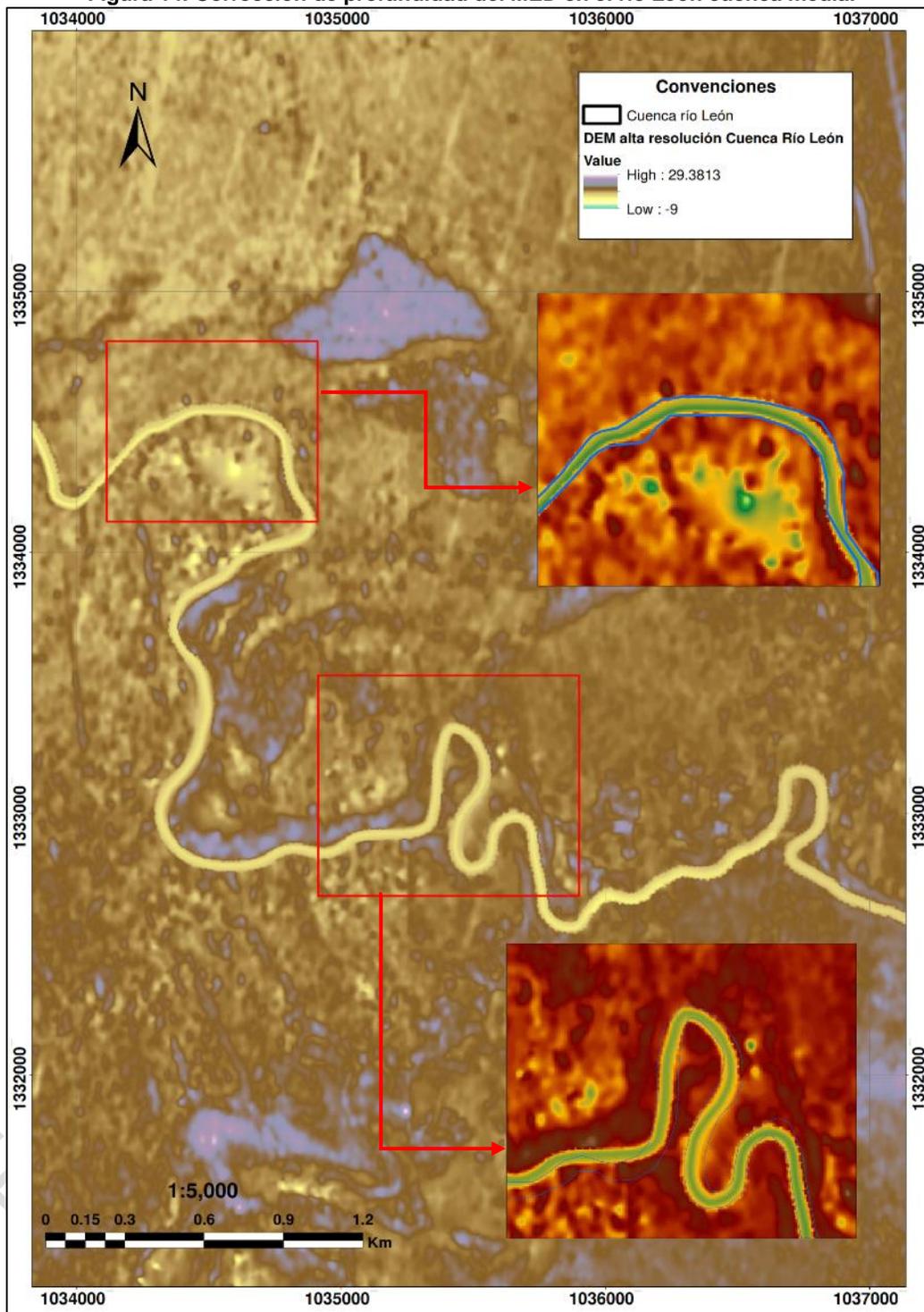
profundidad los cauces. En la Figura 14 se muestran los puntos bajos en la cuenca media del río León utilizadas para dar profundidad al cauce, este proceso se realizó para cada cuerpo de agua.

Ya que la generación del MED de alta resolución de la zona de estudio parte de información secundaria, no se tiene certeza de los realces de las bancas con estructuras de contención como jarillones perimetrales y en general adecuaciones hidráulicas realizadas a los cauces con el fin de controlar inundaciones lentas a lo largo de la cuenca media - baja, tanto para el río León como para sus afluentes, la carencia de información detallada en la vertical de las secciones hidráulicas genera incertidumbre en la topografía pudiendo sobre estimar las manchas de inundación y modificar la hidráulica de los cauces.

Un ejemplo de la corrección se evidencia en la Figura 15. Cabe mencionar que los alineamientos se realizaron mediante información suministrada por CORPOURABA de tipo shape de polígono y se complementó mediante imágenes satelitales, permitiendo las mejoras en la distribución de las profundidades de cada curso de agua, según su ancho superficial.

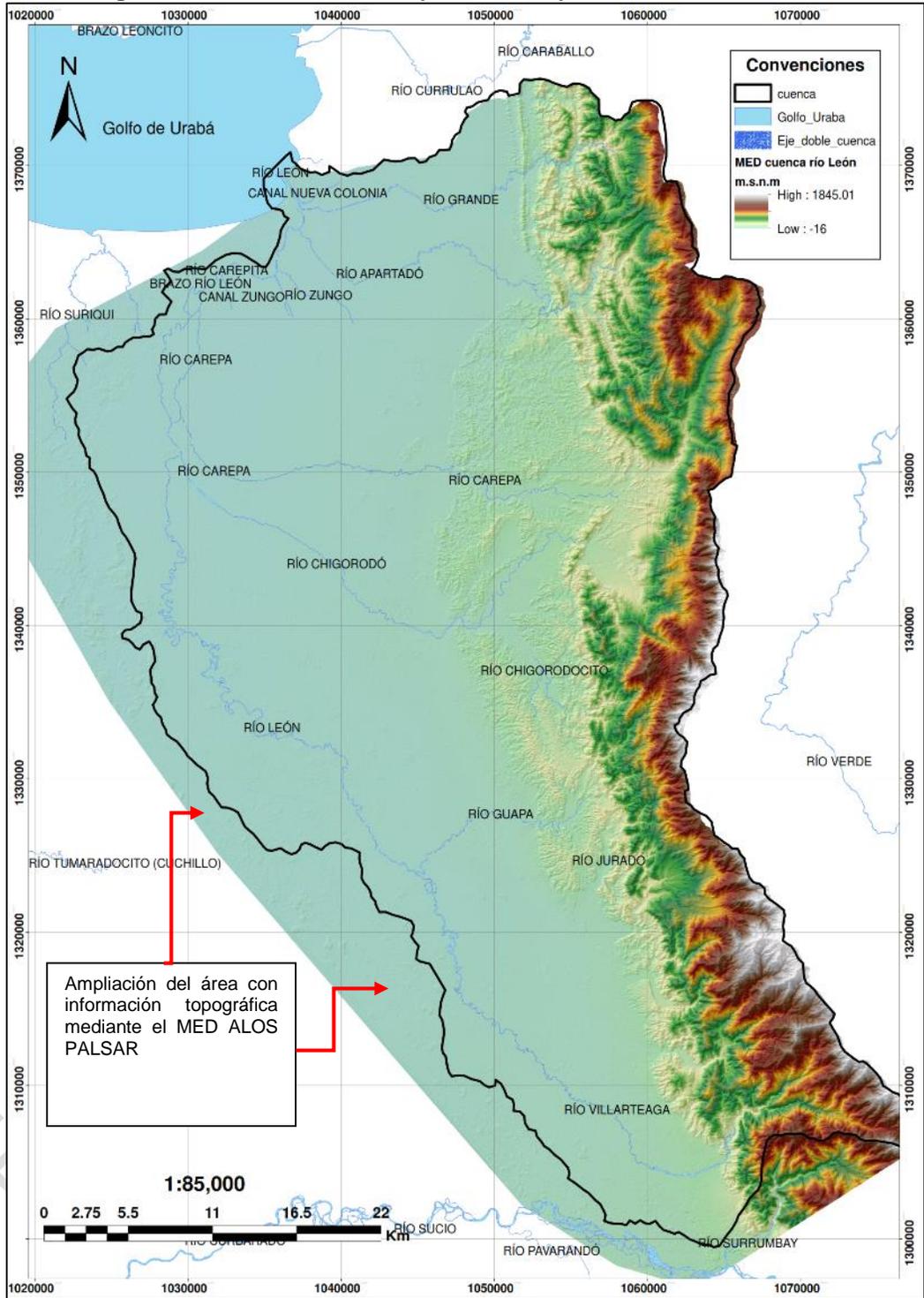
EN ETAPA DE PUBLICACIÓN

Figura 14. Corrección de profundidad del MED en el río León cuenca media.



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Figura 15. MED de resolución espacial de 5 m para la cuenca del río León.



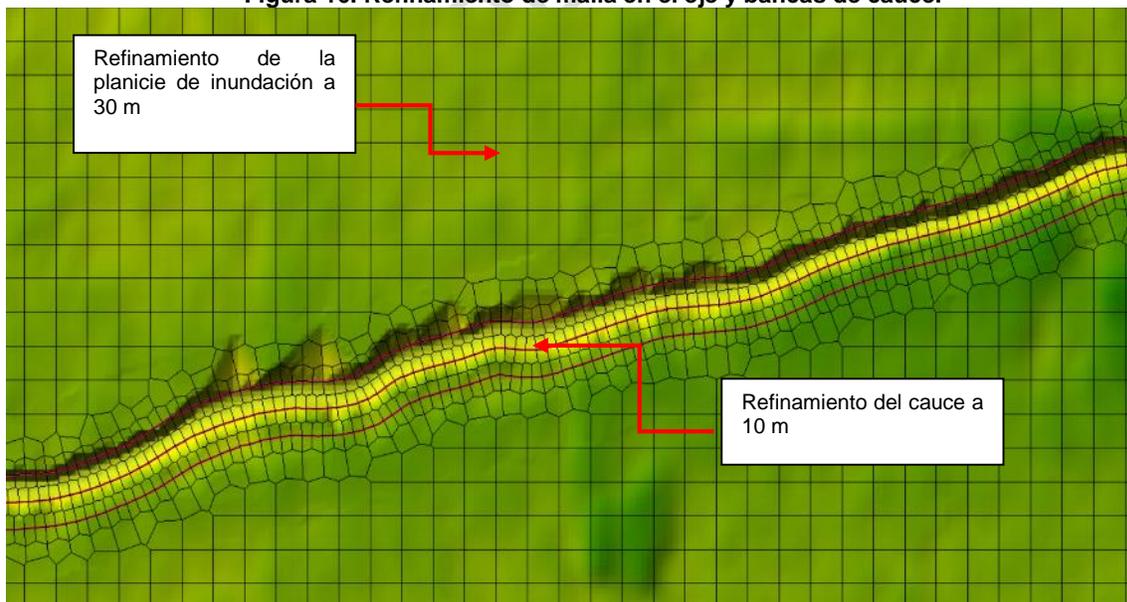
Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

2.2.5.1.9 Generación de la malla

Dado que el código empleado en el presente proyecto emplea un método de discretización a partir de los volúmenes finitos, es posible discretizar el espacio de la cueca a partir de un dominio discreto de malla tipo no estructurada en cuadriláteros en su mayoría, aunque estas pueden tener entre tres y ocho lados cada volumen finito, y los bordes de un elemento no requieren líneas rectas. La malla computacional empleada dentro de HEC-RAS 2D usa un modelo de subgrid de alta resolución que toma las propiedades de elevación por cada uno de los nodos generados por cada elemento el cual está vinculado a una tabla de propiedades hidráulicas, en los que se almacenan detalles sobre las caras de cada elemento que compone la malla, como la elevación frente al perímetro mojado, el área y la rugosidad. El modelo calcula la descarga a través de una cara por elemento usando esta información junto con las elevaciones de la superficie del agua de los volúmenes adyacentes.

La malla se genera a los dominio computacionales definidos para cada uno de los modelos, (ver Figura 16), asignando un tamaño de elementos de 30 m por 30 m a las planicies de inundación y refinando el dominio por los alineamientos de los cauces principales generando elementos de 10 m por 10 m en el eje de cada curso y sus bancas con un crecimiento que progresivo para empatar con los elementos más grandes, alineando las caras de la malla a lo largo del eje de cauce, lo que permite ajustar los elementos a la geometría irregular del terreno en especial a la hora de recrear las zonas meándricas de los cauces de interés, lo anterior se observa en la Figura 16, el objeto de esta variación de tamaño es la de disminuir los tiempos de cómputo y tener una primera aproximación de las dinámicas hidráulicas de la cuenca del río León.

Figura 16. Refinamiento de malla en el eje y bancas de cauce.



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

2.2.5.1.10 Coeficiente de rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad de Manning (n) fue asignado de acuerdo con las condiciones de cada cauce a lo largo de su recorrido teniendo en cuenta las planicies de inundación a partir de sus márgenes. En ausencia de un procedimiento cuantitativo satisfactorio se realiza una inspección visual de imágenes satelitales de la zona en las que se evalúa el cauce principal y las planicies de inundación, integrando los conceptos y definiciones dadas por Ven Chow en 1994 y extrapolación de información contenida en las técnicas de campo de aguas superficiales realizadas por Barnes en 1849 y acopladas por la U.S. Geological Survey en los que se compra el cauce del río León y aferentes asumiendo que los coeficientes definidos para el modelo tienen presente el tipo de material que conforma el canal principal y los taludes naturales e intervenidos según sea el caso, acoplando la interacción con la vegetación y obstrucciones de flujo en cada cauce. Para el caso de estudio se asumen valores constantes a lo largo del cauce y de las planicies de inundación como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10. Coeficiente de rugosidad por cuerpo de agua

| CAUCE | COEFICIENTE DE RUGOSIDAD CAUCE PRINCIPAL | COEFICIENTE DE RUGOSIDAD PLANICIES DE INUNDACIÓN |
|---------------------|--|--|
| Río León parte baja | 0.028 | 0.10 |
| Río León parte Alta | 0.035 | |
| Afluentes | 0.025 | |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

La rugosidad asociada a al río león en la parte baja hace referencia a cauces con depósitos de grava y arena sobre las bancas asociado a las dinámicas de producción de sedimentos de la zona, con bancos cubiertos de hierba y vegetación riparia. De igual forma la parte alta del cauce asume que la producción de sedimentos manifiesta gravas de mayor tamaño hacia el fondo del cauce aumento de vegetación en las laderas que aumenta la resistencia hidráulica del flujo. Para los afluentes se asume una rugosidad La cama y los bancos están compuestos de arcilla, con depósito de barras e islotes de arena esporádicos, cuyos bancos son claros a excepción de hierba corta y raíces de árboles expuestas en algunos lugares e incidencia de actividad antrópica.

Las planicies de inundación equivalente a una condición de vegetación muy densa donde la zona está compuesta de pastos altos y arbustos medianos a denso durante la fase vegetativa, zona con árboles y matorrales densos; la rugosidad establecida en el módulo del enmallador del programa, se estableció en 0.035 con el fin de mantener rugosidades equivalentes a las del fondo del canal, bancas y planicies de inundación circundantes a cada cauce.

2.2.5.1.11 Post proceso - Resultado de las modelaciones hidráulicas

Para realizar la espacialización de la amenaza por inundaciones lentas, ingresamos a la etapa del post-procesamiento de los resultados de las variables de campo de los modelos hidráulicos, los cuales se exportan en formatos vectoriales y matriciales donde se crea una nueva capa con el polígono de la macha inundación asociada a cada período de recurrencia simulado, acoplando la información a el MED, mediante la comparación con las curvas de nivel, dando la tendencia del terreno y ajustando las cotas máximas de inundación. Los períodos de retorno para el análisis fueron 10, 100 y 500 años, de los cuales se extrajó los

resultados de la variable de campo de altura de lámina de agua, para definir los niveles máximos producto de cada creciente.

Lo anterior se observa en la Tabla 11, donde las profundidades máximas son del orden de 12.98 m para un período de retorno de 10 años, mientras que las crecientes de 100 y 500 años presentan 13.25 m y 13.73 m, evidenciando aumentos del 2.04% y 3.5% respectivamente. Cabe resaltar que dichas profundidades son valores que se contiene en depresiones en la parte baja del MED a 1.23 km de la desembocadura del río Carepa y 3.94 km de las playas del Golfo de Urabá, pero que se contiene en las partes altas de los cauces Chigorodó, Carepa, Guapa y Villartega, siendo esta la altura del lecho a las bancas según el caso. Consecuentemente, para cada período de retorno se encontró lo siguiente:

- Para el TR 10 años los niveles mínimos son del orden de 1 cm y se concentran hacia la cuenca baja del río León entre la desembocadura del río la Guapa y hasta la entrega del golfo de Urabá, las profundidades medias del modelo son cercanas 0.94 m. El valor extremo en las planicies de inundación es de 2.88 m; los valores superiores a esta altura representan depresiones del terreno y tramos donde la profundidad de lecho del cauce es alta es contiene el flujo, el rango va de 3.33 m a 12.98 m y representan el 6.54% del total de celdas del raster de resultados.
- Para el TR 100 años los niveles mínimos son del orden de 1 cm y se concentran hacia la cuenca baja del río León entre la desembocadura del río la Guapa y hasta la entrega del golfo de Urabá, las profundidades medias del modelo son cercanas 0.96 m. El valor extremo en las planicies de inundación es de 2.91 m; los valores superiores a esta altura representan depresiones del terreno y tramos donde la profundidad de lecho del cauce es alta es contiene el flujo, el rango va de 3.37 m a 13.25 m y representan el 6.29% del total de celdas del raster de resultados.
- Para el TR 500 años los niveles mínimos son del orden de 1 cm y se concentran hacia la cuenca baja del río León entre la desembocadura del río la Guapa y hasta la entrega del golfo de Urabá, las profundidades medias del modelo son cercanas 1.17 m. El valor extremo en las planicies de inundación es de 2.96 m; los valores superiores a esta altura representan depresiones del terreno y tramos donde la profundidad de lecho del cauce es alta es contiene el flujo, el rango va de 3.46 m a 13.73 m y representan el 6.29% del total de celdas del raster de resultados.

Tabla 11. Altura de lámina de agua por período de retorno.

| ÁREA | TR | PROFUNDIDAD – H (m) | | | |
|-----------------|------|---------------------|----------|---------------------|----------------------------|
| | AÑOS | MÍNIMA | PROMEDIO | MÁXIMA EN PLANICIES | MÁXIMA CAUCE Y DEPRESIONES |
| CUENCA RÍO LEÓN | 10 | 0.01 | 0.94 | 2.88 | 12.98 |
| | 100 | 0.01 | 0.96 | 2.91 | 13.25 |
| | 500 | 0.01 | 1.17 | 2.96 | 13.73 |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En el Anexo 3, se contiene los resultados de los cálculos hidráulicos realizados con el programa HEC-RAS, y en ellos se pueden observar los niveles del agua cuando pasan las crecientes con diferentes períodos de retorno; los análisis de los resultados se presentan más adelante.

2.2.6 Mapas de inundación de Colombia - IDEAM

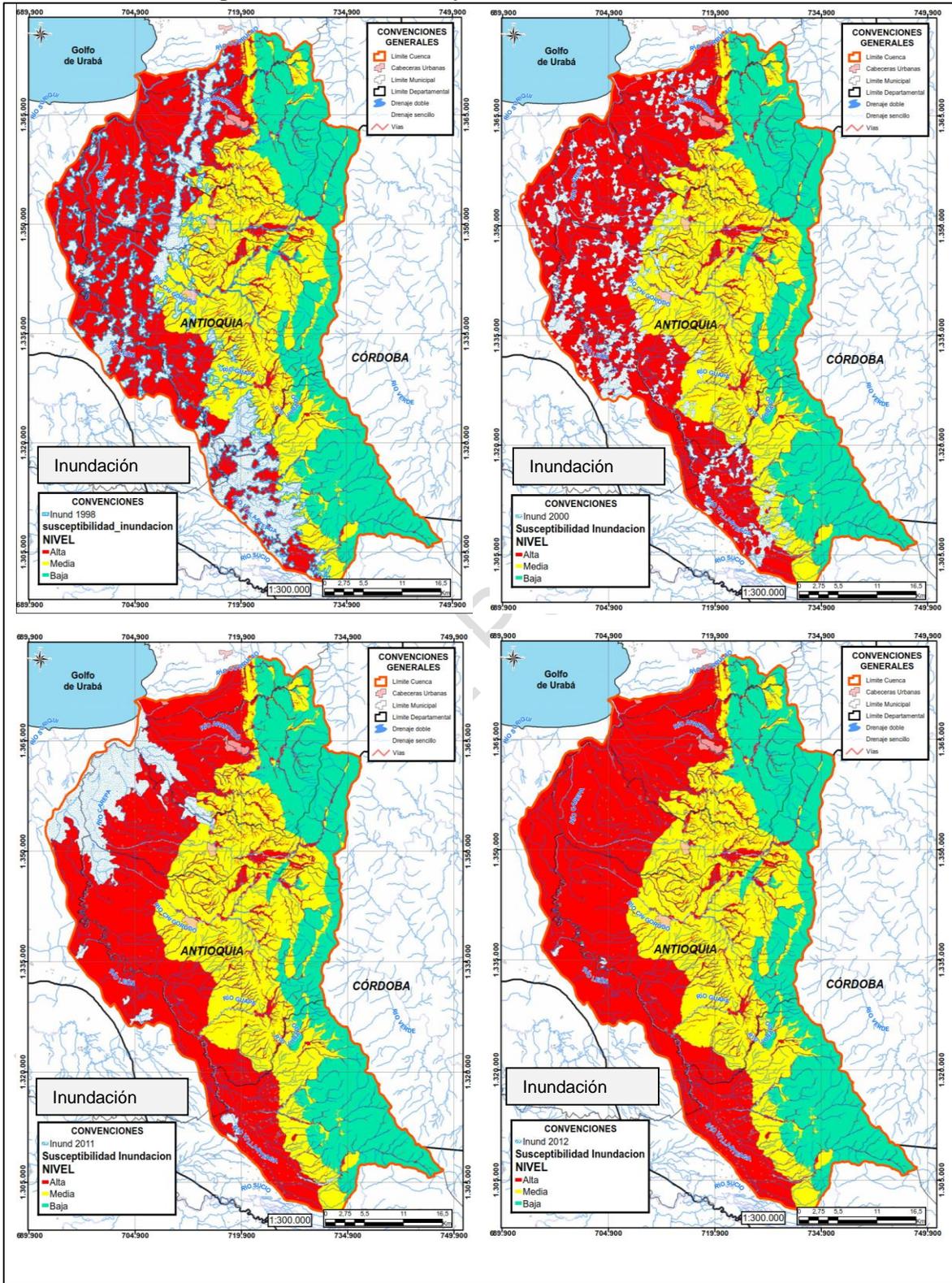
Bajo el marco que marco del significado de un mapa de inundación a nivel nacional que proveerá de información sobre eventos pasados de este fenómeno y la determinación de los impactos de los mismos en la población, que guarde sus proporciones probabilísticas, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), ha formulado dicha información a través de 22 mapas departamentales a escala 1:100.000 y 28 mapas municipales a escala 1:2.000- 1:5.000, elaborados por el Centro Nacional de Modelación y disponibles para 22 departamentos, como herramienta a los tomadores de decisiones a nivel local, regional o nacional para mejorar el enfoque de la gestión de las inundaciones y hacerlo más integral.

Estos mapas parten en cierta instancia de del entendimiento de la evolución del cauce es importante donde se hacen evidentes los cambios significativos como desvíos de este, variaciones en la ocupación de los terrenos, donde el insumo principal es la interpretación de imágenes de sensores remotos para los años 1988, 2000, 2011 y 2012, además del análisis multitemporal de coberturas que empleó imágenes Rapideye y Orbisat. Esta cartografía cuenta con una interpretación casi del 100% del área total de cada departamento y muestra de manera clara aquellas superficies cubiertas por espejos de agua, así como las coberturas que por sus condiciones edafogenéticas favorecen la ocurrencia de procesos de inundación, por ejemplo, las zonas pantanosas. A su vez, permite estimar el área respectiva que está asociada a cada evento en particular, (CNM, 2016).

Acorde con lo anterior, para identificar el comportamiento multitemporal de la cuenca del río León se tuvo presente este producto en el que se tuvo acceso a los registros cartográficos poligonales y que llevan asociada información relativa a los procesos activos que pueden ocurrir en cada unidad, añadiendo una visión dinámica, relativa a los procesos activos, a la representación estática, relacionada con las formas del relieve y las formaciones superficiales, en las que se traslapa las manchas con el terreno de la cuenca y los resultados de los años 1988, 2000, 2011 y 2012.

En las Figura 17 Análisis multitemporal de manchas de inundación se evidencia las interposiciones de las manchas de inundación mediante el resultado de susceptibilidad con miras de comprobar la tendencia y extensión de los fenómenos de inundación con respecto a las zonas definidas como susceptibles mediante la integración de información geomorfológica y distribución espacial de eventos (ver análisis y Figura 17 Análisis multitemporal de manchas de inundación), como técnicas orientadas a la manipulación, análisis cualitativo, de los productos de imágenes digitales, en las que se transformó y clasificó la temática con el fin de generar nueva información sobre áreas.

Figura 17 Análisis multitemporal de manchas de inundación



Fuente: Adecuación Ecoforest S.A.S., 2016 – información IDEAM – CNM, 2016

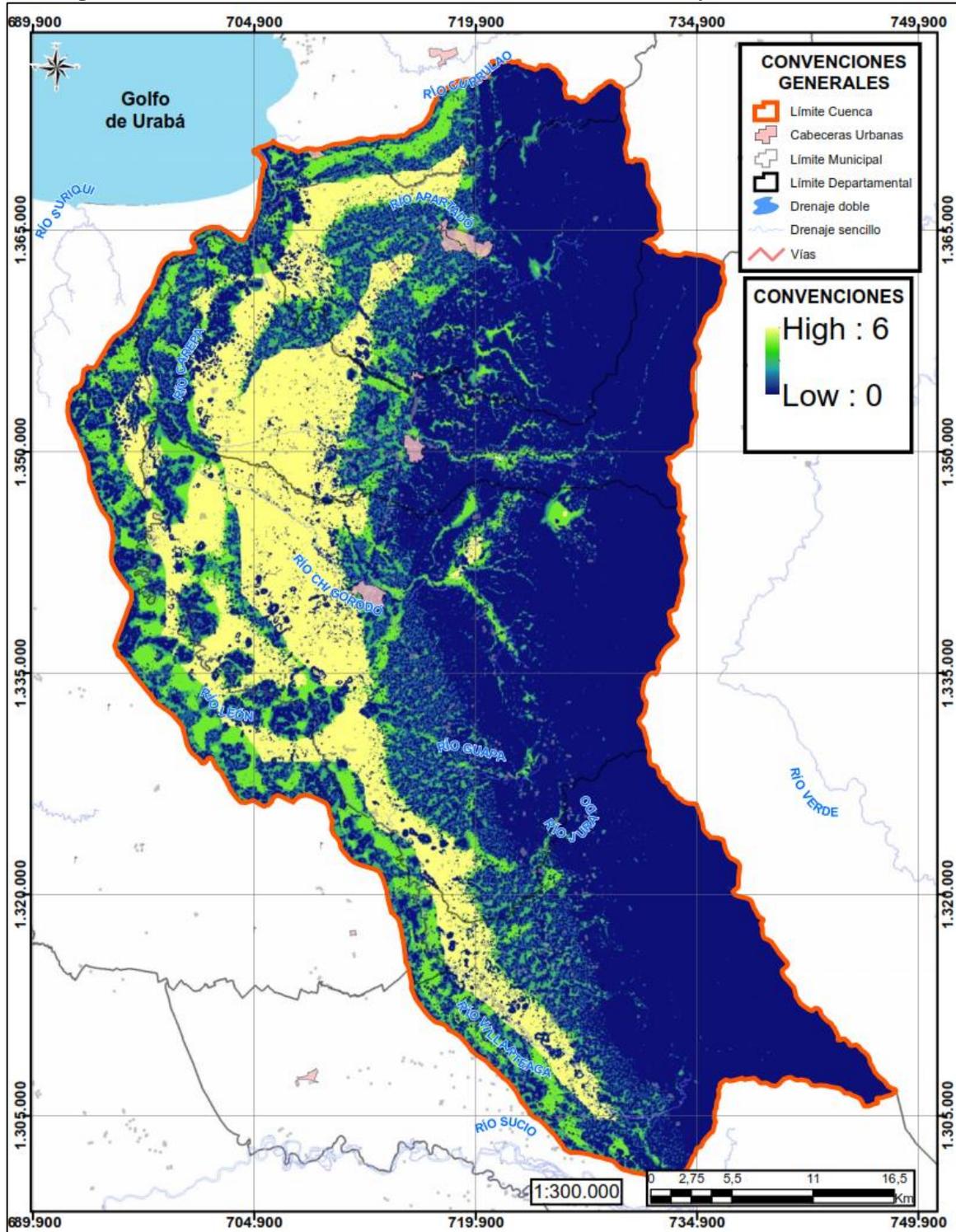
De la Figura 17, se puede evidenciar la tendencia de los terrenos a ser anegados en periodos invernales extensos, en los que los años 1998, 2000 y 2011, muestra que los terrenos que se encuentran por debajo de los 30 m.sn.m., presentan una disposición a inundarse dadas las dinámicas del río León y sus afluentes, en las que se observa por demás no superar los límites definidos en los que se establece que las unidades establecida en el análisis de susceptibilidad tiene la capacidad de contener la inercia del fenómeno, dejando claro que las geoformas que denotan procesos activos o inundaciones periódicas y áreas en donde coincidan dos o más puntos o polígonos de eventos históricos.

2.2.7 Evaluación del terreno mediante el Índice de Uniformidad de la Planicie con Resolución Múltiple

Este método se enfoca principalmente en la identificación de zonas del terreno dentro de la cuenca donde se produce el depósito de sedimentos, es decir los fondos planos de los valles que pueden asociarse a las llanuras o zonas de inundación, diferenciando las laderas de los depósitos. El principal objetivo del índice es poder hacer una clasificación entre zonas montañosas de alta pendiente y las planicies bajas, información que puede ser interpretada y aprovechada en distintas áreas como: geomorfología para la identificación de áreas de erosión y depósito; almacenamiento de agua subterránea en hidrogeología; identificación de la influencia del paisaje en procesos de formación de rocas en pedología; y delimitación e influencia del entorno en sistemas biológicos ecología. Este insumo requiere la altitud y la pendiente obtenidos del modelo de elevación digital, con el fin de establecer un rango de escalas combinando los resultados en un solo índice multiresolución, y clasifica las diferentes gradaciones en la morfología del fondo del valle, asociado con la profundidad de los depósitos, y permite delinear las unidades hidrológicas y geomorfológicas, (Gallant y Dowling, 2003). Los resultados se presentan en la Figura 18.

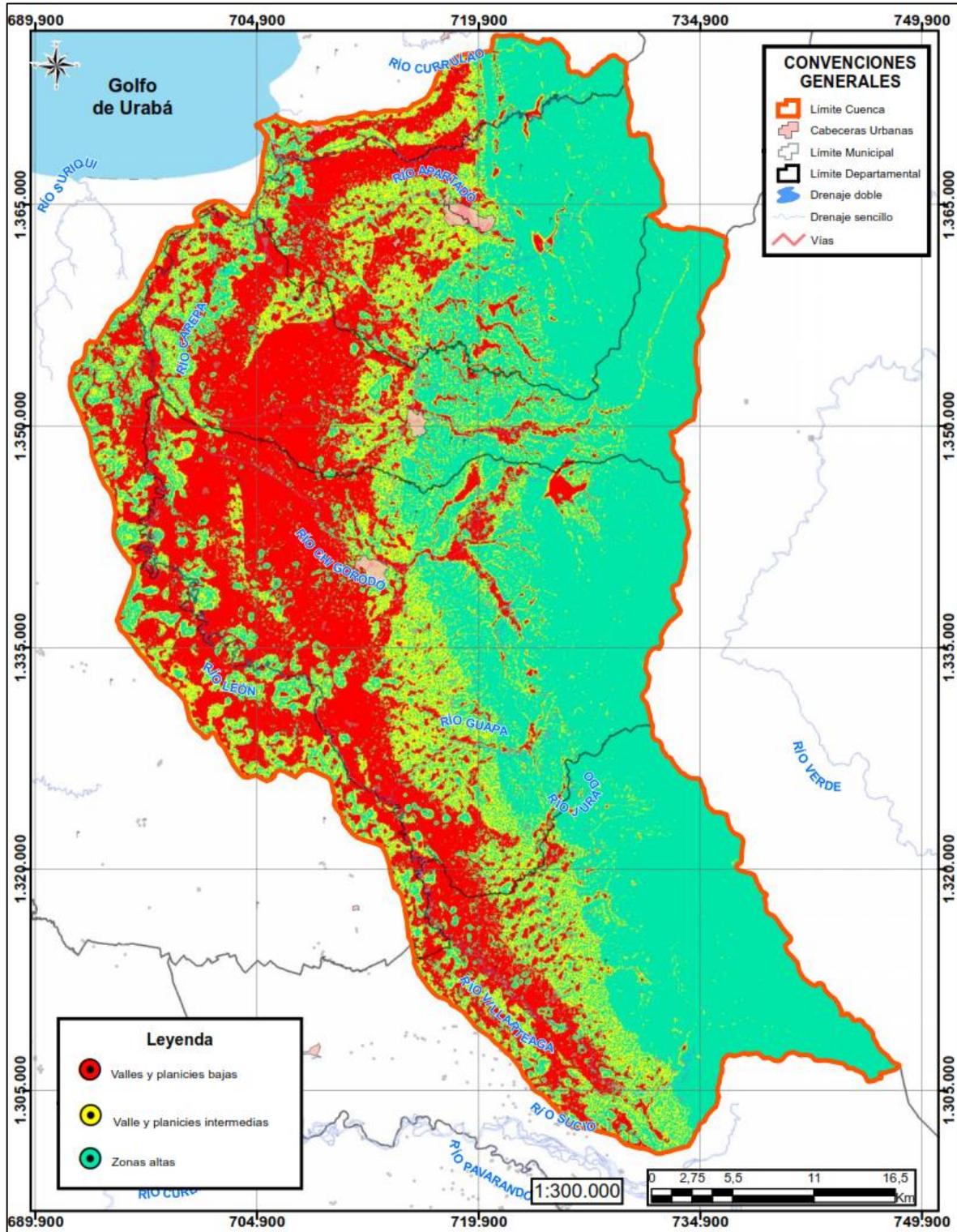
De la figura anterior se observa que los valores de 0 a 1 representan las posibles planicies donde en general coinciden con la red hidrográfica de la zona, los valores de 1 a 4 representan con mayor intensidad las posibles zonas con mejores características de inundabilidad, en el sector aledaño al río León y las zonas donde se ubican los centros poblados. Los valores cercanos a cero representan las zonas con características de baja inundabilidad, se alcanza a representar la hidrografía de la zona, separando las zonas inundadas y no inundadas. En términos de la media del descriptor se observa cómo hay una media mayor en la zona inundada y una media menor en la zona no inundada, logrando un buen indicador para usar este índice como un descriptor de inundaciones, (ver Figura 18. Índice de Uniformidad de la Planicie con Resolución Múltiple cuenca del río León). Este insumo permite identificar las zonas planteadas como de montaña y zonas bajas, identifica las planicies de inundación delimitadas, las cuales se ajustan mucho más a la realidad del terreno, se trata de planicies de inundación en las zonas cercanas a las desembocaduras, evidenciándose planicies locales, (ver Figura 19)

Figura 18. Índice de Uniformidad de la Planicie con Resolución Múltiple cuenca del río León



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Figura 19. Índice de Uniformidad de la Planicie con Resolución Múltiple, identificación de las planicies de inundación



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

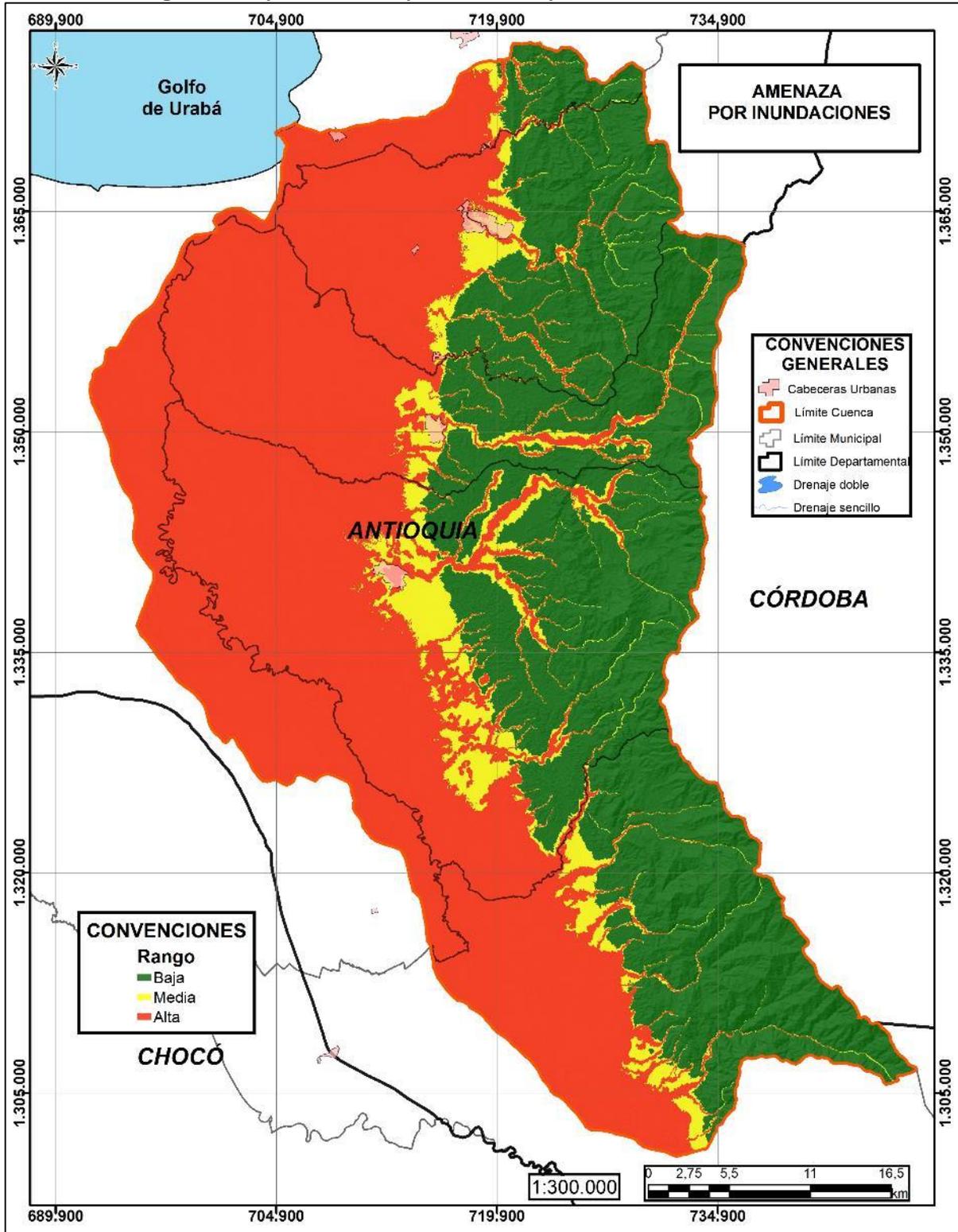
2.2.8 Zonificación de la amenaza por inundación lenta.

Para definir el mapa según lo establecido en el protocolo, índices y productos extras de instituciones nacionales se estableció un análisis de sinergismo de elementos que da como resultado la definición de las zonas bajas propensas a inundaciones y que cuya suma de dos o más elementos se unen sinérgicamente creando un resultado que aprovecha y maximiza las cualidades de cada uno de los elementos. La fusión de imágenes y sensores mediante la información del IDEAM, las unidades geomorfológicas, eventos antecedentes de inundación distribuidos en el espacio y la completitud y entendimiento de los valles bajos por parte del Índice de Uniformidad de la Planicie con Resolución Múltiple, dan un proceso que permite combinar la información redundante en pro de identificar la amenaza por inundación.

Al integrar los diferentes resultados a de distintas resoluciones espaciales, en uno solo permitió obtener las mejores características, logrando un producto híbrido de calidad útil para el fin elegido, en el que se definieron las tendencias y se eliminaron las anomalías, ya sean por localización o por niveles digitales de los píxeles que forman la imagen, que impriman ruido al producto hacia la clasificación temática.

Los umbrales seleccionados para cada periodo según el protocolo, tiene por criterio superar los periodos de recurrencia para los cuales han sido diseñados los drenajes de los cascos urbanos principales como Carepa, Apartadó, Chigorodó y Río Grande, así como corregimientos y caseríos localizados en el área de la cuenca del río León, en especial los cercanos a cuerpos de agua en las planicies de inundación y aluviales, cuyo periodo en general es de 10 años. El segundo umbral corresponde a los diseños de las obras de infraestructura vial y de cultivos, que se deben garantizar según la normatividad colombiana con diseños iguales o superiores a 30 años. El último umbral corresponde a la norma que estipula que cualquier comunidad aledaña a un cauce debe tener garantizada su integridad para una creciente con un período de retorno de 100 años, aumentando este criterio a periodos de retorno mayores, (500 años), los cuales, obedecerían a un análisis de frecuencia de eventos extremos en series de tiempo hidrológicas, en los que estarían obras de encasamiento y control de crecientes. El mapa de amenaza por inundación se observa en la Figura 20.

Figura 20. Mapa de amenaza por inundación para la cuenca del río León



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

2.2.8.1 Resultados de la zonificación de Amenaza por Inundación

La cuenca del río León cuenta con un área aproximada de 2201.37 km² cuya superficie fue evaluada frente a la amenaza por inundación, producto del resultado del sinergismo de información en sus principales corrientes fluviales acorde al área total, (ver Tabla 12), presentando las extensiones correspondientes a cada una de las categorías de amenaza establecidas.

De la Tabla 12 se puede sintetizar que el 52% del área estudiada está bajo un escenario de amenaza alta, relacionado con procesos de inundación fluvial, correspondiendo al 100% de las áreas activas y de planicie de inundación, afectando riberas del cauce principalmente, mientras que 7% se relaciona a grados de amenaza media y 41% dejando dichas áreas exentas del fenómeno relacionado a inundaciones en los cauces principales. Cabe mencionar que los porcentajes de amenaza media son bajos por estar contenidos en su mayoría dentro del cauce principal, casos que son recurrentes en las cuencas medias – altas en los casos de los ríos Apartadó, Grande, Zungo, Carepa, Chigorodó y Guapa, las partes bajas presentan desbordamientos al interactuar con el río León, dichas zonas son destinadas para cultivo en su mayoría, evidenciando actividad antrópica con centros urbanos y caseríos cercanos a los ríos principales. Estos polígonos obedecen el comportamiento referente a lo descrito por el análisis de susceptibilidad, donde la zona media corresponde a un Abanico aluvial coalescente propensos a inundarse en temporadas invernales intensas.

Tabla 12 Áreas en amenaza por inundación

| Grado de amenaza | Área total | |
|------------------|------------|-----|
| | ha | % |
| Alta | 114194,02 | 52% |
| Media | 15693,393 | 7% |
| Baja | 90250,403 | 41% |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Las zonas de mayor influencia son las relacionadas con el río León por tener grandes planicies de inundación, terrenos que se encuentran por debajo de la cota media de la lámina de agua del cauce, mostrando gran interacción con su planicie aluvial, donde se evidencia procesos morfológicos pasados, al presentar meandros abandonados y ensanchamientos y estrechamientos que van de 20 m a 70 m en algunas partes del cauce. La cuenca del río León presenta bajas pendientes del orden de 1% a 7% con presencia de zonas cóncavas hacia el costado oriental del río León, que junto a la alta producción de sedimentos se observan piscinas de sedimentos y barras a lo largo del cauce que pueden propiciar dichos desbordamientos. Cabe resaltar que la parte media después de la desembocadura del río Guapa presenta un aumento en el tamaño de la macha, a causa de los altos caudales que discurren.

A lo anterior se suma la alta incertidumbre de la información de planimetría y altimétrica, ya que la resolución del DEM de 5 m de la cuenca, no aporta la resolución requerida para este tipo de análisis donde la misma debe estar del orden de 1 m o inferior, con geometría aproximada de las profundidades del eje ecológico principal que permita hacer aproximaciones más precisas, a la hora de ejecutar modelos útiles en la toma de decisiones,

permitiendo disminuir el error en la percepción de los valle (zonas bajas) en las planicies de inundación.

Tabla 13 Caracterización resultados generales de la zonificación de amenaza por inundación por municipio

| Municipio | Grado de amenaza | | | | | |
|-----------|------------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| | Alta | | Media | | Baja | |
| | km ² | % Área total | km ² | % Área total | km ² | % Área total |
| Apartadó | 139.77 | 6.35% | 45.08 | 2.05% | 182.41 | 8.29% |
| Carepa | 217.27 | 9.87% | 28.09 | 1.28% | 137.79 | 6.26% |
| Chigorodó | 360.55 | 16.38% | 101.95 | 4.63% | 257.37 | 11.69% |
| Mutató | 140.37 | 6.38% | 50.85 | 2.31% | 258.18 | 11.73% |
| Turbo | 234.72 | 10.66% | 10.76 | 0.49% | 31.04 | 1.41% |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

2.3 AVENIDAS TORRENCIALES (AT)

2.3.1 Descripción de los procesos dominantes asociados a la ocurrencia de avenidas torrenciales

Al entender el fenómeno físico relacionado a la ocurrencia de una avenida torrencial es importante considerar aspectos morfométricos, la velocidad de los caudales y el aporte de material sedimentario e ígneo a los cauces, la cuenca presenta dos márgenes morfométricos diferentes, uno hacia la desembocadura del río León predominantemente de bajas pendientes, poca concentración torrencial, depósitos areníticos y limolíticos, otro hacia la parte alta de la cuenca incluyendo zonas de la Serranía del Abibe, con microcuencas pequeñas, confinadas, con pendientes medias moderadas a levemente escarpadas, altos caudales y transporte de clastos angulares a subredondeados de tamaños considerables.

2.3.2 Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a avenidas torrenciales

La zonificación de la susceptibilidad se realizó a través del análisis de las características morfométricas e hidrológicas de cada sub cuenca y/o microcuenca hidrográfica, identificada y caracterizada dentro de la cuenca hidrográfica del río León.

Para las microcuencas que conforman la sub zona hidrográfica se calculó el Índice de Melton, con el propósito de clasificar la torrencialidad de cada una de ellas. Se empleó la siguiente ecuación y los cálculos hacen parte del mapa de microcuencas:

$$\text{Índice de Melton} = (H_{max} - H_{min}) \times S^{-0.5}$$

Donde $H_{m\acute{a}x}$ y $H_{m\acute{i}n}$ son la cota de altura máxima y mínima de la microcuenca y S , es el área de la microcuenca. De tal forma que una microcuenca presenta torrencialidad cuando el índice de Melton presenta valores superiores a 0,5.

Otra variable a evaluar fue el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), el cual se calculó en éste caso para las microcuencas abastecedoras y representa el grado de

susceptibilidad de una cuenca a presentar eventos de carácter torrencial. Este índice varía cualitativamente desde bajo a muy alto.

Particularmente, el IVET depende de dos variables: El Índice de Variabilidad (IV) y el índice morfométricos descritos a continuación:

$$IV = (\log Qi - \log Qf) / (\log Xi - \log Xf)$$

Donde, Qi y Qf = Dos caudales tomados de la curva de duración de caudales y Xi y Xf = Porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Qi y Qf.

El índice morfométrico se calculó teniendo en cuenta la matriz de relaciones de categorías descritas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, para la metodología ERA que se ilustran en la Tabla 14.

Tabla 14. Relaciones para categorizar índices morfométricos

| Índice morfométrico | Escala | Área de la cuenca km ² | Categorías | | | | |
|---|-----------|-----------------------------------|--|---------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Densidad de drenaje (km/km ²) | 1:100.000 | > 50 | <1.00 | 1,01 - 1,50 | 1,51 - 2,00 | 2,01 - 2,50 | >2,51 |
| | | | Baja | Moderada | Moderada Alta | Alta | Muy Alta |
| Pendiente media de la cuenca (%) | 1:100.000 | > 50 | <15 | 16 - 30 | 31 - 45 | 46 - 65 | > 65 |
| | | | Accidentado | Fuerte | Muy Fuerte | Escarpado | Muy Escarpado |
| Coeficiente de compacidad | | | >1.51 | 1,376 - 1,500 | 1,251 - 1,375 | 1,126 - 1,250 | 1,00 - 1,125 |
| | | | Oval - oblonga a rectangular - oblonga | Oval - redonda a oval - oblonga | Casi redonda a oval - redonda | | |

Fuente: IDEAM, 2013

La correlación de estas tres categorías define el índice morfométrico como se ilustra en la Figura 21.

Figura 21. Relaciones entre variables para el índice morfométrico

| | | Pendiente media de la cuenca | | | | | | |
|---------------------|---|------------------------------|-----|-----|-----|-----|---|----------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| Densidad de drenaje | 1 | 111 | 121 | 131 | 141 | 151 | 1 | |
| | | 112 | 122 | 132 | 142 | 152 | 2 | |
| | | 113 | 123 | 133 | 143 | 153 | 3 | |
| | | 114 | 124 | 134 | 144 | 154 | 4 | |
| | | 115 | 125 | 135 | 145 | 155 | 5 | |
| | 2 | 211 | 221 | 231 | 241 | 251 | 1 | |
| | | 212 | 222 | 232 | 242 | 252 | 2 | |
| | | 213 | 223 | 233 | 243 | 253 | 3 | |
| | | 214 | 224 | 234 | 244 | 254 | 4 | |
| | | 215 | 225 | 235 | 245 | 255 | 5 | |
| | 3 | 311 | 321 | 331 | 341 | 351 | 1 | |
| | | 312 | 322 | 332 | 342 | 352 | 2 | |
| | | 313 | 323 | 333 | 343 | 353 | 3 | |
| | | 314 | 324 | 334 | 344 | 354 | 4 | |
| | | 315 | 325 | 335 | 345 | 355 | 5 | |
| | 4 | 411 | 421 | 431 | 441 | 451 | 1 | |
| | | 412 | 422 | 432 | 442 | 452 | 2 | |
| | | 413 | 423 | 433 | 443 | 453 | 3 | |
| | | | | | | | | Coeficiente de forma |



| | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| 5 | 414 | 424 | 434 | 444 | 454 | 4 |
| | 415 | 425 | 435 | 445 | 455 | 5 |
| | 511 | 521 | 531 | 541 | 551 | 1 |
| | 512 | 522 | 532 | 542 | 552 | 2 |
| | 513 | 523 | 533 | 543 | 553 | 3 |
| | 514 | 524 | 534 | 544 | 554 | 4 |
| | 515 | 525 | 535 | 545 | 555 | 5 |

| | | |
|---|---|---|
| Muy Alta | Baja | Muy Baja |
| Alta | Moderada | |

Fuente: Rivas y Soto, 2009; en IDEAM, 2013

Una vez categorizado tanto el índice morfométrico como el índice de variabilidad (IV), es posible definir (mediante su relación) el Índice de Variabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), como se observa en la Tabla 15.

Tabla 15. Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales IVET

| Índice de variabilidad | Índice morfométrico de torrencialidad | | | | |
|------------------------|---------------------------------------|----------|-------|----------|----------|
| | Muy baja | Baja | Media | Alta | Muy alta |
| Muy baja | Muy baja | Muy baja | Media | Alta | Alta |
| Baja | Baja | Media | Media | Alta | Muy alta |
| Media | Baja | Media | Alta | Alta | Muy alta |
| Alta | Media | Media | Alta | Muy alta | Muy alta |
| Muy alta | Media | Alta | Alta | Muy alta | Muy alta |

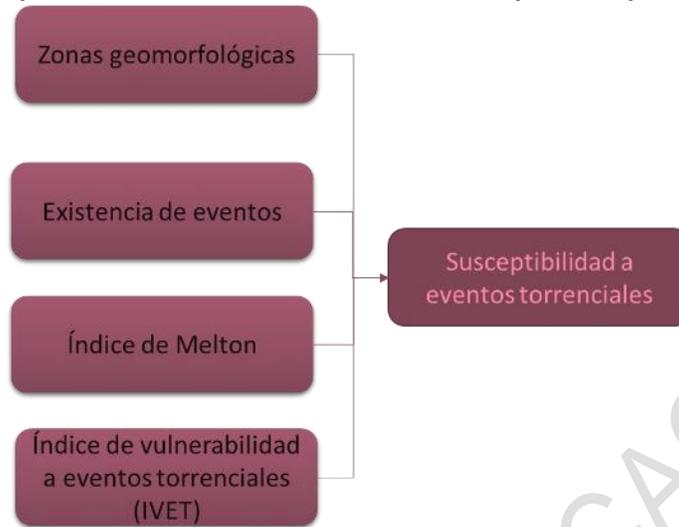
Fuente: IDEAM, 2013

Finalmente, para zonificar la susceptibilidad se utilizan pruebas lógicas de tipo OR en dónde se seleccionan microcuencas con Índice de Melton mayores a 0.3 y zonas que presenten calificaciones de IVET medias, altas y muy altas.

2.3.3 Descripción de las variables para obtener susceptibilidad a avenidas torrenciales

Las variables que se tienen en cuenta para determinar las zonas en las cuales el caudal y la forma puedan generar eventos torrenciales son el Índice de Melton y el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), como se ilustra en la Figura 22.

Figura 22. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales



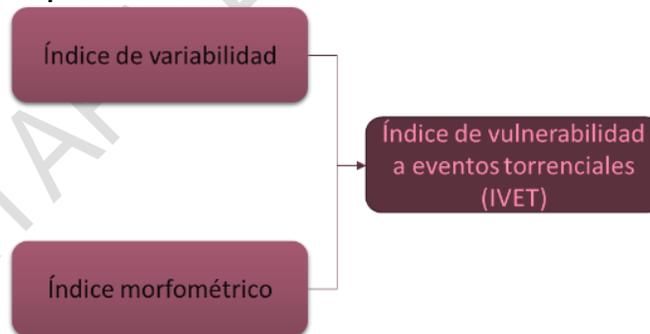
Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

2.3.3.1 Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET)

Hace referencia al grado de susceptibilidad de una cuenca, o en este caso microcuencas y subcuencas, a presentar eventos torrenciales. Este índice depende de dos variables, el índice de variabilidad (IV) y el índice morfométrico, por medio de los cuales se estima la existencia de un evento torrencial (Figura 23).

- Formato: vector.
- Fuente: componentes morfometría, hidrología e hidrografía.

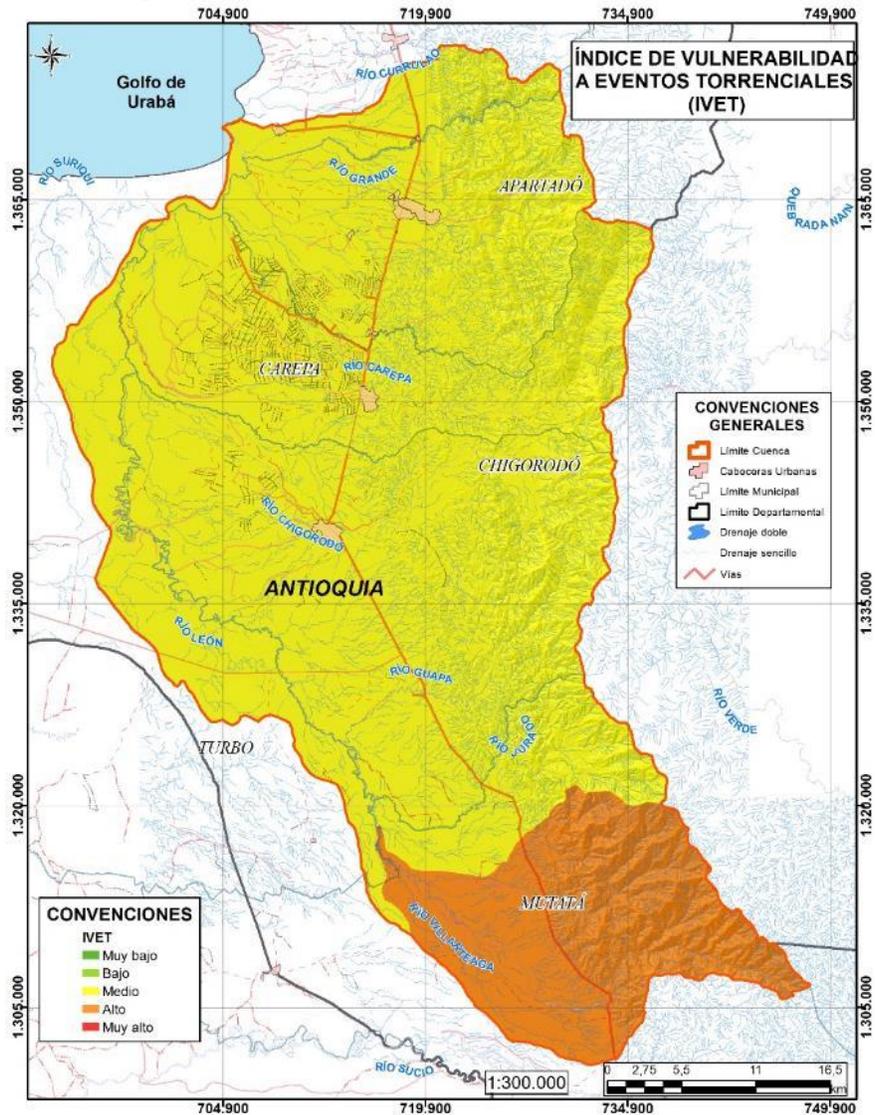
Figura 23. Índices implícitos en el cálculo del índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

2.3.3.1.1 Índice de variabilidad

Figura 27. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales



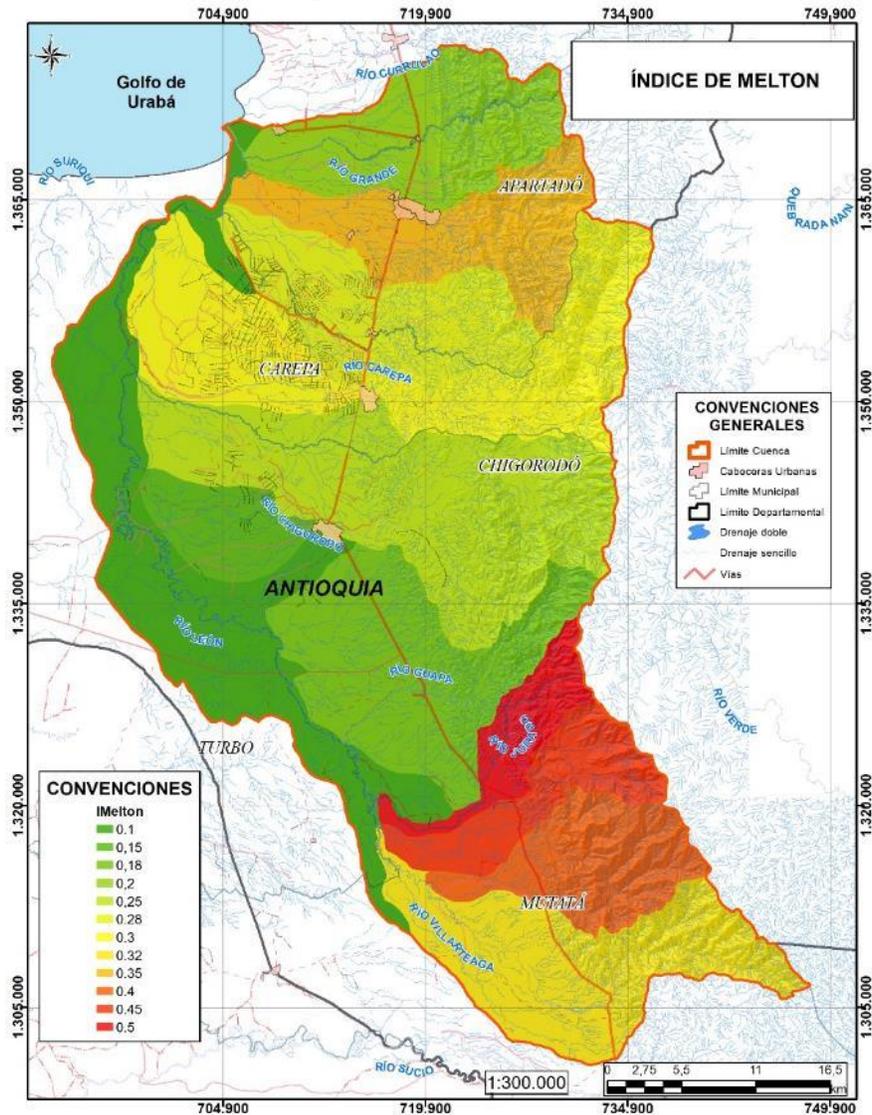
Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

2.3.3.2 Índice de Melton (IMELTON)

Hace referencia al grado de susceptibilidad de una cuenca a presentar eventos torrenciales (calculado en este caso de cada una de las microcuencas). Su importancia radica en que permite estimar la influencia de la morfometría en la posible existencia de un evento torrencial.

- Formato: Vector.
- Fuente: Componentes morfometría, hidrología e hidrografía.

Figura 28. Índice de Melton



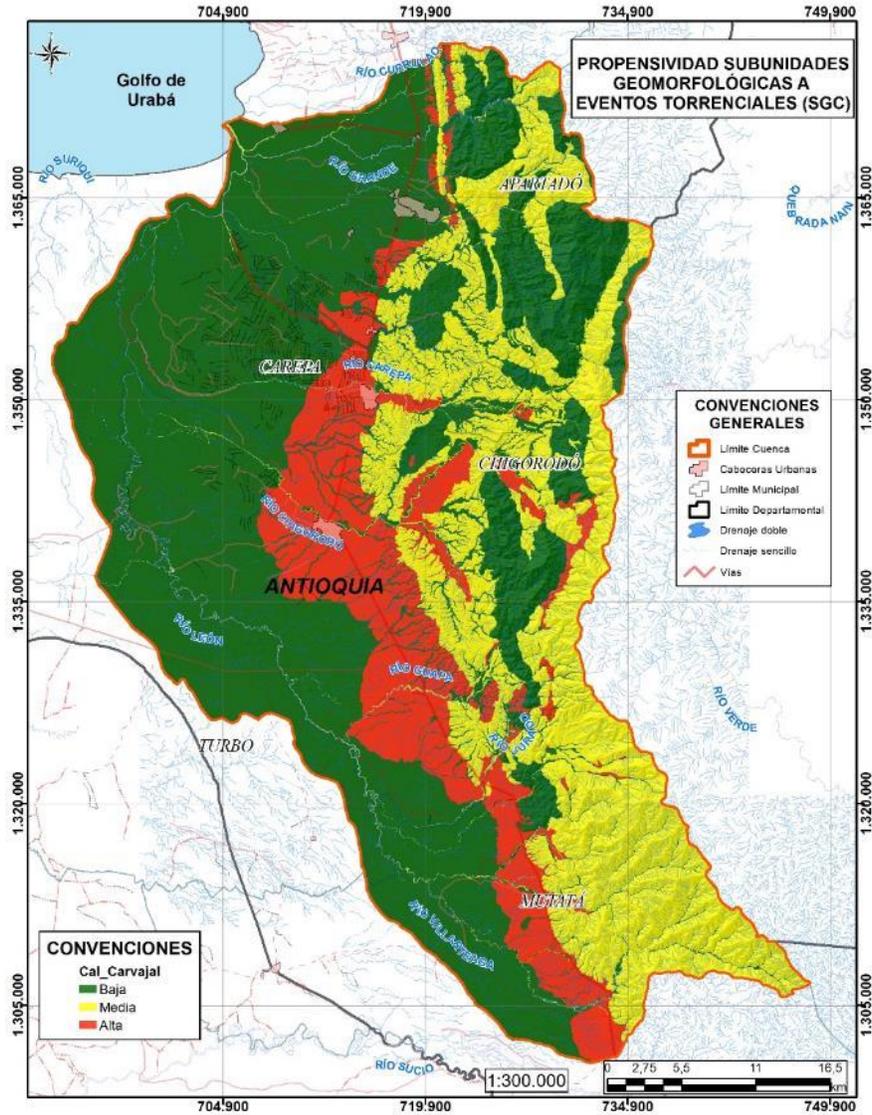
Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

2.3.3.3 Unidades geomorfológicas

Corresponde a geformas generadas a lo largo de un sistema fluvial como resultado de los procesos erosivos y de acumulación torrenciales que varían en función de su pendiente, caudal y carga de sedimentos. Cada subunidad se identifica según el material del depósito, morfogénesis, pendientes, contrastes morfológicos (rugosidad, curvatura, etc.) y cronología (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2012); siendo esta última característica la que permite determinar las áreas susceptibles a presentar un evento torrencial.

Este parámetro fue analizado con base en las unidades geomorfológicas según Carvajal y Zinck (ver Figura 29, Figura 30, Tabla 16 y Tabla 17), definidas por el consultor para el área de la cuenca hidrográfica del río León.

Figura 29. Propensividad de subunidades geomorfológicas a eventos torrenciales



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

Tabla 16. Propensividad de subunidades geomorfológicas a eventos torrenciales

| ID_UN_GEOM | SUBUNIDAD GEOMORFOLOGICA | CALIFI |
|------------|----------------------------|--------|
| Ase | Excavaciones | Media |
| Dcred | Colina remanente disectada | Media |
| Dcrem | Cerro remanente o relicto | Media |
| Dld | Loma denudada | Media |
| Dlde | Lomo denudado | Media |
| Dldi | Lomeríos disectados | Media |
| Dle | Ladera erosiva | Baja |
| Dlmd | Lomeríos muy disectados | Alta |
| Dlpd | Lomeríos poco disectados | Baja |
| Dsd | Sierra denudada | Media |
| Faa | Abanico aluvial | Alta |
| Faaa | Abanico aluvial antiguo | Media |

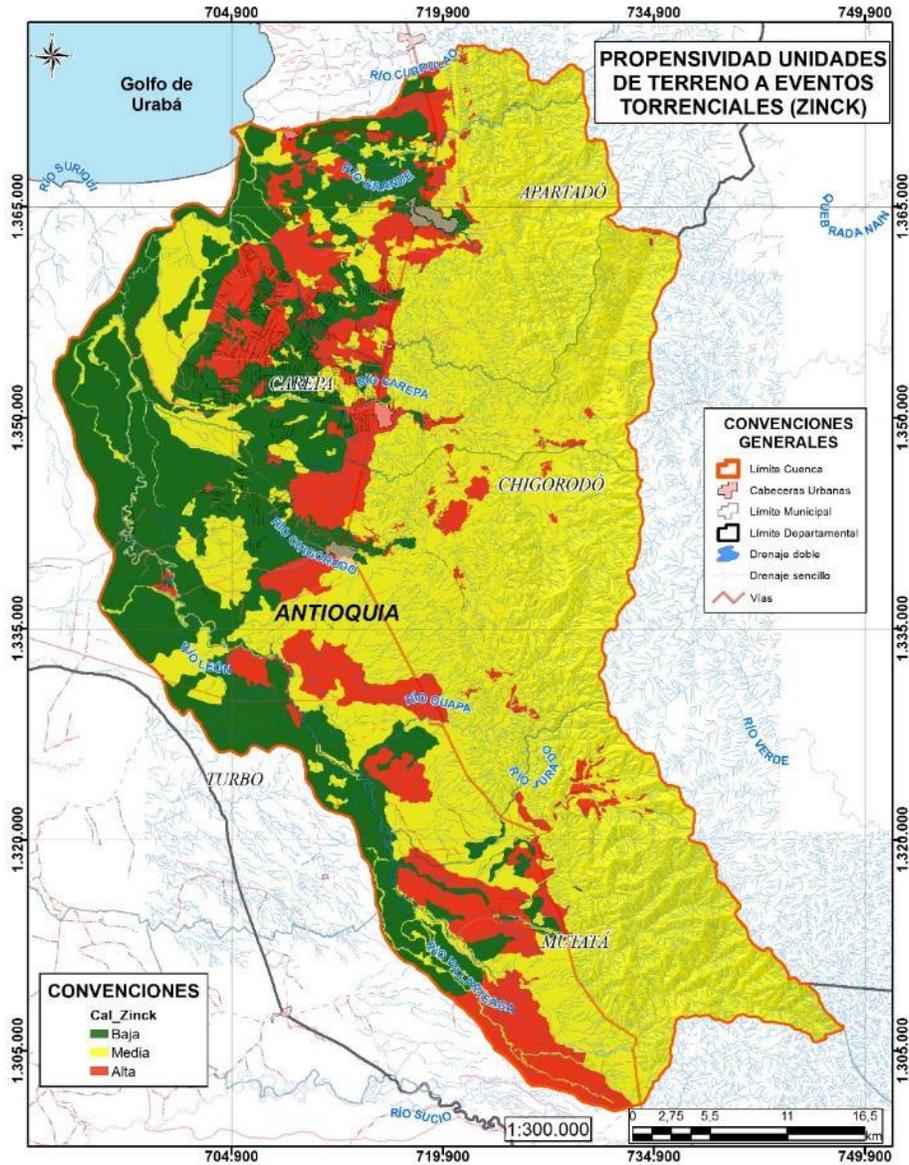


| ID_UN_GEOM | SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA | CALIFI |
|------------|--|--------|
| Faas | Abanico aluvial sub-reciente | Media |
| Fbc | Barra compuesta | Baja |
| Fbp | Barra puntual | Baja |
| Fca | Cauce aluvial | Media |
| Fdc | Divagación de cauce activo | Baja |
| Fdd | Delta de desborde natural | Baja |
| Fea | Escarpe de abanico fluvial | Media |
| Flg | Laguna | Baja |
| Fma | Meandro abandonado | Baja |
| Fpa | Plano anegadizo | Baja |
| Fpi | Plano o llanura de inundación | Baja |
| Fpla | Planicie y delta lacustrino | Baja |
| Fta | Terraza de acumulación | Media |
| Ftae | Escarpe de terraza de acumulación | Media |
| Ftas | Terraza de acumulación sub-reciente | Media |
| Mcpy | Complejo de crestas y artesas de playa | Baja |
| Sbh | Barra homoclinal | Baja |
| Sces | Colina estructural | Baja |
| Sclc | Ladera de contrapendiente de cuesta | Baja |
| Scle | Ladera estructural de cuesta | Media |
| Se | Espinazo | Media |
| Ses | Espolón | Media |
| Sl | Lomos | Baja |
| Ss | Sierra | Baja |
| Ssan | Sierra anticlinal | Baja |
| Ssh | Sierra homoclinal | Baja |
| Sshlc | Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal | Baja |
| Sshle | Ladera estructural de sierra homoclinal | Media |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN

Figura 30. Propensividad de unidades del terreno a eventos torrenciales



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

Tabla 17. Propensividad de subunidades geomorfológicas a eventos torrenciales

| FORMA DE TERRENO | CAL |
|--|-------|
| Zonas urbanas | Baja |
| Abanico de explayamiento | Alta |
| Albardón de río | Media |
| Barra prelitoral o de antecosta (con cresta y surco) | Media |
| Cauce colmatado | Baja |
| Cubeta de decantación | Baja |
| Cubeta de desbordamiento | Alta |
| Depresión lateral | Baja |
| Eje de explayamiento | Media |
| Glacis coluvial | Alta |



| FORMA DE TERRENO | CAL |
|--|-------|
| Ladera | Media |
| Llano de marea lodoso (con slikke-schorre) | Baja |
| Napa de desbordamiento | Baja |
| Napa de explayamiento | Media |
| Orillar (point bar) | Baja |
| Terraceta | Media |
| Valle colgante (garganta) | Media |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

2.3.3.4 Eventos (LOC_AT)

La existencia de eventos torrenciales marca el valor de existencia de la misma y describe zonas susceptibles a presentar una avenida torrencial ya que han ocurrido dentro de la cuenca.

La consolidación de esta información se realiza a partir de la revisión de fuentes secundarias y primarias en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia. Permite identificar zonas de susceptibilidad por avenidas torrenciales basada en la frecuencia de ocurrencia, que al integrarse con las zonas de susceptibilidad y relacionarlas con la geomorfología y factores morfométricos permite definir la zonificación de la susceptibilidad.

Este parámetro fue analizado con ayuda de la base de datos recolectada en campo. La información se maneja en formato vector tipo polígono y se categoriza de acuerdo a su recurrencia (alta, menor a 15 años; media, entre 15 y 50 años, y baja, mayor a 50 años) como se observa en la Tabla 18.

Tabla 18. Categorización de la recurrencia de los eventos de avenidas torrenciales

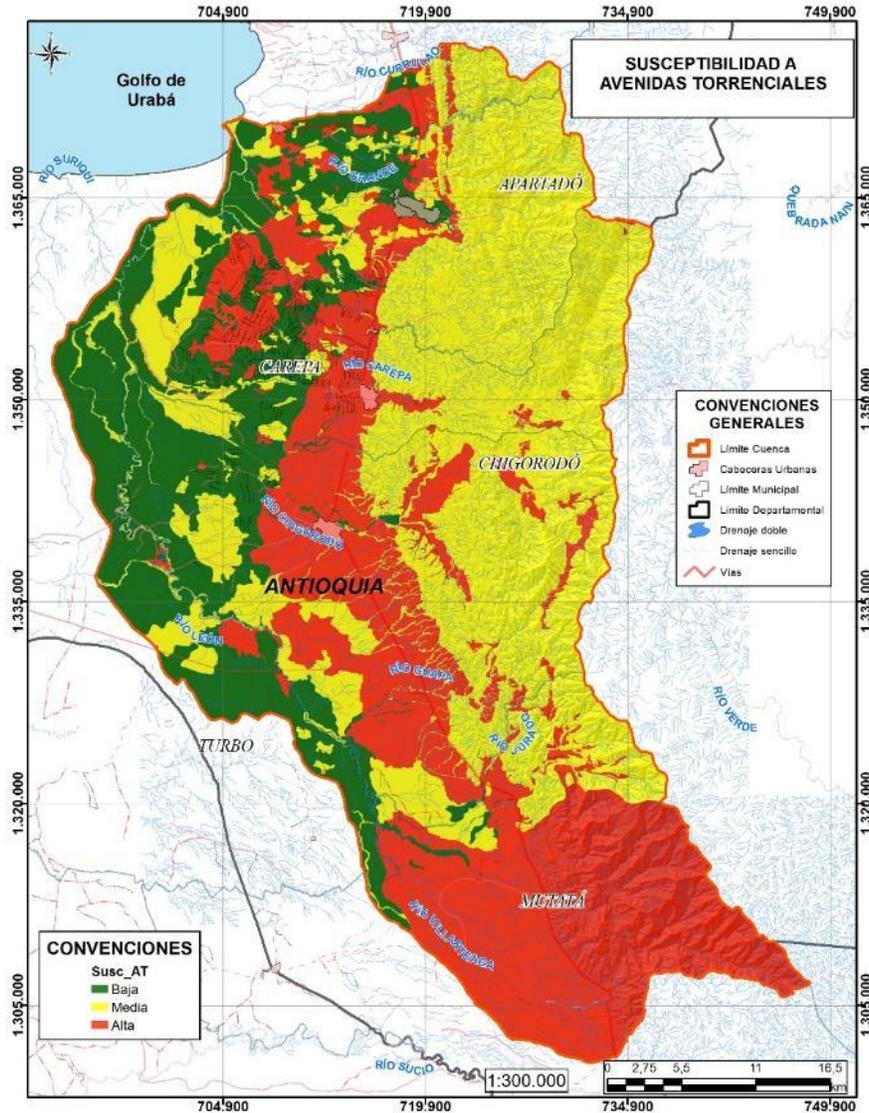
| TEMPORALIDAD DEL EVENTO HISTÓRICO | CLASIFICACIÓN | |
|-----------------------------------|---------------|--|
| Menor a 15 años | Alta | |
| Entre 15 y 50 años | Media | |
| Mayor a 50 años | Baja | |

Fuente: Protocolo de incorporación de la Gestión del riesgo, 2015

2.3.4 Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a eventos torrenciales

Con base en los valores del Índice de Melton, el índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET), la existencia de subunidades geomorfológicas relacionadas con eventos de avenidas torrenciales y la presencia de eventos históricos, se categoriza en general a todas las microcuencas que componen la cuenca hidrográfica del río León con susceptibilidad alta (35,6%, 78272,6 ha) y media (43,5%, 95708,45ha) en su mayoría por avenidas torrenciales discretizada en algunos sectores por criterios geomorfológicos con susceptibilidad baja (21%, 46156,73 ha), subcuencas que serán evaluadas en el análisis de esta amenaza.

Figura 31. Susceptibilidad a eventos torrenciales



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

2.3.5 Descripción metodológica para obtener amenaza por avenidas torrenciales

La zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales se realizó con el propósito de determinar el grado de sedimentación necesaria para generar una avenida torrencial. La zonificación de la amenaza se efectuó en los siguientes pasos:

- Clasificar los drenajes de las microcuencas o subcuencas calificadas con susceptibilidad media, alta y muy alta.
- Identificar y calificar los drenajes (fase líquida) de las subcuencas con susceptibilidad a eventos torrenciales con la influencia de amenaza por movimientos en masa en las laderas con potencial de aportar materiales (fase sólida) a las crecientes torrenciales.
- Identificar el punto de inflexión de la pendiente en donde ya no exista avance de material torrencial.

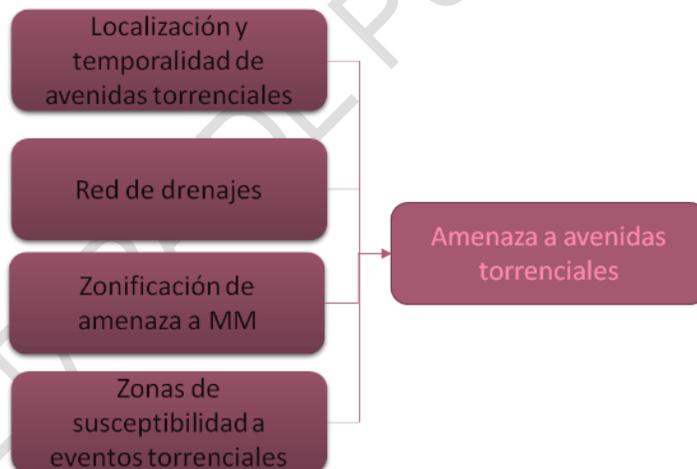
- Luego de tener la zonificación torrencial se realiza una modelación semicuantitativa para determinar el comportamiento geométrico de la avenida torrencial en cada cauce (GEOTRIE, 2017) y la extensión de la misma.
- Finalmente se realiza la descripción de la zonificación de la amenaza a avenidas torrenciales.

Cada uno de los drenajes que conforma las microcuencas susceptibles a eventos torrenciales se calificó según la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, como factor que permite identificar la existencia de carga de sedimentación que podría contribuir a la ocurrencia del fenómeno estudiado y la condición de pendiente evalúa hasta donde podría haber energía para el transporte del material torrencial generado en cuencas con morfometría torrencial.

2.3.6 Descripción de las variables para obtener susceptibilidad a avenidas torrenciales

Las variables que se tuvieron en cuenta para definir la amenaza a avenidas torrenciales en la cuenca hidrográfica del río León fueron la localización de las zonas susceptibles a eventos torrenciales, la categorización del mapa de amenaza por movimientos en masa, el inventario de procesos con su respectiva recurrencia y los cuerpos de agua de la cuenca hidrográfica (ver Figura 32).

Figura 32. Variables para la modelación de la amenaza por avenidas torrenciales



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

2.3.6.1 Localización de Avenidas Torrenciales (LAT)

Los fenómenos localizados y evaluados son todos aquellos que hacen parte del inventario producto de la recopilación e identificación de avenidas torrenciales en la cuenca hidrográfica del río León. Estos registros son fundamentales pues a partir de ellos se castiga y valida la zonificación de amenaza.

Las avenidas torrenciales históricas (AVTORHIST) son el consolidado de la revisión de fuentes secundarias, en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de

puntos o zonas de referencia (trabajadas en formato vector tipo punto) y la información extraída de la visita de campo.

2.3.6.2 Avenidas Torrenciales Históricas (AVTORHIST)

La consolidación de esta información se realiza a partir de la revisión de fuentes secundarias, en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia. Permite identificar zonas de amenaza por avenidas torrenciales basada en la frecuencia de ocurrencia, que al integrarse con las zonas de susceptibilidad y relacionarlas con la zonificación de amenaza por movimientos en masa permite definir la zonificación de la amenaza.

Este parámetro fue analizado con ayuda de la base de datos recolectada en campo. La información se maneja en formato vector tipo punto y se categoriza de acuerdo a su recurrencia (alta, menor a 15 años; media, entre 15 y 50 años, y baja, mayor a 50 años) como se observa en la Tabla 19.

Tabla 19. Categorización de la recurrencia de los eventos de avenidas torrenciales

| TEMPORALIDAD DEL EVENTO HISTÓRICO | CLASIFICACIÓN |
|-----------------------------------|---------------|
| Menor a 15 años | Alta |
| Entre 15 y 50 años | Media |
| Mayor a 50 años | Baja |

Fuente: Protocolo de incorporación de la Gestión del riesgo, 2015.

2.3.6.3 Zonas de susceptibilidad a avenidas torrenciales

Proviene de la zonificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales en las categorías media y alta descritas en el capítulo anterior, la información se maneja en formato vector tipo polígono.

2.3.6.4 Zonificación de amenaza a movimientos en masa

Si bien es claro que una avenida torrencial es el producto de un flujo hiperconcentrado de detritos, rocas y otros materiales que se puedan arrastrar a lo largo de una corriente de agua es importante aclarar que la avenida torrencial tiene limitaciones de espacio y causalidad (no se presenta una avenida torrencial en donde no haya aporte de material mediante un movimiento en masa, la avenida torrencial sólo se produce a lo largo del cuerpo de agua) razón por la cual es importante tener en cuenta la zonificación de amenaza a movimientos en masa descrita en el capítulo del análisis de la zonificación por dicha amenaza, la información se maneja en formato vector tipo polígono.

2.3.7 Análisis de la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales

Una vez identificada la susceptibilidad a avenidas torrenciales, las microcuencas pueden ser calificadas con amenaza media o alta en función de la existencia y temporalidad de eventos históricos.

La amenaza por avenidas torrenciales no es propia de la microcuenca sino del cuerpo de agua directamente calificado como torrencial. Por lo tanto, para calificar la amenaza en los

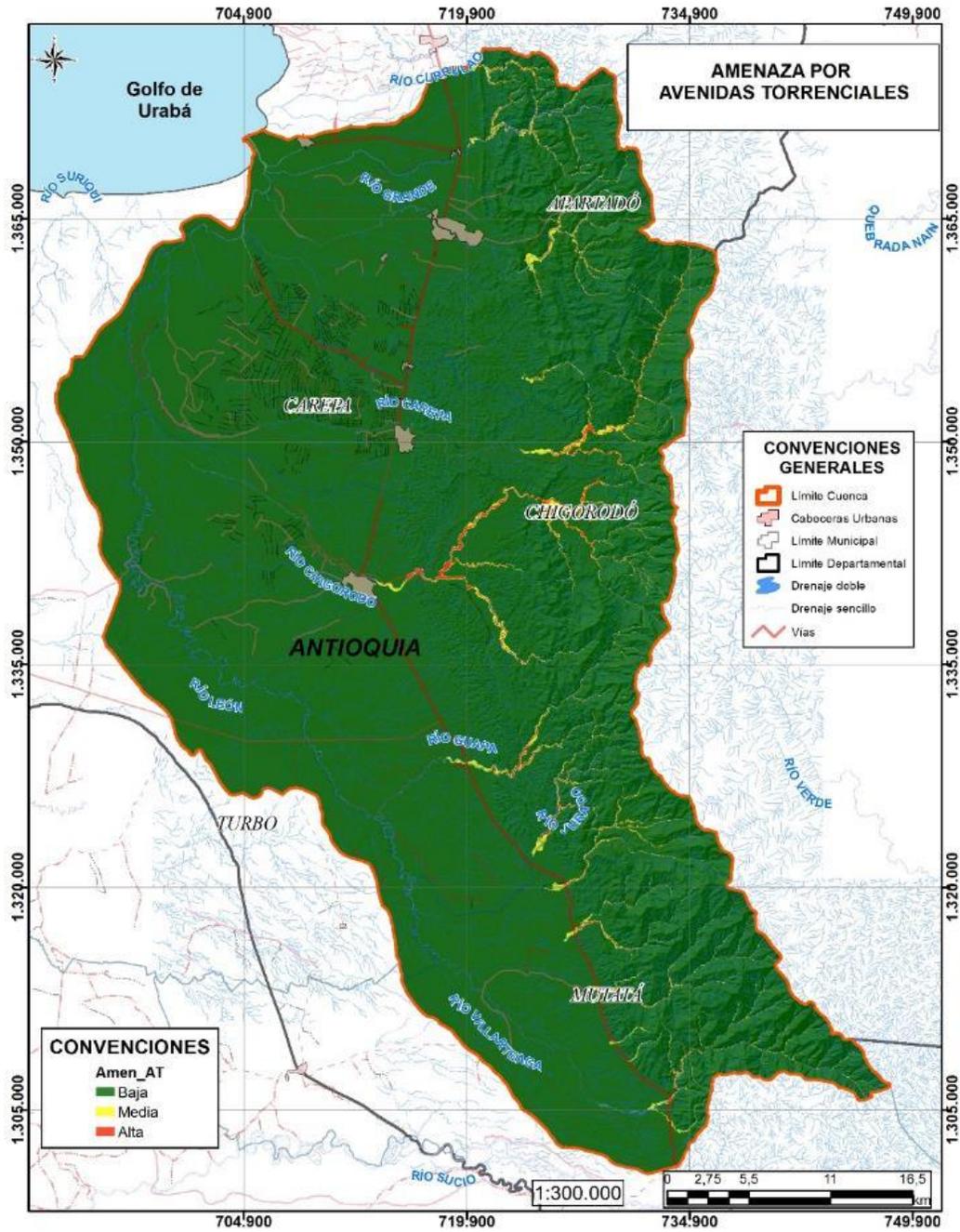
cuerpos de agua se debe tener en cuenta la susceptibilidad encontrada de la microcuenca, la influencia de la amenaza por movimientos en masa y la pendiente del terreno.

Los cuerpos de agua que tengan susceptibilidad media, alta o muy alta y que al tiempo se relacionen con zonas de amenaza media o alta por movimientos en masa, se califican con amenaza media o alta por avenidas torrenciales y baja si tienen alguna susceptibilidad pero se relacionan con amenaza baja por movimientos en masa. Para finalizar la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales se tiene en cuenta el resto del área no contemplada en la zonificación por este tipo de fenómeno amenazante y se califica con amenaza baja (98%, 215696,5ha).

Los drenajes de la cuenca alta, principalmente de los municipios de Carepa presentan una calificación de amenaza alta (0,7%, 1567,7 ha), y hacia el norte de la cuenca drenajes con condiciones de torrencialidad media. Es importante indicar que se deben evaluar aquellas subcuencas y cuerpos de agua que han quedado zonificados con amenaza alta para determinar a una escala mayor la influencia de las fases sólidas en cada uno de ellos. Sobre todo zonas propensas morfológicamente a presentar un evento torrencial aun cuando no exista un reporte histórico de la misma.

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN

Figura 33. Amenaza por avenidas torrenciales



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

2.4 INCENDIOS FORESTALES (IF)

Según información del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial cada año en Colombia se ven afectadas en promedio 42.000 hectáreas por causa de incendios forestales (MAVDT, 2010).

Los incendios de coberturas vegetales son eventos que impactan de una manera en ocasiones irreversibles las condiciones de las cuencas hidrográficas, en general están asociados a descuidos y malos hábitos de las personas, pero su propagación se hace casi incontenible cuando se presentan condiciones biofísicas particulares. Constituyen sucesos que afectan la ecología, la economía, los medios de vida y la seguridad de las comunidades, por lo cual su consideración es indispensable, de manera que se establezcan medidas de prevención, mitigación y concientización sobre los efectos y requerimientos de mejores prácticas en el manejo de las coberturas vegetales nativas y/o exóticas.

En el departamento de Antioquia, la afectación por incendios es recurrente aunque sus valores sean en número y afectación muy diferente a lo largo de las diferentes vigencias.

2.4.1 Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a incendios forestales

La zonificación de la susceptibilidad se realizó a través del análisis de las características intrínsecas de la vegetación y los ecosistemas (carga de combustibles, disposición y combustibilidad), que le brindan cierto grado de probabilidad de incendiarse, propagar y mantener el fuego dentro de la cuenca hidrográfica del río León dentro de la metodología establecida por el IDEAM en el Protocolo para La realización de mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011) y lo establecido en los Términos de Referencia para el desarrollo del POMCA, la escala de trabajo ha sido adaptada a 1:25.000 y el proceso metodológico ha sido ajustado de acuerdo a la disponibilidad de información y a las características particulares que fueron valoradas independientemente, aplicando obteniendo calificaciones y a partir de estas, zonificaciones parciales en términos de mayor o menor probabilidad de ser afectadas o de facilitar o dificultar la formación y/o propagación de incendios en la cobertura vegetal presente en el área objeto de estudio.

Luego de calificar y categorizar las variables implícitas en la evaluación de la susceptibilidad de la cobertura vegetal a sufrir un incendio forestal se normalizan éstas variables para facilitar el proceso de la implementación de la función de pesos para dicho modelo.

2.4.2 Descripción de las variables para el cálculo de susceptibilidad a incendios forestales

La susceptibilidad de la cobertura vegetal, se analiza mediante la identificación y valoración de la condición pirogénica de la vegetación, según lo propuesto en el modelo de combustibles desarrollado para Colombia por Páramo, 2007.

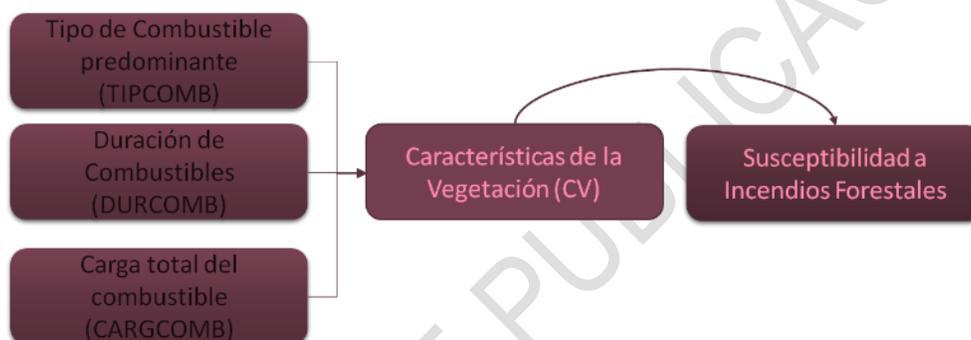
El modelo de combustibles representa la condición pirogénica de la vegetación colombiana, aspecto clave en la evaluación del comportamiento de nuestros ecosistemas frente al fuego, tanto en el inicio de un incendio, como en la modelación del comportamiento del fuego, en

caso de presentarse eventos de esta índole (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011)

El modelo de combustibles implementado, se estructuró mediante una clasificación jerárquica, conformada por los siguientes factores:

- Tipo de combustible vegetal predominante por bioma y ecosistema: Tipo de cobertura t vegetal y biotipo dominante.
- Duración del tipo de combustible dominante: duración en horas de cada tipo de t combustible, definidos en horas de ignición (1 hr, 10 hr, 100 hr).
- Carga total de combustibles: caracterización cualitativa dependiente de la correlación de la altura en metros, cobertura en valores porcentuales, biomasa aérea en Ton/ha.

Figura 34. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad de la cobertura vegetal a sufrir incendios forestales



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

2.4.2.1 Características de la Vegetación (CV)

2.4.2.1.1 Tipo de Combustible (TIPCOMB)

El tipo de combustible predominante (TIPCOMB) corresponde a la reclasificación del material vegetal vivo (predominante), en relación con la resistencia que éste puede tener a la combustión de acuerdo con su contenido de humedad, composición química, etc. Por lo tanto puede variar entre no combustibles a combustibles pesados (Parra Lara, 2011).

- Formato: vector tipo Polígono.
- Fuente: cobertura vegetal, Consultor.

Este parámetro fue analizado con base en la interpretación de la cobertura vegetal definidas por el Consorcio para el área de la cuenca hidrográfica del río León.

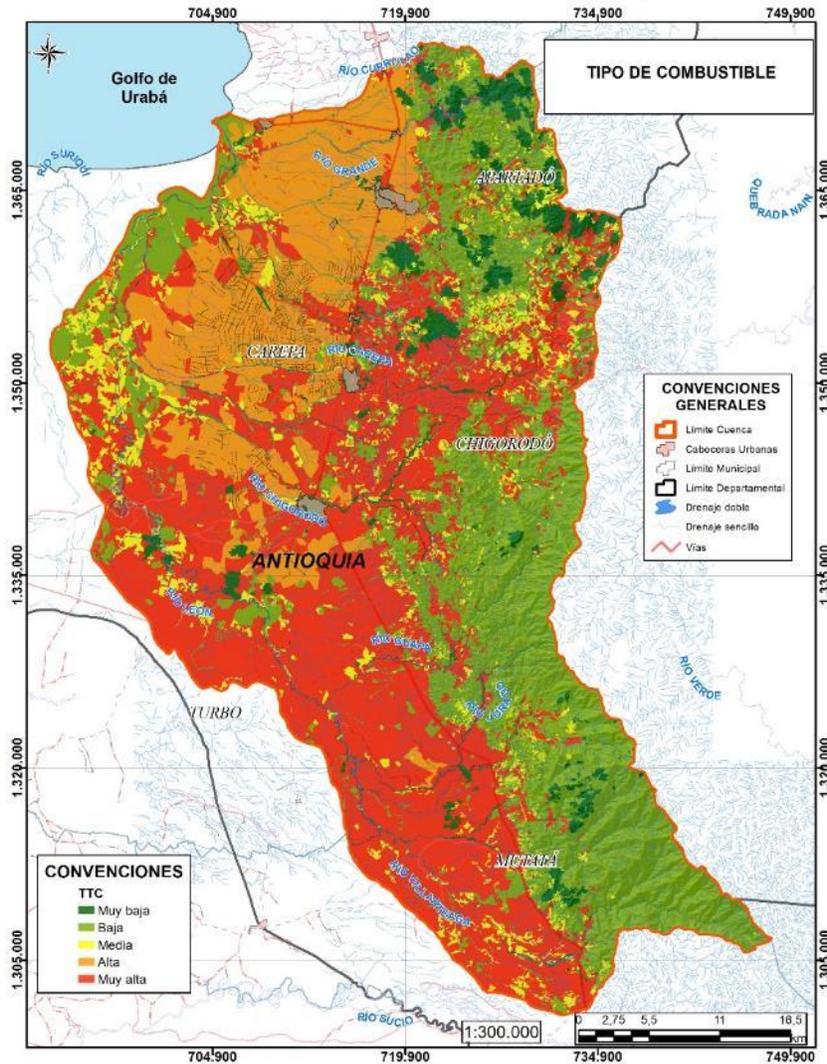
Tabla 20. Calificación de tipo de combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca

| NOMENCLAT | COBERTURA | TIPO DE COMBUSTIBLE | CALIFICACIÓN TIPCOMB | CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD |
|-----------|----------------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------|
| 111 | Tejido urbano continuo | Áreas urbanas | 1 | Muy baja |
| 112 | Tejido urbano discontinuo | Áreas urbanas | 1 | Muy baja |
| 121 | Zonas industriales o comerciales | No combustibles | 1 | Muy baja |

| NOMENCLAT | COBERTURA | TIPO DE COMBUSTIBLE | CALIFICACIÓN TIPCOMB | CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD |
|-----------|---|---------------------|----------------------|------------------------------|
| 123 | Zonas portuarias | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 124 | Aeropuertos | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 1315 | Explotación de materiales de construcción | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 141 | Zonas verdes urbanas | Pastos | 5 | Muy alta |
| 2121 | Arroz | Hierbas | 4 | Alta |
| 2152 | Yuca | Hierbas | 4 | Alta |
| 2211 | Otros cultivos permanentes herbáceos | Hierbas | 4 | Alta |
| 2213 | Plátano y banano | Hierbas | 4 | Alta |
| 2221 | Otros cultivos permanentes arbustivos | Arbustos | 4 | Alta |
| 2223 | Cacao | Arbustos | 4 | Alta |
| 2232 | Palma de aceite | Arboles | 2 | Baja |
| 231 | Pastos limpios | Pastos | 5 | Muy alta |
| 232 | Pastos arbolados | Pastos | 5 | Muy alta |
| 233 | Pastos enmalezados | Pastos | 5 | Muy alta |
| 242 | Mosaico de pastos y cultivos | Pastos/hierbas | 5 | Muy alta |
| 2431 | Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos | Pastos/hierbas | 5 | Muy alta |
| 2441 | Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos | Pastos/hierbas | 5 | Muy alta |
| 2442 | Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos | Pastos/hierbas | 5 | Muy alta |
| 31111 | Bosque denso alto de tierra firme | Arboles | 2 | Baja |
| 311121 | Bosque denso alto inundable heterogéneo | Arboles | 2 | Baja |
| 311123 | Palmar | Arboles | 3 | Moderada |
| 31121 | Bosque denso bajo de tierra firme | Arboles | 2 | Baja |
| 31122 | Bosque denso bajo inundable | Arboles | 2 | Baja |
| 31211 | Bosque abierto alto de tierra firme | Arboles | 2 | Baja |
| 31212 | Bosque abierto alto inundable | Arboles | 2 | Baja |
| 31311 | Bosque fragmentado alto con pastos y cultivos | Arboles | 2 | Baja |
| 31321 | Bosque fragmentado alto con vegetación secundaria | Arboles | 2 | Baja |
| 3141 | Bosque de galería alto | Arboles | 2 | Baja |
| 3142 | Bosque de galería bajo | Arboles | 2 | Baja |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

Figura 35. Calificación de tipo de combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

2.4.2.1.2 Duración de los combustibles (DURCOMB)

Corresponde a la reclasificación de la vegetación de acuerdo a la duración del proceso de ignición que puede tener cada tipo de cobertura vegetal, a partir de características como la humedad y el área foliar, pues la dificultad de control sobre un incendio es mayor cuando la cobertura se quema más rápido, es decir cuando la rapidez de ignición del combustible es mayor. Por lo tanto se reclasifica la vegetación desde no combustibles hasta combustibles con duración para su ignición entre 1 hora, 10 horas y 100 horas (Parra Lara, 2011).

- Formato: vector tipo Polígono.
- Fuente: clasificación del tipo de cobertura vegetal.

Este parámetro fue analizado con base en el tipo de cobertura definida para el área de la cuenca hidrográfica del río León interpretada y suministrada por el equipo consultor.

Tabla 21. Calificación de la duración del combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca

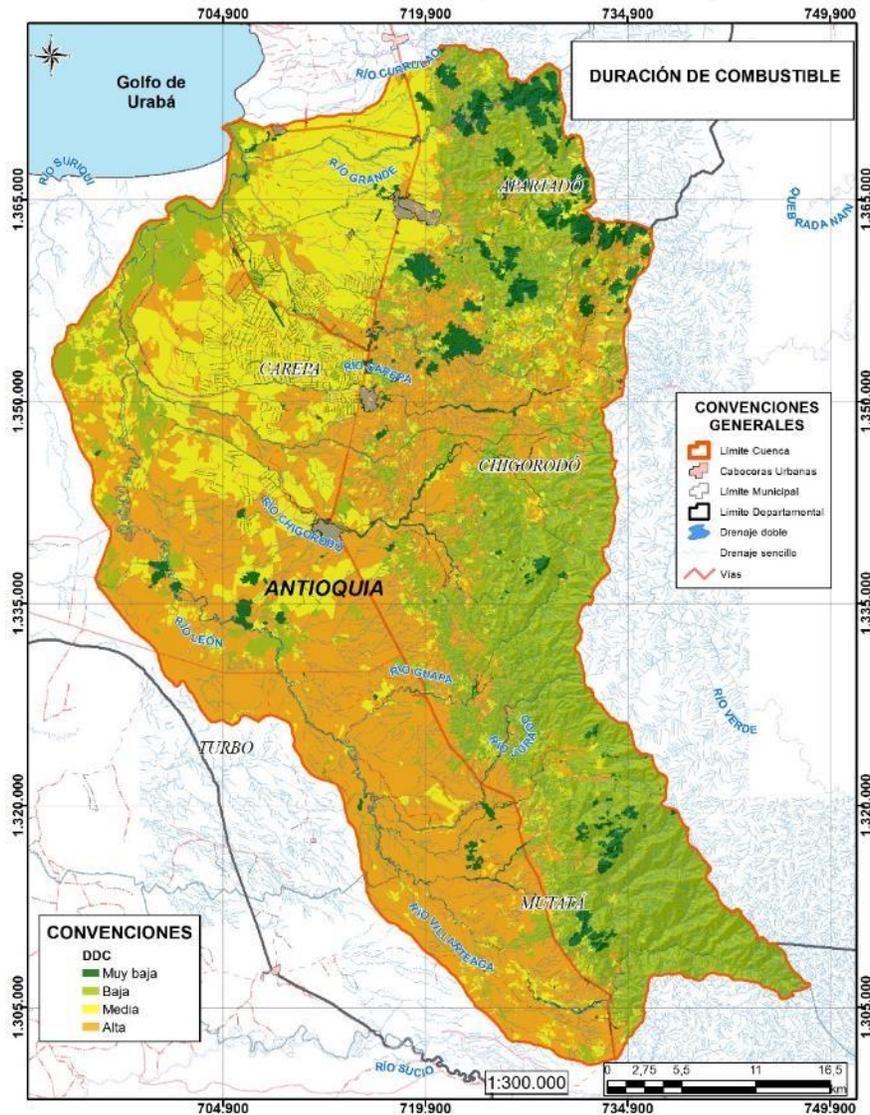
| NOMENCLAT | COBERTURA | DURACIÓN DEL COMBUSTIBLE | CALIFICACIÓN DDC | CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD |
|-----------|---|--------------------------|------------------|------------------------------|
| 111 | Tejido urbano continuo | Áreas urbanas | 1 | Muy baja |
| 112 | Tejido urbano discontinuo | Áreas urbanas | 1 | Muy baja |
| 121 | Zonas industriales o comerciales | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 123 | Zonas portuarias | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 124 | Aeropuertos | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 1315 | Explotación de materiales de construcción | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 141 | Zonas verdes urbanas | 1 hora | 4 | Alta |
| 2121 | Arroz | 10 horas | 3 | Moderada |
| 2152 | Yuca | 10 horas | 3 | Moderada |
| 2211 | Otros cultivos permanentes herbáceos | 10 horas | 3 | Moderada |
| 2213 | Plátano y banano | 10 horas | 3 | Moderada |
| 2221 | Otros cultivos permanentes arbustivos | 10 horas | 3 | Moderada |
| 2223 | Cacao | 10 horas | 3 | Moderada |
| 2232 | Palma de aceite | 100 horas | 2 | Baja |
| 231 | Pastos limpios | 1 hora | 4 | Alta |
| 232 | Pastos arbolados | 1 hora | 4 | Alta |
| 233 | Pastos enmalezados | 1 hora | 4 | Alta |
| 242 | Mosaico de pastos y cultivos | 1 hora | 4 | Alta |
| 2431 | Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos | 1 hora | 4 | Alta |
| 2441 | Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos | 1 hora | 4 | Alta |
| 2442 | Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos | 1 hora | 4 | Alta |
| 31111 | Bosque denso alto de tierra firme | 100 horas | 2 | Baja |
| 311121 | Bosque denso alto inundable heterogéneo | 100 horas | 2 | Baja |
| 311123 | Palmar | 101 horas | 3 | Moderada |
| 31121 | Bosque denso bajo de tierra firme | 100 horas | 2 | Baja |
| 31122 | Bosque denso bajo inundable | 100 horas | 2 | Baja |
| 31211 | Bosque abierto alto de tierra firme | 100 horas | 2 | Baja |
| 31212 | Bosque abierto alto inundable | 100 horas | 2 | Baja |

| NOMENCLAT | COBERTURA | DURACIÓN DEL COMBUSTIBLE | CALIFICACIÓN DDC | CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD |
|-----------|---|--------------------------|------------------|------------------------------|
| 31311 | Bosque fragmentado alto con pastos y cultivos | 100 horas | 2 | Baja |
| 31321 | Bosque fragmentado alto con vegetación secundaria | 100 horas | 2 | Baja |
| 3141 | Bosque de galería alto | 100 horas | 2 | Baja |
| 3142 | Bosque de galería bajo | 100 horas | 2 | Baja |
| 3152 | Plantación de latifoliadas | 100 horas | 2 | Baja |
| 321123 | Arracachal | 10 horas | 3 | Moderada |
| 32121 | Herbazal abierto arenoso | 11 horas | 4 | Alta |
| 3231 | Vegetación secundaria alta | 10 horas | 3 | Moderada |
| 3232 | Vegetación secundaria baja | 10 horas | 3 | Moderada |
| 3331 | Tierras erosionadas | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 3332 | Remoción en masa | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 334 | Zonas quemadas | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 411 | Zonas pantanosas | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 413 | Vegetación acuática sobre cuerpos de agua | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 421 | Pantanos costeros | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 511 | Ríos | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 522 | Mares y océanos | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 99 | Sin información | No combustibles | 1 | Muy baja |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN

Figura 36. Calificación de la duración del combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

2.4.2.1.3 Carga total de combustible (CARGCOMB)

Se refiere al peso aproximado (relacionado con el grado de compactación y continuidad) de cada cobertura vegetal que corresponde al combustible predominante, asociado con sus características de altura, cobertura, biomasa y humedad de la vegetación, de acuerdo con un análisis multicriterio desarrollado en la metodología planteada por Parra Lara (2011) en el tomo 1 de su libro Incendios de la cobertura vegetal en Colombia.

- Formato: vector tipo polígono.
- Fuente: clasificación del tipo de cobertura vegetal.

Este parámetro fue analizado con base en el tipo de cobertura definida para el área de la cuenca hidrográfica del río León interpretada y suministrada por el equipo consultor.

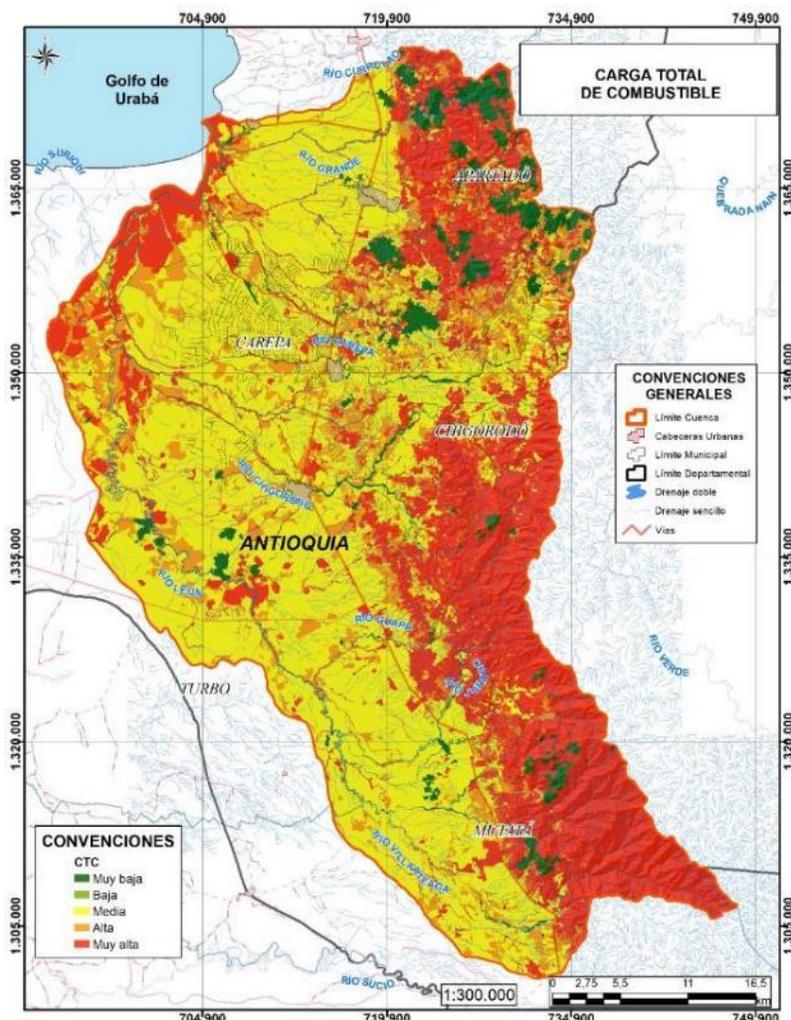
Tabla 22. Calificación de la carga total del combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca

| NOMENCLAT | COBERTURA | CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLE | CALIFICACIÓN CARGCOMB | CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD |
|-----------|---|---------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 111 | Tejido urbano continuo | Áreas urbanas (menos de 1 t/ha) | 2 | Baja |
| 112 | Tejido urbano discontinuo | Áreas urbanas (menos de 1 t/ha) | 2 | Baja |
| 121 | Zonas industriales o comerciales | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 123 | Zonas portuarias | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 124 | Aeropuertos | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 1315 | Explotación de materiales de construcción | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 141 | Zonas verdes urbanas | Baja (1-50 t/ha) | 3 | Moderada |
| 2121 | Arroz | Baja (1-50 t/ha) | 3 | Moderada |
| 2152 | Yuca | Baja (1-50 t/ha) | 3 | Moderada |
| 2211 | Otros cultivos permanentes herbáceos | Baja (1-50 t/ha) | 3 | Moderada |
| 2213 | Plátano y banano | Baja (1-50 t/ha) | 3 | Moderada |
| 2221 | Otros cultivos permanentes arbustivos | Moderada (50-100 t/ha) | 4 | Alta |
| 2223 | Cacao | Moderada (50-100 t/ha) | 4 | Alta |
| 2232 | Palma de aceite | Muy alta (más de 100 t/ha) | 5 | Muy alta |
| 231 | Pastos limpios | Baja (1-50 t/ha) | 3 | Moderada |
| 232 | Pastos arbolados | Baja (1-50 t/ha) | 3 | Moderada |
| 233 | Pastos enmalezados | Baja (1-50 t/ha) | 3 | Moderada |
| 242 | Mosaico de pastos y cultivos | Moderada (50-100 t/ha) | 4 | Alta |
| 2431 | Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos | Moderada (50-100 t/ha) | 4 | Alta |
| 2441 | Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos | Moderada (50-100 t/ha) | 4 | Alta |
| 2442 | Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos | Moderada (50-100 t/ha) | 4 | Alta |
| 31111 | Bosque denso alto de tierra firme | Muy alta (más de 100 t/ha) | 5 | Muy alta |
| 311121 | Bosque denso alto inundable heterogéneo | Muy alta (más de 100 t/ha) | 5 | Muy alta |

| NOMENCLAT | COBERTURA | CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLE | CALIFICACIÓN CARGCOMB | CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD |
|-----------|---|----------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 311123 | Palmar | Muy alta (más de 100 t/ha) | 3 | Media |
| 31121 | Bosque denso bajo de tierra firme | Muy alta (más de 100 t/ha) | 5 | Muy alta |
| 31122 | Bosque denso bajo inundable | Muy alta (más de 100 t/ha) | 5 | Muy alta |
| 31211 | Bosque abierto alto de tierra firme | Muy alta (más de 100 t/ha) | 5 | Muy alta |
| 31212 | Bosque abierto alto inundable | Muy alta (más de 100 t/ha) | 5 | Muy alta |
| 31311 | Bosque fragmentado alto con pastos y cultivos | Muy alta (más de 100 t/ha) | 5 | Muy alta |
| 31321 | Bosque fragmentado alto con vegetación secundaria | Muy alta (más de 100 t/ha) | 5 | Muy alta |
| 3141 | Bosque de galería alto | Muy alta (más de 100 t/ha) | 5 | Muy alta |
| 3142 | Bosque de galería bajo | Muy alta (más de 100 t/ha) | 5 | Muy alta |
| 3152 | Plantación de latifoliadas | Muy alta (más de 100 t/ha) | 5 | Muy alta |
| 321123 | Arracachal | Baja (1-50 t/ha) | 3 | Moderada |
| 32121 | Herbazal abierto arenoso | Baja (1-50 t/ha) | 4 | Alta |
| 3231 | Vegetación secundaria alta | Moderada (50-100 t/ha) | 4 | Alta |
| 3232 | Vegetación secundaria baja | Moderada (50-100 t/ha) | 4 | Alta |
| 3331 | Tierras erosionadas | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 3332 | Remoción en masa | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 334 | Zonas quemadas | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 411 | Zonas pantanosas | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 413 | Vegetación acuática sobre cuerpos de agua | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 421 | Pantanos costeros | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 511 | Ríos | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 522 | Mares y océanos | No combustibles | 1 | Muy baja |
| 99 | Sin información | No combustibles | 1 | Muy baja |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

Figura 37. Calificación de la carga total del combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

2.4.3 Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a incendios forestales

Para el análisis de la caracterización de las coberturas vegetales susceptibles a incendios forestales en la cuenca hidrográfica del río León, el modelo de susceptibilidad se obtuvo por medio de la integración de la información referente a los factores condicionantes de la vegetación a sufrir un proceso de ignición (Carga total combustible, duración y tipo del combustible), por medio de la integración (cruce) de todas variables calificadas de la vegetación susceptible a incendios forestales.

Con base en las zonas susceptibles a incendios forestales se agrupa en tres categorías (agrupando alta y muy alta, baja y muy baja), en general la cuenca hidrográfica del río León con 86409,32 hectáreas en susceptibilidad alta (39,3% aproximado), 121144,59 hectáreas en susceptibilidad media (55%) y 12583,89 hectáreas en susceptibilidad baja (5,7%) por incendios forestales (ver Figura 38).

Los pastos que se caracterizan por ser un tipo de vegetación de alta carga, buena combustión y duración de la misma. Los bosques con espacios naturales y la vegetación secundaria alta y baja son coberturas con un combustible de media a baja categoría de susceptibilidad y moderada duración de carga de combustión. Los cultivos presentan un tipo de combustible de categoría moderada y una duración de combustión moderada a baja. Basados en estos valores, la cuenca presenta una cobertura vegetal moderadamente susceptible a inicio de eventos de ignición y a su posterior propagación por la presencia de materiales que se caracterizan por tener una carga alta de material combustible los cuales son de larga duración de ignición. Los bosques, pastos y vegetación secundaria categorizados como la vegetación que aportan los aumentos más altos en los valores de la susceptibilidad, se encuentran localizados primordialmente en las zonas bajas, sin muchas variaciones topográficas y cercanas a los caudales principales, coincidiendo con la zona de mayor susceptibilidad a incendios forestales por condiciones climáticas (precipitación y clima).

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN

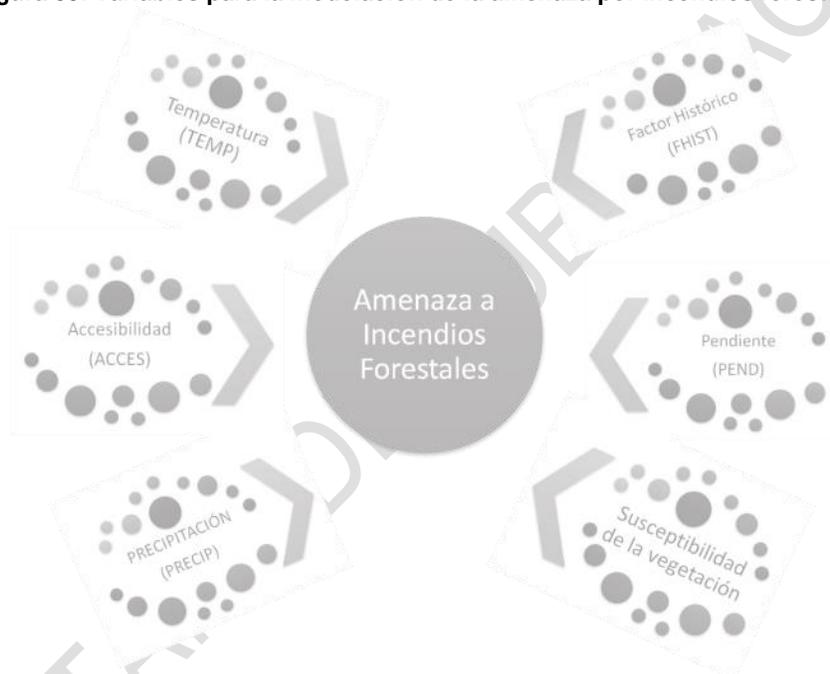
$$\text{AMENAZA_IF} = (\text{SUSCEPTIBILIDAD} * 0.17) + (\text{TEMPERATURA} * 0.25) + (\text{PRECIPITACIÓN} * 0.25) + (\text{ACCESIBILIDAD} * 0.03) + (\text{PENDIENTES} * 0.03) + (\text{FACTOR HISTÓRICO} * 0.2259)$$

Finamente, se procede a realizar el análisis de la zonificación de la amenaza por incendios forestales para la cuenca del río León.

2.4.5 Descripción de las variables de amenaza por incendios forestales

Las variables que se tuvieron en cuenta para definir la amenaza a incendios forestales en la cuenca hidrográfica del río León aquellos factores que contribuyen y detonan un evento por este tipo de amenaza (ver Figura 39).

Figura 39. Variables para la modelación de la amenaza por incendios forestales



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

2.4.5.1 Precipitación (PRECIP)

Como fue descrita en la susceptibilidad, las bajas precipitaciones presentan una importante relación con la ocurrencia de incendios (Moreno Rodríguez, Rodríguez-Urbieta, Zabala Espiñeira, & Martín, 2015), e incluida dentro de la amenaza por participar como un factor detonante. La precipitación corresponde a una característica cuantitativa que mide la cantidad de lluvia en milímetros acumulada r, esta variable tiene una alta importancia dentro de la susceptibilidad para incendios forestales ya que en la medida en que un territorio tenga épocas secas prolongadas presenta un aumento en la tasa de incendios forestales registrados.

Tabla 23. Indicador precipitación

| PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm) | CATEGORÍA DE AMENAZA | CALIFICACIÓN |
|--------------------------------|----------------------|--------------|
| 1000-2000 mm | Alta | 4 |
| 3000-7000mm | Moderada | 3 |
| >7000 mm | Baja | 2 |

Fuente: IDEAM, 2011

2.4.5.2 Temperatura (TEMP)

Como fue descrita en la susceptibilidad, las altas temperaturas presentan una importante relación con la ocurrencia de incendios (Moreno Rodriguez, Rodriguez-Urbieta, Zabala Espiñeira, & Martín, 2015), e incluida dentro de la amenaza por participar como un factor detonante. La temperatura corresponde a una característica cualitativa que mide el grado de calor, esta variable tiene una alta importancia dentro de la susceptibilidad para incendios forestales debido a que "las radiaciones térmicas producidas por su aumento, al llegar a una longitud de onda determinada, producen un fenómeno luminoso que se conoce como llama." (Dirección General de Protección Civil y emergencias - España, s.f.). Esta variable se trabaja sobre la temperatura media anual de acuerdo con la disponibilidad de información.

Figura 42. Características del clima (Temperatura) en función a la amenaza a incendios forestales.



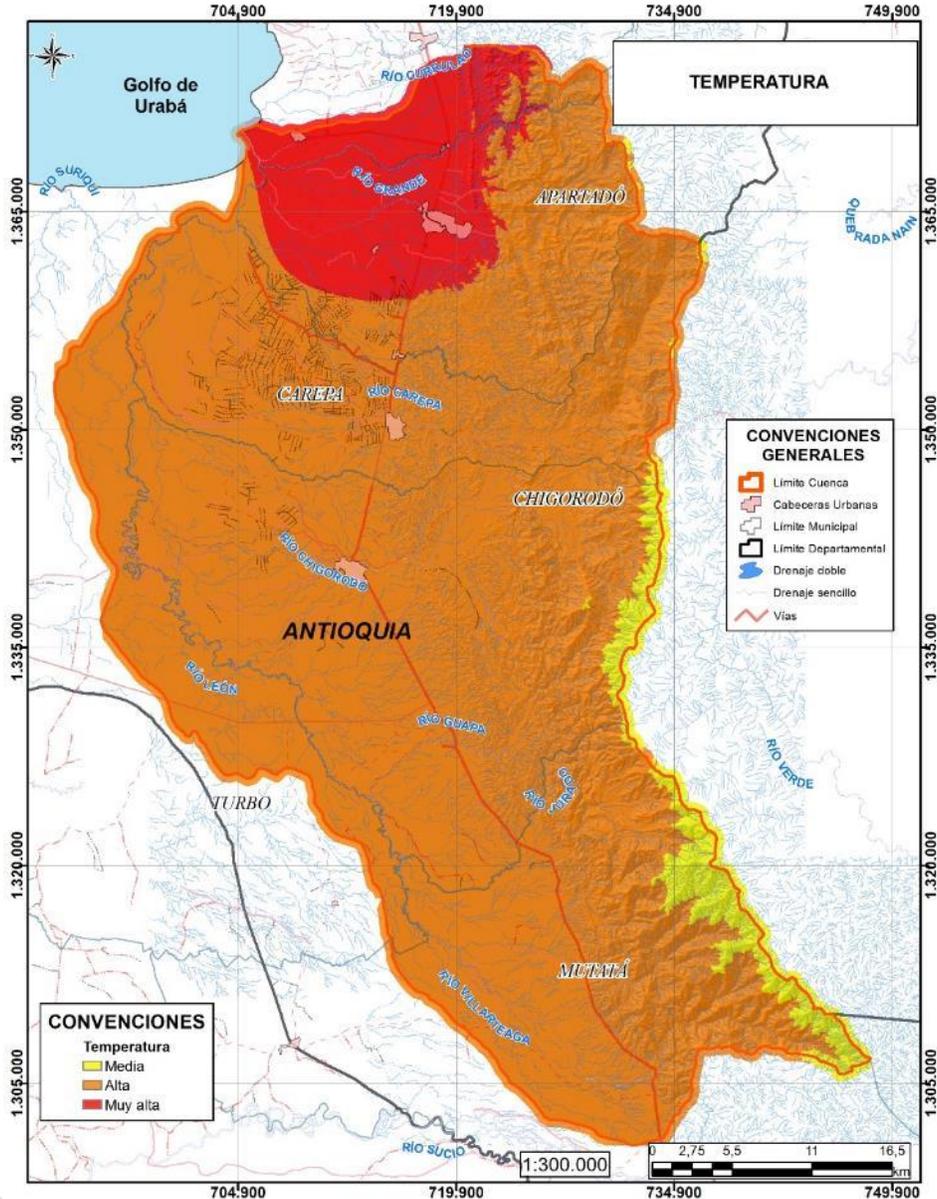
Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

Tabla 24. Indicador temperatura.

| TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C) | CATEGORÍA DE AMENAZA | CALIFICACIÓN |
|--------------------------------|----------------------|--------------|
| Extremadamente frío (<1.5 – 6) | Muy baja | 1 |
| Muy frío (6 – 12) | Baja | 2 |
| Frío (12 – 18) | Moderada | 3 |
| Templado (18 – 24) | Alta | 4 |
| Cálido (> 24) | Muy alta | 5 |

Fuente: IDEAM, 2011

Figura 43. (Temperatura) en función a la amenaza a incendios forestales



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

2.4.5.3 Pendiente (PEND)

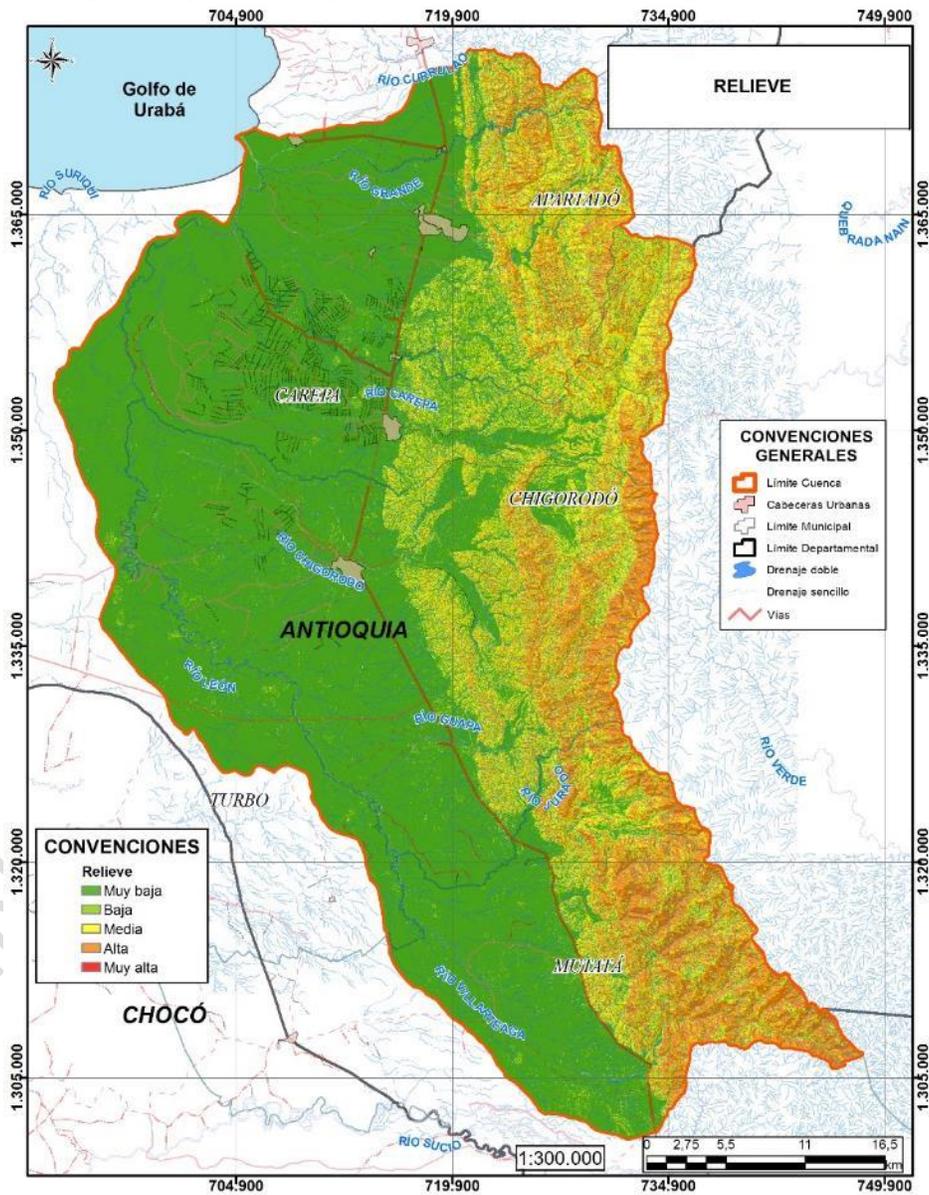
La Tasa de dispersión (TDISP) es la variable asociada directamente con la pendiente (PEND), con la que se busca evaluar la inclinación del suelo, cuyo aumento presenta una relación con la ampliación del área del incendio o la llamada tasa de dispersión del fuego (Butler, Anderson, & Catchpo, 2007), a mayores pendientes la propagación del fuego se acelera debido a que las llamas tienen una mayor proximidad a los combustibles (como la materia vegetal), el precalentamiento del combustible es más rápido y se genera con más facilidad la columna de convección (Boulandier, Esparza, Garayoa, Orta, & Anitua, 2001).

Figura 44. Características topográficas (pendiente) en función a la amenaza a incendios forestales.



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

Figura 45. (PENDIENTE) en función a la amenaza a incendios forestales



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

Tabla 25. Indicador tasa de dispersión.

| PENDIENTE MEDIA (%) | CATEGORÍA DE AMENAZA | CALIFICACIÓN |
|---------------------|----------------------|--------------|
| 0 – 7 | Muy baja | 1 |
| 7– 12 | Baja | 2 |
| 12 – 25 | Moderada | 3 |
| 25 – 75 | Alta | 4 |
| >75 | Muy alta | 5 |

Fuente: IDEAM, 2011

2.4.5.4 Accesibilidad (ACCES)

La accesibilidad en este caso se mide como la distancia a vías corresponde a las zonas en las que por el paso de las vías se concibe presencia antrópica por la facilidad de acceso que genera, y el área es determinada mediante la obtención de la densidad vial de acuerdo con la influencia que esta presenta para cada pixel, adicionalmente se tiene en cuenta el tipo de vía, asignándole un peso de 5 a las de más alta categoría y disminuyendo una unidad por cada tipo. Este factor se considera parte de la amenaza, debido a que aumenta la probabilidad de que la población pueda llegar a las áreas de cobertura vegetal y generar focos de incendio.

- Formato: vector tipo polígono.
- Fuente: IGAC escala 25.000.

Figura 46. Características de proximidad (ACCES) en función a la amenaza a incendios forestales.



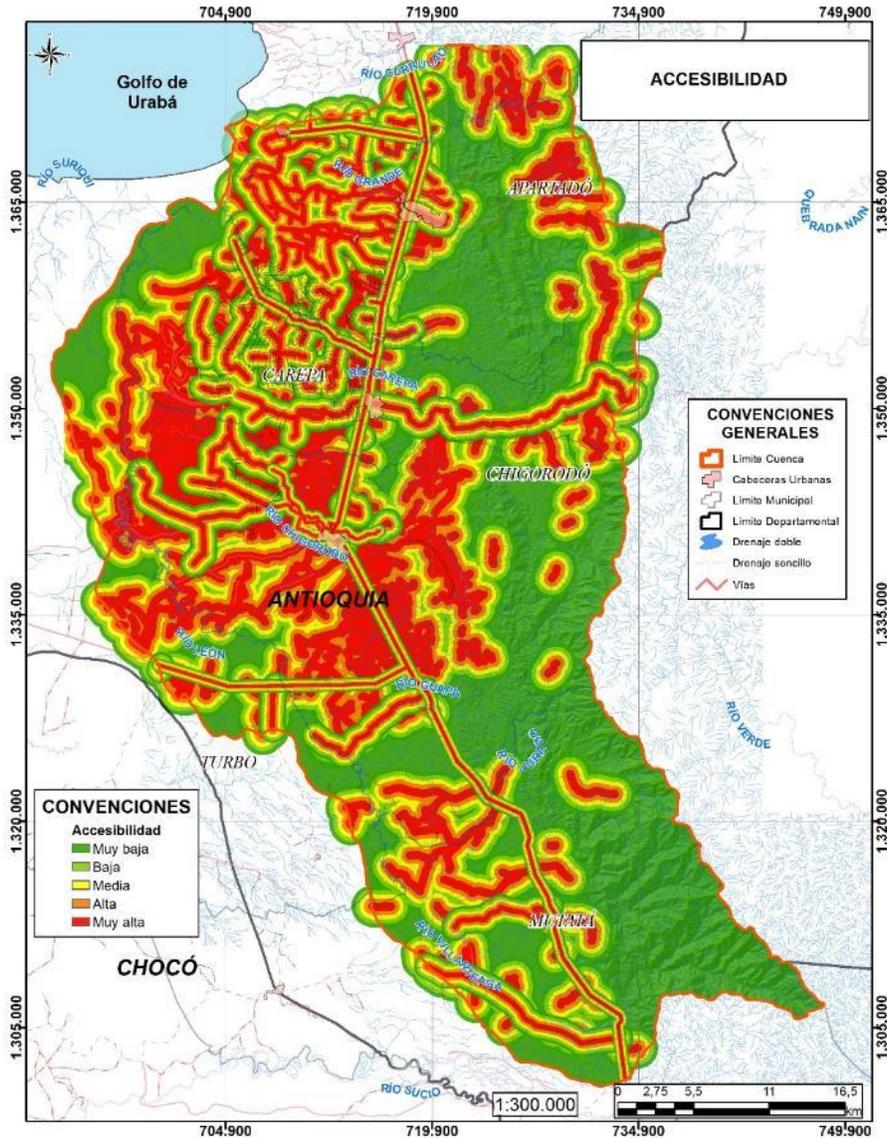
Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

Tabla 26. Indicador distancia a vías.

| DISTANCIA A LA VÍA | | | CATEGORÍA DE AMENAZA | CALIFICACIÓN |
|--------------------|-------------|-------------|----------------------|--------------|
| Primaria | Secundaria | Terciaria | | |
| 0-200 | 0 - 600 | 0-1000 | Muy Alta | 5 |
| 200 - 300 | 600 - 900 | 1000 - 1500 | Alta | 4 |
| 300-400 | 900 - 1200 | 1500-2000 | Moderada | 3 |
| 400 - 500 | 1200 - 1500 | 2000 - 2500 | Baja | 2 |
| Más de 500 | Más de 1500 | Más de 2500 | Muy Baja | 1 |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

Figura 47. (ACCES) en función a la amenaza a incendios forestales



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

2.4.5.5 Factor Histórico (FHIST)

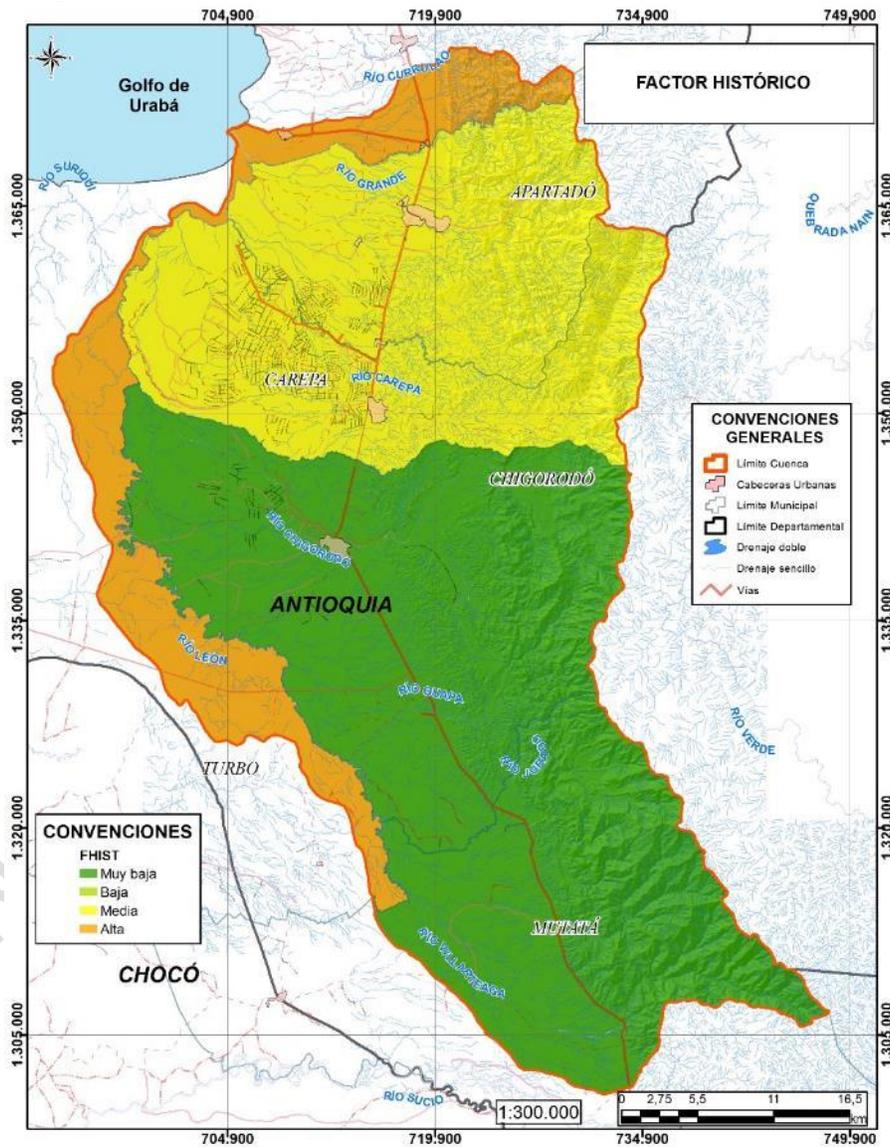
La incorporación de información del carácter histórico sobre los incendios forestales en la evaluación de la amenaza se realiza a partir de la consolidación de la información se realiza a partir de la revisión de fuentes secundarias, en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia. Permite identificar eventos de incendios forestales basados en la frecuencia de ocurrencia y la causalidad o afectación de los mismos descritos con mayor detalle el capítulo de análisis de eventos por incendios forestales.

Figura 48. Factor histórico en función a la amenaza a incendios forestales



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

Figura 49. Factor Histórico en función a la amenaza a incendios forestales



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

Tabla 27. Indicador de frecuencia de incendios

| | 1998 | 2015 | 2012 | 2014 | Frecuencia | Fhist |
|-----------|------|------|------|------|------------|--------|
| Apartadó | 3 | | 2 | 2 | 0,4375 | 2,1875 |
| Carepa | 5 | | 2 | 1 | 0,5 | 2,5 |
| Chigorodó | 1 | 1 | | | 0,125 | 0,625 |
| Mutatá | 2 | | | | 0,125 | 0,625 |
| Turbo | | 3 | 6 | 2 | 0,6875 | 3,4375 |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2017

2.4.6 Análisis de la zonificación de la amenaza a incendios forestales

En virtud de los factores condicionantes y detonantes a la ocurrencia de un incendio forestal sumados a la susceptibilidad de la vegetación a presentar un evento de ignición se obtiene el mapa de amenaza a incendios forestales para la cuenca hidrográfica del río León (ver Figura 50), la amenaza alta a incendios de la cobertura vegetal se concentra en la cuenca baja, en el resto de la cuenca media y en algunos sectores y cuerpos de agua baja, obteniendo el 17,42% del área de la cuenca en una categoría alta. El 67,31% del total de la cuenca se encuentra en amenaza media a incendios forestales. Finalmente, la amenaza baja, corresponde a áreas localizadas en la cuenca baja que coinciden con el curso de los ríos León, Chigorodó y Carepa y una pequeña zona alta de la cuenca alta en los municipios de Apartadó y Turbo del sector nororiental de la cuenca alta.

Los factores que más contribuyen a zonificación de amenaza en la cuenca son en orden de incidencia la susceptibilidad de la vegetación, (alta, muy alta y moderada en menor proporción), accesibilidad (moderada), pendiente (moderada), la temperatura (mayor a los 24 grados centígrados en el sector norte entre 18 y 24 grados en el resto de la cuenca), precipitación (baja en casi toda la cuenca y moderada en el sector más sur de la misma) y factor histórico predominantemente alto a moderado.

Dado que la cuenca hidrográfica cuenta con calificaciones de amenaza por incendios forestales media y alta se debe tener en cuenta esta como una de las amenazas a priorizar dentro de la ejecución de planes orientados a la mitigación del riesgo.

DECRETO 1420. (Julio de 24 de 1998).

Dirección General de Protección Civil y emergencias - España. (s.f.). www.proteccioncivil.org. Recuperado el 2016, de <http://www.proteccioncivil.org/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum12/vdm010.htm>

Glade , T., & Crozier, M. (2005). A review of scale dependency in landslide. Chichester: Wiley.

Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., & Galli, A. M. (2005). Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology*, 272 -299.

IDEAM. (2016 йил 03-08). IDEAM. From Amenazas de Inundación: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2011). Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000. IDEAM, Bogotá, D. C.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). IDEAM. Recuperado el 2016, de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/susceptibilidad-de-las-coberturas>.

Luengas, J., Perico, N. (2017). Criterios complementarios para evaluación de amenazas y riesgos en escalas regionales para ordenamiento territorial. Biblioteca GEOTRIE Ciencias e Ingeniería. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación de manejo de cuencas hidrográficas POMCAS. Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014 йил Noviembre). Protocolo para La Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, F. d. (2014). Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.

Moreno Rodriguez, J. M., Rodriguez-Urbieta, I., Zabala Espiñeira, G., & Martín, M. (2015). Impactos del Cambio Climático en Castilla - La Mancha. Toledo, Toledo: Fundación General de Medio Ambiente.

Parra Lara, A. d. (2011). Incendios de la cobertura vegetal. Cali, Colombia.

Portilla, M. (2001). Aplicación de los Sistemas de Lógica Difusa en la Evaluación de la Susceptibilidad a Fenómenos de Remoción en Masa. *Geología Colombiana*, v. 26, pp. 189 - 205.

Portilla, M. (2012). Notas de clase de amenaza. En S. N. Minería, Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades andinas, 2007: Movimientos en masa de la

Región Andina: Una guía para la evaluación de amenaza. Bogotá D.C, Colombia: Maestría en Ciencias - geología. UN - Sede Bogotá.

Perico, N. (2017). Caracterización del escenario de riesgo por movimientos en masa en Bogotá. Concepto de revisión de susceptibilidad a movimientos en masa por métodos estadísticos para Bogotá. IDIGER, Bogotá, Colombia.

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, págs. 9 - 26.

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2012). Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá D.C.

SGC - SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2012). Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá D.C. 56 p.

SGC -Servicio Geológico Colombiano. (2012). Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá D.C.

Turcotte, D., & Malamud, B. (2000). Cellular - automata models applied to natural hazards. IEEE Computing Science and Engineering, 42 - 51.

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN