



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES  
MAESTRÍA EN: MANEJO DE CUENCAS



**SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DE CRECIDAS EN LAS SUBCUENCAS  
DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO MOCOTÍES  
EN EL MUNICIPIO ANTONIO PINTO SALINAS, VENEZUELA.**  
Trabajo presentado como requisito para optar al Título de Magíster Scientiae en Manejo  
de Cuencas

**Tutor:**

Prof. Delgadillo Alejandro

**Autor:**

Geóg. Rodríguez Yenifer

CI. V-17.771.379

**Mérida, marzo de 2022**



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES  
MAESTRÍA EN: MANEJO DE CUENCAS**



**SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DE CRECIDAS EN LAS SUBCUENCAS DE LA  
MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO MOCOTÍES EN EL MUNICIPIO  
ANTONIO PINTO SALINAS, VENEZUELA.**

Trabajo presentado como requisito para optar al Título de:  
**Magíster Scientiae en Manejo de Cuencas**

**Comité asesor:**

Prof. Delgadillo Alejandro (**Tutor**)

Prof. Moreno Ada (Cotutor)

**Autor:**

Geóg. Rodríguez Yenifer

## DEDICATORIA

### ***A mi madre.***

*Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, por los ejemplos de perseverancia y constancia que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante pero más que nada, por su amor.*

### ***A mis Familiares y Amistades.***

*Que me apoyaron continuamente en la formación profesional y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente durante toda la carrera.  
¡Gracias a ustedes!*

### ***A los Profesores.***

*Alejandro Delgadillo por su gran apoyo, motivación y tiempo compartido para la culminación de mis estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis; Ada Moreno por su apoyo ofrecido en este trabajo y por impulsar el desarrollo de mi formación profesional.*

www.bdigital.ula.ve

## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar agradezco a Dios, por estar presente cada vez que le he necesitado y por todas las bendiciones que siempre me da.*

*A la ilustre Universidad de Los Andes específicamente la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales en su programa de Maestría en Manejo de Cuencas por abrirme sus puertas y permitir mi formación académica.*

*A los profesores y amigos Alejandro Delgadillo (Tutor) y Ada Moreno (Cotutor) a quienes les expreso mi sincero agradecimiento. Para mí fue un honor haber contado con el apoyo, ayuda y la asesoría de ambos, pues las buenas sugerencias y explicaciones realizadas para el trabajo, ayudaron a mejorarlo. Y por último pero no menos importante, Dios les pague a los profesores Elvira Moreno, Francisco Rivas y Raúl Vidal por los aportes para la investigación.*

*Al Instituto de Protección Civil y Administración de Desastres del Estado Mérida (INPRADEM), por facilitarme información cartográfica. Especialmente al funcionario Geóg. Nerio Ramírez del Departamento de Sistemas de Información Geográfica.*

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	14
ABSTRACT .....	16
INTRODUCCIÓN .....	16
CAPÍTULO I .....	19
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	19
1.1 Planteamiento del Problema y Justificación .....	19
1.2 Objetivos .....	23
✓ Objetivo General .....	23
✓ Objetivos Específicos .....	23
1.3 Alcances y Limitaciones .....	24
CAPÍTULO II .....	25
MARCO TEÓRICO .....	25
2.1 Trabajos vinculados con la temática a investigar .....	25
2.2 Trabajos vinculados con el área de estudio .....	30
2.3 Bases Teóricas .....	34
✓ Análisis de frecuencias .....	35
✓ Caudales máximos .....	36
✓ Hidrogramas de crecidas .....	36
✓ Manchas de crecidas excepcionales .....	38
✓ Modelo Hydrologic Engineering Center – .....	39
✓ Modelo Hydrologic Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS) .....	41
✓ Periodo de retorno .....	42
✓ Simulación Hidrológica .....	43
2.4 Marco Legal .....	45
CAPÍTULO III .....	49
MARCO METODOLÓGICO .....	49
I. Revisión .....	49
II. Obtención de datos .....	51
✓ Análisis de Frecuencia de Lluvias extremas .....	51
✓ Análisis de tormenta .....	52
✓ Aspectos hidrográficos (morfométricos) .....	54
✓ Simulación hidrológica de crecidas .....	55
□ Estimación de la Lluvia Efectiva - Método del Número de Curva (CN): .....	56
□ Método de la Onda Cinemática para elaborar el tránsito de los caudales; .....	62
□ Conceptualización hidrológica de las subcuencas Cuenca .....	63

□ Segmentos de Esgurrimiento .....	63
□ Segmentos de Escorrentía.....	64
✓ Realización de la simulación hidráulica mediante el programa HEC-RAS 5.0.3 y HEC-GEORAS 10.5 (ambos años 2016):.....	65
III. Trabajo de campo. ....	66
CAPÍTULO IV .....	72
DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICO - NATURALES Y SOCIALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	69
CAPÍTULO V.....	97
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....	161
REFERENCIAS CITADAS .....	167

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1. Condiciones iniciales de humedad del suelo.....	56
Cuadro 3.2. Conversión de las clases texturales de suelo a los grupos de suelos del método del Número de Curva del NRCS.....	57
Cuadro 3.3. Valores del Número de Curva (CN) para los complejos Suelo - Cobertura - Condición de Humedad Antecedente II (CHA=II).....	58
Cuadro 3.4. Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones de humedad antecedente, II, $I_a=0.2S$ ).....	60
Cuadro 4.1. Formaciones geológicas, superficie y % de ocupación dentro del área de estudio.....	76
Cuadro 4.2. Tipos de suelo, superficie y % de ocupación dentro del área de estudio.....	91
Cuadro 4.3. Unidades de vegetación, superficie y % de ocupación dentro del área de estudio.....	88
Cuadro 4.4. Cobertura de la tierra, superficie y % de ocupación dentro del área de estudio.....	93
Cuadro 5.1. Crecidas históricas y recientes, así como diferentes tipos de movimientos de masa ocurridos en la vertiente izquierda del río Mocotíes.....	98
Cuadro 5.2. Cálculo de algunos aspectos morfométricos de las cinco subcuencas en estudio.....	102
Cuadro 5.3. Distribución horaria de la precipitación en mm, en cada una de las estaciones de medición para el día 5 de diciembre de 1970.....	106
Cuadro 5.4. Estimación de la profundidad promedio para la cuenca Cachimí a través del mapa isoyético. ....	108
Cuadro 5.5. Áreas de influencia ( $Km^2$ ) para cada estación de medición de precipitación.....	108
Cuadro 5.6. Cálculo de la precipitación máxima para las diferentes duraciones y áreas.....	110
Cuadro 5.7. Resultados del análisis APD de la tormenta del 05/12/1970. ....	111
Cuadro 5.8. Valores de $K_a$ para la tormenta del 05/12/1970.....	112

Cuadro 5.9. Resultados de las nuevas Intensidades de lluvia, para distintas duraciones y frecuencias de 10 y 100 años en función $I=Pp*Ka$ . $Ka =0,99$ .....	114
Cuadro 5.10. Resultados de las nuevas Profundidades de lluvia, para distintas duraciones y frecuencias de 10 y 100 años en función de que la $P=Pp*Ka$ . $Ka=0,99$ .....	114
Cuadro 5.11. Datos de las precipitaciones desacomuladas de la tormenta del 05/12/1970. Estación La Fortuna. ....	115
Cuadro 5.12. Datos de las fracciones de precipitación en la tormenta del 05/12/1970. Estación La Fortuna. ....	116
Cuadro 5.13. Interpolación de la tormenta en las curvas PDF para los diferentes periodos de retorno. ....	117
Cuadro 5.14. Datos previos para el hietograma.....	131
Cuadro 5.15. Datos de tiempo de concentración (h) del área de estudio, para las diferentes horas de precipitación de la tormenta del 05/12/1970. ....	119
Cuadro 5.16. Intensidad de las Lluvias, para las profundidades máximas de 15 minutos, 30 minutos y 01 hora, según método $Kt$ de Chow. ....	123
Cuadro 5.17. Datos generales, para las intensidades máximas a calcular. ....	124
Cuadro 5.18. Intensidades máximas de lluvia en (mm/h) para periodos de retorno de 10 y 100 años.....	124
Cuadro 5.19. Datos generales, para las profundidades máximas a calcular.....	125
Cuadro 5.20. Profundidades máximas de precipitación en (mm) para periodos de retomo de 10 y 100 años, y duraciones de 15 minutos, 30 minutos y 1 hora.....	125
Cuadro 5.21. Datos de la nueva Profundidad Duración y Frecuencia (PDF) en función de que la $I=Pp*Ka$ . ....	126
Cuadro 5.22. Datos de tiempo de concentración (h) del área de estudio, para registros de 15, 30 y 60 minutos, con las diferentes fracciones de precipitación de la Estación La Fortuna. ....	127
Cuadro 5.23. Grupos hidrológicos de suelos en superficie y % de ocupación dentro del área de estudio.....	128
Cuadro 5.24. Tipos de CN, superficie y % de ocupación dentro del área de estudio; para las condiciones de humedad antecedente I. ....	130
Cuadro 5.25. Coeficiente De rugosidad $n$ de Manning.....	132

Cuadro 5.26. Características de los segmentos de escurrimiento y escorrentía.....	136
Cuadro 5.27. Estimación de caudales generados por el HEC-HMS para cada una de las subcuencas en estudio; condición I.....	139

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Elementos de un hidrograma .....	37
Figura 3.1. Secuencia metodológica empleada en el trabajo .....	68
Figura 4.1. Ubicación de la Cuenca del Río Mocotíes.....	69
Figura 4.2. Ubicación de la zona de estudio.....	71
Figura 4.3. Topografía del área de estudio.....	73
Figura 4.4. Mapa de Formaciones Geológicas.....	77
Figura 4.5. Mapa de unidades geomorfológicas.....	81
Figura 4.6. Jerarquía de los Drenajes del área de estudio.....	84
Figura 4.7. Mapa de Clases texturales de suelos.....	87
Figura 4.8. Mapa de Tipos de Cobertura Vegetal.....	89
Figura 4.9. Mapa de cobertura de la tierra.....	92
Figura 4.10. Vista panorámica del sitio de emplazamiento de Santa Cruz de Mora.....	95
Figura 4.11. Esquematación de un escenario de susceptibilidad con afluentes hídricos.....	95
Figura 4.12. Vista panorámica del sitio de emplazamiento de la población con respecto al área de estudio.....	96
Figura 5.1. Ubicación de la cuenca Cachimí.....	102
Figura 5.2. Isoyetas de la tormenta 05/12/1970 .....	107
Figura 5.3. Polígonos de Thiessen de la red de estaciones que registraron la tormenta 05/12/1970 .....	108
Figura 5.4. Grupos Hidrológicos de Suelos.....	129
Figura 5.5. Mapa de Curva de Escorrentía PARA CN=I.....	131
Figura 5.6. Mapa de Pendiente.....	134
Figura 5.7. Delimitación de la subcuenca en segmentos .....	135
Figura 5.8. Delimitación de las vertientes de cada sub-cuenca.....	135
Figura 5.9. Conceptualización de las subcuencas en estudio en vertientes y cauces.....	136
Figura 5.10. Representación de la subcuenca El Barro por el programa HEC-HMS137	
Figura 5.11. Hidrogramas de crecida para diferentes periodos de retorno, obtenidos a partir de la transposición de la tormenta del Cachimí, para las cinco Subcuencas en estudio = CN I.....	138

Figura 5.12. Secciones transversales trazadas en intervalos cada 30 metros con longitud de 120 metros a cada margen de los abanicos aluviales de las subcuencas en estudio.....	139
Figura 5.13. Asignación de parámetros en cada una de las subcuencas en estudio.	140
Figura 5.14. Secciones transversales en el abanico aluvial del afluente hídrico Los Cedros.....	140
Figura 5.15. Profundidad de agua para una sección transversal, afluente hídrico Los Cedros para los diferentes periodos de retorno .....	141
Figura 5.16. Información de velocidad y manchas de crecidas excepcionales para cada periodo de retorno y cada una de las subcuencas en estudio.....	141
Figura 5.17. Sedimentos y desechos en el lecho del cauce de la quebrada Carmania	142
Figura 5.18. Cauce de la quebrada Los Cedros cubiertos de vegetación. ....	142
Figura 5.19. Ausencia de mantenimiento en cuanto a remoción de sedimentos en el cauce, puente sobre la quebrada La Parada.....	142
Figura 5.20. Dique abierto para el control de torrentes colmatado de sedimentos, ubicado en la quebrada El Barro.....	143
Figura 5.21. Socavación lateral y de fondo en las obras de control de torrentes, que pudiera generar inestabilidad de estas estructuras. ....	143
Figura 5.22. Ausencia de drenajes transversales en ciertos sectores de la vialidad, aspecto que origina una alta probabilidad de afectación a la calzada.....	144
Figura 5.23. Zonificación de amenaza, afluente hídrico Quebrada El Barro. ....	145
Tr= 10 y 100 años. ....	145
Figura 5.24. Zonificación de amenaza, afluente hídrico Quebrada El Diamante. ....	147
Tr= 10 y 100 años. ....	147
Figura 5.25. Zonificación de amenaza, afluente hídrico Quebrada Los Cedros. ....	149
Tr= 10 y 100 años. ....	149
Figura 5.26. Zonificación de amenaza, afluente hídrico Quebrada La Parada.....	151
Tr= 10 y 100 años. ....	151
Figura 5.27. Zonificación de amenaza, afluente hídrico Quebrada San José. Tr= 10 y 100 años.....	153
Figura 5.28. Manchas de crecidas excepcionales. Tr = 10 años.....	156
Figura 5.29. Manchas de crecidas excepcionales. Tr = 100 años.....	157

Figura 5.30. Área afectada en el año 2005 .....	159
Figura 5.31. Área afectada en el año 2005 .....	160

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1. Crecimiento de la población en el municipio Antonio pinto Salinas desde el año (2010 - 2020) según proyecciones. ....	94
Gráfico 5.1. Hietograma de la tormenta del 05/12/1970 estación La Fortuna cuenca del Río Cachimí. ....	107
Gráfico 5.2. Curvas APD para la tormenta del 05/12/1970.....	111
Grafico 5.3. Curvas $K_a$ vs Área. ....	112
Gráfico 5.4. Curvas $K_a$ vs Área Promedio.....	113
Gráfico 5.5. Curvas $K_a$ vs Área “Exacta” e interpolación con el área de estudio. ...	113
Grafico 5.6. Curvas Intensidad Duración y Frecuencia (IDF) en función de $I=Pp*K_a$ . $K_a=0,99$ .....	114
Grafico 5.7. Curvas Profundidad Duración y Frecuencia (PDF) en función de que la $P=Pp*K_a$ .....	115
Gráfico 5.8. Hietograma de precipitación donde se centró la tormenta del .....	116
Gráfico 5.9. Hietograma de las fracciones de precipitaciones en % donde se centró la tormenta del 05/12/1970 estación la Fortuna. ....	116
Gráfico 5.10. Interpolación de la tormenta en las curvas PDF para los diferentes periodos de retorno. ....	117
Gráfico 5.11. Hietogramas de lluvia (mm) para diferentes periodos de retorno de 10 y 100 años generados a partir de la tormenta del 05/12/1970, traspuestos a las subcuencas de estudio.....	118
Gráfico 5.12. Tiempo de concentración (h) del área de estudio, para las diferentes horas de precipitación de la tormenta del 05/12/1970.....	120
Gráfico 5.13. Curva Intensidad Duración y Frecuencia (IDF) para periodos de retorno de 10 y 100 años y duraciones de 15 minutos, 30 minutos y 01 hora.....	124
Gráfico 5.14. Curva Profundidad - Duración - Frecuencia (PDF) para periodos de retorno de 10 y 100 años y duraciones de 15 minutos, 30 minutos y 01 hora.....	125
Grafico 5.15. Curvas Profundidad Duración y Frecuencia (PDF) en función de que la $I=Pp*K_a$ . ....	126

## RESUMEN

Las crecidas son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que forman parte de la dinámica de evolución de un curso de agua. No obstante, su peligrosidad aumenta debido a que en múltiples casos la población se encuentra ubicada en zonas expuestas en las márgenes de los ríos. Tomando en cuenta estas consideraciones, la presente investigación tuvo como objetivo: simular la ocurrencia de las crecidas excepcionales para distintos periodos de retorno, en los sitios de interés ubicados en la margen izquierda del río Mocotíes del municipio Antonio Pinto Salinas, como base para la definición de los sitios de posible afectación con base en las condiciones hidrogeomorfológicas, hidrológicas e hidráulicas presentes en el área de análisis. En este orden de ideas, se llevó a cabo un inventario de las crecidas ocurridas en las subcuencas seleccionadas, así como una caracterización de sus aspectos morfométricos; posteriormente y con el fin de compensar la falta de información hidroclimática se realizó una transposición de la tormenta ocurrida en la cuenca del río Cachimán (en el estado Zulia) el 05 de diciembre de 1970, a partir de la cual se elaboraron los hietogramas, que se introdujeron como datos de entrada en el modelo de simulación hidrológica HEC–HMS 4.2.1.0, para transformar la lluvia en escorrentía basándose en parámetros, como cobertura de la tierra, grupo hidrológico de suelos, pendiente y rugosidad. Para este caso en particular, por tratarse de modelar la respuesta de la cuenca ante un evento extremo se estimó el número de curva (CN) bajo las condiciones de humedad antecedente ii y iii obteniéndose caudales máximos para cada uno de los cinco afluentes hídricos en estudio (quebrada El Barro, El Diamante, Los Cedros, La Parada y San José) para periodos de retorno de 10 y 100 años; finalmente, con estos valores de caudal se utilizó el modelo HEC–RAS 5.0.3, para definir los sitios de posible afectación con base a las condiciones hidrogeomorfológicas, hidrológicas e hidráulicas presentes en el área de análisis, en donde la probabilidad de afectación radica sobre la comunidad y vitalidad del área.

**Palabras claves:** transposición de tormenta, subcuencas, crecidas, amenaza hidrológica.

## ABSTRACT

Floods are potentially destructive recurring hydrological phenomena that form part of the dynamics of the evolution of a water course. However, its danger increases due to the fact that in many cases the population is located in exposed areas on the banks of the rivers. Taking these considerations into account, the present investigation had as its objective: to simulate the occurrence of exceptional floods for different return periods, in the sites of interest located on the left bank of the Mocotíes River in the Antonio Pinto Salinas municipality, as a basis for the definition of the sites of possible affectation based on the hydrogeomorphological, hydrological and hydraulic conditions present in the analysis area. In this order of ideas, an inventory of the floods that occurred in the selected sub-basins was carried out, as well as a characterization of their morphometric aspects; Subsequently, and in order to compensate for the lack of hydroclimatic information, a transposition of the storm that occurred in the Cachimí river basin (in the state of Zulia) on December 5, 1970 was carried out, from which the hyetograms were elaborated, which were entered as input data in the hydrological simulation model HEC-HMS 4.2.1.0, to transform the rainfall into runoff based on parameters such as land cover, hydrologic soil group, slope, and roughness. For this particular case, since it was about modeling the response of the basin to an extreme event, the curve number (CN) was estimated under the antecedent humidity conditions ii and iii, obtaining maximum flows for each of the five water tributaries under study. (El Barro, El Diamante, Los Cedros, La Parada and San José streams) for return periods of 10 and 100 years; Finally, with these flow values, the HEC-RAS 5.0.3 model was used to define the sites of possible affectation based on the hydrogeomorphological, hydrological and hydraulic conditions present in the analysis area, where the probability of affectation lies on the community and roads in the area.

**Keywords:** storm transposition, sub-basins, floods, hydrological hazard.

## INTRODUCCIÓN.

Hoy en día, en los ciclos naturales que ocurren en el planeta, son mencionados cada vez más, aquellos eventos extremos los riesgos socionaturales, desastres y emergencias, entre otros calificativos de acuerdo a los diferentes conceptos manejados, los mismos afectan en la cotidianidad de la vida del hombre a diferentes niveles; en las actividades económicas, asentamientos humanos y en la infraestructura. Uno de los factores influyentes en la generación de desastres (afectación), dentro de un sistema social, es la densidad de población que se encuentra asentada sobre sitios inadecuados expuestos a amenazas, generando escenarios de riesgo; esto producto de un desarrollo incompleto del sistema socioeconómico. Los eventos naturales causan una influencia negativa a los procesos que degradan al ambiente generando pérdidas y retraso en el desarrollo sostenible por años o hasta décadas.

En Venezuela existe la necesidad de realizar estudios que analicen los factores más influyentes en la producción de la escorrentía máxima superficial, no en forma separada sino interrelacionada y aplicándolos a áreas específicas. Esas relaciones no deben expresarse solamente en forma teórica sino también cuantitativamente, porque son de gran utilidad en la búsqueda de metodologías orientadas a la obtención de ecuaciones de predicción que pueden superar hasta cierto grado las limitantes que presentan los registros de caudales picos. De acuerdo con lo anteriormente planteado, lo común es que la ausencia de datos conlleven a la proliferación de informes técnicos considerando a los eventos o fenómenos naturales como únicos y de carácter imprevisible, dichas afirmaciones se debe a la falta de datos (Benito, 1993). En relación con nuestro país, Martelo (2015), considera que se esperan cambios importantes en los diferentes aspectos del recurso hídrico, resultantes de los cambios en la precipitación y la temperatura, entre ellos: variaciones de caudal en las cuencas, y en consecuencia afectación en la disposición de agua tanto en cantidad como en calidad, incluyendo aumento de sequías; de lluvias más intensas y en consecuencia eventos como crecidas repentinas y 'deslaves'; variaciones en la estacionalidad de la lluvia en las fechas de inicio y duración de las épocas seca y lluviosa.

A través de los años, se ha visto a una Venezuela afectada por eventos relacionados con las amenazas meteorológicas, hidrológicas, climáticas y geológicas - geomorfológicas las cuales han conllevado a generar grandes pérdidas de distinta índole (humanas y materiales), conduciendo en muchos casos a un retroceso socioeconómico del territorio afectado, dentro de las cuencas hidrográficas. En este contexto Méndez y Ovalles (2011), consideran que es necesaria la gestión de los sistemas hidrológicos como política de Estado puesto que estos contienen (agua, suelos, vegetación, fauna, minerales, rocas, formas y procesos, entre otros); los cuales en conjunto con el hombre y sus actividades dejan ver la importancia que tiene el manejo de las cuencas en relación con preservar la armonía-sociedad-naturaleza lo que

inmersamente generará el vivir, crecer y trascender con calidad y responsabilidad sin comprometer las bases para las futuras generaciones.

En el estado Mérida, se hacen presentes diferentes amenazas naturales, entre las que destacan las de origen hidrometeorológico, que en conjunto con la vulnerabilidad y exposición de la sociedad en sitios no apropiados para habitar, las precarias condiciones socioeconómicas, el irrespeto a las normativas ambientales, la ausencia de políticas y estrategias en la gestión del riesgo, deserción de políticas públicas, la no planificación del territorio que sumado al crecimiento demográfico (entre otros aspectos), elevan los escenarios del riesgo de desastres o influyen en el impacto y la probabilidad de ocurrencia de los mismos (Delgadillo, *et al.*, 2016).

Lo anteriormente planteado sugiere brindar prioridad a la intervención de los principales aspectos determinantes del riesgo de desastres, lo que de forma inmersa conlleva a un desarrollo planificado como política de Estado; es así como el desarrollo sostenible puede reducir los procesos de vulnerabilidad al reforzar la capacidad de adaptación (patrones de uso de los recursos naturales y de consumo de bienes y servicios) y aumentar el poder de recuperación (resiliencia) de las actividades que se llevan cabo en una comunidad; sin dejar a un lado el estudio de los antecedentes de eventos ocurridos a nivel local.

En este mismo orden de ideas Dugarte y Ferrer (2007) consideraron que una parte de las subcuencas ubicadas en la margen izquierda del río Mocotíes que son objeto de estudio del presente trabajo, son poco caudalosas en época de sequía; en algunos casos especiales el caudal es nulo o inexistente, lo cual permite la construcción de viviendas dentro de su área de afectación ante posibles crecidas y movimientos en masa; incrementándose los niveles de vulnerabilidad. Sin embargo, aunque son afluentes hídricos de tipo efímeros; debido a sus fuertes pendientes y tamaños reducidos (en cuanto a la superficie que ocupan), coberturas vegetales intervenidas, procesos geomorfológicos activos y los tipos de litologías de las fuentes de suministro, pueden transportar grandes volúmenes de agua y de sedimentos en cortos intervalos de tiempo, generando altos niveles de susceptibilidad o propensión en la zona o cota de afectación por crecidas torrenciales de dichos afluentes hídricos.

En este contexto se presenta la siguiente investigación la cual está estructurada en los siguientes capítulos: Capítulo I, se explica la problemática existente en el caso objeto de estudio; los objetivos tanto general como específicos que se desean alcanzar, además de la justificación del problema que refleja la necesidad de realizar dicha investigación. El Capítulo II, dedicado al marco teórico, comprende los siguientes aspectos: (i) antecedentes de la investigación, el cual engloba algunos trabajos realizados sobre este tema, ya sea a nivel internacional, nacional y local; (ii) seguidamente las bases teóricas, que comprende toda la conceptualización correspondiente al tema de estudio, y como tercer paso (iii) se presentan las bases

legales, que enmarca una parte de las normativas venezolanas que establecen las leyes concernientes al tema de estudio, adicionalmente el Capítulo III, dedicado al marco metodológico, donde se muestran las técnicas, procedimientos y materiales a emplear y el Capítulo IV se presenta la descripción físico-natural del área de estudio con la finalidad de tener una aproximación de la realidad del área de estudio. En el Capítulo V, se muestran los resultados de la investigación, luego de llevar a cabo la secuencia metodológica, donde se realiza un análisis y discusión de los mismos. Finalmente aparecen las conclusiones y recomendaciones derivadas del trabajo realizado.

Por estos motivos expuestos, es meritorio que la comunidad y las autoridades locales puedan conocer la propensión a crecidas torrenciales del sector bajo análisis lo que les permitirá fijar estrategias de desarrollo, así como la satisfacción de las necesidades en las subcuencas objeto de estudio. Finalmente lo que se persigue en esta investigación es contribuir a los planteamientos anteriormente nombrados por medio de las conclusiones y recomendaciones lo que contribuye a la toma de decisiones ante una buena planificación, que favorezcan a las comunidades que habita el área.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

#### 1.1 Planteamiento del Problema y Justificación

La geografía de nuestro país y su realidad espacial en cuanto a la ocupación del territorio enfrenta una serie de peligros latentes que, combinados con focos de vulnerabilidad, incrementan los niveles o grados de riesgo. Estos niveles han hecho que en las últimas décadas ocurran desastres de importancia significativa como la tragedia de Vargas (1999), las fuertes precipitaciones de 2005 en la cuenca del río Mocotíes (estado Mérida), las sequías del 2009, 2015 y 2016, las precipitaciones de noviembre y diciembre de 2010, la tormenta de abril de 2012 y más recientemente las precipitaciones caídas en el valle del Mocotíes en septiembre de 2016 y en agosto de 2021. Este corto listado de eventos sólo pretende esbozar a una realidad existente donde la población está en constante presencia de escenarios de riesgos siconaturales. Estos escenarios dependen de los niveles de amenaza y vulnerabilidad de los elementos expuestos, ante la ocurrencia de fenómenos específicos que potencialmente causen daños; además tener en cuenta estos antecedentes de afectación que sirven de base para la planificación urbana.

Vale señalar que el manejo y gestión de cuencas hidrográficas según Dourojeanni *et al.*, (2002); se debe visualizar bajo la concepción del desarrollo sostenible, donde es de vital importancia integrar la dimensión económica, social y cultural a la preservación del ambiente y al aprovechamiento adecuado de los recursos naturales; de allí que los nuevos enfoques de manejo y gestión de las cuencas hidrográficas promueven una visión sistémica donde confluyen componentes de carácter físico-natural, socioeconómico, político-administrativo y culturales en las que se establecen diferentes alcances tales como: (i) el resguardo de las cuencas para el abastecimiento del agua potable, (ii) la protección de obras de infraestructura contra procesos erosivos, aunado al (iii) control de torrentes y al manejo de áreas agrícolas, forestales y de pastos, especialmente en zonas con altos valores de pendiente.

Adicionalmente según Ovalles y Méndez, (2011); es un proceso de formulación, planificación, gestión y ejecución de recursos técnicos y económicos limitados, en pro de un sistema de acciones que incluye el manejo de los recursos de la cuenca para la obtención de bienes y servicios, sin afectar negativamente a los recursos de suelos y aguas. Por lo que se transforma en un ejercicio práctico, bien concebido y estructurado que coloca el énfasis en la determinación de los problemas y sus soluciones, sin descuidar el potencial de los recursos, ni obviar los objetivos que orientan el proceso; por lo que se deben considerar los factores sociales, económicos e institucionales que actúan dentro y fuera de la cuenca hidrográfica.

Por lo anteriormente planteado, se debe tener presente que, en una planificación y administración adecuada de una cuenca hidrográfica es una tarea continua que se sustenta en planes y que además está sometida a la dinámica cambiante tanto de atributos naturales como socioeconómicos; de allí que se deben articular la coordinación y la participación de los actores sociales. Dicha gestión debe tener un enfoque multidisciplinario y debe estar en constante revisión y ajustes de forma tal que proporcione propuestas y alternativas concretas a quienes toman decisiones de ese espacio geográfico, en función del uso de los recursos naturales y una vida humana buena, armónica y sostenible.

Siguiendo el mismo orden de ideas se tiene que la vertiente izquierda del río Mocotíes, es propicia para la producción agrícola y asiento de importantes centros poblados, que han resultado afectados por crecidas torrenciales de algunas de estas subcuencas; por ser una zona frágil a eventos de precipitación extraordinarios, debido al tipo y condiciones de las formaciones geológicas y características geomorfológicas susceptibles a procesos de degradación y movimientos de masa; de igual forma existe una dinámica de ocupación anárquica y poco prudente de áreas e inadecuada intervención de los recursos naturales.

En este sentido, Dugarte *et al.* (2015), destacan que la cuenca del río Mocotíes fue testigo de una fuerte tormenta ocurrida entre los días 07 y 12 de febrero de 2005, alcanzándose un máximo de lluvia la noche del día 11 luego de 4 o 5 horas de precipitaciones continuas, según lo reportado por testigos presenciales. Estas láminas de precipitación no parecen haber tenido una distribución uniforme a lo largo de la cuenca; de allí que ni el comportamiento de los terrenos, ni la conducta de las quebradas fueron las mismas. Desafortunadamente no pudieron ser medidos estos volúmenes de precipitación, basta recordar que la red de estaciones pluviométricas fue desmantelada o estaban inactivas desde hace varios años atrás. Finalmente según los autores, lo ocurrido en febrero de 2005 demostró dos aspectos relevantes: el primero una cultura de prevención y/o percepción de las comunidades frente al riesgo dado que ante el aumento de caudales ubicaron sitios seguros y se desplazaron hacia estas zonas para resguardar sus vidas y el segundo cuán vulnerable es la población que habita dicha zona frente a la ocurrencia de crecidas y movimientos en masa, lo que trajo consigo la pérdida de vidas humanas, en las zonas de mayor exposición.

Por otro lado vale la pena destacar que, lo ocurrido en el 2005 se repitió, lógicamente con menor magnitud, en la tormenta del 22 y 23 de abril del año 2012, y que afectó a varias viviendas de la margen izquierda del río Mocotíes. Es importante señalar que dicho evento, dejó unas 300 familias damnificadas y unas 70 familias incomunicadas en toda la cuenca del Mocotíes, (Dugarte *et al.*, 2015).

Adicionalmente el 03 de septiembre de 2016 sobre el valle del río Mocotíes, se registraron fuertes precipitaciones desde las 19:15 HLV se trató de un evento local (influenciado por condiciones meteorológicas regionales) con una duración de 2 horas con 15 minutos y unas láminas de precipitación considerables de unos 85,4 mm caídas en la estación Tovar, “serial ME3141AC1” (Delgadillo, 2016). Estas lluvias concentradas, actuaron como mecanismo desencadenante de desbordes sobre todo de la margen izquierda de la cuenca del Mocotíes (vertiente que resultó afectada), en los diferentes sectores; estas lluvias afectaron principalmente veintitrés (23) estructuras de tipo viviendas; dejando un saldo de aproximadamente treinta y tres (33) personas afectadas y un (01) fallecido. De igual forma ocurrieron flujo de detritos y deslizamientos en el municipio Rivas Dávila en donde de igual forma resultaron afectadas cuatro (04) viviendas por estos flujos (Oficina de Comunicación e Información “OCI” del Instituto de gestión de Riesgos, Administración de Desastres y Protección Civil del Estado Mérida, 2016).

Se debe resaltar que de la vertiente izquierda del río Mocotíes se tomaron para el área objeto estudio cinco (05) subcuencas con características torrenciales las cuales son: Quebrada El Barro, El Diamante, La Parada, Los Cedros o Carmania y San José. La selección de éstas se enfocó en los siguientes criterios: antecedentes de crecidas y daños ocasionados, subcuencas que son asiento de centros poblados, existencia de material cartográfico y estudios previos; estos permiten comparar los resultados surgidos en esta investigación con los ya existentes antes de 2005 y producto de la afectación de dicho evento.

Es interesante acotar que, los cinco (05) subsistemas hidrológicos en estudio, ubicados en la margen izquierda del río Mocotíes presentan graves procesos de intervención de sus vertientes relacionadas con cambios de uso del suelo: de bosques protectores a usos agrícolas y pecuarios, o afectación por poblamiento (Andressen, 2001). Estas modificaciones importantes en el paisaje del área, se expresan en cambios profundos en la topografía, incremento de los procesos de disección (erosión) y de acumulación, además de la ocupación inadecuada de sitios expuestos a la ocurrencia de amenazas por crecidas y movimientos de masa.

Se debe recordar que esta investigación se constituye en una herramienta de apoyo en la planificación de actividades para el manejo de amenazas por crecidas torrenciales, en cada una de las cinco (05) subcuencas seleccionadas; de allí que se busca la prevención de problemas ocasionados por la ocurrencia de procesos hidrogeomorfológicos. Finalmente se tiene, que la presente investigación es una herramienta de ayuda en la gestión de riesgo ocasionado por crecidas torrenciales; en la que se realizará una zonificación de la amenaza hidrológica en función de una simulación paramétrica en las citadas subcuencas que drenan hacia el río Mocotíes.

Además se debe resaltar que el área objeto de estudio la atraviesa el eje vial principal, de la carretera Troncal 005; formando así una línea paralela a los cauces, pues sus características torrenciales hacen que la vialidad principal se constituya en un elemento frecuentemente impactado por sedimentos y agua, ante la ocurrencia de las crecientes de dichos drenes.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## 1.2 Objetivos

### Objetivo General

Simular la ocurrencia de crecidas excepcionales para distintos periodos de retorno, con el propósito de estimar los sitios de posible afectación ubicados en la margen izquierda del río Mocotíes del municipio Antonio Pinto Salinas.

### Objetivos Específicos

- Recopilar la información hidroclimática existente, a los efectos de llevar a cabo un análisis de frecuencias de lluvias máximas para el área objeto de estudio.
- Analizar la tormenta ocurrida el cinco (05) de Diciembre de 1970 en la cuenca del río Cachimán Estado Zulia con el propósito de transferirla hacia el área de análisis.
- Realizar un análisis de las formas, redes de drenaje y pendientes de los subsistemas hidrológicos en estudio, para relacionar estas características morfométricas con la ocurrencia de lluvias concentradas.
- Estimar los valores de los caudales máximos para periodos de retorno 10 y 100 años en las cinco (05) subcuencas de interés seleccionadas.
- Definir los sitios de posible afectación con base en las condiciones hidrogeomorfológicas, hidrológicas e hidráulicas presentes en el área de análisis.

### 1.3 Alcances y Limitaciones

En el presente trabajo de investigación los alcances están dados en particular, por la realización del análisis de los aspectos hidrológicos, hidráulicos y geomorfológicos de cada una de las subcuencas objeto de estudio, con el propósito de estimar picos de crecidas, para 10 y 100 años de periodo de retorno; así como la identificación de los factores ambientales que intervienen en la generación de las mismas. Lo que permitirá cartografiar más adelante las manchas de crecidas excepcionales, los sitios de posible afectación con base en las condiciones hidrogeomorfológicas e hidráulicas presentes en el área de análisis y finalmente plasmar algunas propuestas de manejo de cuencas, con la finalidad de que sean de utilidad para la gestión ambiental en el ámbito municipal. Todo lo anteriormente planteado conduce a dar respuesta al objetivo general; sin dejar de considerar la búsqueda documental en cuanto a antecedentes de crecidas ocurridas en el área de estudio. En conclusión la información presentada en este trabajo, puede ser utilizada como material de orientación para estudios más específicos, además de contribuir con la toma de decisiones a nivel local, en cuanto a la gestión de los riesgos siconaturales del área y en la elaboración y actualización de los planes de ordenamiento territorial.

En contraste con las ideas señaladas en los párrafos precedentes, unas de las principales limitaciones pueden estar reflejadas en: falta de información hidrometeorológica, hidroclimática y de caudales, debido al deterioro progresivo y desmantelamiento de la red de estaciones del área. De igual forma la ausencia de información y procesamiento referente a los volúmenes de sedimentos en el área de estudio además de la falta de informes técnicos a nivel de detalle para cada una de las subcuencas objeto de análisis y por último, pero no menos importante, otra de las grandes limitantes que se presentaron al momento de realizar este Trabajo de Grado se basó, en la ausencia de material cartográfico de tipo altitudinal a detalle en conjunto con la limitante presupuestaria para realizar los propios levantamientos topográficos de las secciones transversales, lo que sin duda hubiese mejorado el nivel de detalle de los resultados.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO.

Dentro del marco teórico, se muestran algunos trabajos previos realizados sobre la temática a investigar, tanto nacionales como internacionales; así como algunos estudios precedentes realizados en el área objeto de análisis y vinculados con el tema de estudio y además se presentan algunas definiciones de términos básicos y se realiza una apretada síntesis de distintos instrumentos jurídicos relacionados con la investigación

#### 2.1 Trabajos vinculados con la temática a investigar

De los diversos estudios realizados sobre el tema, se encuentran:

Arteaga (2017), elaboró un estudio cuyo objetivo fue calibrar el modelo *Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System* (HEC - HMS), para su evaluación en el pronóstico hidrológico y de crecidas de la cuenca del río Cañar, cuya superficie es de 2246,16 Km<sup>2</sup> y abarca las provincias del Cañar, Azuay, Guayas y el Chimborazo en Ecuador. Para calibrar el modelo se consideró el evento de crecida ocurrido el 20 de marzo del 2015, registrado por la estación hidrológica automática H0472. En la simulación del modelo se utilizó el método número de curva (CN) del antiguo *Soil Conservation Service* (SCS) hoy día Servicio de Conservación de Recursos Naturales de Estados Unidos, (NRCS) para la estimación de la precipitación efectiva; y empleó los Hidrogramas Sintéticos de Clark, Snyder y NRCS para la transformación de lluvia a escorrentía. Los resultados de la simulación mostraron que el caudal observado fue de 384,13 m<sup>3</sup>/s mientras que el simulado fue de 405,4 m<sup>3</sup>/s. Por su parte, en la evaluación de desempeño del modelo hidrológico según *Nash-Sutcliffe* (NSE) obtuvo como valor 0,71 lo que se considera como muy bueno y por consiguiente el evento de crecida se reprodujo satisfactoriamente, aun así, recomiendan analizar a mayor detalle los datos hidrometeorológicos y características físicas de la cuenca antes de su aplicación.

Claire (2016), realizó un estudio cuyo objetivo fue determinar la longitud del vertedero y el hidrograma a la salida del embalse de la presa Lluska Mayu, ubicado en el municipio de Yotala en el departamento de Chuquisaca al sur de Bolivia, para periodos de retorno de 500 y 1000 años. Para ello empleó el modelo lluvia-escorrentía HEC-HMS, aplicando una metodología que consiste en procesar mapas en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para luego determinar la tormenta de diseño y por último modelar el hidrograma de crecida. En ese sentido, para la cuenca del río Lluska Mayu de un área de 26,08 Km<sup>2</sup>, se estimó para un periodo de retorno de 500 años y una longitud de vertedero de 12 metros, un caudal de ingreso al embalse de 107,0 m<sup>3</sup>/s y un caudal a la salida equivalente a 74,9 m<sup>3</sup>/s. De la misma manera, y para un periodo de retorno de

1000 años y una longitud de vertedero de 14 metros, se obtuvo un caudal de ingreso al embalse de  $110,6 \text{ m}^3/\text{s}$  y un caudal a la salida del embalse equivalente a  $81,8 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Las investigaciones antes descritas proporcionan un marco de referencia sobre la aplicación del modelo de simulación hidrológica HEC-HMS; en cuanto a la forma en cómo se interpretan sus resultados y su aplicabilidad a los procesos de planificación y toma de decisiones, elementos que son considerados en el desarrollo de la presente investigación.

Rodríguez (2015), estudió la cuenca del río Zaza, la cual tiene un área de  $2.378,28 \text{ km}^2$ , un perímetro de  $334,4 \text{ Km}$  y la longitud del río principal es de  $127,2 \text{ Km}$ ; en esta es donde se encuentra uno de los mayores embalses de Cuba. En el proceso de calibración-validación de los parámetros, el autor logró obtener un modelo que representa el proceso lluvia - escorrentía en las dos subcuencas aforadas de esta zona (Paso Ventura y Yayabo), produciéndose errores en la estimación del caudal máximo menores del 16%. La modelación se realizó con el software Arc View Versión 3.3 y el del modelo de simulación hidrológica HEC-HMS Versión 3.2. En el trabajo se utilizó cartografía a 1:25.000 específicamente un Modelo Digital de Elevación (MDE) y un mapa de suelos. A su vez se analizó de forma conjunta, la información pluviométrica de 70 equipos “ubicados dentro y fuera de la cuenca pero cerca del parteaguas”, hidrogramas, cartas de limnógrafos y curvas de gastos de las estaciones de aforo. Con el objetivo de detectar errores en el día donde se registraron las lluvias (utilizaron una serie de lluvias máximas de 24 horas anuales) y posteriormente realizaron las pruebas del modelo. El autor logró una simulación para la subcuenca Paso Ventura que permite reproducir los gastos máximos y su tiempo al pico para eventos cuyo caudal máximo se encuentre en el intervalo de  $750$  a  $1800 \text{ m}^3/\text{s}$  con un error menor del 10%. No fue posible lograr buenos resultados en la estimación de los volúmenes de las avenidas, por lo que se debe investigar más sobre las condiciones de estos eventos (gasto superficial debido a una tormenta anterior y humedad antecedente). Mientras que para la subcuenca Yayabo consideró necesario recopilar eventos con características similares para obtener mejores resultados, aunque con los valores de los errores obtenidos (menores del 16 % en la estimación del caudal máximo), se puede concluir que se cuenta con un modelo lluvia - escorrentía de esta subcuenca calibrado y validado para la estimación de los gastos máximos comprendidos en el intervalo de  $182$  a  $1016 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La presente investigación guarda relación con la anteriormente descrita debido a que se evidencia la necesidad de contar con información pluviográfica para representar el comportamiento temporal de la lluvia, con el propósito de obtener resultados más adecuados en los procesos de calibración-validación de los parámetros de las cuencas, por ser esta una característica que influye significativamente en los procesos hidrológicos de transferencia de las subcuencas en estudio.

Coloma (2015), realizó la simulación hidrológica e hidráulica del río Tambo Lima, Perú; con fines de prevención de inundaciones, con la finalidad de conocer las máximas avenidas y los niveles de inundación para flujos con régimen permanente, y con periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años. Para ello se realizó una descripción de la zona de estudio (ubicación, climatología, morfometría, zonas de vida, entre otros); seguidamente la recopilación y el procesamiento de la información pluviométrica, para obtener los hietogramas de diseño asumiendo una distribución uniforme (igual probabilidad de ocurrencia de las intensidades de lluvia), data de entrada para el modelo hidrológico con HEC-HMS, para lo cual se definieron los parámetros de entrada (valores de CN por el método del NRCS, retención potencial y abstracción inicial, y el tiempo de retardo con el método de Snyder). Finalmente se realizó la simulación hidráulica para flujos con régimen permanentes con HEC-RAS, obteniendo los niveles de inundación los cuales no varían significativamente entre los diferentes periodos de retorno considerados, debido a que, a lo largo del tramo evaluado se observan bancos de arena o llanuras de inundación, cuyos niveles serán inundados superando todo el ancho de río, los cuáles varían según la cuenca (arriba o abajo). De acuerdo a los resultados obtenidos en el modelado hidráulico para los diferentes periodos de retorno, el autor encontró una restricción en el modelo, debido a que al considerarse como flujo permanente, es decir que las condiciones de la velocidad no cambian con el tiempo, origina que las velocidades resultantes en todas las secciones de análisis sean valores altos, no siendo correspondiente con las características del tramo evaluado.

La vinculación con la investigación se debe a que es necesario contar con información de caudales y precipitaciones para poder estimar la amenaza hidrológica, además que son necesarios para aplicar los modelos hidráulicos de flujos no permanentes, así como, conocer el comportamiento de los afluentes hídricos ante los eventos máximos.

Valencia y Guevara (2014) consideraron conveniente evaluar las amenazas de eventos hidrometeorológicos en el río Cabriales en el estado Carabobo con la finalidad de estimar los picos de crecidas para diferentes periodos de retorno a través del modelo HEC-HMS. Es así como en este trabajo llevaron a cabo la calibración y validación del modelo usando como información los registros de las tormentas ocurridas en los años 1971, 1986 y 2008, debido a esos eventos ocasionaron daños muy importantes al inundar y destruir áreas e infraestructuras urbanas en la ciudad de Valencia.

Torres y González (2012) aplicaron el programa HEC-RAS (versión 4.1.0) para la emisión de pronósticos hidrológicos de inundaciones en tiempo real, en la cuenca media del río Bogotá – Sector Alicachin. La investigación realizada demostró la importancia del citado software en el río Bogotá (Cuenca media y alta) estableciendo la relación de los efectos que producen los diferentes caudales máximos para las probabilidades de ocurrencia de eventos de inundaciones en periodos de retorno de 5, 10, 15 y 20 años; y que permitieron pronosticar la dinámica de los niveles de agua en

los eventos hidrometeorológicos extremos de inundación, definiendo las cotas de desborde a través de perfiles transversales, para simular de manera aproximada el comportamiento de la dinámica del cauce con características de: secciones mojadas variables con cualquier geometría a lo largo del cauce, diferentes tipos de rugosidad para ciertas partes del perfil mojado, distintas profundidades del agua y con caudal variable a lo largo del cauce en condiciones de régimen de flujo sub-crítico o súper-crítico con efectos hidráulicos debido a obstáculos transversales naturales o artificiales en el cauce.

Quiñones y Dal Pozzo (2011) en su estudio de visualización de zonas de desborde usando HEC-GeoRAS de la microcuenca de la quebrada La Pedregosa, estado Mérida-Venezuela la cual tiene un área de 32,6 km<sup>2</sup>; cartografiaron las manchas de crecidas excepcionales con la interface HEC-GeoRAS y la ayuda de un Modelo de Elevación Digital (MDE) construido a partir de curvas de nivel con equidistancia de 5 y 20 metros. En la simulación hidráulica consideraron 20 secciones transversales transitando un caudal simulado de 206,05 m<sup>3</sup>/s; la misma la realizaron con el programa lluvia-escorrentía EVENTO (Duque 1988), considerando la tormenta ocurrida en la cuenca del río Limón, estado Aragua, Venezuela, el 06/09/1987 y que fue transpuesta hacia la cuenca de La Pedregosa. Con el análisis y la visualización de las zonas de desborde estimaron la posible afectación de 26 Ha (25%) de las áreas residenciales. Finalmente se obtuvo que, las zonas de desborde simuladas mostraron una alta coincidencia espacial con las zonas afectadas en el año 2001.

Superlano (2010) en su trabajo aplicó un modelo matemático de simulación hidrológica HEC-HMS, con el objetivo de realizar un análisis de crecidas y estimación de valores de caudales máximos para diferentes periodos de retorno, datos de extrema utilidad para estudios posteriores como; el diseño de obras de infraestructura, delimitación de áreas de riesgo y determinación de posibles daños por inundaciones en la quebrada San Francisco margen derecha del río Mocotíes. El modelo usado se basó en el método del número de curva (CN) para el cálculo de la lluvia efectiva, así como el modelo de onda cinemática para la transformación de la lluvia en caudal y determinar el hidrograma de respuesta de una subcuenca. Aplicó procedimientos en SIG (gvSIG y Arcview), con el fin de determinar automáticamente algunos parámetros hidrológicos y topográficos de entrada al modelo. Además incluyó un MDE, como base para la designación de la pendiente media de las vertientes y cauces. Para fines del modelaje, se conceptualizó detalladamente el afluente hídrico en estudio en 21 subcuencas, calculó el hidrograma de crecidas para frecuencias de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años.

González, M; SCAINI, A; GOÑI, M; *et al.* (2008) consideraron en su estudio de análisis del modelo HEC-HMS para la simulación de las avenidas del río Arga en Pamplona (Colombia), el mismo atraviesa y estructura el espacio urbano del municipio de Pamplona y colindantes, junto a sus afluentes Ulzama y Elorz, formando una llanura

aluvial que es susceptible de inundaciones cuando se producen avenidas de una cierta magnitud. Para ello aplicaron el modelo HEC-HMS versión 3.5; para simular las cinco avenidas de mayor importancia de las registradas en los últimos años. Además de la aplicación del modelo, realizaron un análisis de sensibilidad de los parámetros inciertos del modelo, del que se concluye que el parámetro del número de curva es el más sensible. Se observó que los resultados son aceptables, para simular los hidrogramas de crecientes en la ciudad de Pamplona en al compararlos con seis estaciones de aforo ubicadas en distintos puntos de la red fluvial de la cuenca del Arga hasta Pamplona. Los autores disponían de los registros de precipitación diaria y cada 10 minutos, de las estaciones meteorológicas manuales (EMM) y automáticas (EMA) respectivamente, repartidas por toda la superficie de la cuenca la cual es de 803,49 km<sup>2</sup>.

La limitante que presentan las investigaciones es la imperiosa necesidad de contar con registros hidrológicos y meteorológicos, de lo contrario la simulación hidrológica no tendría éxito debido a que los resultados no serían congruentes con la realidad.

Rodríguez *et al* (2007) en su estudio de propuesta metodológica para la generación de mapas de inundación y clasificación de zonas de amenaza para la parte baja del río Las Ceibas (*Neiva- Huila*); Medellín - Colombia; los autores utilizaron de forma acoplada las herramientas de modelación hidrológica HEC-GeoHMS y HEC-HMS y las herramientas de modelación hidráulica HEC-GeoRAS y HEC-RAS, para la primera etapa del trabajo utilizaron además un Modelo Digital de Terreno (MDT), y por medio de este generaron el mapa topográfico de la cuenca a partir de este en conjunto con los mapas de usos del suelo, geomorfología y cobertura vegetal, estimaron los valores iniciales de la mayoría de los parámetros del modelo hidrológico, destacando que utilizaron tormentas registradas y tormentas sintéticas para la generación de eventos torrenciales, dichos resultados fueron analizados con el modelo hidráulico donde a partir del MDT complementado con topografía de detalle y la extensión GeoRAS, obtuvieron el alineamiento del cauce principal y las características de las secciones transversales, como insumo para el modelo HEC-RAS; información que permitió realizar el análisis hidráulico del tramo en cuestión a partir de la calibración de los parámetros del modelo. Conjuntamente tomaron un valor del coeficiente de rugosidad de manning con datos registrados de niveles en varias secciones trasversales.

Teniendo en cuenta las limitaciones tanto de calidad como de cantidad de información hidrometeorológica tanto en la investigación presente como en la descrita en el párrafo anterior se tiene que la simulación hidrológica es una primera aproximación para la zonificación de áreas de desborde e inundación, destacándose que estando los modelos calibrados y validados brindan información valiosa y oportuna para la implementación de medidas que tienden a reducir el impacto de eventos torrenciales y catastróficos sobre la población.

## 2.2 Trabajos vinculados con el área de estudio

De los diversos estudios realizados sobre el área, se encuentran:

Dugarte *et al.* (2015) los autores consideraron que en la cuenca del río Mocotíes al igual que en muchos valles andinos, resaltan dos marcadas asimetrías; la topográfica y una relevante disimilaridad litológica; dicho contraste permite explicar en parte la respuesta de esta cuenca a las lluvias inusuales del 11 de febrero de 2005; incluyéndose desde desbordamientos hasta torrentes de detritos y flujos hiperconcentrados, teniéndose para la vertiente izquierda afloramientos de la Asociación Sierra Nevada, Asociación Tostós, Asociación Mucuchachí, Formación Sabaneta, así como afloramientos de Río Negro, Apón, Aguardiente, Capacho, Luna Colón Mito-Juan y afloramientos Graníticos pertenecientes al Granito de Tovar; encontrándose algunas de estas altamente afectadas por la influencia tectónica; lo que hace que los conjuntos rocosos se encuentren bastante fracturados, a su vez esto favorece inestabilidad y disponibilidad de los materiales a ser movilizados. Resaltando que el caudal del río Mocotíes se vio acrecentado durante la tormenta de febrero de 2005, por los aportes de los torrentes ubicados en la vertiente izquierda los mismos causaron represamientos, daños en la vialidad y las viviendas por el desplazamiento de material; además los autores consideraron que las mayores láminas de precipitación se concentraron en la ladera y microcuencas situadas en la margen izquierda del río Mocotíes.

Delgadillo (2014) en su trabajo elaboró (i) un inventario de eventos de “paleocrecidas”, “crecidas históricas” y antiguos movimientos de masa que han afectado a la cuenca del río Mocotíes hasta el presente, (ii) una transposición de dos tormentas modelo o tipo ocurridas en sitios diferentes; a fin de compensar la falta de información hidrometeorológica de la zona de estudio, y (iii) un análisis morfométrico de la cuenca. Adicionalmente realizó las estimaciones hidrológicas e hidráulicas correspondientes a profundidades o tirantes de agua, asociados a los caudales máximos de 10, 25, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno, donde empleó el modelo HEC-RAS versión 4.1, utilizando de información de entrada las secciones transversales, características de rugosidad del material del fondo del cauce, así como los caudales generados previamente con el HEC-HMS versión 4.3. En este sentido, empleó el programa ArcGIS versión 9.3 donde dichos resultados fueron analizados exhaustivamente desde el punto de vista hidrológico - hidráulico y geológico - geomorfológico además utilizó la aplicación HEC-GeoRAS, para generar los perfiles transversales y donde construyó un “TIN” a partir de las curvas de nivel con equidistancias a cada 1 metro; luego de ello trazó diferentes secciones cada 100 metros para el tramo específico de la simulación del río Mocotíes hasta Tovar, mientras que en el caso de Santa Cruz de Mora trabajó con intervalos de 200 metros. Todo ello permitió definir los niveles de amenazas por crecidas en las localidades de Tovar y Santa Cruz de Mora con fines eminentemente

preventivos, por ser este un valle altamente vulnerable, para obtener de esta manera una zonificación de la amenaza hidrológica del río Mocotíes en los sectores de interés.

Barrios, *et al.* (2012), realizaron una zonificación de la amenaza torrencial de los cauces que atraviesan el eje vial principal de la carretera Troncal 5, ubicada entre La Victoria y Las Playitas en la cuenca del río Mocotíes; a partir de la aplicación de cuatro criterios: susceptibilidad a movimientos de masa, índice de Melton, pendiente del terreno de la zona ribereña y precipitaciones máximas de 1 hora de duración y un periodo de retorno de 10 años; todo ello integrado en una evaluación espacial multicriterio dentro de un sistema de información geográfica. Para la amenaza torrencial de cada microcuenca se calculó como el promedio ponderado del valor de los 4 criterios anteriores, los cuales fueron previamente normalizados a una escala común. Los pesos aplicados a cada factor fueron hallados mediante juicio de expertos, aplicando matrices de comparación por pares. Los resultados indicaron que las características morfológicas de la cuenca del río Mocotíes, obligan a un trazado del eje vial principal por la margen izquierda del río, donde las características torrenciales de las decenas de cauces que la atraviesan, hacen que la vialidad principal se constituya en un elemento frecuentemente impactado por las crecidas del río Mocotíes, no sólo por las crecidas de mayor magnitud, como la de febrero 2005, sino también las de menor magnitud, que frecuentemente ocasionan interrupciones del tránsito y gastos por remoción de escombros. Según los autores los afluentes hídricos que generan afectación torrencial son: (quebrada El Barro, La Victoria, San Pedro, San José, Cuba Libre, El Silencio, El Tabacal, La Parada, El Diamante, Los Cedros, El Cementerio) estos corresponden con los niveles más altos de amenaza torrencial, de igual forma se destaca que existen otros afluentes hídricos con menor propensión de afectación en la zona; finalmente por su parte dicha zonificación contribuye a la planificación y ejecución de actividades para el control y manejo de los daños por este tipo de amenazas.

Bongiorno *et al.* (2010) los autores a partir de la observación directa realizaron un trabajo integrado de los factores (geológicos - geomorfológicos); que intervinieron en la cuenca del río Mocotíes, durante el evento de febrero de 2005; donde influyeron procesos geológicos dinámicos correlacionados tales como: el material litológico disgregado por las condiciones climáticas imperantes, flujos de barro, la acción de la gravedad, deslizamientos, derrumbes, precipitaciones abundantes que saturaron los suelos y aumentaron la carga de los mismos, la erosión de surcos y cárcavas, los cambios en la red de drenaje, así como otros factores capaces de cambiar el relieve bruscamente. Concluyendo que; dicha cuenca presenta características de inestabilidad en sus vertientes puntualmente la vertiente izquierda los “conos de deyección, (de) El Peñón, Quebrada El Barro, San Rafael, Los Cedros y La Victoria”; en el evento de 2005 presentaron: saturación de los suelos, que a su vez generaron desprendimientos de los mismos, los cuales fueron arrastrados hacia la población expuesta y al mismo río Mocotíes en forma de abanicos.

González *et al.* (2009) estimaron los niveles de potencialidad torrencial de la cuenca del río Mocotíes, Mérida, Venezuela, los cuales estuvieron integrados por parámetros interrelacionados como: la precipitación; estabilidad relativa (definida por las condiciones geológicas y geomorfológicas); la morfometría, expresada por la densidad de drenaje, pendiente media y forma de la cuenca y el índice de protección del suelo representado por la cobertura vegetal. A cada parámetro los autores le asignaron valores del 1 al 6, que representa la condición más favorable (valor 1) hasta la más desfavorable (valor 6). Para luego ser ponderados y obtener así cuatro niveles de potencialidad torrencial: bajo, medio, alto y muy alto. Los resultados indican que en la vertiente izquierda predomina un nivel de potencialidad torrencial Alto; en la vertiente derecha, la distribución entre el nivel medio y alto. Además, los resultados coincidieron con los torrentes activados durante el evento de precipitación ocurrido en la cuenca en febrero de 2005, lo cual demostró que la metodología aplicada tiene un alto grado de confiabilidad.

Delgadillo y Páez (2008) estimaron los caudales máximos para periodos de retorno de 25, 50, 100 y 200 años, mediante el uso del hidrograma unitario triangular, para las quebradas: San Pablo - Bodoque, Guarapao, Las Delicias, Guaimaral, San Rafael, Cacaguito, San Diego, El Tabacal, Los Cedros y La Parada, El Diamante y El Barro por la vertiente izquierda, las cuales poseen características en común: profundos perfiles de meteorización, desarrollo de extensos flujos de detritos que afectaron la vialidad y represaron al río Mocotíes en algunas secciones, en respuesta al evento del 11 de febrero de 2005 y modestos drenes con superficies de muy corto recorrido (inferiores a los 5 km<sup>2</sup>) y con fuertes pendientes; además de las altas a muy altas densidades de drenaje en cada una de estas microcuencas. En este contexto definieron los niveles de susceptibilidad a crecidas de las diferentes subcuencas, utilizando para ello el método del vecino más cercano y seleccionando la relación de forma de Horton, la pendiente media del cauce principal, la densidad de drenaje, el número de curva de escorrentía, tiempos de concentración, intensidades y profundidades máximas de lluvia y caudales máximos para distintas frecuencias de ocurrencia y escenarios de riesgos por crecidas para los diferentes subsistemas hidrológicos en estudio. Los autores consideraron que la mayoría de los afluentes hídricos ubicados en la margen izquierda del río Mocotíes presentan una alta susceptibilidad o propensión a crecidas por lo que sugirieron entre otros aspectos despejar los cauces de las quebradas de grandes árboles, construcción de obras para minimizar la socavación basal y obras de control de torrentes donde se encuentren viviendas al mismo nivel del cauce.

Dugarte y Ferrer (2007) elaboraron un análisis geológico – geomorfológico, morfométrico y de respuesta hidrológica de cada una de las subcuencas ante grandes volúmenes de lluvia. Dos aspectos conformaron los factores determinantes: (i) la pronunciada asimetría de sus vertientes; (ii) la distribución y caracterización geomecánica de los macizos. Con respecto al área de estudio los autores determinaron

que los sectores ubicados en la ladera izquierda del valle del río Mocotíes son áreas extremadamente sensibles y que se vieron fuertemente afectadas como consecuencia de la tormenta de febrero de 2005, dicha zona se trata de una colina alargada de aproximadamente 21,7 km de largo por 3,5 km de ancho, de relieve moderado, con alturas entre 600 y 1100 m.s.n.m y caracterizado por una serie de pequeños torrentes de corto recorrido. Por lo que consideran de vital importancia realizar estudios detallados de las condiciones de los torrentes especialmente orientados a su jerarquización en función de problemas de vulnerabilidad.

Laffaille *et al.* (2005 a) consideraron que los drenes del río Mocotíes generaron daños de consideración en sectores de Santa Cruz así como en la vialidad. En efecto, las intensas lluvias de los días previos al evento del 11 de febrero de 2005, ocasionaron derrumbes y deslizamientos de algunas de las laderas de la vertiente norte del valle, con la consecuencia de que los cauces de las quebradas se obstruyeron con grandes rocas y troncos de árboles, formando posiblemente lagunas de obturación que rompieron sus represas naturales descargándose mediante flujos hiperconcentrados y flujos de detritos, los cuales afectaron a Santa Cruz de Mora, ocasionando daños de consideración en la ciudad y en el sistema de vialidad principal.

Laffaille *et al.* (2005 b) a partir de los efectos de la tormenta que se desató sobre la cuenca de río Mocotíes los días 07 al 13 de febrero de 2005, con un 'pico' muy intenso de duración entre 4 y 5 horas el 11 de febrero de 2005, y luego de una exhaustiva revisión en fuentes documentales, los autores lograron definir tres eventos ocurridos en los años: 1910, 1933 y 1951. Llamó la atención este último por corresponder, al igual que la tormenta de febrero de 2005, a 'lluvias inusuales', dado que ocurrieron en lo que normalmente se identifica como época de sequía, afectando a las mismas regiones del país. A partir de estos resultados se define, muy tentativamente, un periodo de retorno de 40 a 50 años, pudiendo ser considerado el fenómeno como de 'magnitud moderada'.

Dugarte (2002) realizó un análisis de las siguientes variables: estructuras geológicas, composición de las rocas, disposición de planos, morfoestructuras, pendiente, geomorfología y sus diferentes procesos, comportamiento del agua y condiciones climáticas en la cuenca del río Mocotíes. A partir de este análisis definió tres categorías de estabilidad relativa: estables (en función de escasas limitantes y relativa ausencia de movimientos en masa), potencialmente inestables (definidas por procesos erosivos, por la cercanía a los drenajes, por amenazas de represamiento, por la presencia de superficies de ruptura de origen tectónico, condiciones potenciales de olas de descarga, por aludes sísmicos y por movimientos en masa) e inestables (relacionadas principalmente por presencia de movimientos en masa activos); encontrándose que la vertiente izquierda entre la categoría de potencialmente inestables por procesos erosivos, por movimientos en masa y por la cercanía a superficies recientes de ruptura.

Andressen (2001) considera que la inadecuada utilización de algunas cuencas hidrográficas del Mocotíes, presentan graves procesos de intervención de sus vertientes relacionadas con cambios de uso del suelo (de bosques protectores, a usos agrícolas y pecuarios, o afectación por poblamiento). Situación de la cual no está exenta la zona de Santa Cruz de Mora; pues dichas cuencas según el autor se encuentran muy deforestadas como consecuencia del poblamiento lo que incrementa el riesgo, pues los 'conos de deyección' están siendo utilizados para la construcción de viviendas lo que acarrea zonas susceptibles de ser afectadas o de riesgo.

Los trabajos anteriormente nombrados tienen estrecha vinculación con la presente investigación, puesto que coinciden en parte con el área de estudio pero además en los resultados de dichas investigaciones se concluye que, las cuencas torrenciales del sector afectan la vialidad, y a las infraestructuras establecidas, principalmente por aporte de sedimentos y a los caudales líquidos; buscando así contribuir a la toma de decisiones en pro de las comunidades.

### 2.3 Bases Teóricas

La claridad que se posea sobre la simulación hidrológica está estrechamente vinculada con el significado adecuado de los distintos términos que definen este tema y los principales factores ambientales que intervienen en la generación de los gastos máximos. En este sentido es importante que tome en cuenta la definición y significado preciso de los conceptos que se presentan a continuación, los cuales están descritos por orden alfabético:

**Amenaza:** Según el Sistema de Información para la Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias de Bogotá S.I.R.E. (2002), es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de origen natural, con una cierta intensidad y potencialmente nocivo para las personas, bienes, infraestructura, servicios y el medio ambiente, dentro de un periodo específico de tiempo y en un área delimitada geográficamente. Matemáticamente se expresa como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad, en un sitio específico y durante un tiempo determinado.

Así mismo Según Keller y De Vecchio (2012) la amenaza natural es cualquier proceso que representa un potencial daño para la vida humana y sus propiedades, fenómeno o suceso éste que se transforma en riesgo cuando afecta de forma directa o indirecta (exposición) a una población determinada y sus bienes materiales (vulnerabilidad) en términos sociales, estructurales y económicos.

Por su parte la evaluación de amenaza: Según el Sistema de Información para la Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias de Bogotá S.I.R.E. (2002) es el proceso mediante el cual se determina la probabilidad de ocurrencia y la severidad de un evento

en un lapso específico y en un área determinada. Representa la ocurrencia estimada y la ubicación geográfica de eventos probables.

Así mismo González de Vallejo, *et al.*, 2002, consideran que “Para su evaluación es necesario conocer: (i) dónde y cuándo ocurrieron los procesos en el pasado, (ii) la intensidad y magnitud que tuvieron, (iii) las zonas donde pueden ocurrir procesos en el futuro y su frecuencia de ocurrencia”.

Siguiendo el mismo orden de ideas se tiene que, según Cuervo (2011) el concepto de amenaza alberga dos ideas importantes que sientan las bases durante la aplicación de las técnicas de evaluación o zonificación de las mismas:

- La noción de la naturaleza (origen) de un evento potencialmente dañino, como las crecidas; que refiere inmediatamente al estudio de los parámetros ambientales que pueden dar pie para que se generen estos procesos.
- La probabilidad de ocurrencia de un evento en un periodo de tiempo, considera el estudio de los factores o mecanismos detonantes.

En consecuencia, se considera a la evaluación de amenazas como un instrumento e insumo temático básico en el ordenamiento de una unidad territorial, ya que permite planificar y gestionar espacialmente las políticas de orden económico, social, ambiental y cultural de la sociedad, en “armonía” con las condiciones físico - naturales propias del territorio (Páez, 2010: 37).

Finalmente los métodos para la evaluación de la amenaza, tienden a la elaboración de productos cartográficos que expresen áreas de potencial ocurrencia de dichos eventos, tomando en cuenta los parámetros ambientales que, según el criterio del investigador, representen la mayor influencia en su manifestación.

**Análisis de frecuencias:** según Ovalles (2007); es la aplicación de procedimientos gráficos o analíticos a los datos climáticos e hidrológicos (precipitaciones, caudales), a fin de estimar, con base en registros pasados, la magnitud de un evento máximo que se puede repetir en un periodo de tiempo determinado. Se usa simplemente para predecir, a partir de registros pasados, la frecuencia con la cual un evento de cierta magnitud (intensidad - duración o profundidad, en el caso de las lluvias máximas, serán igualadas o excedidas). Finalmente es importante señalar que estos análisis son usados para el diseño de obras de captación, control y corrección, además de conducir hacia un mejor conocimiento, utilización y una planificación más adecuada de un espacio geográfico que pudiera ser una cuenca hidrográfica.

Siendo así, la OMM y la UNESCO (2012:139), señalan que un análisis de frecuencia es el: “Procedimiento utilizado para calcular la probabilidad de acaecimiento de fenómenos hidrológicos a partir de la interpretación de series registradas de tales fenómenos”.

De esta manera, el objetivo del análisis de frecuencia es relacionar la magnitud de un evento con su frecuencia de ocurrencia, a través del uso de distribuciones de probabilidad, de las cuales las más usadas para análisis hidrológicos son: Normal, Log Normal, Gumbel, Log Gumbel, Pearson Tipo III y Log Pearson Tipo III (Guevara y Cartaya, 1991).

**Caudales máximos:** Ovalles (2007) establece que corresponden con una concentración de agua en la red de drenaje, con una magnitud muy superior a la ordinaria en un periodo de tiempo relativamente corto (horas). Si se tienen datos de caudales máximos de distintas recurrencias, el procesamiento de estos, aportan una idea de la magnitud que se pueden alcanzar. Por otro lado si se desconocen datos de caudales máximos, es necesario a estimaciones a través del análisis de precipitaciones que inciden en la cuenca y de las características de: forma, relieve, suelos y uso de la tierra, además de las estimaciones de lluvias efectivas del tránsito de los caudales.

Se debe resaltar que en Venezuela la información de caudales es escasa en la mayoría de las cuencas hidrográficas, esta situación conlleva a emplear métodos que permitan obtener hidrogramas para cuencas en las cuales se tienen registros de lluvias y se conocen sus características físicas. Cuando no se dispone de información de caudales, la construcción de las curvas de intensidad - duración - frecuencia es el primer paso que junto con las características físicas de la cuenca, permite estimar caudales para distintos periodos de retorno.

**Hidrogramas de crecidas:** Se considera un hidrograma al gráfico que muestra la variación temporal del caudal, (Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 2012:168).

En este contexto, un hidrograma de crecidas muestra la tasa de flujo como función del tiempo en un lugar dado de la corriente. Es una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones entre la lluvia y la esorrentía de una cuenca de drenaje particular (Chow *et al.*, 1994). De igual forma, se detalla como la representación gráfica o tabular de la variación en el tiempo de los gastos que escurren por un cauce. El gasto (Q) se define como el volumen de escurrimiento de agua por unidad de tiempo, por lo generalmente se expresa en  $m^3/s$ , en un cauce. (Breña y Villa, 2006; 121).

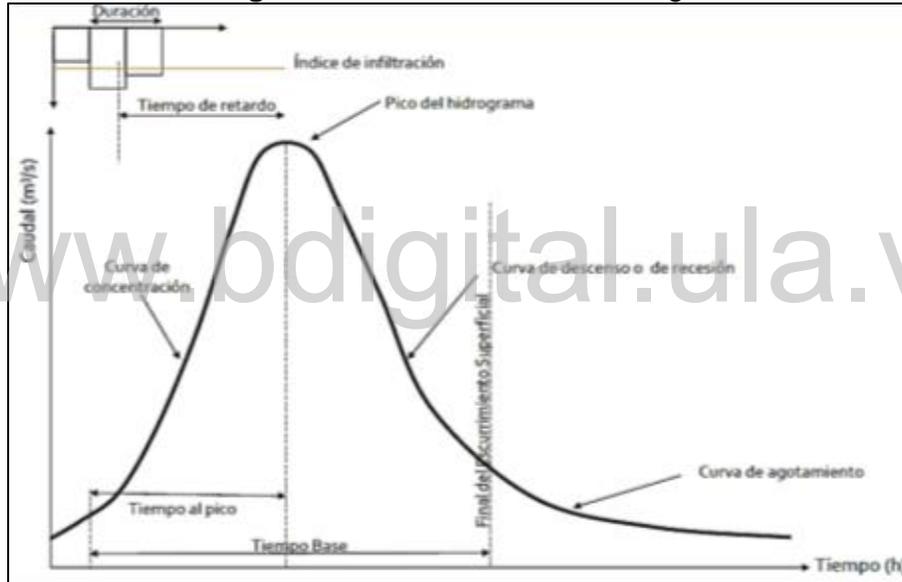
Los hidrogramas pueden dividirse en:

- **Hidrograma Anual:** es la representación gráfica del caudal en función del tiempo sobre un periodo de un año. Muestra el balance a largo plazo de la precipitación, la evaporación y el caudal en una cuenca (Guevara y Cartaya, 1.991).

- **Hidrograma de Tormentas:** representa la variación del caudal de un determinado río, en respuesta a una tormenta determinada. Antes de comenzar la lluvia, el caudal del río viene mantenido por el aporte del agua subterránea, que se irá agotando lenta o gradualmente. Al comenzar la lluvia y satisfacerse la retención e infiltración inicial, se produce un aumento de caudal debido a que parte de la precipitación se transforma en escorrentía directa, la cual alcanza su punto máximo, para luego comenzar rápidamente el descenso e iniciarse nuevamente la recesión normal de flujo base (Bastidas, 2007).

Independientemente de la forma que el hidrograma adopte, es posible identificar elementos comunes entre dos hidrogramas que han sido generados por diferentes tormenta y fisiografía. En este sentido, Ovalles (2007) y Aparicio (2011) definen los elementos de un hidrograma de la siguiente manera (Figura 2.1):

**Figura 2.1.** Elementos de un hidrograma



Fuente: Ovalles (2007).

- Pico del hidrograma ( $q_p$ ): valor máximo de la escorrentía que se produce por la tormenta. Con frecuencia es el punto más importante de un hidrograma para fines de diseño.
- Tiempo al pico ( $t_p$ ): tiempo entre el inicio de la escorrentía y la ocurrencia del pico del hidrograma.
- Tiempo de recesión ( $t_r$ ): tiempo desde el inicio de la recesión hasta el final de la misma.
- Tiempo base ( $t_b$ ), tiempo transcurrido desde el inicio de la crecida hasta el final de la escorrentía directa, por consiguiente es el tiempo total del hidrograma de escorrentía.

- Volumen de la escorrentía (Q): es el área debajo del hidrograma y se expresa en  $m^3$  o lts.
- Precipitación efectiva (Pe): es la porción de la precipitación que se transforma en escorrentía. Esta comienza después que la tasa de infiltración sea menor que la intensidad de lluvia y termina cuando la intensidad de la lluvia se hace menor que la tasa de infiltración.
- Duración de la precipitación efectiva (D): tiempo transcurrido entre el inicio y el final de la lluvia efectiva.
- Abstracciones o pérdidas iniciales (Ia): porción de la precipitación que ocurre antes del inicio de la escorrentía.
- Tiempo de retardo o respuesta (tL): es el tiempo entre la mitad de la duración de la lluvia efectiva y el tiempo al pico.
- Puntos de inflexión: ocurren en la recesión y coinciden con los cambios de dirección de la curva de recesión. El primer punto de recesión indica el fin del escurrimiento y el segundo el fin de la escorrentía directa.
- Tiempo de concentración (tc): tiempo entre el final de la lluvia efectiva y el primer punto de inflexión.
- Curva de concentración o rama ascendente: es la parte del hidrograma que va desde el punto de levantamiento hasta el pico.
- Curva de descenso o recesión: es la parte del hidrograma que va desde el pico hasta el final del escurrimiento directo, es la curva de vaciado de la cuenca.

**Manchas de crecidas excepcionales:** Según Rojas (2017) considera que son generadas a partir de modelos de simulación hidrológica e hidráulica que incorporan desarrollo de tecnología computacional, además de considerar aspectos geológicos, geomorfológicos, geometría de los cauces e información de crecidas históricas, lo que da como resultado mapas de zonificación de manchas de crecidas excepcionales para distintos periodos de retorno, los cuales están expresados en grados de niveles de amenaza por crecidas.

Así mismo Vélez, *et al* (2004) considera a estas como los retiros a las corrientes de agua, se refieren a zonas alrededor de los cauces que los contiene y en las que se impone restricciones sobre el uso del suelo y algunas intervenciones antrópicas. Tradicionalmente se ha normalizado la zona de retiro como una franja definida por líneas paralelas a ambos lados de la corriente y a una distancia predefinida de los bordes del cauce en condiciones de máxima afectación, el concepto de periodo de retorno involucra tanto la frecuencia como la magnitud del evento. Así se puede relacionar la magnitud de la creciente a la que se está dispuesto a exponerse con el periodo de recurrencia de los eventos de esta magnitud. Así, la mancha de inundación para la creciente con periodo de retorno de 100 años, producto del modelamiento hidrológico - hidráulico definirá el retiro hidrológico a la corriente en estudio. Con base a

ello se determina la amenaza de inundación en la cuenca, la cual sirve como base para la delimitación de la mancha de crecida. La definición de las manchas de crecidas excepcionales, se realizarán respondiendo a las características geomorfológicas de las cuencas y del cauce, las cuales modifican y condicionan el régimen de flujo y la estabilidad misma del cauce.

**Modelo Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System (HEC–HMS)**: Fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (*US Army Corps*) y tiene como principal función simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en términos de su escurrimiento y escorrentía superficial, como producto de una precipitación y considerando ciertas pérdidas de agua (Villón, 2008).

Por consiguiente, es un programa complejo que calcula el hidrograma producido por una cuenca, suministrando como datos de entrada la información correspondiente a tres componentes básicos (Villón, 2008; Scharffenberg y Fleming, 2010).

**i) El modelo de la cuenca (*Basin Model*)**: contiene las características físicas de las diferentes subcuencas que conforman el sistema, de manera que los elementos hidrológicos de una red dendrítica son conectados para simular el proceso de escorrentía. Los elementos disponibles son: subcuenca (*subbasin*), cauces (*reach*), confluencias (*junction*), almacenamiento (*reservoir*), tomas (*derivation*), fuentes (*sources*) y salida (*sink*).

**ii) El modelo meteorológico (*Meteorological Model*)**: calcula la precipitación requerida en una subcuenca, en función de los registros pluviográficos y pluviométricos, o en su defecto datos de precipitaciones teóricas o tormentas de diseño, a partir de lo cual define la distribución geográfica y estacional de las lluvias de las cuales se generara el hidrograma.

**iii) Las especificaciones de control (*Control Specifications*)**: fijan el tiempo de duración de cada corrida de una simulación. La información en las especificaciones de control incluye una fecha de inicio, una fecha de finalización y el intervalo de tiempo de la simulación; pues los hidrogramas no se obtienen de forma continua, sino discreta, con datos cada un cierto intervalo de tiempo, que deben definirse (*time interval*).

Por otro lado Estrada y Reyes, (2011); es un modelo de simulación hidrológica de amplio uso internacional y poderoso algoritmo de cálculo, que tiene un carácter lineal y semidistribuido; el cual posibilita estimar los caudales de salida en una cuenca o varias subcuencas a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo de hidrogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa. El modelo fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (*US Army Corps*), y tiene la principal función de simular la respuesta que tendrá la cuenca de un

río en términos de su escurrimiento y escorrentía superficial, como producto de una precipitación y considera las pérdidas de agua.

El mismo cuenta con numerosas ventajas: se basa en métodos hidrológicos para gastos máximos en cualquier tamaño, permite la modelación de diferentes situaciones, es capaz de procesar una voluminosa información, posee buenas funciones de pre y post procesamiento por lo que los datos son más fáciles de editar, modificar y visualizar en pantalla. Además de tener la capacidad para interactuar con modelos digitales, es un programa válido por la práctica internacional, y es relativamente fácil de utilizar y es de libre adquisición. Los resultados obtenidos pueden ser empleados en el diseño de obras de infraestructura, esto se debe a que estructuras como puentes, alcantarillas y represas requieren conocer datos de caudales picos o máximos; así como los volúmenes por transportar. Presenta algunas desventajas relacionadas con las condiciones de su aplicación, como son la insuficiente información de precipitaciones en la cuenca en estudio y que existe poca experiencia de su aplicación en cuencas de Estados Unidos.

Así mismo Umaña, (2014); considera que el programa permite introducir la información necesaria para una simulación, manejar los componentes de análisis hidrológico a través de módulos integrados y obtener respuestas gráficas o tabuladas de fácil comprensión e impresión.

Seguidamente se tiene que metodológicamente el cálculo de un hidrograma producido por una cuenca empleando HEC-HMS se divide en cuatro fases, las tres primeras para cada subcuenca y la última para el tránsito a lo largo del cauce, para cada una de las cuales puede seleccionarse entre distintos métodos, que Sánchez (2015) y Scharffenberg y Fleming (2010) caracterizan de la siguiente manera:

**1. La separación de la lluvia neta:** es la fase en la cual se calcula la parte de la precipitación que va a generar escorrentía directa, pues existen aspectos que dan lugar a pérdidas (abstracciones):

- *Canopy*: si existe vegetación, parte de la precipitación será retenida en las hojas para evaporarse después (intercepción).
- *Surface Storage*: precipitación que queda retenida en pequeñas retenciones superficiales, para infiltrarse o evaporarse después. Suele utilizarse especialmente en modelos de simulación continua.
- *Loss*: las precipitaciones que se infiltran en el suelo

Las dos primeras no son consideradas generalmente, no obstante, la parte de la precipitación que se infiltra es fundamental, pues el resto es considerado lluvia neta. Para obtener esta proporción de la lluvia se utilizan diversos métodos: Déficit y Constante, Exponencial, Green y Ampt, Cuadrícula con déficit constante, Cuadrícula

con el Número de Curva (CN) del NRCS, Cuadrícula con la humedad del suelo, Inicial y constante, Smith Parlange, Humedad del suelo, entre otros.

**2. La transformación de la precipitación en escorrentía directa (*Transform*):** para ello se calcula la escorrentía directa producida por la precipitación neta, pudiendo aplicar diferentes métodos: Hidrograma Unitario de Clark, Onda Cinemática, Clark Modificado, Hidrograma Unitario del NRCS, Hidrograma Unitario de Snyder, Curva S especificada por el usuario, Hidrograma Unitario especificado por el usuario, entre otros.

**3. Se agrega el caudal base a la escorrentía (*Baseflow*):** calcula la evolución de la escorrentía base a lo largo de tiempo. Pudiendo aplicarse los métodos de: Recesión limitada, Constante mensual, Reservorio lineal, Método no lineal de Boussinesq, Recesión y Tránsito.

**4. Tránsito de caudales entre los puntos inicial y final del sistema hidrológico (*Routing*):** calcula la evolución de un hidrograma a medida que discurre a lo largo de un cauce. Pudiendo aplicarse los métodos de: Onda cinemática, Lag, Puls modificado, Muskingum, Muskingum - Cunge, Straddlestagger.

De esta manera el modelo HEC-HMS ha sido previsto para ser aplicado a un gran rango de situaciones geográficas y como herramienta para resolver un gran número de problemas. Los hidrogramas producidos pueden ser utilizados directamente o conjuntamente con otros programas para el estudio de problemas relacionados con disponibilidad de agua, drenaje urbano, predicción de inundaciones, impacto de urbanización futura, diseño de aliviaderos para represas, reducción de daños por inundaciones, legislación sobre planicies de inundación y operación de sistemas (Rojas, 2005).

**Modelo Hydrologic Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS):** es un modelo hidráulico creado por la USACE (*United States Army Corps of Engineers*), de libre distribución, que en sus primeras versiones analiza el flujo de forma unidimensional en condiciones permanentes, mientras que actualmente permite la modelización en una y dos dimensiones para condiciones permanentes y no permanentes. La construcción del modelo requiere la caracterización de la superficie terrestre a modelar y los datos de flujo para eventos hidrológicos. Los datos geométricos y de flujo se usan para calcular perfiles de agua de flujo constante y gradualmente variados a partir de cálculos de pérdida de energía. Es capaz de modelar una red completa de canales, un sistema dendrítico o un solo río (Lluén y Blade, 2015).

Por otro lado Nanía y Molero (2007); señalan que se trata de un software con un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñadas para procesar datos georeferenciados que permiten bajo el entorno de los sistemas de

información geográfica facilitar y complementar el trabajo; dichos datos permiten hallar la geometría del terreno incluyendo cauce de ríos, secciones transversales, entre otros. Posteriormente los resultados obtenidos de calados y velocidades pueden ser procesados para obtener mapas de inundación. Se debe resaltar que un proyecto HEC-RAS tiene una estructura conceptual muy clara, que se traduce en una serie de archivos de datos y resultados muy definidos que se deben conocer para sacar todo el provecho a las posibilidades del programa. Un estudio hidráulico consta de dos elementos fundamentales, que son por un lado la geometría del cauce, y por otra, las condiciones de flujo, definidas por el caudal y las condiciones de contorno. La combinación de distintas geometrías y condiciones de flujo provocan diferentes resultados, que pueden ser analizados por separado o conjuntamente. Esta es la filosofía de la estructura del proyecto HEC-RAS, donde un único proyecto puede contener multiplicidad de cálculos distintos.

En este sentido, es un modelo que está integrado por programas de análisis hidráulico diseñado para el uso interactivo a través de una interfaz gráfica de usuario (GUI). El mismo tiene componentes de análisis hidráulico, almacenamiento y gestión de datos y edición de gráficos e informes, que permiten calcular los perfiles de lámina de agua con condiciones de movimiento estacionario unidimensional tanto en canales como en tramos de río naturales, ya sean simples, con confluencia o bifurcaciones, modelando con distintos tipos de régimen: lento, crítico, rápido y mixto (Ackerman, 2009).

Siguiendo el mismo orden de ideas se tiene que la respuesta hidrodinámica de un canal natural ante un evento dado la obtiene HEC-RAS, a través de la solución de la ecuación de la energía mediante la aplicación de un procedimiento iterativo llamado el método del paso estándar, en la cual las pérdidas de energía por fricción se calculan por la ecuación de Manning, y las pérdidas locales por contracción y expansión del flujo se calculan como una fracción del diferencial de energía cinética entre dos secciones. Cuando el flujo deja de ser gradualmente variado, la ecuación de energía ya no es válida, por lo que se alterna entre la aplicación de ecuaciones empíricas para estructuras especiales con un balance de fuerzas, o la ecuación de Momentum (Rincón *et al.*, 2015).

Según Torres *et al.* (2008) es un software de modelización hidráulica unidimensional que facilita la entrada de datos y permite visualizar gráficamente los resultados, incluso exportarlo en forma de tablas, lo que facilita su interpretación.

**Periodo de retorno:** De forma generalizada, el periodo de retorno es considerado como el intervalo de tiempo medio a largo plazo transcurrido entre un fenómeno (hidrológico, meteorológico, climático, geológico o geomorfológico) y otro de igual o mayor magnitud (OMM y UNESCO, 2012). De igual forma, Chow *et al.* (1994) lo define

como la recurrencia promedio de que un evento por ejemplo de caudal máximo, en un determinado curso de agua, iguale o supere un valor dado.

Así mismo para Linsley *et al.* (1977), representa el número de años que transcurren en promedio para que un evento sea igualado o excedido. Queda explícito que mientras más largas sean las series históricas de registros observados, mejor serán las estimaciones de los periodos de retorno de los eventos analizados. El periodo de retorno ( $Tr$ ) es el inverso de la probabilidad ( $p$ ) ver ecuación 2.1.

$$Tr=1/p$$

Ecuación 2.1

Dónde:

**$Tr$ :** es el periodo de retorno.

**$p$ :** es la probabilidad de ocurrencia de una evento ( $X \geq X_t$ ) en cualquier observación.

En consecuencia, el resultado se ve influenciado por la magnitud y longitud de las series históricas de registros observados, teniendo en cuenta que las estimaciones de los periodos de retorno serán mejores mientras más consolidados y amplios sean los registros.

**Simulación Hidrológica:** Según Duque (1980), no es más que la aplicación de un modelo para investigar indirectamente el comportamiento de una cuenca ante ciertas funciones de entrada, mediante el uso de un programa de computación.

Por otra parte hay una amplia variedad de programas o modelos de simulación que ayudan a definir la amenaza hidrológica. En los Estados Unidos, la Agencia Federal para el Manejo de las Emergencias, recomienda distintos modelos, agrupados básicamente en tres categorías, Federal Emergency Management Agency F.E.M.A. (2000): La primera de ellas son los métodos estadísticos como el modelo FAN, que permite zonificar conos de deyección altamente activos a través de la profundidad y velocidad del flujo de inundación. La segunda son los métodos de análisis hidráulico que son utilizados para flujo de cauces estables; en este grupo existen una gran cantidad de modelos hidráulicos, unidimensionales y bidimensionales. Un tercer grupo es el basado en datos geomorfológicos y registros históricos que se realiza a través de información histórica.

Dentro del método de Análisis Hidráulico, en la categoría de modelos unidimensionales, existen varios modelos para la determinación del perfil de agua, que se basan en el cálculo del flujo con movimiento estacionario unidimensional, resaltando entre ellos, según Federal Emergency Management Agency F.E.M.A. (2000), HEC-RAS, el cual se

utiliza para determinar el perfil superficial del agua en cauces naturales, siendo compatible con la presencia de obras hidráulicas.

El HEC-RAS este modelo realiza simulaciones de áreas inundables, detección de zonas de desborde, etc. Esta información servirá para la efectiva administración de recursos hídricos así como para mitigar los efectos de desastres naturales en zonas vulnerables (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología 2002).

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## 2.4 Marco Legal

Con el objeto de presentar una breve revisión de los principales aspectos legales que sirven de elementos de apoyo para el presente trabajo, se presentan los artículos de las leyes y lineamientos vigentes en Venezuela y considerados de mayor pertinencia en el tema.

Procedimiento Jurídico	Artículo
Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (CRBV, 2000).	<p>En el artículo 55 enuncia retóricamente que “Toda persona tiene derecho a la protección por parte del Estado a... situaciones que constituyan amenaza, vulnerabilidad o riesgo...”</p> <p>Así mismo el artículo 127:...“Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado... “Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos...”sean especialmente protegidos de conformidad con la ley”.</p>
<p><b>Comentario:</b> Es importante citar la constitución en primer lugar, por ser la principal carta de organización social dentro del territorio de la República por consiguiente, cada ley, decreto, entre otros, parten de esta, también cabe destacar que contempla dentro de sus artículos, responsabilidades de parte del estado para sus conciudadanos, en los ámbitos de seguridad, defensa y desarrollo de la ciudadanía, derechos sociales y ambientales que contribuyen a generar un sistema social seguro, lo cual se persigue en esta investigación.</p>	
Ley Orgánica del Ambiente (Gaceta Oficial 5833, del 22 de diciembre de 2006)	<p>Título III de la planificación del ambiente Capítulo I De la Planificación del Ambiente en su Artículo 23:“Los lineamientos para la planificación del ambiente son:...“2. La investigación como base fundamental del proceso de planificación, orientada a determinar el conocimiento de las potencialidades y las limitaciones de los recursos naturales”</p> <p>Artículo 56:“Para asegurar la sustentabilidad del ciclo hidrológico y de los elementos que intervienen en él; se deberán conservar los suelos, áreas boscosas, formaciones geológicas y capacidad de recarga de los acuíferos”.</p> <p>Artículo 57: “Para la conservación de la calidad del agua se tomarán en consideración los siguientes aspectos: ... 2. Las actividades capaces de degradar las fuentes de aguas naturales, los recorridos de éstas y su represamiento... 5. La protección integral de las cuencas hidrográficas. ... 7. El seguimiento continuo de los usos de la tierra y sus impactos sobre las principales cuencas hidrográficas, que abastecen de agua a las poblaciones humanas y los sistemas de riego de las áreas agrícolas”.</p> <p>Artículo 71: “El Estado garantizará a toda persona el acceso a la información ambiental, salvo que ésta haya sido clasificada como confidencial, de conformidad con la ley”.</p>

	<p>Artículo 72: “Las personas deberán establecer mecanismos de intercambio de información ambiental, de conformidad con los lineamientos de sistematización que establezca la Autoridad Nacional Ambiental, mediante resolución debidamente publicada en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela”.</p>
<p><b>Comentario de la investigación:</b> Se destaca en la legislación los principios rectores y disposiciones para la gestión del ambiente en el marco del desarrollo sustentable, como basamento para definir el comportamiento propicio o restringido de los recursos naturales. Así como lo relacionado con la conservación y protección de los suelos, las aguas y las cuencas hidrográficas, brindando atención a los usos de la tierra y sus impactos sobre los sistemas hidrológicos.</p>	
<p>Ley Orgánica de Seguridad de la Nación según Gaceta Oficial N° 37594 del 18/12/2002</p>	<p>Por su parte la, define en el artículo 24 el Sistema de Protección Civil, como una gestión social de riesgo...“con miras a la reducción de la vulnerabilidad ante los eventos de orden natural, técnico y social” Aunado a ello el artículo 25 de la misma ley establece que la gestión social de riesgo comprende un conjunto de objetivos orientados a garantizar la calidad de vida de los ciudadanos, promoviendo el desenvolvimiento de los aspectos de prevención, preparación, mitigación, respuesta y recuperación ante eventos de orden natural.</p>
<p><b>Comentario:</b> Esta ley tiene por objeto regular la actividad del Estado y la sociedad, en materia de seguridad y defensa integral, garantizando el goce y ejercicio de los derechos y garantías en los ámbitos económico, social, político, cultural, geográfico, ambiental y militar.</p>	
<p>Ley de Aguas (Gaceta Oficial N° 38595 del 2 de Enero de 2007)</p>	<p>Título I. Disposiciones generales Artículo 4:“La gestión integral de las aguas tiene como principales objetivos: 2. Prevenir y controlar los posibles efectos negativos de las aguas sobre la población y sus bienes”. Artículo 6:“Son bienes del dominio público de la Nación: 2. Todas las áreas comprendidas dentro de una franja de ochenta metros (80 mts.) a ambas márgenes de los ríos no navegables o intermitentes... medidos a partir del borde del área ocupada por las crecidas, correspondientes a un periodo de retorno de dos coma treinta y tres (2,33) años”</p> <p>Título II. De la conservación y aprovechamiento sustentable de las aguas Artículo 11:“Para asegurar la protección, uso y recuperación de las aguas, los organismos competentes de su administración y los usuarios y usuarias deberán ajustarse a los siguientes criterios 4. La conservación de las cuencas hidrográficas. 5. El manejo integral de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas”</p> <p>Artículo 14:“La prevención y control de los posibles efectos negativos de las aguas sobre la población y sus bienes se efectuará a través de: 1. Los planes de gestión integral de las aguas, así como en los planes de ordenación del territorio y de ordenación urbanística... 2. La construcción, operación y mantenimiento de las obras e instalaciones necesarias”.</p> <p>Artículo 15: “análisis de riesgos estará orientado a la prevención y control de inundaciones, inestabilidad de laderas, movimientos de masa, flujos torrenciales, sequías, subsidencia y otros eventos físicos que pudieran ocasionarse por efecto de las aguas”.</p>
<p><b>Comentario:</b> Lo que permite concluir, entre otros aspectos, es que existe la necesidad de tomar precauciones acerca de las consecuencias</p>	

<p>negativas de las aguas, que bien pudieran estar asociadas a la ocurrencia de crecidas y sus efectos sobre la población y sus bienes. Para reducir los daños generados por crecientes e inundaciones, se establecen franjas de protección de 80 metros para ríos no navegables y 100 metros para ríos navegables respectivamente, todo ello de la mano con: la conservación y gestión de las cuencas hidrográficas, el manejo de las aguas de escorrentía, escurrimiento y subterráneas, y la aplicación de medidas estructurales y no estructurales relacionadas con la ordenación del territorio. Igualmente se señala que en los estudios de riesgos deben incluirse el estudio y control de crecientes, lo que forma parte de la presente investigación.</p>	
<p>Ley de Meteorología e Hidrología Nacional. (Gaceta Oficial N° 5833 del 22 de diciembre de 2006)</p>	<p>En su título I Disposiciones generales Declaratoria De Interés General Artículo 3: “Se declara de interés general y uso público la información básica meteorológica e hidrológica, la cual se considera patrimonio de la República Bolivariana de Venezuela”.</p> <p>Artículo 8 “De acuerdo con esta Ley, los fines del Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología (SINAMEH), estarán dirigidos a:... “6. Promover mecanismos para la divulgación, difusión e intercambio de la observación de fenómenos meteorológicos e hidrológicos y de los que surjan como producto de su procesamiento e investigación. 7. Promover y alcanzar la modernización de la red a través de la actualización tecnológica, crecimiento y fortalecimiento de la misma”.</p> <p>Capítulo I Del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología Creación Del Instituto. Artículo 14: “Son funciones y atribuciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH): ... 2. Ejercer la autoridad nacional en cuanto al suministro de la información meteorológica e hidrológica. ... 4. Suministrar servicios de información con fines de pronóstico y alertas meteorológicos e hidrológicos a mediano y largo plazo; y servicios de asesoría y consultoría técnica al público en el área de su competencia... 7. Crear, desarrollar y mantener el Banco Nacional de Datos Meteorológicos”.</p>
<p><b>Comentario:</b> Entre muchos otros aspectos, se establece que el suministro de la información meteorológica, climática e hidrológica, es de interés nacional, público y de libre acceso. Lo que evidentemente sirve de elemento de apoyo a la presente investigación.</p>	
<p>Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos (LGIRSNT), aprobada en enero de 2009 y publicada en gaceta oficial N° 39095.</p>	<p>En este contexto el artículo 6, numeral 1 de la mencionada ley enfatiza que el Estado debe: “Garantizar que las acciones propias de la ordenación del territorio y de la planificación del desarrollo a todos los niveles de gestión, eviten potenciar o incrementar las condiciones de vulnerabilidad o de amenazas en el país”.</p> <p>Así mismo, el artículo 8 establece que la política de la gestión integral de riesgos socionaturales en Venezuela está regida, entre otros lineamientos, por la generación e inclusión de conocimientos y contenidos relativos a los niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en los distintos espacios geográficos, con el fin de prever y mitigar los riesgos existentes y de convivir con los riesgos de cada zona geográfica.</p> <p>Por otra parte, en el artículo 22, numeral 2, bajo la política nacional de la Gestión Integral de Riesgos Socionaturales se enmarcan los entes controladores a nivel regional y local, los cuales tienen entre otras funciones. Monitorear de manera permanente las condiciones de amenazas en las zonas de riesgo...</p>
<p><b>Comentario:</b> Es pertinente mencionar que la LGIRSNT está orientada a formular planes y ejecutar acciones de manera consciente, concertada y</p>	

SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DE CRECIDAS EN LAS SUBCUENCAS DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO MOCOTÍES  
EN EL MUNICIPIO ANTONIO PINTO SALINAS, MÉRIDA – VENEZUELA.

<p>planificada, para prevenir o evitar, mitigar o reducir el riesgo en una localidad o en una región, atendiendo a sus realidades ecológicas, geográficas, poblacionales, sociales, culturales y económicas.</p>	
<p>En el ámbito del estado Mérida, el ente controlador de mayor importancia en esta materia es el Instituto de gestión de Riesgos, Administración de Desastres y Protección Civil del Estado Mérida–Venezuela creado según Gaceta Oficial N° 239, del 6 de agosto de 2001.</p>	<p>En su reglamento, artículo 3 se señala que tendrá como objeto ejecutar las acciones que implican la gestión de riesgo y la minimización de los efectos de los desastres en cada una de sus etapas; preparación, prevención, mitigación, alerta, respuesta, rehabilitación y recuperación...</p> <p>Por último, en lo que respecta al área de estudio, los lineamientos de gestión de riesgo se encuentran enmarcados dentro de las políticas nacionales y estatales, siendo controladas y dirigidas principalmente, por Instituto de gestión de Riesgos, Administración de Desastres y Protección Civil del Estado Mérida – Tovar.</p>
<p><b>Comentario:</b> Esta institución es indispensable nombrarla puesto que es el ente rector del estado en gestión de riesgo en donde el reglamento que rige esta organización busca ejecutar las acciones que implican la gestión del riesgo en el estado Mérida, con un talento humano proactivo y profesional sustentado en los valores de solidaridad, voluntariedad, sentido social y humanitario.</p>	
<p>La Dirección Municipal de Protección Civil y Administración de Desastres del municipio Antonio Pinto Salinas esta última está en ordenanza municipal N° 17 en mayo de 2009</p>	<p>En su artículo 4 “garantiza que la reducción de los riesgos eventuales forme parte de la planificación del desarrollo y la ordenación territorial”...“Así como también, lograr la reducción de riesgos, la respuesta eficaz y oportuna, la preparación de la población para enfrentar eventos adversos y alcanzar la participación ciudadana. Es pertinente resaltar la importancia de esta ordenanza en el Municipio Antonio Pinto Salinas, puesto que, persigue planificar y establecer políticas que permitan la adopción de medidas relacionadas con la preparación para casos de desastres, en cada una de las fases que lo conforman y promover la gestión de riesgo para garantizar la protección de la comunidad.</p>
<p><b>Comentario:</b> Dentro de la institución, algunas de las funciones con mayor pertinencia en lo que respecta al tema objeto de estudio de la presente investigación, se encuentra generar información y gestionar proyectos y capacitación para minimizar las amenazas, con miras a la reducción de la vulnerabilidad en la población; así también, prever los daños en la infraestructura física y del ambiente en general, como parte esencial de la planificación del desarrollo municipal.</p>	

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO.

Se aplicó una metodología que permitió simular la ocurrencia de crecidas excepcionales para distintos periodos de retorno en las cinco(05) subcuencas ubicadas en la margen izquierda del río Mocotíes del municipio Antonio Pinto Salinas, del estado Mérida, con base en las condiciones hidrológicas - hidráulicas y geomorfológicas de cada afluente. Las conclusiones obtenidas por la investigación favorecen en el ámbito local la generación de propuestas que contribuyen a reducir la amenaza hidrológica.

La metodología utilizada surgió en esencia como el producto de la revisión de distintos procedimientos metodológicos empleados en trabajos relacionados con la simulación hidrológica, adaptados al área de estudio. La misma fue estructurada en cuatro (4) etapas que se describen a continuación: i) revisión de crecidas históricas y recientes así como de los diferentes tipos de movimientos de masa ocurridos en la vertiente izquierda del río Mocotíes, (ii) obtención de datos hidrometeorológicos e hidroclimáticos para realizar los análisis de una tormenta modelo y de frecuencias de lluvias extremas, además el estudio de los aspectos morfométricos y la propia realización de la simulación hidrológica e hidráulica, (iii) los respectivos trabajos de campo lo cual permitió verificar las condiciones de la zona y (iv) la generación de la cartografía de manchas de crecidas excepcionales para los siguientes periodos de retorno: 10 y 100 años además de hacer referencia a los sitios de posible afectación con base en las condiciones hidrogeomorfológicas verificadas en las respectivas salidas de campo y presentes en el área de análisis, para finalmente llegar a la generación de conclusiones y recomendaciones ver figura 3.1, referente a la secuencia metodológica, la cual se ubica al final de capítulo).

#### I. Revisión.

- **Bibliográfica y cartográfica:** En este caso se realizó la búsqueda de información bibliográfica y hemerográfica con el objetivo de condensar material pertinente a la descripción del área de estudio y a la problemática planteada, dicha búsqueda se basó en la recopilación de documentos históricos a partir de periódicos locales, artículos de revistas, trabajos de grado, trabajos de ascenso y capítulos de libros; algunos en físico, otros en formato digital y electrónico, para la posterior descripción del área de estudio. De igual forma, se hizo la revisión de la cartografía de la zona, ello permitió la delimitación del área de estudio; con la ayuda de: una imagen satelital SPOT pancromática con resolución espacial de 25 metros, una imagen satelital ASTER del 30/10/2008 con resolución espacial de 30 metros, fotografías aéreas a escala: 1:5.000 del año 1996 correspondientes con la misión 010488 “Santa Cruz” fajas

número: 1,2 y 3 correspondientes a la enumeración (001-013; 024-033 y 046-059); pertenecientes a Protección Civil Mérida, de igual forma a escala 1: 65.000 del 1993 con el número de misión 010493 “Mérida” puntualmente las hojas 69-76; y mapas de la Dirección de Cartografía Nacional a escala 1:25.000 que corresponden con las hojas: 5840 I (NE, NO, SO); III (NE, NO) y IV (NE, NO, SO, SE), y 5841 II (NO, SO) y III (SE) y los mapas a escala 1:100.000 (hojas número 5841 “El Vigía” y 5840 “La Grita”). Además se contó con la cartografía básica de detalle a ser empleada (a escala 1: 5.000, con curvas de nivel cada 1 metro) también facilitadas por Protección Civil Mérida correspondiente con las hojas número: SC5C\_03, SC5C\_04 y SC5D\_03, para Santa Cruz de Mora. Toda esta información en conjunto permitió obtener una mejor visual de las subcuencas, la cuales se delimitaron mediante el criterio de divisoria de agua a través del uso del software de Sistemas de Información Geográfica ARCGIS 10.5 (año 2017). Para la delimitación de los abanicos aluviales en estudio se utilizaron los criterios geomorfológicos universalmente aceptados apoyado con las curvas de nivel cada 1 metro.

Posteriormente, estos procedimientos permitieron elaborar el mapa base y los mapas temáticos los cuales complementaron la descripción físico-natural y social del área de estudio; finalmente en los sectores donde la escala de las fotografías aéreas y los mapas no favorecían la fotointerpretación o definición detallada de los sectores se utilizaron imágenes de Google Earth y SAS Planet. Con respecto a las condiciones geológicas del área se utilizaron los mapas geológicos y geomorfológicos, a escala 1:100.000 y 1:50.000 elaborados por Dugarte (2002) así como la evaluación geomorfológica de aquellos áreas más afectadas por la tormenta de febrero de 2005, mostradas por Páez (2005), Dugarte y Ferrer (2007 b), Bongiorno (2010) y Dugarte *et al.* (2014). En relación con los aspectos geomorfológicos y cartográficos en los sectores de interés se emplearon los criterios establecidos por el Programa Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA: GCA) del año 2005.

- **Fotointerpretación:** a misma se realizó a través de las ortofotos, y fotografías aéreas; y se llevó a cabo haciendo uso de estereoscopios de espejos para una visión general y de detalle, esto permitió identificar los aspectos geomorfológicos predominantes de la zona, tomando en cuenta la hidrografía, geología y geomorfología.

- **Búsqueda de información hidrometeorológica e hidroclimática, de crecidas históricas y recientes así como diferentes tipos de movimientos de masa ocurridos en las subcuencas en estudio;** dichos registros se tienen en las estaciones con competencia en hidrología y meteorología. A nivel nacional existe ausencia de este tipo de información producto del desmantelamiento de las estaciones meteorológicas en la década de los noventa; como ventaja se tiene que para el valle del Mocotíes recientemente están instaladas cuatro (4) estaciones meteorológicas experimentales, lo que pudiese generar datos reales en la zona pero debido a la longitud tan corta de

registros impidió realizar el análisis de frecuencia con estos datos. Por lo que se optó por transponer una tormenta ocurrida en otro lugar, hacia el área de estudio (lo cual será planteado más adelante) con características similares lo que permitió cartografiar la distribución espacial de dicho evento de precipitación. Es importante tener en cuenta que en la búsqueda de información las crecidas históricas y recientes; la fuente clave para su caracterización fue la ocurrencia tanto de eventos de lluvias máximas como de procesos hidrológicos y geomórficos.

## II. Obtención de datos.

✓ **Análisis de Frecuencia de Lluvias extremas:** Para el caso de esa investigación en particular, el ajuste de los datos de lluvias extremas se hizo para la estación La Fortuna, donde se centró la tormenta en estudio. Como resultado se obtendrán las lluvias puntuales de diseño, para las diferentes duraciones (1 hora, 3 horas, 6 horas, 9 horas, 12 horas y 24 horas), este procedimiento se efectuó luego de realizar a una análisis estadístico y se seleccionó como ajuste de la distribución, la distribución de probabilidad de Gumbel, ver ecuación 3.1 que además es la más empleada a nivel mundial para simular precipitaciones máximas (Delgadillo, 2014).

$$P(x \geq x_t) = 1 - e^{-\alpha(x_t - \beta)}$$

Ecuación 3.1

$$\alpha = 1.281 / S_y$$

Ecuación 3.2

$$\beta = \bar{Y} - 0.456 * S_y$$

Ecuación 3.3

$$T_r = 1 / P$$

Ecuación 3.4

Dónde:

P: es la probabilidad de que en un año cualquiera, un valor máximo sea superior o igual a al valor de  $x_t$ .

$\alpha$  y  $\beta$ : son los parámetros de la distribución.

$\bar{Y}$ : es la media de los valores.

$S_y$ : es la desviación estándar de la serie de datos.

$x_t$ : es el valor de la variable analizada, en este caso las profundidades e intensidades máximas de precipitación.

$T_r$ : es el periodo de retorno,  $(1 / P)$ , como el inverso de la probabilidad de Gumbel, mayor o igual que el valor de  $x_t$  considerado.

Igualmente se utilizó el Factor Frecuencia (Chow, *et al.*, 1994), para estimar los valores de  $x_t$  el cual se expresa de la siguiente manera:

$$X_t = \bar{X} + (K_t; n * S_{n-1})$$

Ecuación 3.5

$$K_t; n = \frac{y - \mu_y}{\sigma_y}$$

Ecuación 3.6

$$y = -\ln [\ln (T_r / T_r - 1)]$$

Ecuación 3.7

A partir de las cuales se construyeron las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) y Profundidad-Duración-Frecuencia (PDF) para periodos de retorno ( $T_r$ ) de 10, y 100 años, en las que se expresó la frecuencia de ocurrencia con la que se pueden presentar eventos de determinada intensidad o profundidad y duración.

Finalmente, los resultados obtenidos con el análisis de lluvias extremas, en conjunto con el procesamiento de datos derivados del análisis de tormentas, se usaron como datos de entrada claves en la generación de los hidrogramas de crecidas; así como también, sirvieron de apoyo para estudiar el comportamiento de las precipitaciones máximas en estudio.

✓ **Análisis de tormenta:** se realizó con el fin de definir la distribución temporal y espacial de las precipitaciones máximas, así como de sus cantidades a ser estudiadas en el presente trabajo.

La precipitación media caída en la tormenta modelo se estimó mediante los métodos clásicos: isoyético y los polígonos de Thiessen, y luego se elaboraron las curvas Área - Profundidad - Duración y se estimó el factor de reducción por efecto de área.

Tomando en cuenta las características de la cuenca del Mocotíes y la poca disponibilidad de datos hidrometeorológicos e hidroclimáticos de las estaciones que allí se encuentran, en este caso, se seleccionó una tormenta modelo específicamente la ocurrida el cinco (05) de Diciembre de 1970 en la cuenca del Río Cachirí Estado Zulia cuyos mayores volúmenes de lluvia se localizaron en la estación La Fortuna, donde se centró el evento de precipitaciones máximas y a la que se le aplicó el procedimiento de transposición de tormentas a fin de compensar la falta de información. Para ello se procesaron los datos de las lluvias extremas para la estación La Fortuna y la precipitación acumulada para la tormenta en horas.

De esta manera, para la realización del análisis de tormentas, considerando lo señalado por Delgadillo (2014) se procedió de la siguiente manera:

- a. Se grafican las curvas de masas para el evento, según los registros de cada una de las estaciones pluviográficas o pluviométricas digitales, en función de su duración en horas vs precipitación acumulada.
- b. Se elige el incremento de duración con el que se desea trabajar, pudiendo considerarse el estimado en: 1 hora (Guevara y Cartaya, 1991), 3, 6, 12 horas (OMM, 1994) ó 24, 48 y 72 horas (Chow *et al.*, 1994). Para el caso de la investigación en particular se utilizó incrementos de hora en hora.
- c. Se elaboraron los polígonos de Thiessen con las estaciones consideradas para la investigación
- d. Se realiza el mapa de isoyetas para la altura de precipitación total de la tormenta a partir de las estaciones consideradas, tomando en cuenta los posibles centros de la tormenta, si es más de uno, debe hacerse una separación de estos para poder realizar su análisis (Duque, 2010b), complementándose con la descripción de algunas consideraciones meteorológicas a escala local y regional de dicho evento.
- e. Se estima la precipitación media por el método isoyético.
- f. Se superponen los polígonos de Thiessen, sobre el mapa de isoyetas y se estima el área de influencia de cada estación para cada isoyeta encerrada
- g. Se calcula la precipitación media acumulada por el método de polígonos de Thiessen para cada intervalo de tiempo (según el incremento de duración seleccionado), lo que implica multiplicar cada una de las áreas de influencia de las estaciones que se localizan dentro de la isoyeta cerrada por la lluvia acumulada en milímetros, de cada estación correspondiente en función de las horas de la tormenta.
- h. Se hace un ajuste de la precipitación acumulada para el periodo total de estudio a la precipitación media sobre el área por el método isoyético (Duque, 2010). Para ello se lleva a cabo un ajuste de los polígonos de Thiessen a las isoyetas, con el propósito de tomar en cuenta la distribución de la precipitación en el área y en el tiempo, lo cual se consigue multiplicando la lluvia media por Thiessen de cada intervalo de tiempo considerado por un factor isoyético:

$$\text{Factor Isoyético} = \frac{\text{Precipitación media}}{\text{Precipitación acumulada}} = \frac{P_{\text{isoyético}}}{P_{\text{Thiessen}}} = \frac{P_{\text{ajustada}}}{P_{\text{Acum.}}}$$

Ecuación 3.8

i. Luego, con los diferentes valores de precipitaciones acumuladas ajustadas se procede a calcular la variación de la precipitación ( $\Delta P_p$ ) para cada intervalo de tiempo en horas con el que se está trabajando.

j. Finalmente se calculan las máximas precipitaciones ( $P_{pmax}$ ) para cada duración, tomándose como  $P_{pmax}$  para la primera duración el mayor valor de  $\Delta P_p$  calculado en el paso anterior. Para la siguiente duración se acumulan dos  $\Delta P_p$  consecutivos, tomando como resultado la mayor sumatoria posible, y de esa manera en orden sucesivo se calcularían las máximas precipitaciones para las siguientes duraciones.

k. Se grafican seguidamente las curvas Área - Profundidad - Duración (APD) en papel semilogarítmico, seleccionando la precipitación máxima promedio (escala natural) y para cada una de las áreas encerradas por las isoyetas (escala logarítmica).

Posteriormente, se lleva a cabo la transposición de tormentas y elabora las curvas del factor de reducción por efecto de área, y se toma como referencia que la profundidad promedio de una lluvia disminuye a medida que el área en torno al centro de una tormenta va aumentando, por lo tanto se requiere emplear un factor de área llamado  $K_a$ , que considere este efecto de reducción.

Siendo así, la relación  $K_a$  vs Área, se expresa gráficamente y se obtiene a partir de las isoyetas cerradas de la tormenta de una duración dada (Silva, 1990); estimándose en función de la siguiente ecuación:

$$K_a = P_p / P_c$$

Ecuación 3.9

**Dónde:**

$K_a$ : factor de reducción por efecto del área.

$P_p$ : precipitación promedio del área (mm)

$P_c$ : precipitación del centro de la tormenta (mm).

Consecuentemente, tanto los resultados del análisis de frecuencia como los del análisis de tormentas se usaron en este caso como fuentes de información en la generación de los hidrogramas de crecidas, pues la curva PDF de 8 horas de duración se multiplicó por el valor de  $K_a$ , donde se obtuvo así los hietogramas para una profundidad de 8 horas, que a su vez se corresponde con la duración de la tormenta y un periodo de retorno ( $T_r$ ) de 10 y 100 años, que se requerían para la simulación hidrológica.

✓ **Aspectos hidrográficos (morfométricos):** en este caso se emplearon estimaciones propias y se compararon con los resultados obtenidos por: Dugarte (2002), Páez (2005), Delgadillo y Páez (2008), Bongiorno *et al.* (2010), Delgadillo (2014) y Dugarte *et al.* (2015).

Así se estimó el perímetro, el total, desnivel de cauces y los órdenes de los cauces, el área y la longitud axial de las cuencas y el desnivel de las subcuencas, así como la pendiente media del cauce principal y se elaboró un perfil longitudinal de cada uno de los afluentes hídricos hasta su desembocadura con el río Mocotíes. Así se estudiaron las formas, red de drenaje y pendientes de las subcuencas en estudio, empleando para ello la relación de forma de Horton, la densidad de drenaje, las pendientes medias de los cauces principales con sus respectivos perfiles longitudinales, además se realizaron estimaciones del tiempo de concentración de Kirpich.

✓ **Simulación hidrológica de crecidas mediante el programa HEC - HMS 4.2.1.0** se usó para generar la respuesta hidrológica de las subcuencas en estudio, en función de los procesos de lluvia - escorrentía. Con el objetivo de estimar los caudales máximos para diferentes periodos de retorno en los sitios de interés seleccionados se utilizó el software HEC-HMS 4.2.1.0 (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System del año 2016). Este modelo desarrollado en los E.E.U.U, utiliza diferentes componentes para simular los caudales 'picos': (1) los modelos de las cuencas, (2) modelos meteorológicos, (3) las especificaciones de control y (4) los datos de las series de tiempo.

En el desarrollo de este trabajo, se ha empleado con el fin de estimar los caudales máximos para diferentes periodos de retorno (10 y 100 años) considerando como puntos de cierre la confluencia de cada uno de los cinco (05) afluentes hídricos en estudio con el río Mocotíes. En este sentido, a los efectos de simular los caudales máximos en este trabajo, se seleccionaron dentro del modelo el método del Número de Curva de escorrentía (CN) para estimar la lluvia efectiva y el método de la Onda Cinemática para elaborar el tránsito de los caudales.

Siguiendo el mismo orden de ideas se debe resaltar que, solo se trabajaron los periodos de retorno de 10 y 100 años dado que la tormenta utilizada cuenta solo con 20 años de registro los cuales fácilmente permiten adaptarse o transponerlos para los años en estudio (10 y 100) mas no es recomendable para 500 años de periodo de retorno puesto que la tormenta objeto de análisis presenta muy pocos años de registro como para realizar la transposición hasta este punto. Destacándose que, se contemplaron los periodos de retorno de 10 y 100 años, estos debido a que permiten generar conclusiones ante procesos de planificación de desarrollo urbano local, que incluye obras de infraestructura como viviendas, vialidad y acueductos y que además servirán de referencia en procesos de planificación de desarrollo a largo plazo así como para obras de gran envergadura.

Lo anteriormente planteado se realizó para cada uno de los cinco afluentes hídricos en estudio (quebrada El Barro, El Diamante, Los Cedros, La Parada y San José).

❖ **Estimación de la Lluvia Efectiva - Método del Número de Curva (CN):** Este método desarrollado por el antiguo Soil Conservation Service en la actualidad denominado Servicio de Conservación de Recursos Naturales de Estados Unidos, (NRCS) el cual permite estimar la precipitación efectiva basándose en el complejo suelo/cobertura/humedad antecedente de las cuencas (Guevara y Cartaya, 1991).

Los elementos que influyen en este complejo se describen a continuación:

**a) Humedad antecedente de las subcuencas:** Se refiere al estado de humedad del suelo previo a la tormenta en estudio, considerando la precipitación acumulada en los cinco días anteriores al evento. De esta manera la humedad antecedente se reduce a las tres condiciones que se presentan a continuación en el cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1.** Condiciones iniciales de humedad del suelo.

Condición de Humedad Antecedente (CHA)	Precipitación acumulada en los 5 días previos al evento en consideración
I	0,0 a 33,0 mm
II	33,0 a 52,5 mm
III	más de 52,5 mm

**Fuente:** Duque (2006).

En la presente investigación se tomó en consideración la condición de humedad I, la cual tiene el menor potencial de escorrentía, con los suelos estando lo suficientemente secos para un arado satisfactorio o para que una siembra se lleve a cabo.

Destacándose que, se utilizó el método de número de curva escorrentía (CN) para el cálculo de la lluvia efectiva, con condición de humedad antecedente II y III, pero en vista de que estas daban condiciones muy elevadas, lo cual arrojaba caudales muy altos para el área en estudio al momento de utilizar el HEC-HMS se tomó la decisión de trabajar en función de la humedad antecedente I, para los diferentes periodos de retorno en los cinco afluentes hídricos en estudio.

**b) Grupos hidrológicos de suelos:** relacionan las diferentes texturas de los suelos con los procesos de escorrentía e infiltración, pudiendo clasificarse en cuatro grupos de acuerdo a su potencial de escorrentía, (cuadro 3.2); los cuales se describen según Rojas (1998) de la siguiente manera: **(i) Grupo A;** ofrece una escorrentía baja y mayor infiltración e incluye los suelos que presentan mayor permeabilidad, incluso cuando están saturados. Abarcan los terrenos profundos, sueltos, de texturas gruesas, con predominio de arena o grava y muy poco limo y arcilla, **(ii) Grupo B;** hace referencia a los suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados, abarcando desde los terrenos arenosos menos profundos, a aquellos de textura franco arenosa de mediana profundidad y los francos profundos, **(iii) Grupo C;** incluye los suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados y de texturas moderadamente finas a muy finas con infiltración lenta, y por último el **(iv) Grupo D;** son los tipos de suelos que

proporcionan mayor escorrentía, por ser los que presentan mayor impermeabilidad, tales como terrenos arcillosos profundos con alto potencial de expansión, los que presentan en la superficie o muy cerca, una capa de arcilla muy impermeable o aquellos con un subsuelo bastante impermeable próximo a la superficie.

Los grupos de suelo se relacionan con las clases texturales como se señala en el Cuadro 3.2.

**Cuadro 3.2.** Conversión de las clases texturales de suelo a los grupos de suelos del método del Número de Curva del NRCS.

<b>Grupos Hidrológicos de Suelo</b>			
<b>Término General</b>	<b>Clase Textural</b>	<b>Grupo de Suelo</b>	<b>Potencial de escurrimiento GHS</b>
Suelos de textura gruesa	Arenoso	A	Bajo potencial de escorrentía
	Areno-francoso	A	
Suelos de textura moderadamente gruesa	Franco-arenoso	B	Moderadamente bajo potencial de escorrentía
Suelos de textura media	Franco	B	Moderadamente alto potencial de escorrentía
	Franco-limoso	C	
	Limoso	C	
Suelos de textura moderadamente fina	Franco-arcilloso-arenoso	C	
	Franco-arcilloso	D	
	Franco-arcillo-limoso	D	
Suelos de textura fina	Arcillo-arenoso	D	Alto potencial de escorrentía
	Arcillo-limoso	D	
	Arcilloso	D	

**Fuente:** Duque (2006).

En este caso se dispuso del mapa de suelos de los trabajos de Castillo y Castillo (1970), Castillo *et al.* (1972) y Delgadillo y Páez (2008), con el fin de hallar el grupo de suelos correspondiente para cada subcuenca en estudio e interrelacionar con los procesos de escorrentía e infiltración. De igual forma se debe resaltar que se utilizó el mapa de geología elaborado por Dugarte (2002), a partir del cual se puede inferir los principales grupo hidrológicos de los suelos tomando en cuenta el tipo de material parental y los procesos de meteorización química y física.

**c) Condición hidrológica:** se establece en función del porcentaje de cobertura vegetal que la cubre.

Finalmente la condición hidrológica de una cuenca se clasifica en tres clases:

- (i) Buena, con una cobertura vegetal de más del 75%,
- (ii) Regular para una cobertura entre 50 y 75%, y
- (iii) Mala, menos del 50% de cobertura.

**d) Precipitación efectiva:** para la estimación de la lluvia efectiva, se puede emplear el método del número de curva de escorrentía (CN) del Servicio de Conservación de Suelos (S.C.S.) de los Estados Unidos.

$$P_e = \frac{(P - 0.2.S)^2}{P + 0.8.S}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Donde

$P_e$ : es la precipitación efectiva, en mm.

P: es la precipitación total, en mm.

S: es la infiltración potencial, en mm.

CN: es el número de curva de escorrentía.

*Número de curva de escorrentía (CN):* Se estiman a través de las tablas del S.C.S. para cada subcuenca (Guevara y Cartaya, 1991; Chow *et al.*, 1994; Monsalve, 2006; Duque, 2006).

Tomando en cuenta que cuanto más densa es la cubierta vegetal mejor es su condición hidrológica para la infiltración y menor es el Número de Curva (CN). Por el contrario, en los cuerpos de agua presentes en la cuenca, el CN adquiere un valor cercano a 100, pues la precipitación que cae sobre esta cobertura se convierte en escorrentía directa, algo similar sucede en las áreas urbanas donde predomina el concreto y el asfalto, que impide en gran medida los procesos de infiltración, por lo que la lluvia se transforma en escorrentía.

Tal como se muestra en los siguientes cuadros (cuadro 3.3) de acuerdo al tipo de condición que se tenga en cada área objeto de análisis.

**Cuadro 3.3.** Valores del Número de Curva (CN) para los complejos Suelo - Cobertura - Condición de Humedad Antecedente II (CHA=II).

Cobertura			Grupo de suelo			
Uso de la tierra	Practica cultural	Condición hidrológica	A	B	C	D
Rastrojo o barbecho	---	---	77	86	91	94
Cultivos alineados o en hileras	Hileras rectas	Mala	71	81	88	91
	Hileras rectas	Buena	67	78	85	89

**SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DE CRECIDAS EN LAS SUBCUENCAS DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO MOCOTÍES  
EN EL MUNICIPIO ANTONIO PINTO SALINAS, MÉRIDA – VENEZUELA.**

	En curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
	En curvas de nivel	Buena	65	75	82	86
	En curvas de nivel y terrazas	Mala	66	74	80	82
	En curvas de nivel y terrazas	Buena	62	71	78	81
Cultivos no alineados o con surcos pequeños o mal definidos	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
	Hileras rectas	Buena	63	75	83	87
	En curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
	En curvas de nivel	Buena	61	73	81	84
	En curvas de nivel y terrazas	Mala	61	72	79	82
	En curvas de nivel y terrazas	Buena	59	70	78	81
Cultivos densos de leguminosas o forraje en rotación	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
	Hileras rectas	Buena	58	72	81	85
	En curvas de nivel	Mala	64	75	83	85
	En curvas de nivel	Buena	55	69	78	83
	En curvas de nivel y terrazas	Mala	63	73	80	83
	En curvas de nivel y terrazas	Buena	51	67	76	80
Pastizales naturales o pastos de pastoreo	---	Mala	68	79	86	89
	---	Regular	49	69	79	84
	---	Buena	39	61	74	80
	En curvas de nivel	Mala	47	67	81	88
	En curvas de nivel	Regular	25	59	75	83
	En curvas de nivel	Buena	6	35	70	79
	Pasto de corte	---	Buena	30	58	71
Bosques	---	Mala	45	66	77	83
	---	Regular	36	60	73	79
	---	Buena	25	55	70	77
Caseríos o patíos	---	---	59	74	82	86
Caminos de tierra	---	---	72	82	87	89
Caminos asfaltados	---	---	74	84	90	92

**Fuente:** Duque (2006).

**Cuadro 3.4.** Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones de humedad antecedente, II,  $I_a=0.2S$ ).

Descripción del uso de la tierra	Grupo Hidrológico del Suelo			
	A	B	C	D
<b>Tierra cultivada</b>				
Sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
Con tratamientos de conservación	62	71	78	81
<b>Pastizales</b>				
Condiciones pobres	68	79	86	89
Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de río: condiciones óptimas	30	58	71	78
<b>Bosques</b>				
Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas.	45	66	77	83
Cubierta buena (protegida por pastizales, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo).	25	55	70	77
<b>Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, entre otros</b>				
Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75 % o más	39	61	74	80
Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75 %	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
<b>Residencial</b>				
Tamaño promedio del lote	% promedio impermeable			
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, (entre otros en países más cálidos se puede utilizar el CN=95)	98	98	98	98
<b>Calles y carreteras</b>				
Pavimentados con cunetas y (alcantarillados en países más cálidos se puede utilizar el CN=95)	98	98	98	98

Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

**Fuente:** Chow (1956).

Para definir la condición hidrológica del área en estudio se utilizaron los mapas de cobertura vegetal y uso actual de la tierra elaborados por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Fundación para la Prevención de los Riesgos Sísmicos (FUNDAPRIS) del Estado Mérida (2010), para la cuenca del río Mocotíes. Una vez definida la condición hidrológica se aplicó la siguiente ecuación.

Ecuación 3.10

$$CN_1 = CN_{II} / (2.3 - 0.013 * CN_{II})$$

**Dónde:**

CN<sub>II</sub>: corresponde al valor obtenido según cobertura y uso de suelo 2.3 y 0.013: son constantes

**d) Precipitación efectiva:** se obtuvo a partir de los cuadros propuestos por el NRCS en las que se detalla el Número de Curva escurrentía (CN). Para ello se calculó la infiltración potencial y en función de ésta se estimó la lluvia efectiva, considerando la precipitación acumulada, la cobertura y el uso actual de la Tierra y la humedad antecedente, tomando como referencia las ecuaciones planteadas a continuación (Guevara y Cartaya, 1991; Chow *et al.*, 1994; Duque, 2010b; Delgadillo, 2014).

$$Pe = (P - 0,2 S)^2 / p + 0,8S$$

Ecuación 3.11

**Dónde:**

Pe: es la precipitación efectiva, en mm.

P: es la precipitación total, en mm.

S: es la infiltración potencial, en mm.

CN: es el número de curva de escurrentía, tabulado en función de la humedad antecedente, el tipo de suelo y su cobertura.

En este contexto se necesitó calcular la infiltración potencial a partir de la utilización del método del número de curva de escurrentía (CN) el cual se estimó, a su vez mediante el uso de los cuadros del NRCS (Guevara y Cartaya, 1991; Duque, 2010b).

$$S = \frac{25400 - 254}{CN}$$

Ecuación 3.12

En este orden de ideas, cabe señalar que los valores de CN oscilan entre 100, para cuerpos de agua, y 30 aproximadamente para suelos permeables con altas tasas de

infiltración; con el conocimiento del uso de la tierra, la clase de suelo, la condición hidrológica y los cuadros adaptadas del NRCS, se puede encontrar un valor único de CN ponderado para toda la cuenca, considerando la siguiente ecuación:

$$\text{CN Ponderado} = \sum \text{CN Ponderado} = \sum A_i * \text{CN}_i A_i$$

Ecuación 3.13

**Dónde:**

CN Ponderado: Número de curva de escorrentía, utilizado en este caso para el cálculo de los caudales máximos con el programa HEC-HMS.

i: índice de las subdivisiones de los usos de la tierra y los grupos hidrológicos de suelos en la cuenca hidrográfica.

CN<sub>i</sub>: es ponderado para los segmentos de escurrimiento.

A<sub>i</sub>: Área de drenaje para los segmentos de escurrimiento.

❖ **Método de la Onda Cinemática para elaborar el tránsito de los caudales;** es el procedimiento por el cual se calcula cómo evoluciona un hidrograma generado en una subcuenca a medida que discurre o transita por su cauce hasta la confluencia con otro dren. En este caso se empleó precisamente el método de la onda cinemática para el tránsito de los caudales, que tiene como punto de partida las ecuaciones de conservación de la masa y cantidad de movimiento para un flujo no permanente unidimensional, también conocidas como ecuaciones de Saint-Venant, la cual se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} QI &= \frac{\partial a}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} \\ &= S_o - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V \partial V}{g \partial x} - \frac{1 \partial v}{g \partial t} \end{aligned}$$

Ecuación 3.14

Estas expresiones a su vez son combinadas con la ecuación de Manning para el cálculo de flujo uniforme:

$$\begin{aligned} Q &= 1/n S^{1/2} * R^{2/3} * A \\ R &= A / P_m \end{aligned}$$

Ecuación 3.15

**Dónde:**

A: área mojada en la sección transversal.

t: tiempo.

Q: caudal instantáneo.

x: distancia horizontal, en el sentido del flujo.

R: radio hidráulico de la sección

n: coeficiente de rugosidad de Manning.

S: pendiente media del fondo del canal.

Pm: perímetro mojado.

A través de esta forma, el modelo simula de modo unidimensional un flujo en canales abiertos, por lo que para la estimación de cada hidrograma aguas abajo se consideró el hidrograma aguas arriba como una condición de contorno, lo que conlleva a que se observe cómo evoluciona un hidrograma generado en una subcuenca a medida que discurre a lo largo de un cauce hasta otra distinta. Finalmente, el hidrograma resultante de la cuenca es la suma de todos los caudales generados y transitados a lo largo de ésta.

❖ **Conceptualización hidrológica de las subcuencas Cuenca:** El modelo permitió que las subcuencas en estudio sean estructuradas en un sistema compuesto por subsistemas hidrológicos de menor tamaño, (segmentos de escurrimiento), que hacen referencia a los flujos superficiales que circulan a través de las vertientes, y en segmentos de escurrimiento, que son los flujos que discurren por los cauces propiamente dicho y que al mismo tiempo sirven para delimitar las dos vertientes.

En este sentido, el nivel de detalle con el que se realizó la subdivisión de las subcuencas, es decir, la forma en cómo se conceptualiza y los diferentes subsistemas hidrológicos resultantes que influyen directamente en los hidrogramas de crecidas simulados, debido a los efectos del procedimiento de tránsito de caudales.

De allí se desprende que, para cada segmento de escurrimiento y escurrimiento, será necesaria la estimación de diversos parámetros que se utilizaron como datos de entrada en el modelo HEC-HMS 4.2.1.0.

- **Segmentos de Escurrimiento:** guarda estrecha relación con los flujos superficiales que transitan a través de las vertientes, para ello se estimaron: sus áreas, longitud, pendiente media, número de curva de escurrimiento (CN) y la rugosidad de Manning considerando los valores sugeridos por el USDA - NRCS (1986).

- o **Área y longitud:** las subcuencas fueron subdivididas de acuerdo a la conceptualización planteada, para posteriormente calcular el área para cada segmento; y en lo que respecta a la longitud de las vertientes se obtuvo al dividir el área de los segmentos de escurrimiento, entre la longitud de los segmentos de escurrimiento, esto se extrajo del mapa de conceptualización de las subcuencas en estudio.

o **Pendiente media:** se estimó como un valor promedio, con base al mapa de pendiente que se elaboró con curvas de nivel a equidistancia de 100 m. La cual se estimó con el Método de Alvord; el cual consiste en hallar la pendiente existente entre las curvas de nivel, en donde se trabajó con la franja altitudinal definida por las líneas medidas que pasan entre dichas curvas; para así obtener la pendiente media de la cuenca al ponderar la pendiente hallada para cada franja en función de sus área.

o **Número de curva de escorrentía (CN):** se calcularon como un valor ponderado en función de la cobertura y las unidades de suelo presentes en cada segmento, empleando para ello los cuadros de número de curva CN (cuadros 3.3 y 3.4), a partir de los cuadros del antiguo S.C.S, y de los mapas de cobertura vegetal y uso de la tierra para el área de análisis, así como del mapa de suelos tal y como se había mencionado en páginas precedentes. Para ello se utilizó el software de sistemas de información geográfica ArcGIS 10.5.

o **n de Manning:** los valores de rugosidad de Manning se obtuvieron según las diferentes coberturas en función de los valores tabulados del USDA - SCS (1986).

▪ **Segmentos de Escorrentía:** hace referencia a los flujos que van a través de un cauce. Para ello se estimó su longitud y pendiente, y se les asignó un valor de rugosidad  $n$  de Manning. El procedimiento será el siguiente, para cada uno de los factores influyentes:

- ❖ **Longitud y pendiente media:** las longitudes medidas en metros para los diferentes segmentos de escorrentía, se estimaron en formato digital mediante el uso del programa ArcGis 10.5 y en lo referente a la pendiente media se calculó en grados y en m/m, empleando criterios universalmente aceptados basados en la división de la diferencia de cotas ubicadas en los extremos de cada segmento, entre la distancia horizontal de dicho segmento de escorrentía.
- ❖ **n de Manning:** se tomaron en cuenta los factores que influyen en los cauces, entre estos se tienen: el tamaño de los materiales presentes en las subcuencas objeto de análisis, dado que dependiendo de su tamaño producen un efecto retardante sobre el flujo; la vegetación, irregularidad y alineamiento del canal y el tipo de obstrucciones en el cauce. El valor a utilizar en este trabajo es de 0,05 representativo de cauces de montaña (Sala y Batalla, 1999).
- ❖ **Construcción de hietogramas:** se utilizaron como datos de entrada en el modelo de simulación hidrológica, mostrando la evolución de la precipitación máxima a lo largo del tiempo de duración de la lluvia de diseño, que generalmente se considera igual al tiempo de concentración de la cuenca. Sin embargo, fue conveniente la determinación de las magnitudes de precipitación por intervalo de tiempo que se puedan producir en la estación centro de la tormenta para diferentes duraciones de lluvia y periodos de retorno, en función

de los resultados obtenidos en el análisis de tormentas (Silva, 1990). En el caso de esta investigación, los hietogramas tuvieron una duración de 8 horas y periodos de retorno de 10 y 100 años.

✓ **Realización de la simulación hidráulica mediante el programa HEC-RAS 5.0.3 y HEC-GEORAS 10.5 (ambas año 2016):** Permitió estimar la capacidad de los cauces para transportar una determinada creciente, para generar más tarde las manchas de crecidas excepcionales, así como las condiciones hidráulicas de las cinco (05) subcuencas en estudio. En este sentido, el modelo requirió como datos de entrada la geometría del cauce (secciones transversales), la rugosidad del lecho y de los bancos, y los caudales máximos.

- **Datos geométricos:** La creación de datos geométricos se utilizó para establecer la conectividad del sistema hidrológico dentro del modelo. Desde esta perspectiva, incluyó la creación de secciones transversales en cada uno de los drenes en estudio con una equidistancia cada 100 metros.

Para el caso particular de esta investigación, con el fin de cumplir con los objetivos propuestos, solo se consideraron para la simulación las cinco (05) subcuencas ubicadas en la margen izquierda del río Mocotíes (quebradas El Barro, El Diamante, La Parada, Los Cedros o Carmania, y San José).

En este sentido, uno de los atributos fundamentales es la definición de secciones transversales; en lugares representativos, de forma tal que permitan describirlos cauces desde el punto de vista hidráulico, incluyendo la rugosidad, pendiente, el radio hidráulico y el área de las secciones. En consecuencia, se realizaron secciones, que se obtuvieron de un modelo digital de elevación en formato TIN (*Triangulate Irregular Network*), a través de la interpolación con ArcGIS las cuales permiten mostrar con gran detalle la topografía de los cauces por donde discurren los afluentes hídricos en estudio, para generar salidas cartográficas con escala de representación a 1: 5.000.

Asimismo, cada una de estas secciones tiene asociado valores de rugosidad  $n$  de Manning, del fondo del cauce que, como fue señalado en el apartado anterior, para zonas de montaña se seleccionó en 0,05 por Sala y Batalla (1.999), tal y como se había señalado con anterioridad.

- **Análisis de flujo:** En este orden de ideas, se realizaron las estimaciones de los perfiles de agua de flujo constante y de las velocidades, empleando el modelo HEC - RAS 5.0.3, y los caudales máximos de 10 y 100 años de periodo de retorno, generados por el modelo HEC - HMS 4.2.1.0, además de las características topográficas del área de estudio obtenidas de las secciones transversales, bajo el supuesto, de que el régimen de flujo que relaciona la gravedad y las fuerzas inerciales, es supercrítico, pues

la pendiente es elevada pudiendo alcanzar mayores velocidades y con ello aumenta la capacidad de arrastre de los flujos de agua y materiales. Posteriormente, esta información se procesó de nuevo sobre el modelo digital de elevación, creando así un ráster con la mancha de desborde.

Finalmente, estos resultados fueron analizados, tomando como base no solo las condiciones hidrológicas, sino también geológicas - geomorfológicas de las subcuencas en estudio, como criterios para la zonificación de la amenaza por crecidas.

### **III. Trabajo de campo.**

Se realizaron salidas de campo en pro de actualizar o encontrar nuevos problemas puntuales vinculados con socavación lateral, potencial de represamientos, cambios de dirección en los cursos de agua; así como uso del suelo, y evaluación de aquellos sectores con altas probabilidades de desbordes, que se encuentran dentro de los afluentes hídricos en estudio. Aunado a ello estas salidas permitieron tomar fotografías panorámicas del área de estudio y analizar las particularidades propias de las subcuencas ubicadas en la margen izquierda del río Mocotíes en el municipio Antonio Pinto Salinas.

**IV. Definir los sitios de posible afectación con base en las condiciones hidrológicas - hidráulicas, hidrogeomorfológicas, presentes en el área de análisis:** La zonificación de la amenaza hidrológica por crecidas, se realizó considerando la respuesta hidrológica de las subcuencas en estudio ante la ocurrencia de lluvias extremas, tomando como punto de partida la generación de los caudales, ampliamente discutida en párrafos precedentes con el uso del software HEC-HMS 4.2.1.0 y la simulación hidráulica llevada a cabo en el programa HEC-RAS 5.0.3 y HEC-GEORAS 10.5, donde las áreas que resulten afectadas pudiesen ocasionar pérdidas de: vidas, daños a edificaciones e infraestructuras sin dejar de lado que pudiesen ocurrir pérdidas totales o ante eventos menores como resultado de la socavación lateral.

Su relevancia viene dada, porque las subcuencas en estudio: quebradas El Barro, El Diamante, La Parada, Los Cedros o Carmania, y San José las cuales drenan sus aguas al río Mocotíes; las mismas se encuentran en una zona montañosa, donde las profundidades y velocidades de los caudales máximos en caso de lluvias concentradas suelen ser considerables.

Además de la zonificación realizada por Páez (2005) en cada uno de los rellenos aluvio - torrenciales depositados por los drenes objeto de estudio luego del evento del 11 de febrero de 2005, lo cual resultará de especial importancia en este trabajo, dado que dicha afectación fue medida en la zona de impacto a tan solo semanas del citado

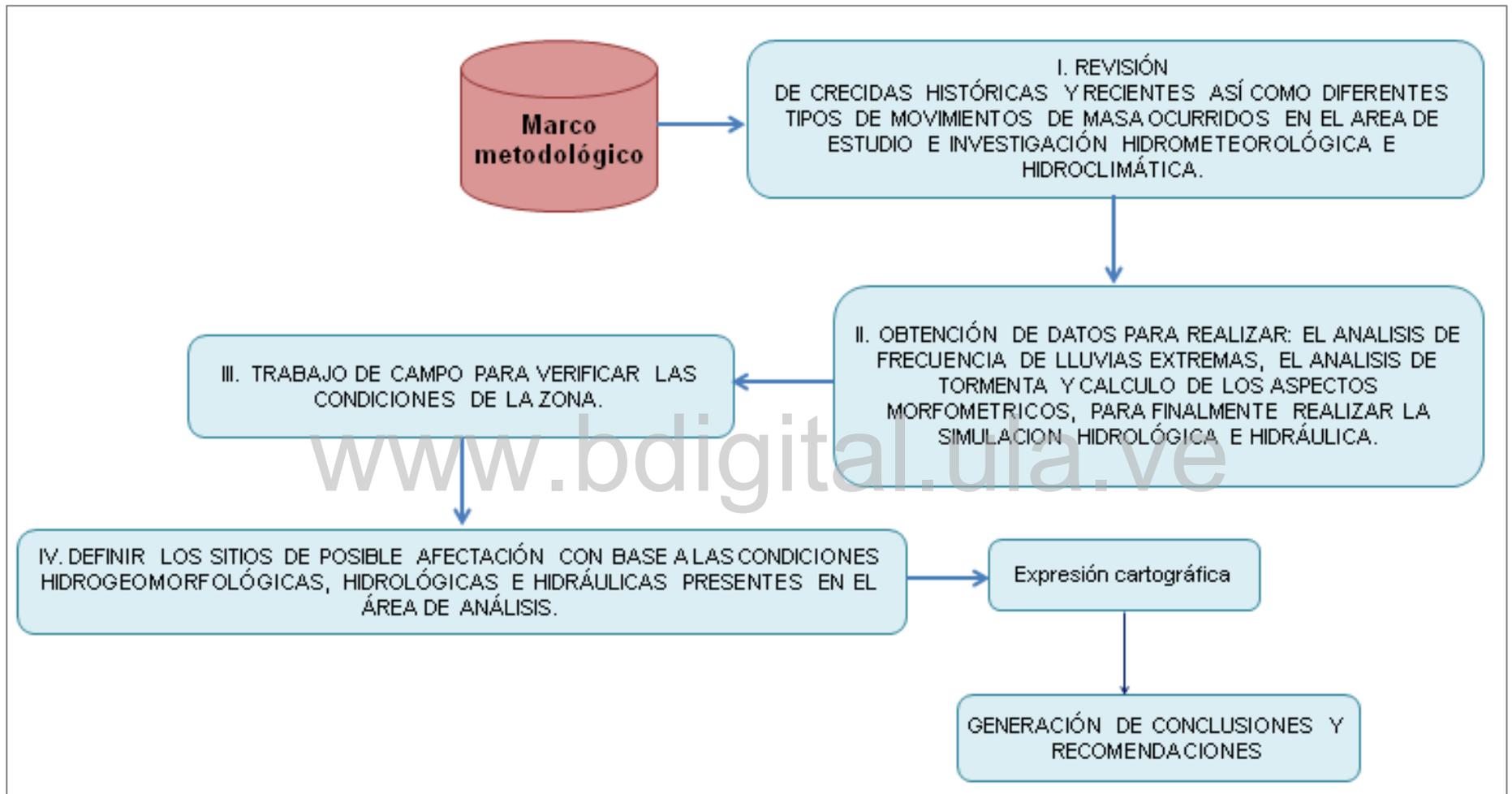
evento, lo que permitirá comparar con las manchas de crecidas excepcionales o afectación surgidas en esta investigación.

Aunado a lo anteriormente planteado; el uso de fotografías aéreas, el análisis de los aspectos geológicos, geomorfológicos, los perfiles longitudinales y la información relacionada con: la cobertura de la tierra, la condición hidrológica y la morfometría de las subcuencas, así como la identificación de posibles represamientos causados por lluvias concentradas, posibles obstrucciones artificiales y naturales, la distancia al cauce, secciones sometidas a fuertes procesos de socavación lateral, fuertes limitaciones asociadas con una dinámica muy activa de los afluentes hídricos, en conjunto permiten realizar una zonificación en un área de estudio.

Finalmente, no se debe perder de vista que las distancias de los cauces (en cuanto al trazado de los perfiles transversales) objeto de estudio, varían de acuerdo con los resultados de la modelización hidráulica y con los análisis geomorfológicos empleados, y que general se establecieron o se trazaron en secciones cada 100 metros.

- **Generación de conclusiones y recomendaciones para cada subcuenca en estudio:** de acuerdo a lo obtenido en la validación en campo, y la simulación hidrológica; las mismas serán propuestas al final de la investigación con la finalidad de que sean de utilidad para la gestión de las subcuencas y la ordenación territorial y ambiental en el ámbito local.

Figura 3.1. Secuencia metodológica empleada en el trabajo



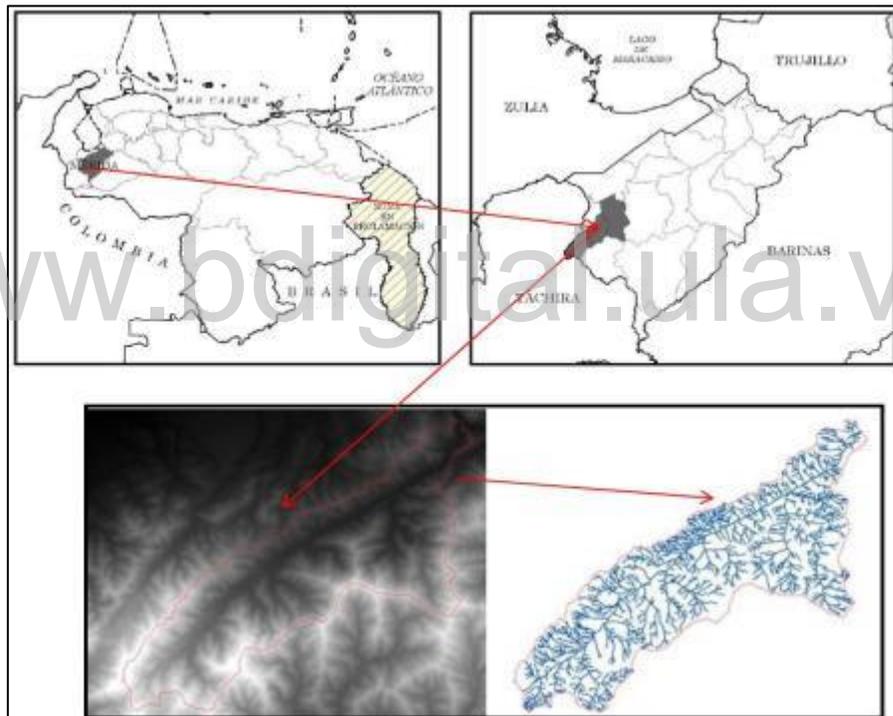
## CAPÍTULO IV

### DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICO - NATURALES Y SOCIALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.

#### 4.1. Localización y Ubicación del Área de Estudio

El área objeto de estudio se ubica dentro de la cuenca del río Mocotíes en los Andes Centrales Venezolanos, específicamente en la Cordillera de Mérida al suroeste del Estado homónimo; dicha cuenca está conformada por los municipios Rivas Dávila, Tovar y Antonio Pinto Salinas. La cuenca del río Mocotíes se localiza entre los meridianos 71° 30' y 71° 50' de longitud oeste y los paralelos 8°10' y 8°25', ocupa una extensión aproximada de 524,40 Km<sup>2</sup>, (ver figura 4.1).

**Figura 4.1.** Ubicación de la Cuenca del Río Mocotíes.



Puntualmente la zona de estudio se encuentra situada en la margen izquierda del río Mocotíes, en el municipio Antonio Pinto Salinas y ésta conformada por cinco (05) subcuencas: El Barro, El Diamante, La Parada, Los Cedros o Carmanía y San José; las cuales drenan sus aguas de forma transversal al afluente anteriormente nombrado. Una de las características más importantes es la torrencialidad de estos cauces que ocasiona la afectación en vialidad (Troncal 005), por aumento de los volúmenes de agua y arrastre de sedimentos; procedentes de la vertiente. Las citadas subcuencas en conjunto tienen una superficie de aproximadamente 10 km<sup>2</sup>; destacándose por su

relieve montañoso, con un rango altitudinal entre 540 y 1.520 m.s.n.m aproximadamente; carácter torrencial y con tiempos de concentración muy bajos, reflejo del corto recorrido de los cauces principales (ver Figura 4.2).

Siguiendo el mismo orden de ideas se tiene que según Dugarte (2002); en esta vertiente predominan pendientes escarpadas; además, la misma es muy dinámica en cuanto a procesos geomorfológicos complejos y múltiples, ligados al clima y a la actividad sísmica. Sin dejar a un lado que generaron afectación en el año 2005; en el año 2007 se construyeron obras de control de torrentes en (Quebrada El Barro, El Diamante, La Parada y Los Cedros o Carmania).

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

Figura 4.2. Ubicación de la zona de estudio.



A continuación se describen brevemente algunas de las características físico - naturales, las cuales permitirán tener una mejor visión del área de estudio; y se convertirán en elementos claves para comprender la realidad del área objeto de análisis desde el punto de vista de la simulación hidrológica.

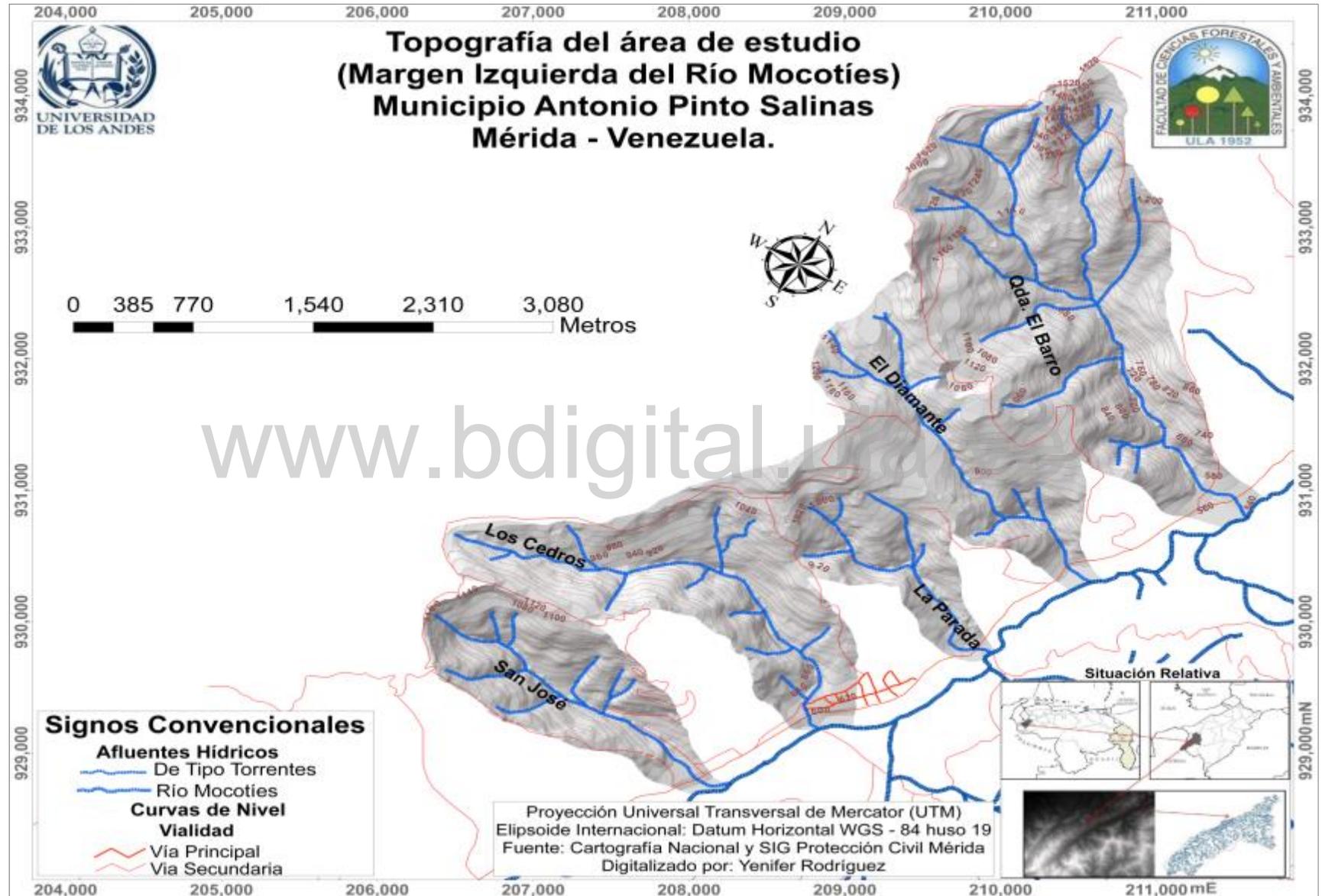
#### **4.2. Relieve**

En esencia existe una marcada asimetría en cuanto a la extensión y altitud de las vertientes, lo cual aplica para toda la cuenca del Mocotíes, pues en la vertiente izquierda que conforma el área de estudio la cota mayor supera los 1.500 m.s.n.m, mientras que, en la vertiente derecha se encuentran las mayores alturas y las mismas superan los 3.300 m.s.n.m, en ambas vertientes se encuentran pendientes escarpadas; con un fondo de valle fluctúa entre los 500 y los 400 m.s.n.m, y donde la dinámica de los abanicos aluviales es muy activa especialmente en aquellos rellenos aluvio-torrenciales ubicados en la margen izquierda del Mocotíes (ver figura 4.3).

En síntesis se puede interpretar lo siguiente: que en las vertientes se halla una marcada asimetría de las montañas que rodean el valle; donde la vertiente izquierda del río Mocotíes que corresponde con el área de estudio está compuesta por relieves más modestos y de menor altura con respecto a la vertiente derecha. Este hecho particular define en buena medida el comportamiento geomórfico e hidrológico de los drenes del área. (Dugarte *et al.* 2015).

www.bdigital.ula.ve

Figura 4.3. Topografía del área de estudio.



#### 4.4. 4.3 Geología

Según Dugarte *et al.* (2015) La cuenca del río Mocotíes está constituida por rocas del basamento andino de la Formación Sierra Nevada (Precámbrico), además de las formaciones Mucuchachí y Tostós (ambas del Paleozoico Superior), las rocas de la formación Colón (Cretácico - Superior); las formaciones Aguardiente, Capacho y la Luna (todas del cretácico) y finalmente los depósitos recientes del (Pleistoceno - Holoceno); así como unidades menores con algunos cuerpos intrusivos muy localizados completan los conjuntos rocosos de la cuenca. Dichas unidades presentes (ver figura 4.4) se describen a continuación:

- 1- **Cuaternario Reciente - depósitos sedimentarios terrazas y aluviones recientes):** esta unidad data del (Pleistoceno - Holoceno), corresponde con el fondo del estrecho valle el cual está relleno por sedimentos del Holoceno. Para tal efecto, los depósitos cuaternarios se encuentran representados por abanicos aluviales; a los que Bongiorno *et al.* (2010) denominaron 'conos de deyección' depositados entre el sector El Peñón y Santa Cruz de Mora (construidos por las quebradas San Rafael hasta Los Cedros) se corresponden, entonces con abanicos muy recientes (holocenos) en una posición muy baja. Sin descartar que en la margen izquierda se encuentran colinas redondeadas que, aunque ya no conservan la forma original de los depósitos torrenciales, son inequívocamente restos de antiguos abanicos aluviales" (Schubert y Vivas, 1993: 160). Finalmente en cuanto a las acumulaciones aluviales y volúmenes detríticos, el valle del Mocotíes es igualmente asimétrico siempre a favor de su margen izquierda, donde se localizan los centros poblados más importantes y la mayoría de los cultivos del área. En general, existe un predominio de rellenos aluvio-torrenciales del Pleistoceno Tardío y del Holoceno que se han depositado sobre terrazas bajas construidas por los afluentes hídricos de la margen izquierda así como por el propio río Mocotíes (Schubert y Vivas, 1993).
- 2- **Formación Colón:** unidad menor de edad Cretácica, que se encuentra ubicada hacia el noreste de la vertiente izquierda, se encuentra constituida principalmente por lutitas en un casi 100% y una cantidad insignificante de calizas, y areniscas de grano fino; localizada en la cabeceras de la quebradas El Barro al noreste de Santa Cruz de Mora.
- 3- **Formación La Luna:** localizadas en las cabeceras de las quebradas El Diamante y El Barro al noreste de Santa Cruz de Mora, consiste de calizas y lutitas calcáreas laminadas, densas de color gris oscuro a negras, son características típicas de la formación.
- 4- **Formación Capacho:** está constituida por lutitas duras de color gris oscuro a negro, calizas duras de colores claros, frecuentemente fosilíferas y ocasionales limolitas que se diferencian de las areniscas macizas de la Formación

Aguardiente, se encuentra en la parte alta de las quebradas La Parada, El Diamante y El Barro.

- 5- **Formación Aguardiente:** se encuentra en las partes altas de la quebrada Los Cedros; presenta una litología muy uniforme compuesta predominantemente por areniscas cuarzosas, a veces glauconíticas, con capas de calizas distribuidas en varios niveles.
- 6- **Asociación Tostós:** esta unidad data del Paleozoico Superior, constituida principalmente por rocas de origen metasedimentarias, dominando los esquistos en un 70%, en segundo lugar rocas filitas en 15%, en tercer lugar se encuentran las cuarcitas en 10% y el 5% restante son pizarras y gneises de grano fino, rocas silíceas y anfibolitas. Aflora de forma suprayacente discordante a la Asociación Sierra Nevada se halla en el área de estudio en los seis (06) afluentes hídricos en estudio.
- 7- **Asociación Sierra Nevada:** esta unidad data del Precámbrico, estas rocas son las más antiguas del basamento de los Andes venezolanos. La litología que prevalece en dicha unidad son los gneises y graníticos y bandeados presentes en una proporción de aproximadamente 90% y el restante 10% corresponde a esquistos. Dicha asociación aflora en la vertiente izquierda del área de estudio del afluente hídrico Los Cedros. Dugarte *et al.* (2014) señalan que en esta asociación, se desarrollan profundos perfiles de meteorización (suelos residuales) lo que le confiere una conducta muy particular a la serie de quebradas y torrentes que caracterizan estas vertientes.
- 8- **Granito Sin Diferenciar:** se localiza en diferentes sectores de la cuenca del Mocotíes, específicamente en mayor proporción en la vertiente izquierda. El cual se caracteriza por tener alto contenido de feldespato sódico que al meteorizar, se convierte en arcilla de color blanco o en sedimentos de color blancuzco. Tiene un comportamiento frágil, evidenciado en el fracturamiento de los mismos y cierta alteración mineralógica debido a las condiciones climáticas a la cual ha estado expuesto, dando origen a laderas escarpadas y profundas, lo que hace que esta unidad sean altamente susceptible a generar movimientos de masa, se debe resaltar que esta se encuentra en las cabeceras de las cuencas puntualmente para el área de estudio se encuentra en los afluentes hídricos San Rafael, El Peñón y El Tabacal.

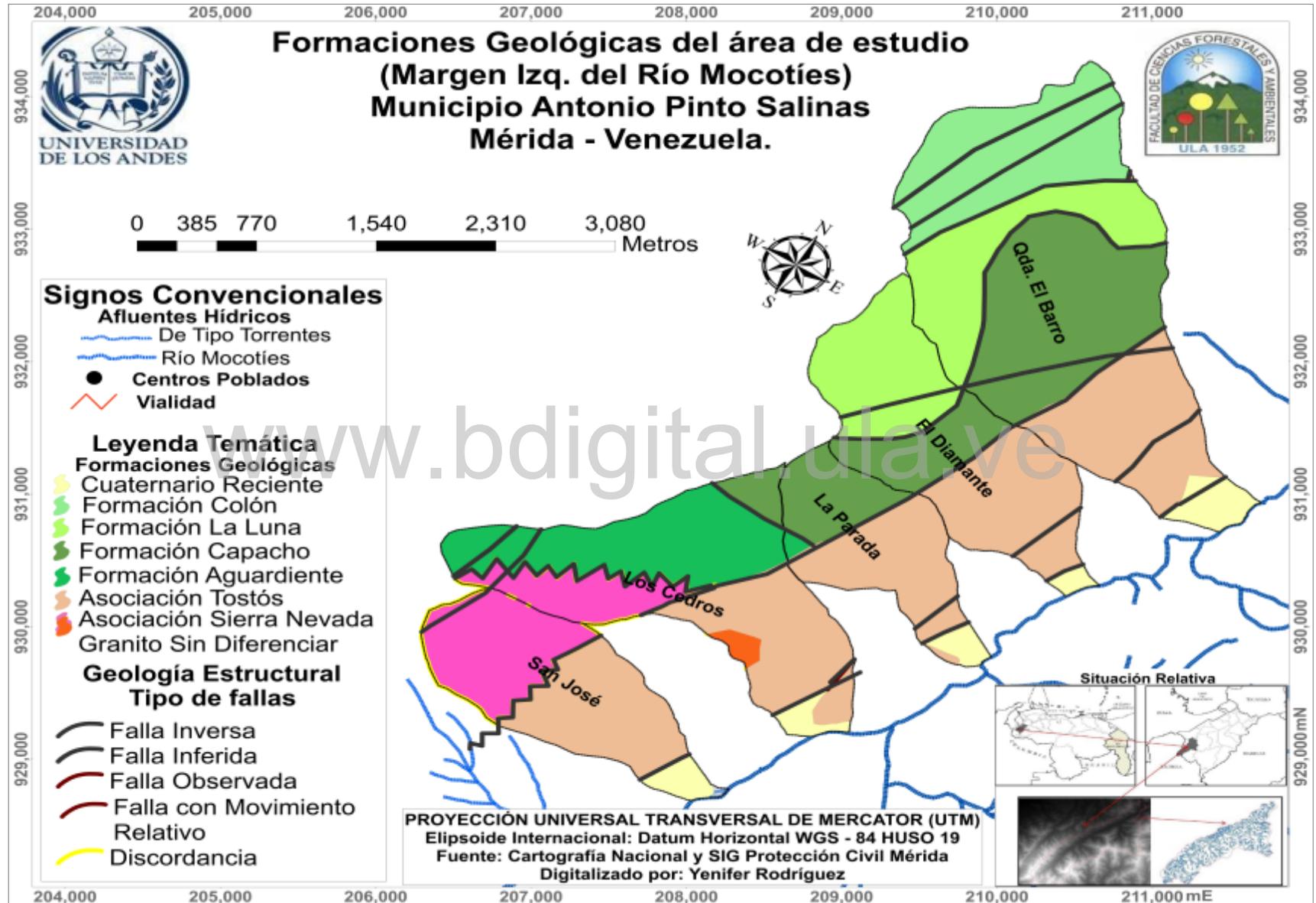
Siguiendo el mismo orden de ideas, se tiene que Dugarte (2002), considera que las unidades estratigráficas representadas por asociaciones y formaciones geológicas se presentan bastante fracturadas a consecuencia de la tectónica lo que incide en la inestabilidad de las rocas desde el punto de vista geotécnico. A continuación en el cuadro 4.1 se detalla la superficie y el porcentaje que ocupa cada una de las Asociaciones y Formaciones, dentro de las subcuencas objeto de estudio.

**Cuadro 4.1.** Formaciones geológicas, superficie y % de ocupación dentro del área de estudio.

<b>Asociaciones - Formaciones</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% de ocupación</b>
Cuaternario Reciente	0,6	5,0
Formación Colón	1,1	9,9
Formación La Luna	1,6	14,1
Formación Capacho	1,1	10,2
Formación Aguardiente	1,0	9,1
Asociación Tostós	3,3	38,7
Asociación Sierra Nevada	1,2	11,8
Granito Sin Diferenciar	0,1	1,23
<b>Total</b>	<b>10 km<sup>2</sup></b>	<b>100%</b>

www.bdigital.ula.ve

Figura 4.4. Mapa de Formaciones Geológicas.



Por otro lado, Dugarte (2002); en cuanto a la geología estructural del área, cabe resaltar que la misma se localiza dentro de la Zona de Fallas de Boconó, la cual representa la estructura geológica más importante del occidente del país, que se extiende en dirección SO - NE, desde la Depresión del Táchira (Estado Táchira) hasta las cercanías de Morón - Puerto Cabello (Estado Carabobo), con una longitud total de unos 500 km aproximadamente. En términos generales, la traza principal de la zona de falla es de tipo rumbo deslizante dextral, en toda su extensión. Desde un punto de vista sísmico la Zona de Fallas de Boconó puede ser clasificada como “altamente sísmica”, tomando como base la información obtenida a partir de fuentes históricas, datos instrumentales y evidencias geomorfológicas (Estévez, 1993).

Es importante señalar que la marcada influencia tectónica ejercida por la Zona de Fallas de Boconó en el área, le confiere a la cuenca del río Mocotíes una típica morfología rectangular y alargada (Ferrer, 2005; Dugarte *et al.*, 2014), pero además genera amplias zonas de tectonización - deformación, lo cual secciona la cuenca en dos partes (Ferrer *et al.*, 2007) y le proporciona una conducta rectilínea al río Mocotíes, el cual ha profundizado su cauce a partir de la mencionada estructura geológica.

Por su parte en cuanto a la ocurrencia de sismos en la cuenca, se conocen las consecuencias del “Gran Terremoto de los Andes” del 28/04/1894, responsable de la destrucción de las poblaciones de Santa Cruz de Mora y Tovar (Audemard, 1998), además del terremoto del 03/02/1610, cuyo efecto cosísmico más importante se reflejó en el Alud Sísmico de La Playa (Ferrer y Laffaille, 1998; Singer, 1998) que a su vez generó el represamiento del río Mocotíes y cuya posterior ruptura creó una ola de descarga que afectó cultivos y distintos sectores aguas abajo. Estos dos sismos históricos, muestran en parte la actividad sísmica presente en la zona.

Aunado a lo anteriormente planteado en el área de estudio se puede identificar otra serie de fallas menores o secundarias con desplazamiento rumbo - deslizantes, normales e inversas que sirven de límite entre varias Formaciones Cretácicas, la Asociación Tostós y la Asociación Sierra Nevada. En este sentido al norte de Santa Cruz de Mora se evidencian tres fallas observadas y una inferida (ver figura 4.4). Por último, es importante recalcar que el hecho de que en el área de estudio se encuentran un número importante de fallas maestras, secundarias y menores, tomado de Dugarte 2002 y Ferrer y Dugarte 2008; en el área se ha generado un alto grado de fracturamiento, plegamiento, planos de foliación y estratificación buzando en sentido de la pendiente, y alteración (perfiles de meteorización) de las rocas que afloran en el lugar, siendo estos factores coadyuvantes en la generación de movimientos de masa, sobre todo ante la ocurrencia de eventos meteorológicos como el de febrero del 2005.

#### 4.4 Geomorfología

Como se ha mencionado anteriormente el área está dividida en dos vertientes (izquierda y derecha) estas separadas por dos líneas de fallas que conforman el fondo de valle, a lo largo de la cual se desplaza el río Mocotíes. La vertiente izquierda presenta afluentes de corto recorrido al río Mocotíes.

Según Ferrer *et al.* (1970), el modelado de la vertiente izquierda del área de estudio está relacionado directamente con las características litológicas de las unidades que afloran: areniscas, cuarcitas, filitas y lutitas, las cuales al encontrarse muy fracturadas y alteradas han permitido una erosión vertical de los cursos de agua, haciendo irregular el relieve en esta zona. En dicha vertiente se identifican diferentes procesos, tal es el caso de deslizamientos aunados a una importante cantidad de coronas de distintos procesos de movimientos de masa lo que guarda estrecha relación con la actividad de la zona de fallas de Boconó, de igual forma se tienen cárcavas activas, coronas de deslizamientos y derrumbes.

En este sentido, la zona se puede caracterizar en función de cuatro unidades de relieve, descritas por Páez (2010), las cuales son:

➤ **Vertientes:** Son los espacios más inclinados, se encuentran en su mayoría cubiertas por vegetación, presentan procesos de erosión concentrada y profundización de cauces, así como problemas morfoestructurales asociados al Sistema de Fallas de Boconó y otras propias de la zona.

➤ **Cimas y Topes de Laderas:** Esta unidad de relieve, se caracteriza por ser generalmente redondeadas y aplanadas en su cima, así como por altos topes regularmente alargadas, con cimas estrechas y vertientes también muy inclinadas, generalmente superiores a 45%, representan un conjunto de transición entre las vertientes y las áreas planas del fondo del afluente hídrico.

Se presentan de manera continua y regular, abarcando parte del trayecto longitudinal del área. Este relieve se corresponde con los afloramientos rocosos que varían no sólo en litología, sino también en cuanto al comportamiento a los procesos de erosión que han modelado las laderas. Así las rocas más blandas, menos coherentes y friables se han esculpido en cimas y laderas bajas y redondeadas, mientras que las rocas más resistentes a los procesos erosivos han sido modeladas en topes altos específicamente en sus cimas. Finalmente son relieves muy propicios a la erosión, particularmente a los movimientos de ladera, es decir, desprendimientos y desplazamientos superficiales y profundos, realidad de la cual no escapa parte del área de estudio.

➤ **Formas Planas:** Los amplios depósitos fluvio-torrenciales cuaternarios que rellenan el fondo del valle, están modelados en forma planas apareciendo depósitos transversales, provenientes de la erosión, arrastre y su posterior sedimentación, de material que aportan los afluentes hídricos en estudio formando un lecho compuesto por sedimentos granulares, mezclados con arenas limos y escasas arcillas.

➤ **Fondo de valle:** La depresión que constituye el valle, es una planicie aluvial reciente, baja a muy baja, caracterizándose como una unidad húmeda, altamente susceptible a desbordes, por lo que en condiciones de crecidas excepcionales, puede comportarse como una franja de terreno con una alta propensión a la ocurrencia de procesos hidrogeomorfológicos. En este mismo orden de ideas los taludes presentan pendientes fuertes, en la mayoría de los casos superiores a 45%, exceptuando algunos sectores particulares, donde las pendientes son menores, como consecuencia de los movimientos de masa y la acumulación de material que se han movilizad del borde, lugar donde se asientan numerosas viviendas.

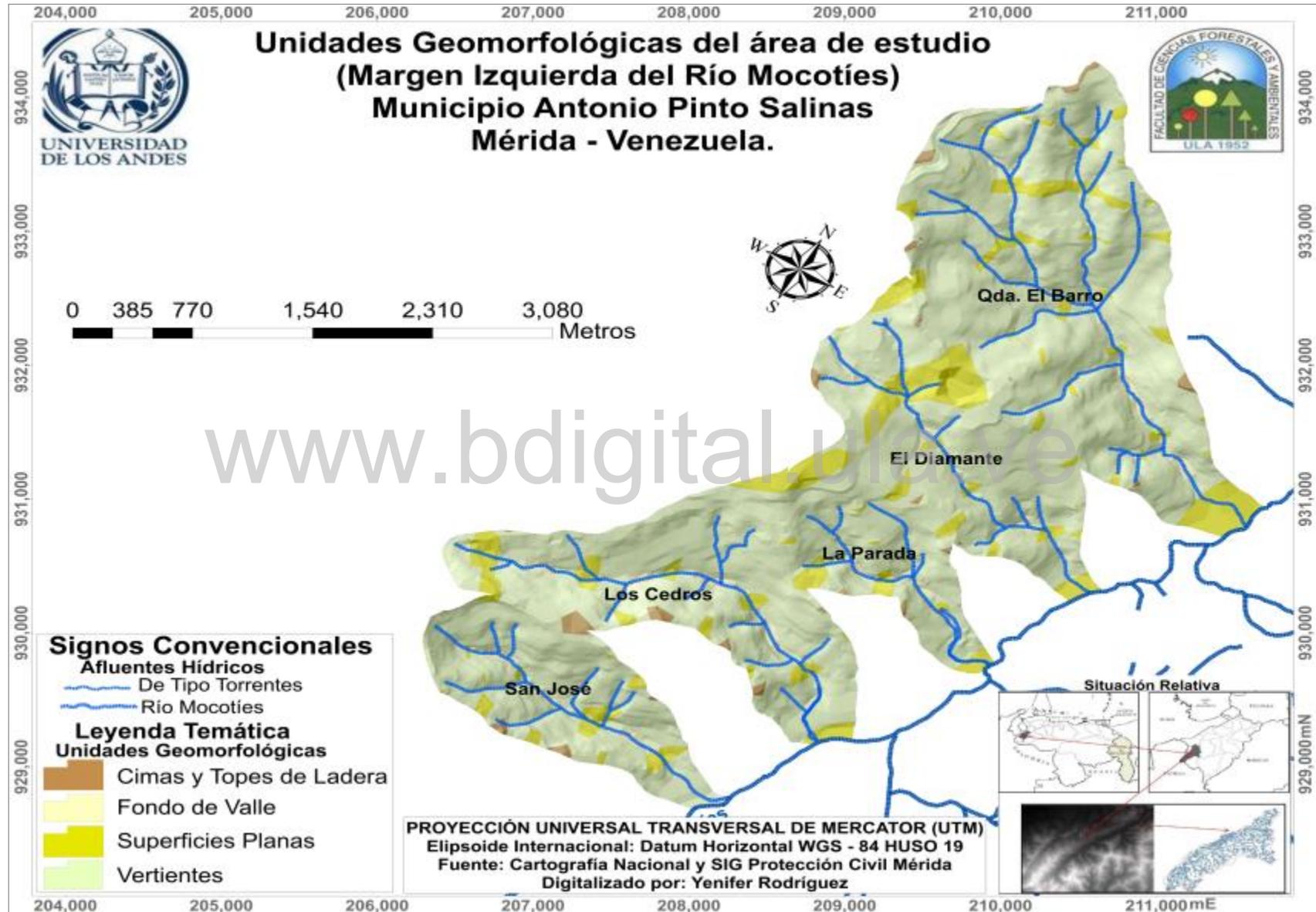
Seguidamente se tiene que, en cuanto a las acumulaciones aluviales y volúmenes detríticos, el valle del Mocotíes es igualmente asimétrico siempre a favor de su margen izquierda, donde se localizan los centros poblados más importantes y la mayoría de los cultivos del área. En general, existe un predominio de rellenos aluvio-torrenciales del Pleistoceno Tardío y del Holoceno que se han depositado sobre terrazas bajas construidas por el propio Mocotíes (Schubert y Vivas, 1993).

En este contexto el centro poblado de Santa Cruz de Mora se encuentra emplazado en parte sobre un abanico - terraza del Pleistoceno Tardío en su casco histórico y adicionalmente sobre una terraza muy reciente depositada por el río Mocotíes (en el sector ocupado hoy en día por la vía perimetral Antonio Pinto Salinas de Santa Cruz de Mora, el cual se constituye en uno de los lugares de interés de este trabajo).

En lo referente a los depósitos ubicados entre el sector El Peñón y Santa Cruz de Mora (construidos por las quebradas San Rafael hasta Los Cedros) y a los que Bongiorno *et al.* (2010) denominaros 'conos de deyección' se corresponden con abanicos de detritos muy recientes (del Holoceno) en una posición muy baja.

Por consiguiente y tomando como referencia los elementos antes expuestos, ver (figura 4.5), finalmente se puede sintetizar que para el área en estudio, los procesos hidrogeomorfológicos más importantes están relacionados con la socavación lateral que han generado remoción de los sedimentos de los cauces y movimientos en masa que han afectado a las comunidades y a la vialidad del área.

Figura 4.5. Mapa de unidades geomorfológicas.



#### **4.5. Clima**

En la cuenca del río Mocotíes los elementos climáticos presentan variaciones debido a los siguientes factores modificadores del clima: la altitud, la exposición (orientación de las vertientes), la influencia del clima de los llanos y la cercanía al área de baja presión de la parte sur de la depresión del Lago de Maracaibo (Castillo y Castillo, 1972). De igual forma a nivel local la cuenca del Mocotíes, según Delgadillo (2014) se asocia en gran medida a las brisas de valle y de montaña, aunado a la ocurrencia de precipitaciones convectivas, orográficas y por convergencia.

En el caso específico del área de estudio, desde el punto de vista climático las vertientes, de acuerdo a su orientación, presentan respuestas distintas. La vertiente izquierda es la de solana (Dugarte, 2002).

- **La precipitación**

Las lluvias máximas se constituyen en un factor de gran importancia para determinar la potencialidad torrencial que presentan los afluentes hídricos, dado que constituye un agente activador de fenómenos torrenciales. De forma general la precipitación media anual es distribuida de forma bimodal; donde la distribución temporal de las precipitaciones en el área, presentan en general dos periodos húmedos (abril - mayo y octubre - noviembre), y dos periodos secos (diciembre - marzo y junio - septiembre).

Los promedios de los valores anuales de lluvia para las antiguas estaciones que se ubicaban dentro del área de estudio, se asocian con valores de 1.029 mm en Santa Cruz de Mora (serial 3065 1949 - 1972), y 1392,6 mm en la estación El Mesón (serial 3108, 1968 - 1996), aproximadamente, lo que puede estar asociado con un régimen húmedo.

- **La temperatura**

La misma disminuye en la medida que se asciende en altitud hacia ambas vertientes. La temperatura media mensual oscila entre 17 y 22 °C por debajo de los 2.000 m.s.n.m, y por encima de dicha altitud, estos valores disminuyen hasta alcanzar aproximadamente los 5,8°C; lo cual constituye una marcada variabilidad dentro de la cuenca.

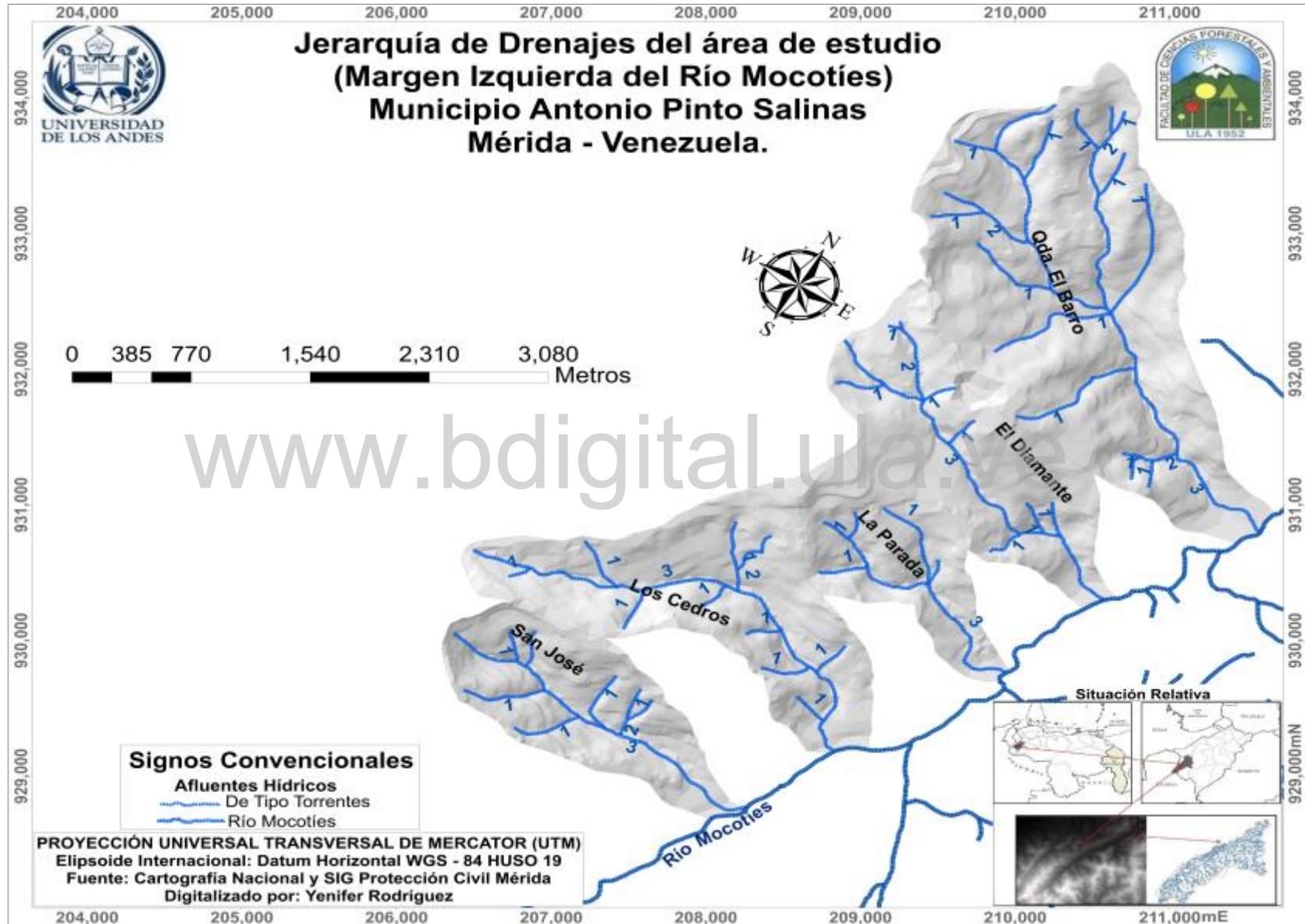
Los registros de temperatura en las estaciones antiguas que se encontraban dentro del área de influencia oscilaban entre los 17,7 y 26,7 °C, lo cual se corresponde con datos de la estación Tovar (serial 3141). Por su parte los valores extremos llegaron a reflejar temperaturas máximas que alcanzaron los 30°C.

#### 4.6. Hidrografía

Las características de la cuenca del río Mocotíes están determinadas por la asimetría de las vertientes, dado que, la derecha, presenta un ancho máximo de 16,1 km, mientras que la izquierda presenta unos 2,5 km de ancho en promedio. Dichos valores permiten corroborar que la cuenca presenta una marcada asimetría con respecto al área que ocupa cada vertiente, ello permite inferir que los afluentes hídricos provenientes de la vertiente izquierda son de menor longitud y de régimen efímero (Dugarte, 2015); de igual forma se asocia que los patrones de drenaje predominantes son de tipo dendríticos, reticulares o geométricos, (ver figura 4.6); en su mayoría de orden 2 y 3 en contraste con los afluentes hídricos de la margen derecha.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

Figura 4.6. Jerarquía de los Drenajes del área de estudio.



#### 4.7. Suelos

Los suelos de la zona se presentan como una síntesis de los efectos de los factores climáticos sobre el relieve y el material parental. En el área de estudio predomina la meteorización física como consecuencia de las condiciones climáticas, que a su vez se relaciona con la litología, que en gran medida da origen a diversos tipos de suelos, lo que influye directamente en la textura de los mismos. A esto debe añadirse la cobertura vegetal que proporciona materia orgánica a los perfiles y protección los suelos, regulando, según su alcance, los procesos erosivos que determinan el grado de desarrollo del perfil.

En el levantamiento de suelos de la cuenca del Mocotíes elaborado por Castillo y Castillo (1970) y *Castillo et al.* (1972), Se identifican: entisoles, los mismos pertenecen a las Asociaciones y Formaciones Sierra Nevada, Tostós y Mucuchachí y se caracterizan por ser suelos con texturas francas gruesas y arenosas y los inceptisoles los cuales corresponden a la formaciones Colon, Sierra Nevada y Granito de Tovar; ambos son de arenosos a francos, mientras que los pocos molisoles, son formados básicamente por la formación Tostós con clases texturales francas finas.

Siguiendo el mismo orden de ideas se tiene que los suelos entisoles, son formados sobre acumulaciones del Holoceno en las vegas y lechos de los cauces. Para los suelos desarrollados sobre depósitos del Pleistoceno Tardío y Medio, con respecto a los molisoles, con texturas que varían desde francas a arenosas, mientras que las acumulaciones aluviales más antiguas (del Pleistoceno Temprano) predominan suelos arcillosos y francos finos. En el fondo del valle los abanicos Qab4 (Cuaternario y Abanico Aluvial; pertenecientes al Pleistoceno Tardío) han sido construidos por los afluentes hídricos en estudio donde predominan los materiales guijarrosos y areno - arcillosos; los mismos ofrecen los mejores ambientes de la zona para el desarrollo de actividades agrícolas.

Seguidamente se tiene que de forma general pueden diferenciar dos grandes grupos de suelos: los formados sobre el material de vertiente, con poco desarrollo pedogenético debido a la presencia de altas pendientes y, aquellos formados en las acumulaciones aluviales del fondo del valle, los cuales son más profundos siendo más ricos en materia orgánica a causa de la erosión.

En general, en el área de estudio los suelos son muy homogéneos con texturas de finas a medias, (ver figura 4.7) en algunas subcuencas (Quebrada El Barro y El Diamante) predominan las texturas arcillo - limosas, es decir texturas finas; por su parte en las quebradas La Parada, Los Cedros y San José prevalecen los suelos de clase texturales franco - limoso que corresponde con texturas medias; de igual forma es importante

resaltar que en el área de estudio la acción de pérdida de suelo por procesos erosivos es bastante marcada.

Siguiendo el mismo orden de ideas se presenta el cuadro 4.2, en el cual se detalla la superficie en km<sup>2</sup> y el porcentaje (%) de ocupación de cada clase textural de suelo.

**Cuadro 4.2.** Tipos de suelo, superficie y % de ocupación dentro del área de estudio.

Familia del suelo	Superficie (km <sup>2</sup> )	% de ocupación
Arcillo - limoso	5,58	55,80
Franco - limoso	4,42	44,20
<b>Total</b>	<b>10 km<sup>2</sup></b>	<b>100%</b>

Siguiendo el mismo orden de ideas se debe resaltar que dichas clases texturales fueron inferidas en la investigación realizada por Delgadillo Y Páez (2008) a partir de los mapas geológicos y de suelos del área de estudio.

www.bdigital.ula.ve

Figura 4.7. Mapa de Clases texturales de suelos.



#### 4.8. Cobertura Vegetal

En el área de estudio se pueden identificar varias unidades de cobertura vegetal (ver figura 4.8 y cuadro 4.3) las cuales se exponen a continuación según Páez (2010):

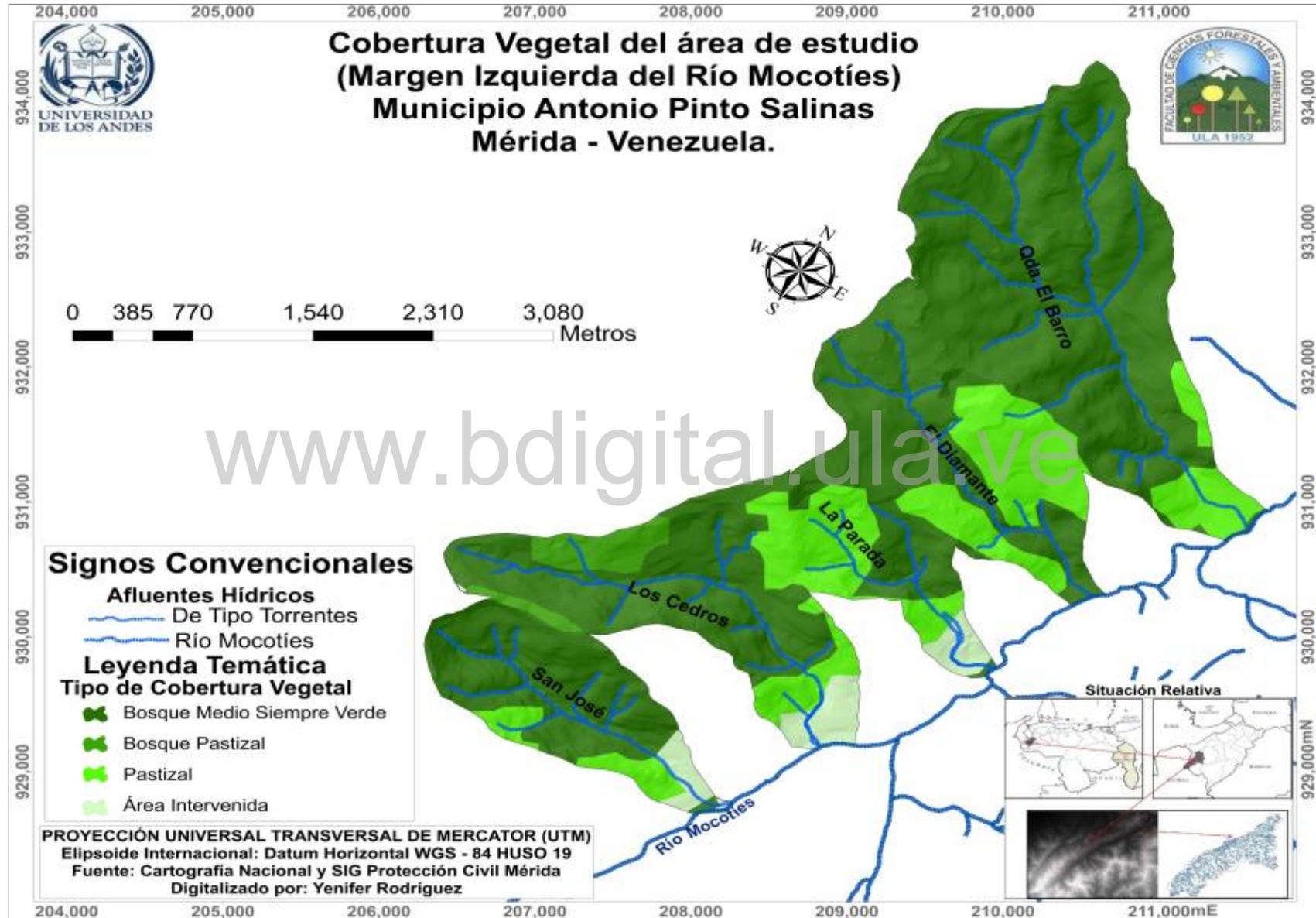
- **Bosque medio siempre verde (Piso del Café):** esta unidad ecológica es la que ocupa mayor superficie en el área. Presenta un alto grado de intervención antrópica: cultivos anuales, permanentes. El rubro predominante es el café bajo sol el cual está sustituyendo al café bajo sombra y el pastoreo extensivo en algunos focos puntualizados.
- **Bosque pastizal:** se encuentra significativamente intervenida principalmente por actividades agropecuarias (pastoreo extensivo de altura) lo cual ha eliminado parte de la vegetación original. Dicha actividad solo ha permitido que se conserven algunos relictos de bosques en sectores puntuales a pesar de la pendiente abrupta.
- **Pastizal:** Se corresponde con pastos generalmente de origen natural, y con áreas que han sido afectadas por incendios, por lo que la cobertura que ofrecen al suelo varía, se debe resaltar que poseen aproximadamente capacidad moderada para generar escorrentía.
- **Áreas intervenidas:** las cuales ocupan el fondo de valle; existiendo predominantemente el crecimiento de la población, irrespetándose normativas ambientales y generando así escenarios de susceptibilidad frente a la variable riesgo.

Seguidamente en el cuadro 4.3 se pueden detallar las unidades de vegetación presentes en el área de estudio (lo cual influye todas las subcuencas objeto de análisis) así como la superficie en km<sup>2</sup> y el porcentaje (%) de ocupación de cada una de ellas.

**Cuadro 4.3.** Unidades de vegetación, superficie y % de ocupación dentro del área de estudio.

Unidades de vegetación	Superficie (km <sup>2</sup> )	% de ocupación
Bosque Medio Siempre Verde	6,8	70,9
Bosque Pastizal	0,3	2,7
Pastizal	2,5	22,8
Área Intervenida	0,4	3,6
<b>Total</b>	<b>10 km<sup>2</sup></b>	<b>100%</b>

Figura 4.8. Mapa de Tipos de Cobertura Vegetal.



#### 4.9. Cobertura de la Tierra

Está referida a la cubierta de la superficie como resultado de los usos, y aunque generalmente se refiere a la cobertura vegetal o a la falta de ésta, también describe los elementos de origen antrópico, y otros como afloramientos rocosos, suelos descubiertos y cuerpos de agua. En consecuencia, su utilidad en el modelado hidrológico, viene dado por su capacidad para generar infiltración o en su defecto escurrimiento y escorrentía, que se relaciona con la clase y densidad de la vegetación y con los usos de la tierra.

Para el presente trabajo de investigación la cobertura fue tomada de los resultados obtenidos por el PNUD (2010), de manera que se consideraron las siguientes categorías:

➤ **Bosque Intervenido:** está constituida por vegetación arbórea, con un sotobosque muy intervenido; generalmente, representa a las zonas de bosque primario que se hallan más cercanas a las áreas pobladas. En este sentido, la deforestación se constituye en un proceso considerable en el área, pudiendo observarse en algunos casos la aparición de cultivos y pastizales. En consecuencia, su comportamiento hidrológico es similar al de bosque medio.

➤ **Bosque Medio con Herbazales:** son extensiones dominadas por gramíneas, en las que se puede encontrar algún arbusto bajo, generalmente son de origen natural, aunque también se producen en las áreas que han sido afectadas por incendios, por lo que la cobertura que ofrecen al suelo varía, con una capacidad para generar escorrentía que pudiese ser definida como media.

➤ **Bosques Moderadamente Intervenido:** comprende los territorios cubiertos por bosques con intervención humana que mantienen su estructura original. Se puede dar la ocurrencia de áreas completamente transformadas en el interior de la cobertura, originando parches por la presencia de otras coberturas como pasto y cultivos que reemplazan la cobertura original, las cuales no representan más del 30% del área de la unidad de bosque natural.

➤ **Ganadería extensiva:** Se destacan grandes zonas asociadas a relieves tallados o constituidos por paisajes ondulados con presencia de paisajes de lomeríos y colinas. Se debe hacer hincapié que en esta categoría que la cobertura natural ha sido muy intervenida y en la actualidad se encuentran extensas áreas de pastos dedicados a la ganadería extensiva.

➤ **Pastizal con ganadería extensiva:** Son las coberturas representadas por tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de rastrojos, debido principalmente a la realización de escasas prácticas de manejo para el desarrollo de la agricultura. En general, la altura de los pastos es menor a 1,5 metros, y en la actualidad se encuentran estas áreas de pastos y cultivos dedicados a la agricultura comercial, de subsistencia y la ganadería extensiva.

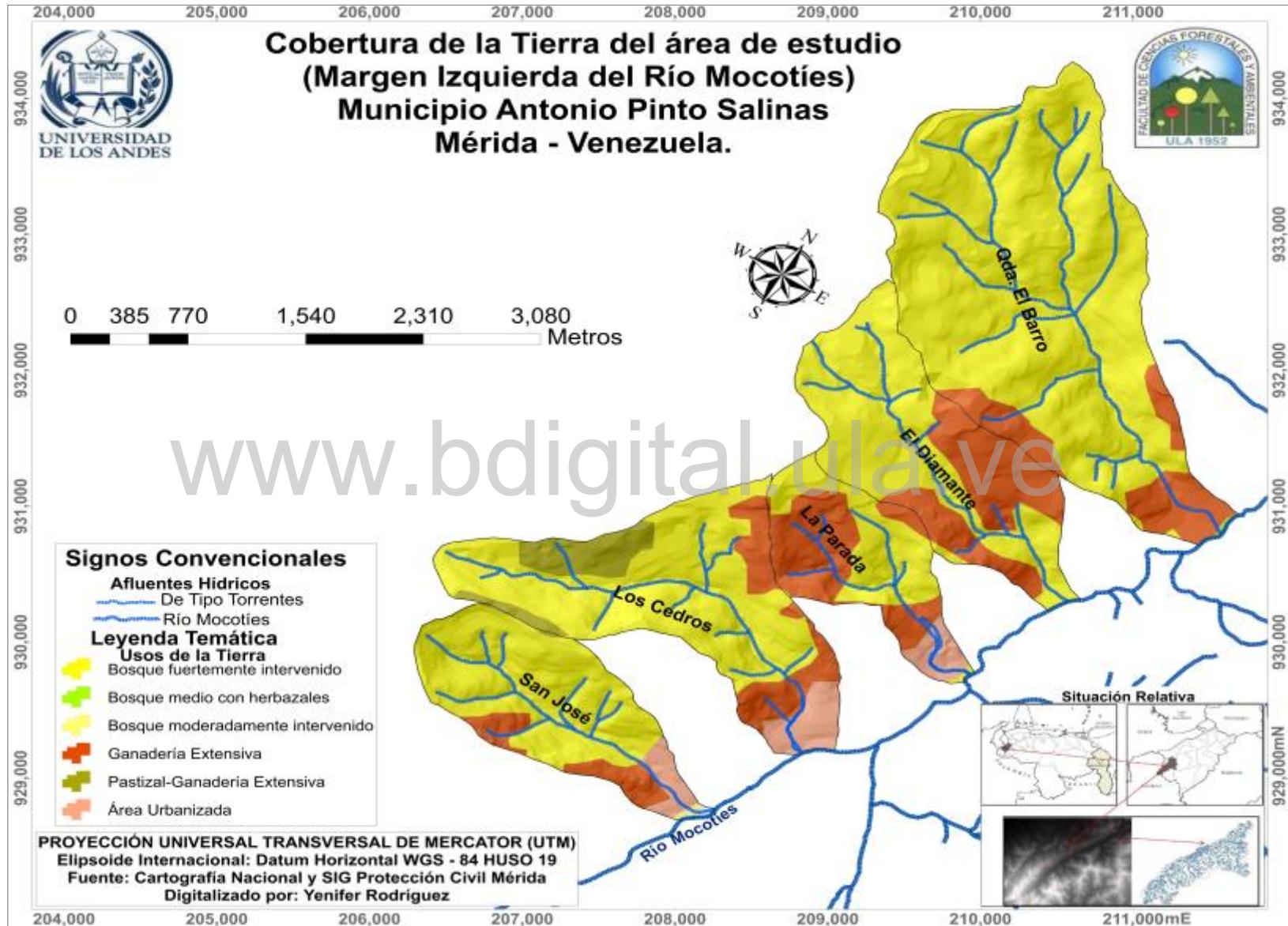
➤ **Área Urbanizada:** se corresponde con las áreas construidas de diferentes tipologías, en las que se desarrollan actividades residenciales, comerciales, culturales, administrativas, de recreación y servicios, también incluye la vialidad; y se caracteriza por tener un potencial para generar escorrentía elevado, pues son superficies donde la infiltración es mínima.

El mapa de cobertura de la tierra puede evidenciarse en la Figura 4.9; donde llama la atención, que en la superficie ocupada por las diferentes coberturas de la tierra, se muestran considerables extensiones de bosques fuertemente intervenidos estos con cultivos permanentes y semipermanentes, que abarcan una buena parte de las subcuencas en estudio, seguidamente las áreas utilizadas para la ganadería extensiva.

Siguiendo el mismo orden de ideas, se debe resaltar que una parte del área objeto de análisis posee una gran importancia económica en cuanto a la producción agrícola y pecuaria, con énfasis en las plantaciones de café y ganadería extensiva, (Dugarte *et al.*, 2014). Finalmente en el cuadro 4.4 se pueden detallar las coberturas o usos de la tierra presentes en el área de estudio así como la superficie en km<sup>2</sup> y el porcentaje (%) de ocupación de cada una de ellos.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

Figura 4.9. Mapa de cobertura de la tierra.



**Cuadro 4.4.** Cobertura de la tierra, superficie y % de ocupación dentro del área de estudio.

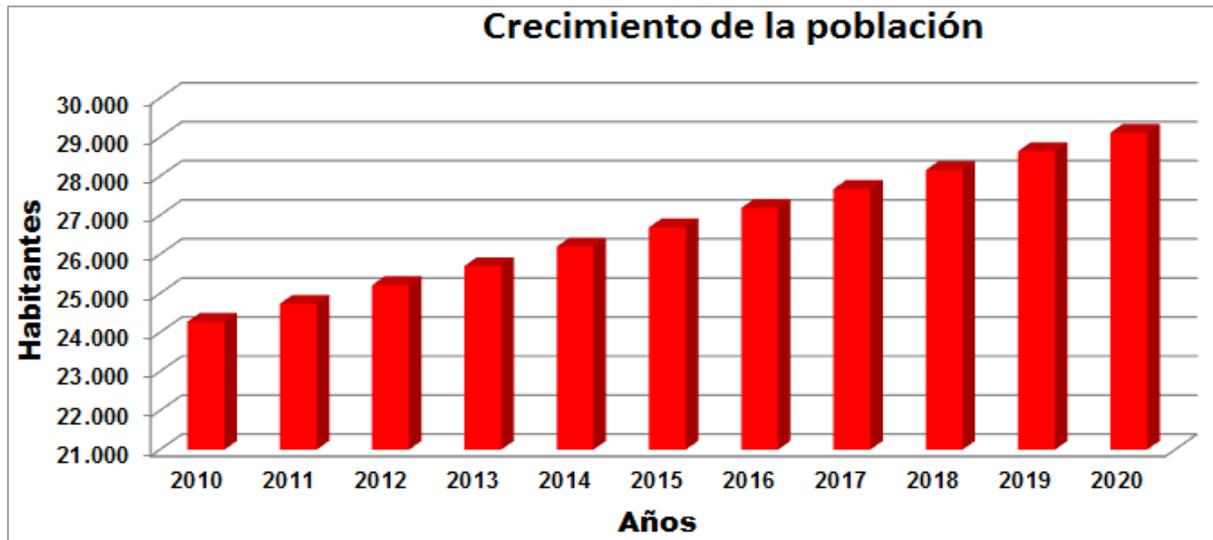
<b>Tipos de usos o cobertura de la tierra</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% de ocupación</b>
Bosque Fuertemente Intervenido	6,6	69,1
Bosque Medio con Herbazales	0,1	1
Bosque Moderadamente Intervenido	0,1	1
Ganadería Extensiva	2,5	22,6
Pastizal Ganadería Extensiva	0,3	2,7
Área Urbanizada	0,4	3,6
<b>Total</b>	<b>10 km<sup>2</sup></b>	<b>100%</b>

En este contexto se puede apreciar que la mayor cobertura tanto en porcentaje como en área la representa el bosque fuertemente intervenido que guarda relación con el mapa de vegetación en la categoría del Bosque Medio Siempre Verde donde la principal actividad es el pastoreo extensivo y los cultivos de café generándose en la zona un comportamiento de intervención de suelos sin medidas de protección o conservación de dicho recurso, situación que se mantiene desde el año 2010 hasta la actualidad; dado que se comparó el mapa generado por el PNUD (2010) y la clasificación supervisada (basada en imagen de 2018).

#### **4.10. Algunos aspectos de ocupación del territorio - población y actividades económicas**

De acuerdo con las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística (INE) para el año 2020 el Municipio Antonio Pinto Salinas servirá de asiento a una población de unos 29.115 habitantes, lo que representa aproximadamente el 2,75 % del total del estado Bolivariano de Mérida. De acuerdo con los valores arrojados por el XIII Censo de Población y Vivienda (2001), el crecimiento de la población se ha reflejado en progresivo aumento ver gráfico 4.1; por su parte el crecimiento demográfico que se ha manifestado en la zona en estudio, se debe a que la poligonal urbana o capital de los municipios ya se encuentran colmatadas de viviendas y habitantes, lo que conlleva a que los municipios crezcan en la periferia de estos, ubicándose una buena parte de la población y centros poblados sobre las márgenes y fondos de valle de los afluentes hídricos en estudio. Para comprender gráficamente lo expresado ver las figuras de la 4.10 a la 4.12. Es importante señalar que el fuerte proceso de emigración de los últimos años que se ha dado en el valle del Mocotíes y por transitividad en el área de estudio no se refleja en estas cifras, ya que las estimaciones se corresponden con proyecciones, hechas sobre la base de los censos del 2001 y 2011.

**Gráfico 4.1.** Crecimiento de la población en el municipio Antonio Pinto Salinas desde el año (2010 - 2020) según proyecciones.



Fuente: INE (2019).

Además se destaca que la vertiente más intervenida para desarrollos habitacionales corresponde con la vertiente izquierda; aunque la zona presenta fuertes restricciones para la expansión urbana. De igual forma se crean nuevos espacios habitacionales irrespetándose las normativas ambientales; dado que en esta sección la población se concentra en sitios cercanos a afluentes hídricos, incumpliendo con los retiros prudenciales a cuerpos de agua; e inclusive a pocos metros de desnivel de los mismos se encuentran comunidades ya consolidadas.

Siguiendo el mismo orden de ideas, se debe destacar que, esta dinámica ha conllevado a la heterogeneidad de los usos urbanos, cuya expresión visual es la de un mosaico de edificaciones donde coexisten viviendas tradicionales, viviendas precarias, urbanizaciones modernas con edificios de variada altura y diversa tipología arquitectónica. Al mismo tiempo, que el desarrollo urbano espontáneo y con poco control con el que se ha dado los procesos de ocupación, ha hecho que ésta tenga lugar en terrenos de altas pendientes, taludes inestables, de forma general son áreas propensas a sufrir desbordes de los numerosos cursos de agua que están presentes en la zona.

Finalmente, las actividades económicas predominantes son las vinculadas al sector primario, resaltando la ausencia de prácticas agrícolas, que tienen un peso importante en la economía local, y que se disponen en la dirección de los valles, cada vez a mayor altitud, generando un impacto más elevado en la degradación de los bosques y páramos presentes y en toda el área circundante.

## Vistas panorámicas del municipio en estudio.

Figura 4.10. Vista panorámica del sitio de emplazamiento de Santa Cruz de Mora.



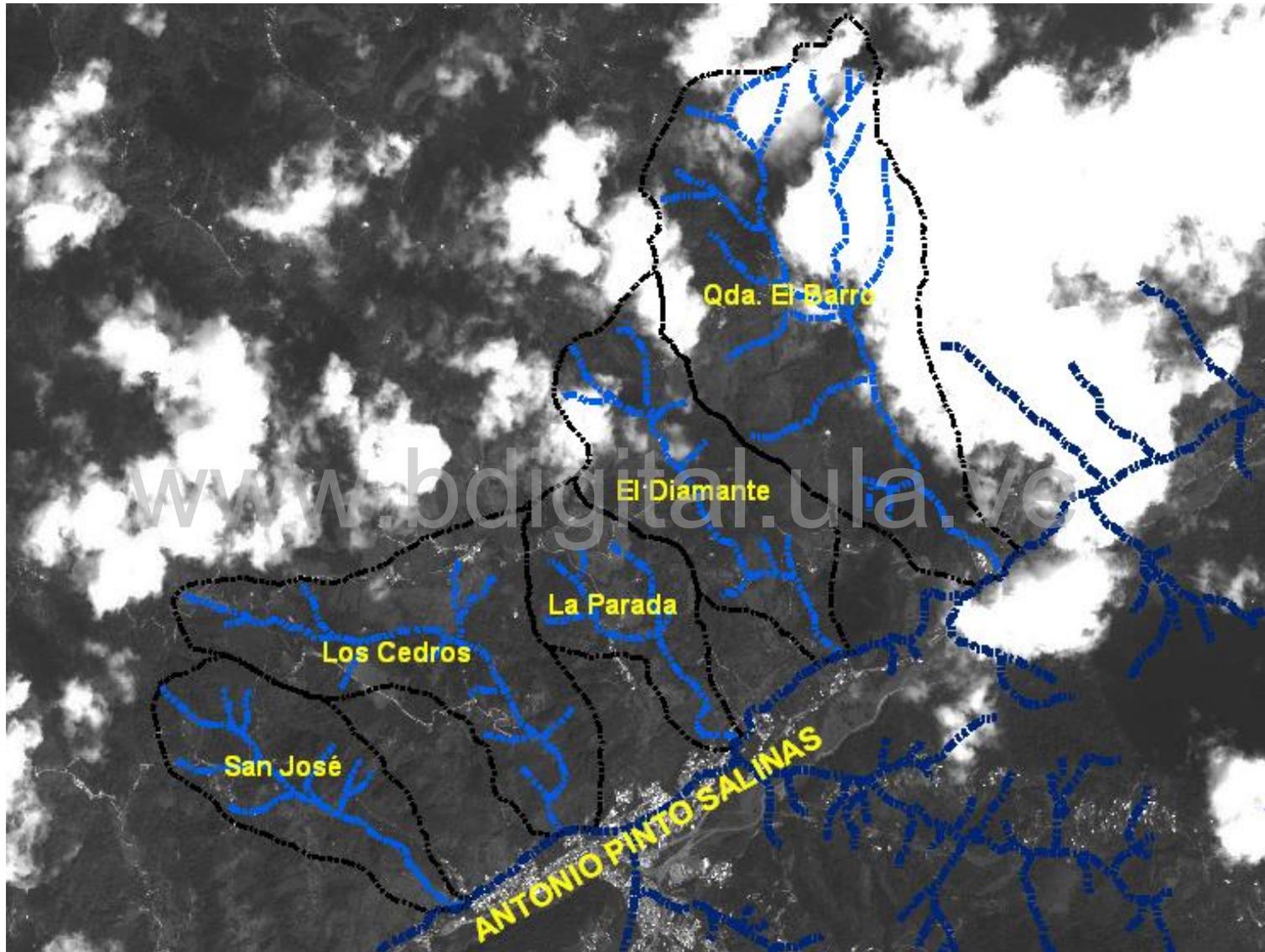
Fuente: Blandón *et al.* (2006).

Figura 4.11. Esquematación de un escenario de susceptibilidad con afluentes hídricos en el municipio Antonio Pinto Salinas.



Fuente: Protección Civil Mérida (2009).

**Figura 4.12.** Vista panorámica del sitio de emplazamiento de la población con respecto al área de estudio.



Fuente: Protección Civil Mérida (2008).

## CAPÍTULO V RESULTADOS Y ANÁLISIS.

Se presentan y analizan los resultados obtenidos luego de la aplicación de la metodología detallada en el capítulo III. De esta manera, se hace referencia en primer lugar, a una serie de eventos históricos y recientes de crecidas excepcionales ocurridos en la cuenca del río Mocotíes, específicamente con afectación sobre la vertiente izquierda; posteriormente, se muestran los análisis de frecuencia y de tormentas elaborados a partir de la información hidroclimática recopilada; aunado al análisis de las condiciones morfométricas de las subcuencas seleccionadas y finalmente realiza la generación de crecidas resultado de la aplicación del modelo de simulación hidrológica HEC-HMS 4.2.1.0, que en conjunto con la utilización del modelo hidráulico HEC-RAS5.0.3, permiten inferir el comportamiento de las avenidas en los sitios de interés lo que finalmente permitirá proponer sitios de posible afectación ante la amenaza hidrológica.

### **5.1 Revisión de crecidas históricas y recientes, así como diferentes tipos de movimientos de masa ocurridos en la vertiente izquierda del río Mocotíes e investigación hidrometeorológica e hidroclimática.**

Se presenta una secuencia cronológica de eventos históricos de crecidas y movimientos de masa, dando a conocer el tipo de afectación y la descripción técnica sobre la zona; ello con la finalidad de identificar las principales amenazas del área de análisis, dado que, en la vertiente izquierda de la cuenca del río Mocotíes, se conjugan diversas condiciones que contribuyen a la ocurrencia de crecidas torrenciales. En este sentido, pueden mencionarse factores naturales como: precipitaciones abundantes e intensas, alto grado de meteorización de las rocas, elevada inclinación de las vertientes y las posibilidades de ocurrencia de represamientos; elementos que adquieren especial relevancia si se considera que el área se ubica en una zona geológica y geomorfológicamente frágil. Al mismo tiempo, que condiciones antropogénicas como la deforestación, el acelerado crecimiento de la población en áreas no apropiadas para uso residencial, sumado al incremento de los niveles de vulnerabilidad, los cuales en subconjunto que hacen que las crecidas tengan impactos considerables en la población.

Tomando estas consideraciones como base, se ilustra la cronología, que comprendió la recopilación de la información disponible en libros, artículos de revistas y periódicos, así como informes técnicos. Esto permite señalar que, en el pasado y hasta la actualidad, en el área de análisis han ocurrido crecidas excepcionales (cuadro 5.1) que han generado afectación en la zona, y se observa además un incremento de los procesos hidrogeomorfológicos en los últimos años.

**Cuadro 5.1.** Crecidas históricas y recientes, así como diferentes tipos de movimientos de masa ocurridos en la vertiente izquierda del río Mocotíes.

Sector	Fecha	Descripción
Sector ubicado entre Tovar y Santa Cruz de Mora.	20/01/1950	“El río Mocotíes y otras quebradas que unen a la población de Tovar con Santa Cruz de Mora, como consecuencia de 6 días de lluvia, se desbordaron e interrumpieron el tránsito de vehículos. Hubo afectación de las viviendas y haciendas aledañas a la población de Tovar. También hubo afectación de platanales y cañaverales debido al arrastre de árboles y grandes cantidades de arena” (El Nacional, 1950. 21 de Enero).
Santa Cruz de Mora.	01/11/1969	Debido a las fuertes lluvias, se presentaron desbordes del río Mocotíes y de la quebrada Mejía, así como de otras quebradas locales. El diario (El Vigilante, 1969. 02 de Noviembre. pág. 8): “Incalculables pérdidas fue el saldo dejado por el torrencial aguacero que azotó a la población de Santa Cruz de Mora. El prefecto del municipio indicó que durante más de 14 horas llovió en forma torrencial, lo que originó el desbordamiento del río Mocotíes, la quebrada Mejías y de algunos riachuelos, entre ellos el desbordamiento del Callejón y El Mamón, cuyas aguas y alud de piedra y de barro arrasaron con una surtidora o bomba de gasolina dejándola casi inservible. El barrio El Mamón, situado al oeste del poblado, fue el sector más afectado. Numerosas viviendas quedaron inundadas por las aguas lo que motivó que sus habitantes buscasen refugio seguro en otra parte. El barrio El Arenal también sufrió la inclemencia del tiempo”
Cuenca del río Mocotíes.	11/02/2005	La noche del 11 de febrero del año 2005 se produjo la denominada Tragedia del Valle del Mocotíes. La Tormenta que duro entre 4 - 5 horas según información reportada por testigos presenciales, desencadenó diferentes procesos hidrogeomorfológicos de las quebradas locales y del río Mocotíes, que afectaron a su vez a distintos sectores de la cuenca. Este evento y sus efectos han sido tratados ampliamente por Ferrer (2005), Laffaille <i>et al.</i> (2005a; 2005b), Dugarte y Ferrer (2007a; b) y Ferrer <i>et al.</i> (2007), Rojas (2010), Bongiorno <i>et al.</i> (2010), Dugarte <i>et al.</i> (2014), entre muchos otros. El resultado del evento: muertos, heridos, población incomunicada, así como graves daños a la infraestructura ubicada en el fondo del valle; especialmente en la avenida perimetral de Tovar y en Santa Cruz de Mora. Para el 04 de marzo del 2004 se manejaban oficialmente: 41 fallecidos, 63 desaparecidos, 3170 damnificados, 2262 refugiados y 536 viviendas destruidas (Lamas, 2005). Detalles de todo el evento, se presentan en este Trabajo.
Quebradas El Peñón y El Tabacal.	21/05/2005	“Santa Cruz de Mora, acechada por las Inclementes lluvias. Los habitantes de la población de Santa Cruz de Mora vivieron momentos de angustia este fin de semana debido al aumento del caudal de las quebradas El Peñón y El Tabacal; situación que activó las labores de resguardo de los organismos de seguridad que cumplen funciones en esta zona” (Diario Frontera, 1994. 24 de Mayo. pág. 7). En el citado artículo de prensa, se hace mención además, a la ocurrencia de

SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DE CRECIDAS EN LAS SUBCUENCAS DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO MOCOTÍES  
EN EL MUNICIPIO ANTONIO PINTO SALINAS, MÉRIDA – VENEZUELA.

		múltiples deslizamientos entre Tovar y Santa Cruz de Mora.
Sector El Peñoncito. Tovar.	17/11/2005	El “Desbordamiento del río Mocotíes mantiene en zozobra a la población (y) causó nuevamente alarma entre los pobladores de Tovar y Guaraque al causar derrumbes en varios sectores de la carretera que conduce a la capital del Mocotíes, así como la caída del puente ubicado en el sitio denominado El Bambú que dejó incomunicadas a las poblaciones de San Francisco y zonas adyacentes. El tránsito automotor hacia Tovar se vio parcialmente restringido ante el deslizamiento de tierra sobre la carretera específicamente sobre el sector El Peñoncito, producto del aumento del caudal de las aguas. El director de Seguridad Ciudadana afirmó que hasta los momentos no se cuenta con pérdidas de vidas humanas, y existen hasta el momento unas 30 a 40 familias no damnificadas sino afectadas por las lluvias, lo cual representa unas 150 a 200 personas”. (Diario Frontera. 2005. 19 de noviembre. pág. 8-C).
Tovar y zonas aledañas.	01/12/2010	“11 viviendas parcialmente dañadas en Tovar. Cinco horas de continuas precipitaciones generaron alarma durante la tarde de ayer en la población de Tovar y zonas circunvecinas. Ocho viviendas resultaron parcialmente dañadas por deslizamientos, producto de la saturación de las aguas en los terrenos aledaños a las viviendas”... “las casas dañadas están ubicadas en Tovar, tres en Loma de La Virgen, una en el Rosal, dos en el Corozo, una en la Lagunita, mientras que en zonas aledañas una vivienda resultó afectada en El Amparo y otras dos en Santa Cruz de Mora, en el sector el Matadero”.... “mientras que en la vía entra la Victoria y Santa Cruz, también se produjeron derrumbes”.... “igualmente las crecidas de las quebradas ubicadas en El Tabacal, El Peñón, San Diego y La Jabonera, arrojó barro y piedras a la vía, razón por la cual las máquinas debieron intervenir” (Diario Pico Bolívar, 2010. 01 de diciembre. pág. 3).
Santa Cruz de Mora y Tovar.	10/04/2011	“Debido a las fuertes lluvias caídas en la región Merideña en los últimos días la población de Santa Cruz de Mora, en el municipio Antonio Pinto Salinas, fue afectada. Hubo viviendas y calles afectadas por el agua. Las familias que quedaron damnificadas fueron llevadas al gimnasio del pueblo y a casas de familias solidarias para ser atendidas. Las clases en dicha población y en parte del municipio Tovar tuvieron que ser suspendidas porque algunas plantas físicas educativas corrían riesgo y porque no había servicio de agua potable, esto debido a que la crecida de los afluentes también colapsó los acueductos del valle del Mocotíes”. (Diario El Universal, 2011. 12 de Abril). “Desde el pasado domingo (10 de abril) en horas de la tarde diversos puntos del estado Mérida, fueron sacudidos por las fuertes lluvias, lo que generó el desbordamiento de varias quebradas y un sinnúmero de deslaves en las vías de comunicación, elementos que tocaron en mayor proporción al municipio Antonio Pinto Salinas, donde hasta ayer en horas de la noche se habían contabilizado 16 viviendas con pérdida total, 25 casas con pérdidas parciales, más de 12 aldeas incomunicadas y el colapso por más de ocho horas de la avenida principal de esta jurisdicción” (Diario Frontera, 2011. 12 de abril).

		<p>pág.12-B). “La comunidad de Santa Cruz de Mora, se vio afectada por la crecida del callejón de San José, la tarde y noche de este domingo, que ocasionó el colapso del cajón de paso producto de la gran cantidad de material sedimentario y escombros que fueron arrastrados por el agua, ocasionando el desbordamiento del callejón e incomunicando a las poblaciones de Tovar y Santa Cruz de Mora”...“los trabajos de remoción de escombros y material sedimentario cayeron en 70% sobre la avenida perimetral Antonio Pinto Salinas” (Diario Pico Bolívar, 2010. 01 de diciembre. pág. 3). En los reportes de prensa también se documenta la crecida de la quebrada El Barro y los nombres de las aldeas incomunicadas pertenecientes a los municipios Tovar y Antonio Pinto Salinas: Mesa La Vieja, San Pedro, El Portón, El Palmarito, San Isidro, Las Talas, El Páramo de San Isidro, La Lomita, El Guayabal, San Felipe, Quebrada el Barro, Los Pozuelos y Los Amogres.</p>
Tovar y Santa Cruz de Mora.	27/04/2011	<p>“Las lluvias aislaron a varios sectores de Tovar y Santa Cruz de Mora. Las fuertes lluvias caídas anoche en el valle del Mocotíes, provocaron derrumbes y desbordamientos de quebradas, que dejaron aislados varios sectores de los municipios Tovar y Antonio Pinto Salinas. Alrededor de las 8:30 p.m. hubo deslizamientos de tierras en las zonas de la Cucuchica, El Cacique y El Tabacal de Tovar. En el sector Quebrada el Barro de Santa Cruz se desbordó la quebrada San Pedro que obstaculizó por completo el paso vehicular. Los organismos de emergencia desalojaron a seis familias que corrían el riesgo de ser arrasados por el agua”...“por la emergencia quedó incomunicado el paso hacia Santa Cruz por sus dos entradas” (Diario Pico Bolívar, 2011. 28 de abril. pág. 31).</p>
Tovar, Santa Cruz de Mora y Zea	23/08/2021	<p>El 23 de agosto de 2021 se genera un fenómeno de origen hidrometeorológico en el Valle del Mocotíes, lo que produce precipitaciones de intensidades entre moderadas a fuertes por un periodo prolongado de duración (05 horas), en los municipios Antonio Pinto Salinas, Tovar y Zea. Lo que produce eventos generadores de daños asociados a los de origen hidrogeomorfológico; comprometiéndose la vialidad de la troncal 005, el servicio de agua potable, electricidad y el sector agrícola; de igual forma entre las cinco (05) subcuencas en estudio la afectación a nivel de viviendas se resume en: de forma parcial (10), de forma directa grave (14), destruidas (17) y viviendas en riesgo (36), por la dimensión de afectación se considera un evento de importante magnitud para la zona, por ello se registra como antecedente en la presente investigación. (Protección Civil y Administración de Desastres del Estado Bolivariano de Mérida, 2021. 25 de abril. pág. 16).</p>

**Tomado de:** Delgadillo (2014).

De lo anteriormente expuesto se desprende, que la vertiente izquierda del río Mocotíes, desde mediados del siglo XX ha sufrido una gran cantidad de crecidas, distribuidas, en su mayoría, en dos momentos críticos al año, el primero en los meses de abril y mayo, mientras que el segundo es entre los meses de noviembre y diciembre donde se concentran afectaciones significativas, lo que se corresponde con los dos periodos lluviosos en los que

tienen lugar las mayores tormentas, y por consiguiente, los meses en que se presentan los mayores riesgos de que ocurran crecidas torrenciales.

Adicionalmente ocurrieron precipitaciones concentradas en un mes tradicionalmente seco: febrero. En este sentido, uno de los eventos más significativos ocurridos dentro de la cuenca del río Mocotíes, se produjo el 11/02/2005 el cual se ha constituido en una referencia histórica de la magnitud de los procesos geodinámicos que allí han ocurrido.

En este orden de ideas, los afluentes hídricos en estudio: Quebrada El Barro, El Diamante, La Parada, Los Cedros o Carmania y San José, presentan evidencia de una actividad fluvial dinámica, con un potencial de limitaciones debido a problemas de tipo geológico - geomorfológico y a sus características morfométricas, que hacen que se comporten como torrentes activos, con gran capacidad de arrastre de materiales, pudiendo afectar zonas pobladas, causando daños significativos a los habitantes de la zona; ante la ocurrencia eventos de crecientes importantes sin dejar a un lado el aumento de los niveles de vulnerabilidad económica, social y estructural del área.

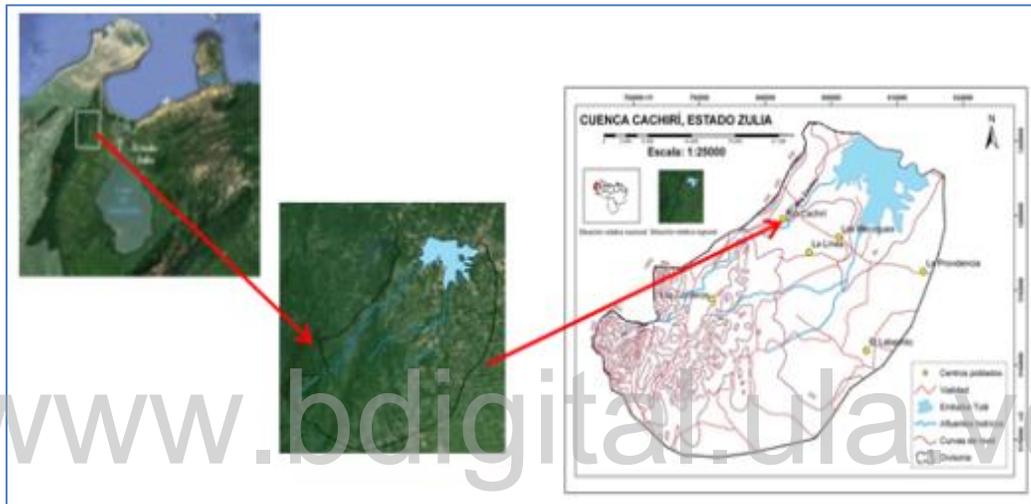
Es importante señalar que aun cuando los eventos de crecidas y desbordes que se han presentado en la cuenca son considerables, las pérdidas humanas y materiales han sido relativamente bajas en la zona de estudio; no obstante, el constante crecimiento de la población ha ejercido presión y ha llevado a que cada vez sean más las viviendas e infraestructura de servicios que se construyan en zonas expuestas, dejando de lado la memoria histórica y utilizando dichas áreas. Esto conlleva a que se haga preciso impulsar la zonificación de las áreas propensas a desbordes en los drenes en estudio.

- **Investigación hidrometeorológica e hidroclimática.**

Para la realización de este tipo de análisis, es fundamental contar con datos de algunas características significativas de la precipitación, como su profundidad o intensidad, su distribución en el espacio y en el tiempo y su frecuencia o probabilidad de ocurrencia. No obstante, en la cuenca del río Mocotíes existe una carencia importante de registros hidroclimáticos, por lo que la disponibilidad de datos es limitada. Sobre la base de las concepciones antes expuestas, Aparicio (2011) señala que, cuando se cuenta con poca información de tormentas extremas ocurridas en una cuenca, o cuando se desea ampliar la información sobre las cantidades máximas de precipitación, puede resultar conveniente transponer una tormenta de un sistema hidrológico diferente. De igual forma es ventajoso, para simular eventos extremos, la maximización de la precipitación, es decir, considerar la cantidad de precipitación que se aproxima al límite superior físico para una duración dada, por lo que una forma de lograr esto, es la transposición de una tormenta excepcional desde una región meteorológicamente circundante (OMM, 1994).

En este sentido, como lo que se busca es compensar la falta de información y obtener el comportamiento de la cuenca ante otro evento extremo, se consideró transponer la tormenta ocurrida el cinco (05) de Diciembre de 1970 en la cuenca del río Cachimí Estado Zulia ubicada en el occidente venezolano, en la región noroccidental del estado Zulia (Figura 5.1); de la cual se dispone tanto de las profundidades de lluvia a nivel horario, como la distribución espacial de la precipitación, específicamente los datos registrados en la estación La Fortuna, donde se centró la tormenta. (Atlas de Tormentas de Venezuela. (1984); bajo el auspicio del antiguo Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

**Figura 5.1.** Ubicación de la cuenca Cachimí



Fuente: Atlas de Tormentas de Venezuela. 1984

**5.2 Obtención de datos para realizar:**

✓ **Aspectos morfométricos.** El conocer la hidrografía y por ende el análisis morfométrico de cada uno de los drenes logra definir la facilidad para concentrar la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca; luego de un evento de precipitación y con ello inferir cual podría ser el nivel de susceptibilidad a las crecidas. A continuación se presentan las variables lineales, de superficie, de desnivel, mórficas e hidrológicas ver cuadro 5.2 de cada uno de los cinco (05) drenes en estudio con características torrenciales las cuales son: Quebrada El Barro, El Diamante, La Parada, Los Cedros o Carmania y San José.

**Cuadro 5.2.** Calculo de algunos aspectos morfométricos de las cinco subcuencas en estudio.

Variables lineales	
Perímetro de la cuenca (Km)	
Quebrada El Barro	9,00
El Diamante	7,00
La Parada	5,00
Los Cedros o Carmania	8,00
San José	5,00

Los afluentes hídricos de tipo torrenciales son en proporciones de perímetro pequeñas, en cuanto al

**SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DE CRECIDAS EN LAS SUBCUENCAS DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO MOCOTÍES  
EN EL MUNICIPIO ANTONIO PINTO SALINAS, MÉRIDA – VENEZUELA.**

<b>Ancho medio de la cuenca (Km)</b>		régimen hídrico posee lechos de carácter intermitentes; los cuales además le confieren un patrón de paralelos a sub-paralelos.  Dicho parámetro es la distancia en línea recta desde el punto de interés (sitio de salida o desembocadura del cauce principal) y el punto de la divisoria en donde se proyectaría en nacimiento del cauce principal (punto más alto de la cuenca); permite tener una idea de la extensión de las cuencas en estudio.
Quebrada El Barro	1,087	
El Diamante	0,755	
La Parada	0,517	
Los Cedros o Carmania	0,607	
San José	0,436	
<b>Longitud axial de la cuenca (Km)</b>		
Quebrada El Barro	3,680	
El Diamante	2,648	
La Parada	1,936	
Los Cedros o Carmania	2,994	
San José	2,292	
<b>Longitud del cauce principal (Km)</b>		Dicho parámetro influye en el tiempo de concentración y en varios de los índices morfométricos. Se puede concluir que los cauces objeto de estudio son de corto recorrido.
Quebrada El Barro	3,816	
El Diamante	2,826	
La Parada	2,339	
Los Cedros o Carmania	3,293	
San José	2,305	
<b>Total de cauces de primer orden (km)</b>		Entre las variables lineales dentro de los afluentes hídricos de tipo torrentes sobresalen los de régimen intermitentes que aportan poco caudal al afluente hídrico más importante: el río Mocotíes que es a donde drenan sus aguas.  Conocer el número de cauces es un indicador de la capacidad de captación de agua y la magnitud de la red fluvial, a mayor número de ordenes existirá un mejor drenaje de la cuenca y por tanto favorece la escorrentía. Para el caso de estudio cada subcuenca por separado tiene alrededor de 6 afluentes y de forma general el área de estudio está compuesta de unos 75 afluentes. Destacando que el mayor orden es de 3 pudiendo ser este de un orden medio que además existe en la zona controles estructurales del relieve producto de la actividad sísmica del área de estudio,
Quebrada El Barro	8,472	
El Diamante	2,963	
La Parada	1,667	
Los Cedros o Carmania	3,091	
San José	2,592	
<b>Total de cauces de segundo orden (km)</b>		
Quebrada El Barro	0,962	
El Diamante	0,535	
La Parada	0,033	
Los Cedros o Carmania	0,157	
San José	2,434	
<b>Total de cauces de tercer orden (km)</b>		
Quebrada El Barro	4,613	
El Diamante	2,826	
La Parada	0	
Los Cedros o Carmania	0	
San José	0	
<b>Longitud total de cauces (km)</b>		
Quebrada El Barro	14,047	
El Diamante	6,324	
La Parada	4,039	
Los Cedros o Carmania	6,541	
San José	5,026	
<b>VARIABLES DE SUPERFICIE</b>		
<b>Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)</b>		
Quebrada El Barro	4,00	Se relaciona con los procesos que en ellas ocurren. También se sabe, en teoría que a mayor superficie, mayores serán los caudales de los sistemas hidrológicos en estudio.
El Diamante	2,00	
La Parada	1,00	
Los Cedros o Carmania	2,00	
San José	1,00	
<b>Densidad de drenaje (km/km<sup>2</sup>)</b>		
Quebrada El Barro	3,512 Alta	Permite tener un mejor conocimiento de la

**SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DE CRECIDAS EN LAS SUBCUENCAS DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO MOCOTÍES  
EN EL MUNICIPIO ANTONIO PINTO SALINAS, MÉRIDA – VENEZUELA.**

El Diamante	3,162 Alta	complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. Este índice integra las características de las rocas, el suelo, la pendiente y vegetación, lo cual brinda una idea de la existencia de cauces y la rapidez con que la escorrentía y los sedimentos salen de la cuenca después de un evento de precipitación. En relación con el área de estudio, se presentan densidades de drenaje altas lo que indica una mayor propensión a generar crecidas; dicha situación se relaciona con rocas y suelos erodables e impermeables, pendientes fuertes y vegetación moderada a poca cobertura.	
La Parada	4,039 Alta		
Los Cedros o Carmania	3,271 Alta		
San José	5,026 Alta		
<b>Pendiente media de la cuenca (%)</b>			
Quebrada El Barro	35,118 Escarpado	Variable de gran importancia por su influencia en los procesos hidrogeomorfológicos. Por su valor permite ubicarlo en un relieve de escarpado a muy escarpado, según el criterio de Pérez (1979), el parámetro guarda relación con los procesos erosivos y estos a su vez con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al caudal de las corrientes. A mayor pendiente menor infiltración, mayor velocidad y mayor fuerza de arrastre (Aparicio 2011).	
El Diamante	31,620 Escarpado		
La Parada	40,390 Escarpado		
Los Cedros o Carmania	32,705 Escarpado		
San José	50,260 Muy Escarpado		
<b>Pendiente media del cauce Principal (%)</b>			
Quebrada El Barro	26,205	Se toma el cauce principal por ser el gran concentrador o integrador del escurrimiento superficial. Parámetro que guarda relación con los procesos de socavación lateral y de fondo, que tienen lugar en la red de drenaje y en el transporte de los materiales derivados de tales procesos. De igual forma se debe destacar que el cauce posee una considerable inclinación, factor que hace que se produzcan crecidas torrenciales y se generen pérdidas de diferentes índoles.	
El Diamante	24,06		
La Parada	27,36		
Los Cedros o Carmania	15,18		
San José	24,30		
<b>Variables de desnivel</b>			
<b>Desnivel altitudinal del cauce (msnm)</b>			
Quebrada El Barro	1000	Destacándose que la topografía o relieve del área en estudio tiene influencia sobre la respuesta hidrológica, aunado a ello es un factor que afecta la temperatura y la precipitación de la zona, en consecuencia la temperatura disminuye con la elevación y las precipitaciones de tipo orográfico tienden a aumentar de acuerdo con las alturas del área.	
El Diamante	680		
La Parada	640		
Los Cedros o Carmania	500		
San José	560		
<b>Desnivel altitudinal de la cuenca (msnm)</b>			
Quebrada El Barro	1000		
El Diamante	760		
La Parada	640		
Los Cedros o Carmania	590		
San José	620		
<b>Variables Mórficas</b>			
<b>Relación o Factor forma de Horton</b>			
Quebrada El Barro	0,275 Ligeramente alargada	En este caso y considerando este parámetro, “por separado” existe una menor propensión a generar crecidas.	
El Diamante	0,250 Ligeramente alargada		
La Parada	0,283 Alargada		

Los Cedros o Carmania	0,185 Muy Alargada	
San José	0,56 Alargada	
<b>Variable hidrológica</b>		
<b>Tiempo de concentración (min)</b>		
Quebrada El Barro	19	. El tiempo que tarda una gota de agua desde el sitio más alejado del cauce principal hasta su desembocadura en este caso se trabajó con la metodología de Kirpich; obteniendo un resultado de entre 16 y 22 min, un tiempo de concentración bajo pues la pendiente indica que el agua discurre rápidamente influyendo directamente en la magnitud de las crecidas.
El Diamante	17	
La Parada	16	
Los Cedros o Carmania	22	
San José	18	
<p>Las cinco (05) subcuencas ocupan poca superficie y presentan un carácter torrencial, en esencia por su desnivel, alta densidad de drenaje y pendientes inclinadas y tiempos de concentración cortos, adicionalmente son zonas intervenidas por la expansión agrícola y combinación con pastizales utilizados para el sobrepastoreo así como el crecimiento demográfico en zonas no óptimas para el desarrollo poblacional; Sin dejar de lado la característica geológica de la zona, lo cual ha coadyuvado al control estructural de los drenajes y fracturar y alterar las rocas que afloran en las mismas, que en conjunción con precipitaciones concentradas originan flujos de detritos los cuales pueden generar represamientos en los afluentes hídricos.</p> <p>Finalmente estudiar los aspectos morfométricos de las subcuencas tiene la ventaja de obtener una idea acerca de la posibilidad de ocurrencia de crecidas y cuál será su comportamiento en caso de presentarse lluvias concentradas.</p>		

Teniendo en consideración lo señalado en el Cuadro 5.2, y tomando como base que los cauces principales con pendientes mayores a 20% son torrenciales; se evidencia que los afluentes hídricos en estudio tiene un comportamiento torrencial característico de relieves montañosos, pues durante todo su recorrido, las pendientes varían con predominancia a terrenos escarpados a muy escarpados.

Teniendo en consideración lo señalado en el Cuadro 5.2, se puede señalar que los cauces principales con pendientes mayores a 20% son torrenciales; característico de relieves escarpados a muy escarpados, con fuertes pendientes, drenes de corto recorrido, y de régimen intermitente.

### 5.3 Análisis de tormenta:

✓ **Análisis de tormenta:** siguiendo el mismo orden de ideas se debe tener en cuenta que, los resultados obtenidos con el análisis de lluvias extremas, en conjunto con el procesamiento de datos derivados del análisis de tormentas, se usarán como datos de entrada claves en la generación de los hidrogramas de crecidas; así como también, servirán de apoyo para estudiar el comportamiento de las precipitaciones.

Un análisis de tormenta es realizado con la finalidad de relacionar la profundidad y distribución espacial y temporal de un episodio de lluvias en particular. En consecuencia, para el desarrollo de la presente investigación, se consideró la tormenta del 05/12/1970

ocurrida en la cuenca del río Cachirí, como un patrón de precipitación definido mediante un hietograma, que posteriormente fue traspuesto y utilizado como dato de entrada para la simulación de caudales máximos de las subcuencas objeto de análisis. En este sentido, la tormenta de estudio, tuvo una duración de 8 horas, sin embargo considerando que los valores más altos de precipitación se acumularon durante las últimas cuatro (4) horas y para ajustarlo a las características del área de estudio, cuyas tormentas tienen una duración promedio de 6 a 8 horas, se tomó ésta como la tormenta de diseño. Siendo así, se puede apreciar en el cuadro 5.3 la distribución horaria de la precipitación en milímetros, en cada una de las estaciones de medición para el día 5 de diciembre de 1970.

**Cuadro 5.3.** Distribución horaria de la precipitación en mm, en cada una de las estaciones de medición para el día 5 de diciembre de 1970.

Tiempo (h)	Serial de las estaciones						
	1097	1096	1111	1099	0088	1079	1008
1	0,1	0,3	0,1	0,1	12,9	2,1	0,0
2	0,6	4,0	0,2	0,8	16,0	2,8	0,0
3	3,1	5,3	1,6	5,0	34,1	2,9	9,2
4	23,1	42,6	50,2	18,3	35,9	2,9	29,3
5	70,1	78,8	51,2	30,2	41,7	2,9	29,3
6	81,3	80,5	51,5	44,0	41,8	2,9	29,6
7	87,8	81,1	52,0	50,6	42,1	2,9	29,6
8	93,4	83,0	60,5	57,5	47,2	4,3	31,0
<b>Donde se centró la tormenta</b>							

1097- Est. La Fortuna

1096- Est. Puerto Delicias

1111- Est. Caño Frío

1099- Est. Caño Grande

0088- Est. El Carbón

1079- Est. La Armenia

1008- Est. La Cabaña

**Fuente:** Atlas de Tormentas de Venezuela (1984) bajo el auspicio del antiguo MARNR.

Con base en estos elementos, y conociendo la duración de la tormenta, se graficó el hietograma de lluvia para la estación La Fortuna donde se centró la tormenta (gráfico 5.1), este señala la variación de la precipitación a lo largo de las 8 horas consideradas para el análisis.

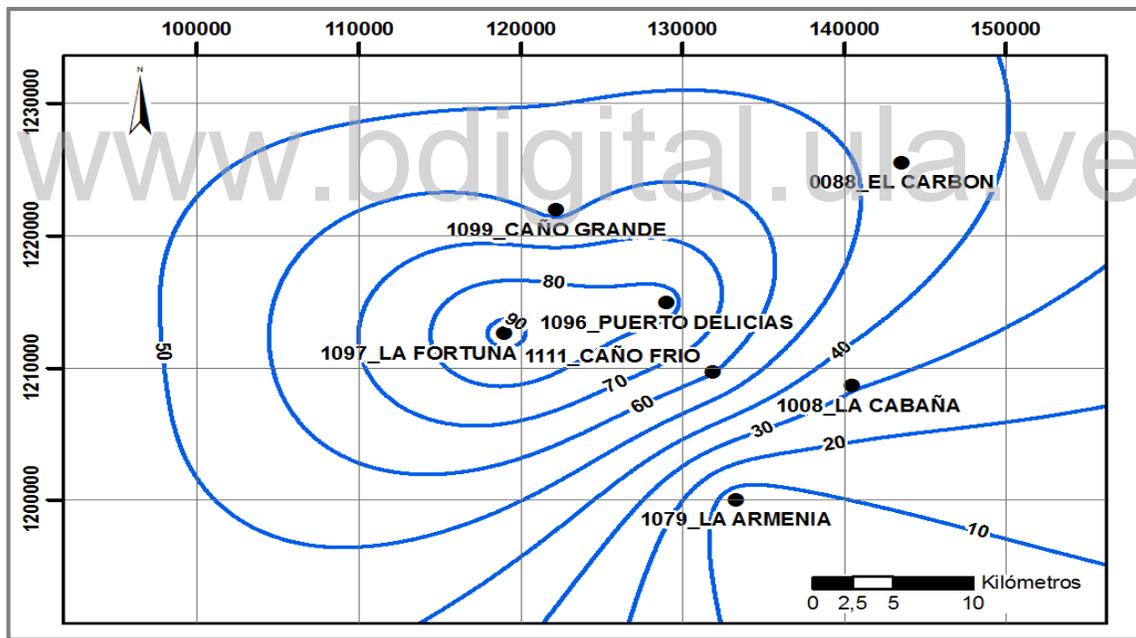
Gráfico 5.1. Hietograma de la tormenta del 05/12/1970 estación La Fortuna cuenca del Río Cachirí.



Fuente: Atlas de Tormentas de Venezuela. (1984) bajo el auspicio del antiguo MARNR.

Posteriormente, empleando los datos antes señalados anteriormente se procedió a la elaboración de las isoyetas de la tormenta, con intervalos de cada 10 mm (Figura 5.2).

Figura 5.2. Isoyetas de la tormenta 05/12/1970



• **Curvas Área - Profundidad - Duración (APD):** se utilizan para estimar el potencial de precipitación que existe en una región; para ello se establecen las profundidades máximas que se producen en las diferentes áreas de una tormenta y para distintas duraciones, tomando como referencia la red de estaciones que registran simultáneamente la precipitación durante un episodio de lluvias determinado. En función de las ideas antes expuestas, un dato de gran relevancia es la precipitación media, que para el caso de estudio, fue calculada a través del método isoyético, que pondera la precipitación en función del área encerrada por cada isoyeta, por lo que solo se consideran las isoyetas que se cierran; los resultados se muestran en el Cuadro 5.4.

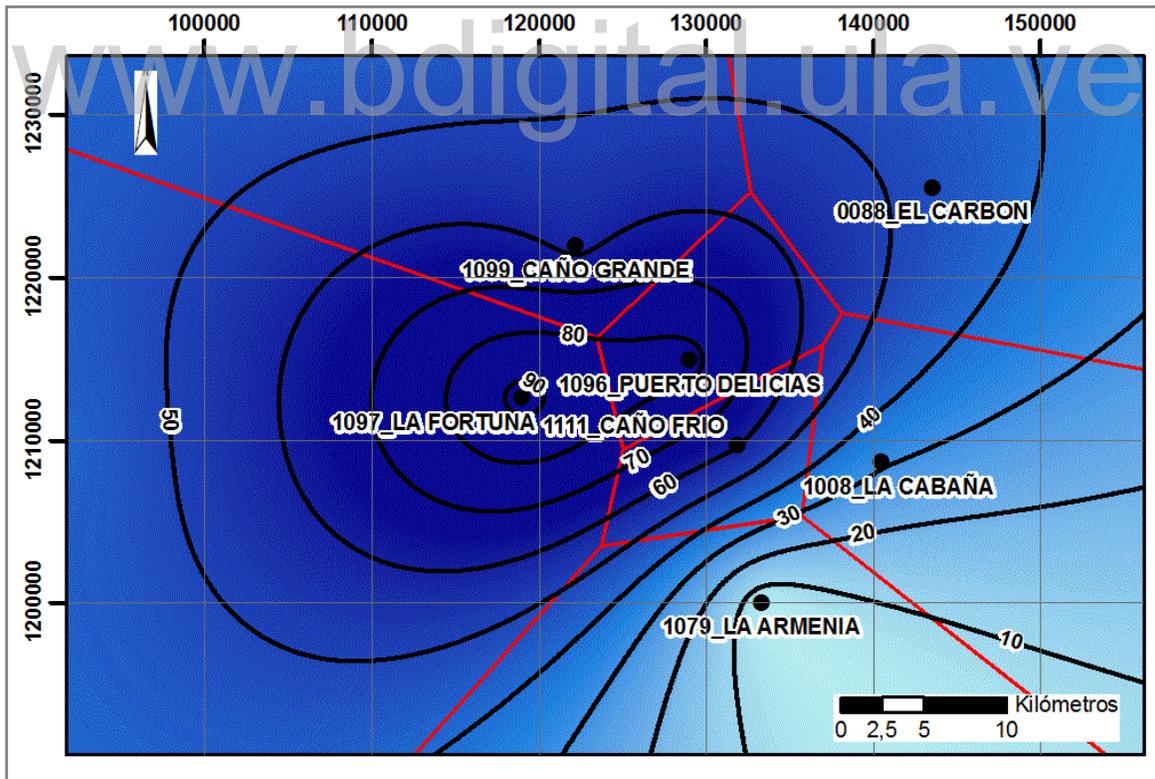
**Cuadro 5.4.** Estimación de la profundidad promedio para la cuenca Cachirí a través del mapa isoyético.

CENTRO DE LLUVIAS	ISOYETA (mm)	ÁREA ENCERRADA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA NETA (Km <sup>2</sup> )	LLUVIA PROMEDIO (mm)	ÁREA x LLUVIA PROMEDIO		LLUVIA MEDIA SOBRE EL ÁREA
					INCREMENTO	ACUMULADO	
1	93.4	0	0	0	0	0	93.4
	90	3.93	3.93	91.7	360.381	360.381	91.70
	80	84.67	80.74	85	6862.9	7223.281	85.31
	70	242.4	157.73	75	11829.75	19053.031	78.60
	60	518.91	276.51	65	17973.15	37026.181	71.35
	50	1109.6	590.69	55	32487.95	69514.131	62.65

**Fuente:** Atlas de Tormentas de Venezuela. (1984) bajo el auspicio del antiguo MARNR.

A continuación, se generaron los polígonos de Thiessen, que hacen referencia al área de influencia de los valores de precipitación medidos para cada una de las estaciones; los cuales fueron superpuestos a las isoyetas calculadas (Figura 5.3), lo que permitió obtener las áreas de influencia de cada estación entre dos isoyetas (Cuadro 5.5), todo ello fue realizado en el programa ArcGis 10.5.

**Figura 5.3.** Polígonos de Thiessen de la red de estaciones que registraron la tormenta 05/12/1970



**Cuadro 5.5.** Áreas de influencia (Km<sup>2</sup>) para cada estación de medición de precipitación.

Estaciones	Isoyetas (mm)
------------	---------------

SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DE CRECIDAS EN LAS SUBCUENCAS DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO MOCOTÍES  
EN EL MUNICIPIO ANTONIO PINTO SALINAS, MÉRIDA – VENEZUELA.

	90	80	70	60	50
1097 La Fortuna	3,93	64,25	154,95	301,87	566,77
1096 Puerto Delicias		20,42	63,31	105,16	118,91
1111 Caño Frio			6,54	33,12	66,03
1099 Caño Grande			17,6	78,76	271,59
0088 El Carbón					74,76
1079 La Armenia					2,46
1008 La cabaña					9,08
<b>SUMA</b>	3,93	84,67	242,4	518,91	1109,6

De esta manera, para realizar el análisis de Área - Profundidad - Duración; se calcula la precipitación máxima para las diferentes duraciones y áreas ver cuadro 5.6, y a partir de dicha información se generan los datos para las curvas APD.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DE CRECIDAS EN LAS SUBCUENCAS DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO MOCOTÍES  
EN EL MUNICIPIO ANTONIO PINTO SALINAS, MÉRIDA – VENEZUELA.**

**Cuadro 5.6. Cálculo de la precipitación máxima para las diferentes duraciones y áreas.**

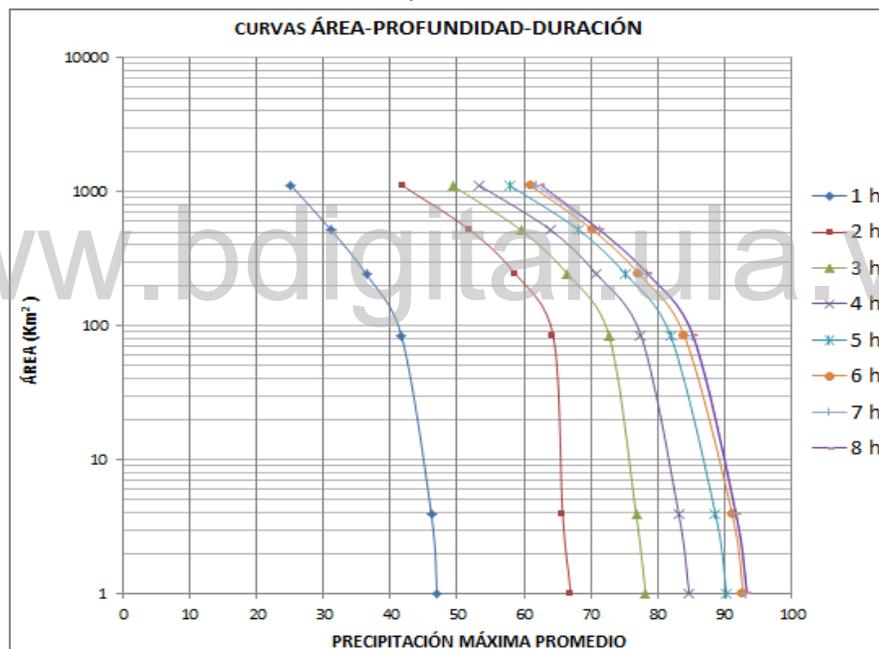
CENTRO DE TORMENTA	ESTACIÓN	ISOYECTA ENVOLVENTE			%DE INFLUENCIA	DISTRIBUCIÓN HORARIA DE Pp en mm.								FACTOR ISOYECTICO FI
		VALOR (mm)	LLUVIA MEDIA (mm)	AREA ENCERRADA (Km2)		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	1097 La Fortuna	90	91,7	3,93	1,00	0,10	0,60	3,10	23,10	70,10	81,30	87,80	93,40	0,98
	Pp Acumulada				0,1	0,6	3,1	23,1	70,1	81,3	87,8	93,4		
	Pp Ajustada				0,1	0,6	3,0	22,7	68,8	79,8	86,2	91,7		
	Dif Pp				0,1	0,5	2,5	19,6	46,1	11,0	6,4	5,5		
	Pp Maxima				46,1	65,8	76,8	83,2	88,7	91,2	91,6	91,7		
1	1097 La Fortuna	80	85,3	84,7	0,76	0,1	0,5	2,4	17,5	53,2	61,7	66,6	70,9	0,94
	1096 Puerto Delicias				0,24	0,1	1,0	1,3	10,3	19,0	19,4	19,6	20,0	
	Pp Acumulada				0,1	1,4	3,6	27,8	72,2	81,1	86,2	90,9		
	Pp Ajustada				0,1	1,3	3,4	26,1	67,8	76,1	80,9	85,3		
	Dif Pp				0,1	1,2	2,1	22,7	41,7	8,4	4,8	4,4		
Pp Maxima	41,7	64,4	72,7	77,5	81,9	84,0	85,2	85,3						
1	1097 La Fortuna	70	78,6	242,4	0,6	0,1	0,4	2,0	14,8	44,8	52,0	56,1	59,7	0,90
	1096 Puerto Delicias				0,3	0,1	1,0	1,4	11,1	20,6	21,0	21,2	21,7	
	1111 Caño Frío				0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,4	1,4	1,4	1,6	
	1099 Caño Grande				0,1	0,0	0,1	0,4	1,3	2,2	3,2	3,7	4,2	
	Pp Acumulada				0,2	1,5	3,8	28,6	69,0	77,6	82,4	87,2		
Pp Ajustada	0,1	1,3	3,4	25,8	62,2	69,9	74,3	78,6						
Dif Pp	0,1	1,2	2,1	22,4	36,4	7,8	4,3	4,3						
Pp Maxima	36,4	58,8	66,5	70,9	75,2	77,2	78,5	78,6						
1	1097 La Fortuna	60	71,4	518,9	0,6	0,1	0,3	1,8	13,4	40,8	47,3	51,1	54,3	0,85
	1096 Puerto Delicias				0,2	0,1	0,8	1,1	8,6	16,0	16,3	16,4	16,8	
	1111 Caño Frío				0,1	0,0	0,0	0,1	3,2	3,3	3,3	3,3	3,9	
	1099 Caño Grande				0,2	0,0	0,1	0,8	2,8	4,6	6,7	7,7	8,7	
	Pp Acumulada				0,1	1,3	3,7	28,1	64,6	73,6	78,5	83,7		
Pp Ajustada	0,1	1,1	3,2	23,9	55,0	62,7	66,9	71,4						
Dif Pp	0,1	1,0	2,1	20,7	31,1	7,6	4,2	4,5						
Pp Maxima	31,1	51,9	59,5	64,0	68,2	70,3	71,2	71,4						
1	1097 La Fortuna	50	62,6	1109,6	0,5	0,1	0,3	1,6	11,8	35,8	41,5	44,8	47,7	0,81
	1096 Puerto Delicias				0,1	0,0	0,4	4,6	8,4	8,6	8,7	8,9		
	1111 Caño Frío				0,1	0,0	0,0	0,1	3,0	3,0	3,1	3,1	3,6	
	1099 Caño Grande				0,2	0,0	0,2	1,2	4,5	7,4	10,8	12,4	14,1	
	0088 El Carbón				0,1	0,9	1,1	2,3	2,4	2,8	2,8	2,8	3,2	
1079 La Armenia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
1008 La Cabaña	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3					
Pp Acumulada	1,0	2,0	5,8	26,5	57,7	67,1	72,1	77,7						
Pp Ajustada	0,8	1,6	4,7	21,4	46,5	54,0	58,1	62,6						
Dif Pp	0,8	0,8	3,1	16,6	25,2	7,5	4,1	4,5						
Pp Maxima	25,2	41,8	49,3	53,4	57,9	61,0	61,9	62,6						

Seguidamente los resultados se sintetizan en el Cuadro 5.7, a partir de los cuales se construyeron las curvas APD (gráfico 5.2). Éstas permiten extrapolar sus valores máximos probables para diferentes áreas y distintas duraciones.

**Cuadro 5.7.** Resultados del análisis APD de la tormenta del 05/12/1970.

Área encerrada (Km <sup>2</sup> )	Duraciones							
	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h
1	47,0	67,0	78,2	84,7	90,3	92,8	93,3	93,4
3,9	46,1	65,8	76,8	83,2	88,7	91,2	91,6	91,7
84,7	41,7	64,4	72,7	77,5	81,9	84,0	85,2	85,3
242,4	36,4	58,8	66,5	70,9	75,2	77,2	78,5	78,6
518,91	31,1	51,9	59,5	64,0	68,2	70,3	71,2	71,3
1109,6	25,2	41,8	49,3	53,4	57,9	61,0	61,9	62,7

**Gráfico 5.2.** Curvas APD para la tormenta del 05/12/1970.



✓ **Transposición de la tormenta a las subcuencas de la margen izquierda del río Mocotíes en el municipio Antonio Pinto Salinas:** En este orden de ideas, luego de obtener la relación entre la máxima profundidad promedio y el área, expresada en las curvas APD, se procede a transponer estos valores de precipitación al área de estudio cinco (05) subcuencas en estudio de la margen izquierda del río Mocotíes. En este contexto se calculó el factor de reducción por efecto de área ( $K_a$ ), cuyos valores se muestran en el Cuadro 5.8, que permite considerar el efecto de la variabilidad espacial de las lluvias, extrapolando las precipitaciones puntuales a precipitaciones sobre un área; en otras palabras, se utiliza para plantear una

correspondencia entre la lluvia puntual y valores medios asociados a áreas de diferentes magnitudes.

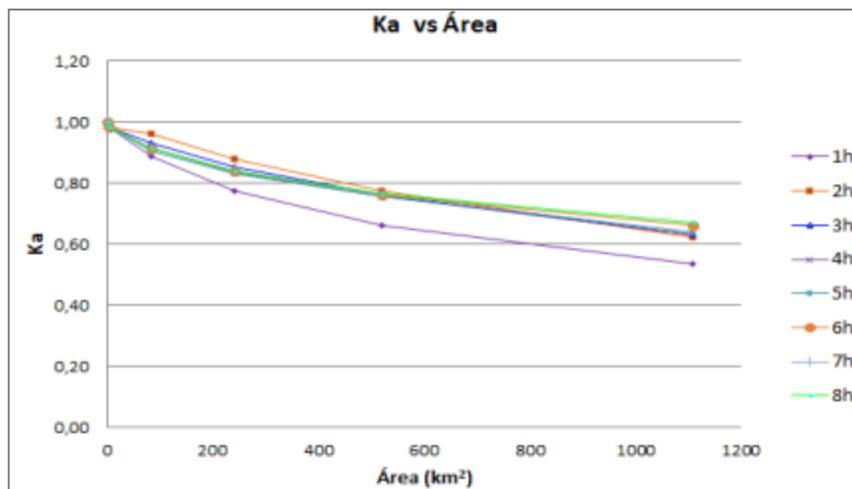
**Cuadro 5.8.** Valores de Ka para la tormenta del 05/12/1970.

Área encerrada	Duraciones (Horas)								Promedio (Ka)	
	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
3,9	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
84,7	0,89	0,96	0,93	0,91	0,91	0,90	0,91	0,91	0,91	0,92
242,4	0,77	0,88	0,85	0,84	0,83	0,83	0,84	0,84	0,84	0,84
518,91	0,66	0,77	0,76	0,76	0,75	0,76	0,76	0,76	0,76	0,75
1109,6	0,54	0,62	0,63	0,63	0,64	0,66	0,66	0,66	0,67	0,63
<b>Total</b>									<b>0,85</b>	

Del mismo modo, los valores estimados anteriormente se graficaron y se muestran en las curvas Ka vs Área para las diferentes duraciones: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 horas (gráfico 5.3) de las cuales se puede deducir que, los valores Ka tienden a hacerse menores a la unidad a medida que el área considerada aumenta, para de esta manera reducir la precipitación puntual en función del área.

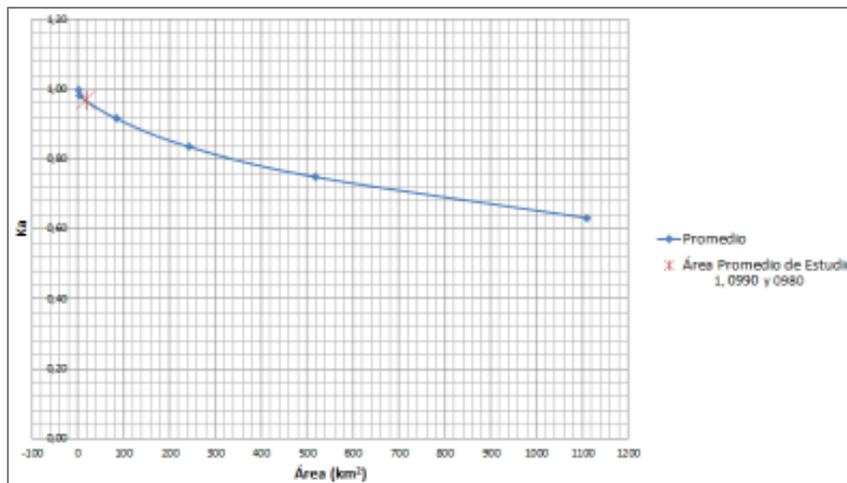
Por consiguiente, el factor de reducción por efecto de área favorece el análisis de la distribución espacial de las lluvias, no obstante su utilidad para esta investigación radica en, obtener una estimación de la precipitación que sea lo más aproximada a su comportamiento real, para lo cual se toma como referencia el área de cada una de las cinco (05) subcuencas en estudio: El Barro, El Diamante, La Parada, Los Cedros o Carmania y San José; ubicadas en la margen izquierda del río Mocotíes en el municipio Antonio Pinto Salinas.

**Gráfico 5.3.** Curvas Ka vs Área.



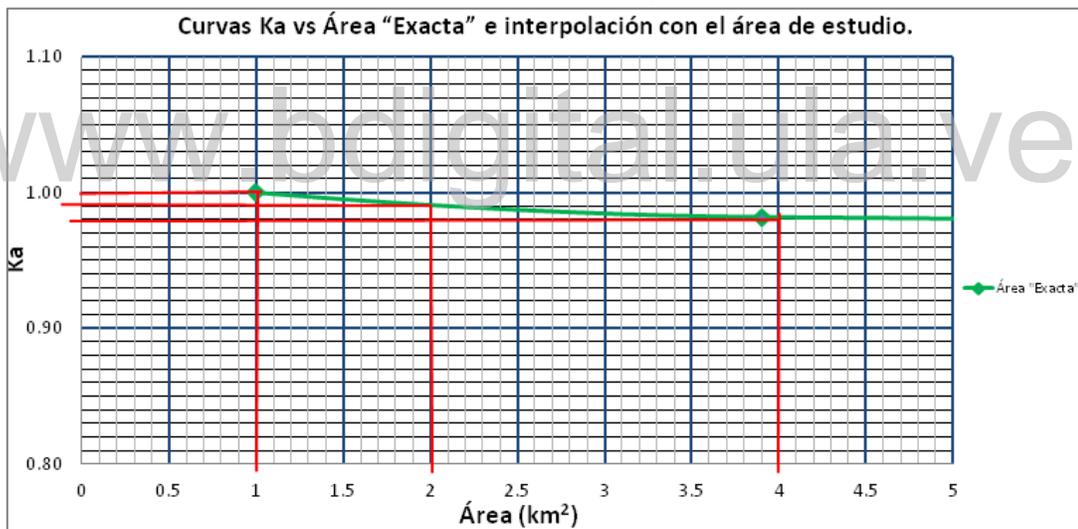
Seguidamente se estimó una curva Ka promedio vs el área promedio gráfico 5.4; para conocer de forma general el comportamiento de la misma.

**Gráfico 5.4.** Curvas Ka vs Área Promedio.



Se debe resaltar que como son áreas muy pequeñas a la curva Ka original se le realizó un zoom en el eje para poder interceptar de forma precisa cada torrente o subcuenca en estudio, ver gráfico 5.5.

**Gráfico 5.5.** Curvas Ka vs Área "Exacta" e interpolación con el área de estudio.



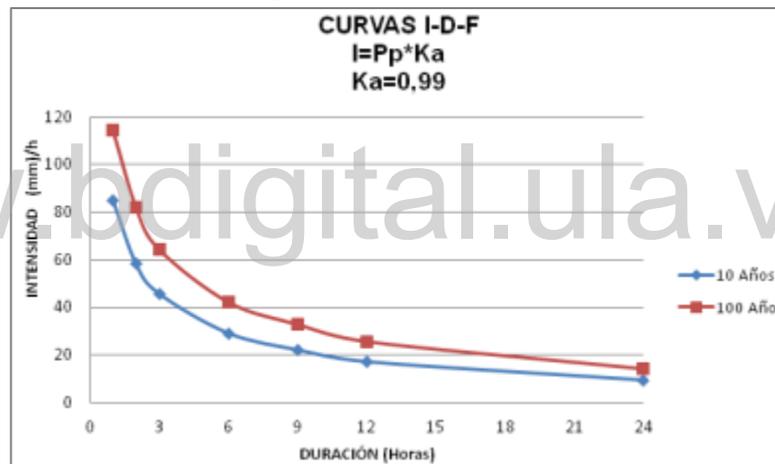
En consonancia con lo expresado anteriormente y considerando el área de cada una de las subcuencas se pueden agrupar estas en función del área en (km<sup>2</sup>) es decir los afluentes hídricos (La Parada y San José) tienen un área de 1 km<sup>2</sup> por su parte los afluentes hídricos (El Diamante y Los Cedros) que tienen un área de 2 km<sup>2</sup> y finalmente Quebrada El Barro que posee un área de 4 km<sup>2</sup>, se interpoló cada una de estas áreas de estudio en la curva Ka vs. Área Promedio y se obtuvo valores de Ka que giran entre: 1; 0,99; y 0,98; para la presente investigación se halló el promedio de las áreas y se trabajará con 0,99 la cual es un tanto más real el valor de Ka de acuerdo al área de cada subcuenca; dicho valor de la interpolación fue utilizado para reducir la profundidad de lluvia de la tormenta y adaptarla al área de estudio.

Para ello, se multiplicó el valor interpolado de  $K_a$  para cada una de las subcuencas en estudio por los valores de intensidad y profundidad estimados en la construcción de las nuevas curvas IDF y PDF para los diferentes periodos de retorno, y duración de 1, 2, 3, 6, 9, 12 y 24 horas (ver los cuadros del 5.9 y 5.10 y gráficos del 5.6 y 5.7).

**Cuadro 5.9.** Resultados de las nuevas Intensidades de lluvia, para distintas duraciones y frecuencias de 10 y 100 años en función  $I=Pp \cdot K_a$ .  $K_a = 0,99$

TIEMPO	10	100
1HORA	84,9	114,3
2HORAS	58,2	81,9
3HORAS	45,8	64,3
6HORAS	29,2	42,2
9HORAS	22,2	32,8
12HORAS	17,2	25,6
24 HORAS	9,5	14,2

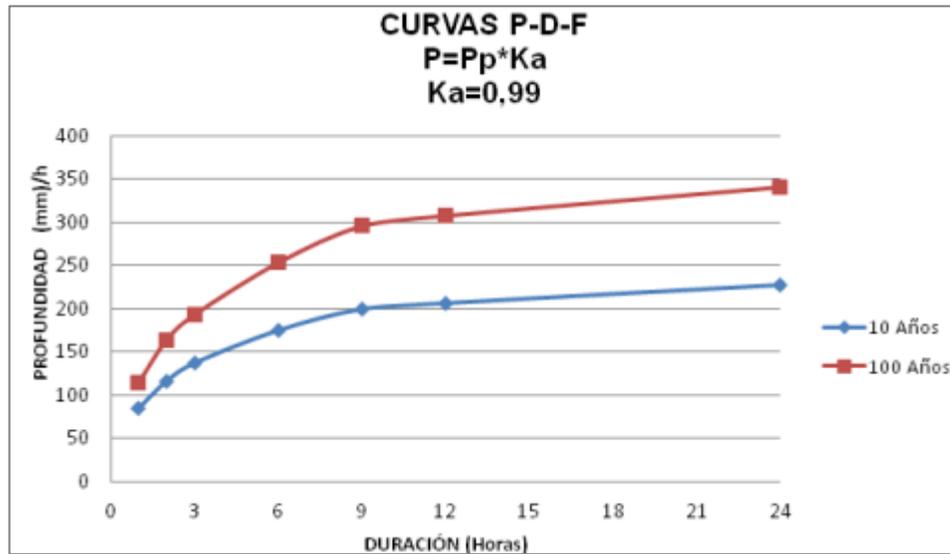
**Gráfico 5.6.** Curvas Intensidad Duración y Frecuencia (IDF) en función de  $I=Pp \cdot K_a$ .  $K_a = 0,99$



**Cuadro 5.10.** Resultados de las nuevas Profundidades de lluvia, para distintas duraciones y frecuencias de 10 y 100 años en función de que  $P=Pp \cdot K_a$ .  $K_a = 0,99$

TIEMPO	10	100
1HORA	84,9	114,3
2HORAS	116,4	163,8
3HORAS	137,3	193,0
6HORAS	175,1	253,1
9HORAS	199,7	295,5
12HORAS	206,7	307,5
24 HORAS	227,7	340,7

**Grafico 5.7.** Curvas Profundidad Duración y Frecuencia (PDF) en función de que la  $P=P_p \cdot K_a$ .  
 $K_a=0,99$

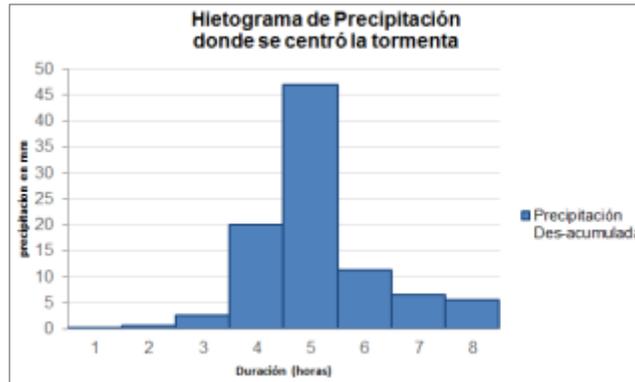


Posteriormente se halló el hietograma porcentual (precipitación) de la tormenta, donde se dividió cada valor o precipitación desacumulada por hora entre el total de la precipitación caída en la tormenta y se multiplica por cien para expresar los resultados en porcentaje; cuadro 5.11 y gráfico 5.8; esto con la finalidad de obtener las fracciones de precipitación ver cuadro 5.12 y gráfico 5.9.

**Cuadro 5.11.** Datos de las precipitaciones desacumuladas de la tormenta del 05/12/1970.  
Estación La Fortuna.

Tiempo (Horas)	Fracciones de Precipitación en (mm)
1	0,1
2	0,5
3	2,5
4	20,0
5	47,0
6	11,2
7	6,5
8	5,6
<b>Total</b>	<b>93,4</b>

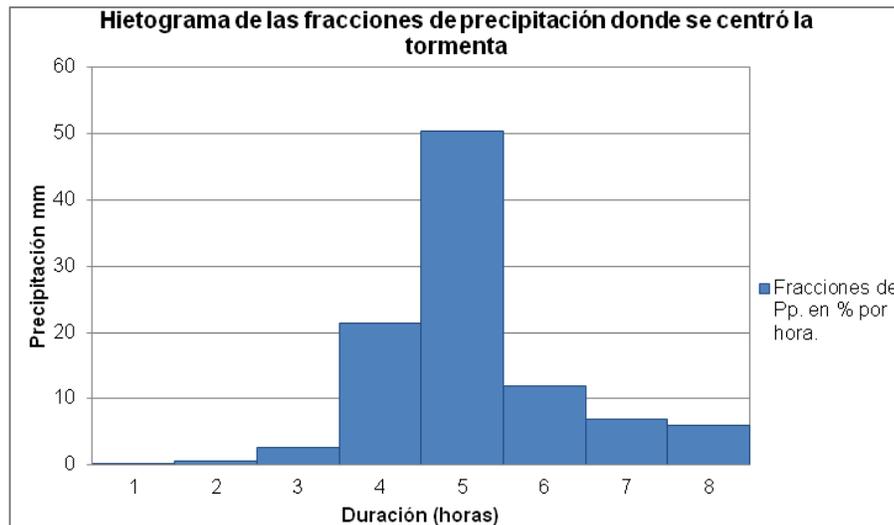
**Gráfico 5.8.** Hietograma de precipitación donde se centró la tormenta del 05/12/1970. Estación La Fortuna.



**Cuadro 5.12.** Datos de las fracciones de precipitación en la tormenta del 05/12/1970. Estación La Fortuna.

Tiempo (Horas)	Fracciones de Precipitación en (%)
1	0,107
2	0,540
3	2,674
4	21,413
5	50,320
6	11,991
7	6,959
8	5,996
<b>Total</b>	<b>100%</b>

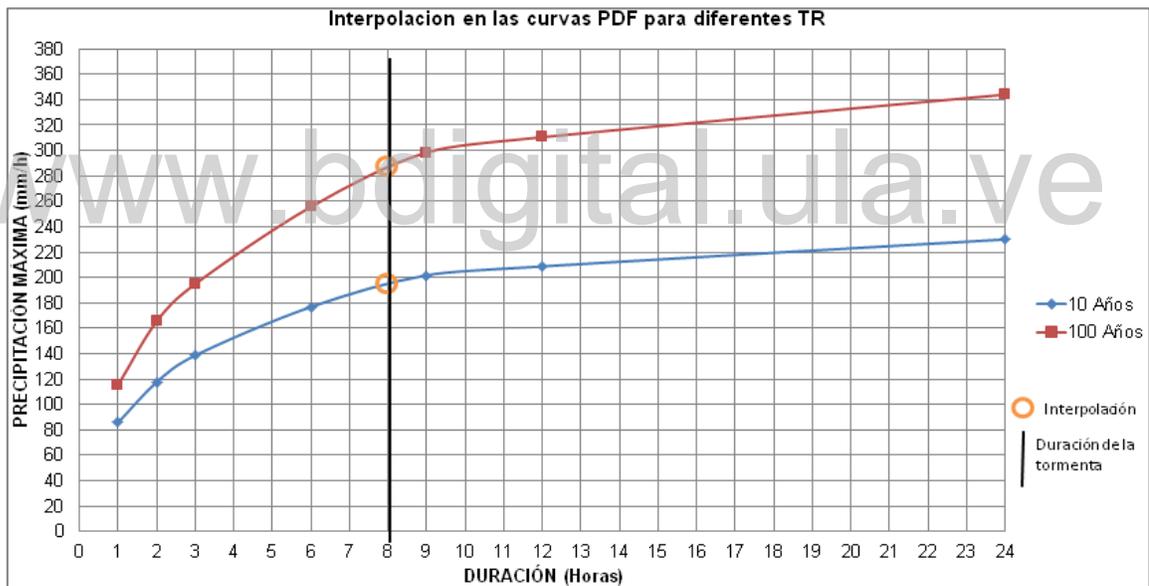
**Gráfico 5.9.** Hietograma de las fracciones de precipitaciones en % donde se centró la tormenta del 05/12/1970 estación la Fortuna.



Seguidamente se ubicaron los valores de intensidad de las curvas PDF interpoladas en función del valor de  $K_a$ , para cada periodo de retorno y área de estudio dichos valores se relacionaron con la duración de la tormenta (8 horas) objeto de análisis; en definitiva se halló un hietograma con una profundidad, para cada periodo de retorno de 10 y 100 años obtenido de los valores de mm/h correspondientes a las PDF relacionadas con la duración de la tormenta; lo cual se divide los mm/h entre la duración de la tormenta del 05/12/1970 de la Estación La Fortuna.

La representación del área de estudio se agrupó en función del área de las subcuencas para un valor de  $K_a$ ; promedio de 0,99, dado que, los valores para cada subcuenca eran similares. Adicionalmente se obtiene la interpolación de las nuevas pdf para la duración de la tormenta que en este caso es de ocho (8) horas, es por ello que se generan dos valores puntuales que corresponden con los periodos de retorno, lo cual se representa en el gráfico 5.10 y cuadro 5.13.

**Gráfico 5.10.** Interpolación de la tormenta en las curvas PDF para los diferentes periodos de retorno.



**Cuadro 5.13.** Interpolación de la tormenta en las curvas PDF para los diferentes periodos de retorno.

Tiempo	10	100
8	193	285

La representación del área de estudio o de cada subcuenca en función del valor de  $K_a$  (0,99) lo cual se representa en los cuadros 5.14 y gráfico 5.11.

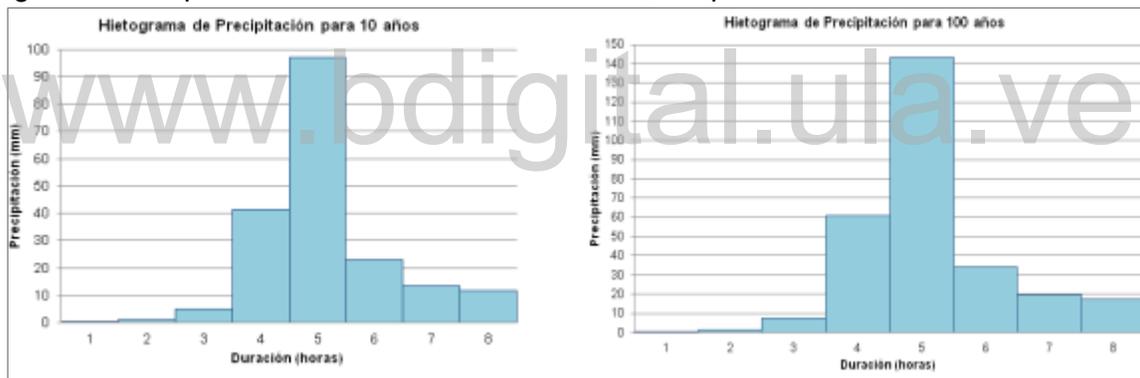
**Cuadro 5.14.** Datos previos para el hietograma

CURVAS PDF				
TIEMPO	10	100	Horas	Precipitación en fracciones
1HORA	84,9	114,3	1	0,107
2HORAS	115,8	162,7	2	0,540
3HORAS	137,3	193,0	3	2,674
6HORAS	175,1	253,1	4	21,413
9HORAS	199,7	295,5	5	50,320
12HORAS	206,7	307,5	6	11,991
24 HORAS	227,7	340,7	7	6,959
			8	5,996
			<b>Total</b>	<b>100 %</b>

Ka= 0,99

Tr	% mm de Pp.								Valor de la interpolación
	0,107	0,540	2,674	21,413	50,320	11,991	6,959	5,996	
<b>10</b>	0,21	1,04	5,16	41,33	97,12	23,14	13,43	11,57	<b>193</b>
<b>100</b>	0,31	1,54	7,62	61,03	143,41	34,17	19,83	17,09	<b>285</b>

**Gráfico 5.11.** Hietogramas de lluvia (mm) para diferentes periodos de retorno de 10 y 100 años generados a partir de la tormenta del 05/12/1970, traspuestos a las subcuencas de estudio.



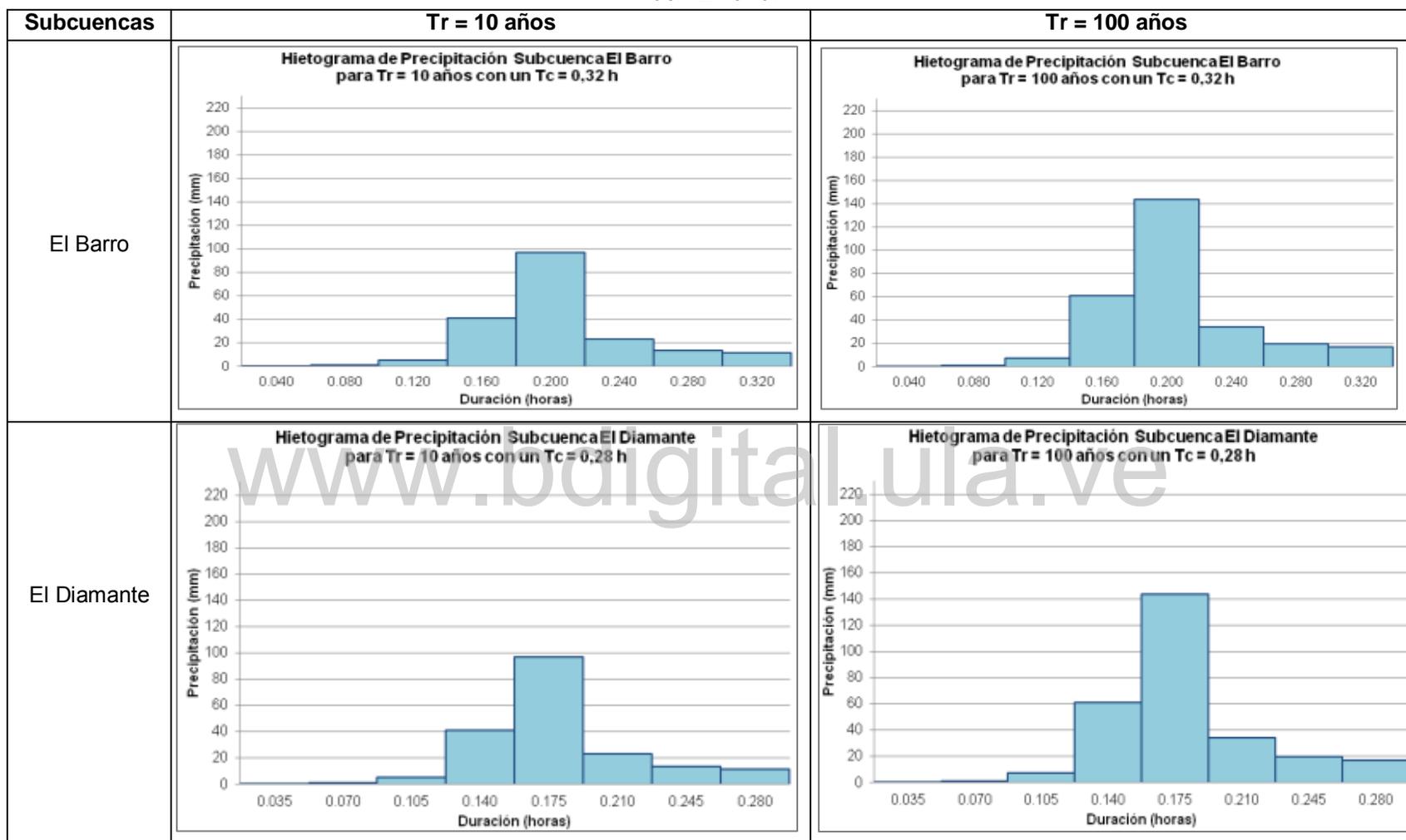
Finalmente se desean conocer los tiempos de concentración de tales profundidades, para cada periodo de retorno (10 y 100 años) obtenido de los valores del hietograma porcentual (%); multiplicado por el valor de tiempo de concentración en (horas) hallado en los parámetros morfométricos para cada subcuenca y dividido entre cien para que dicho resultado este reflejado en horas, ver cuadro 5.15.

**Cuadro 5.15.** Datos de tiempo de concentración (h) del área de estudio, para las diferentes horas de precipitación de la tormenta del 05/12/1970.

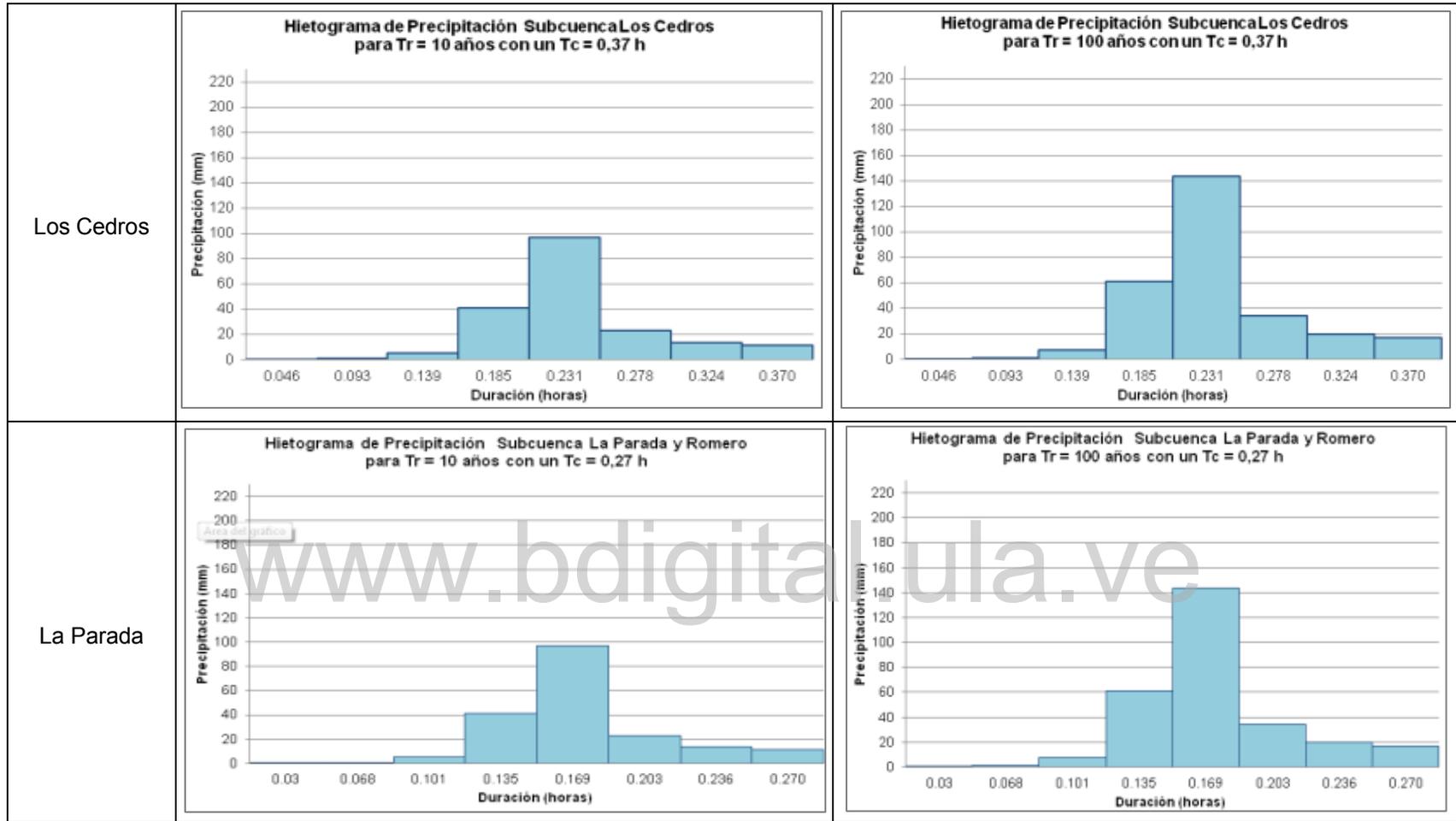
Subcuencas	Tr	Tc. Horas	% de Precipitación							
			0.207	1.042	5.161	41.328	97.118	23.143	13.431	11.572
La Parada	10	0.27	0.207	1.042	5.161	41.328	97.118	23.143	13.431	11.572
	100		0.305	1.539	7.621	61.028	143.412	34.174	19.834	17.088
	Tc.		0.034	0.068	0.101	0.135	0.169	0.203	0.236	0.270
San José	10	0.30	0.207	1.042	5.161	41.328	97.118	23.143	13.431	11.572
	100		0.305	1.539	7.621	61.028	143.412	34.174	19.834	17.088
	Tc.		0.038	0.075	0.113	0.150	0.188	0.225	0.263	0.300
El Diamante	10	0.28	0.207	1.042	5.161	41.328	97.118	23.143	13.431	11.572
	100		0.305	1.539	7.621	61.028	143.412	34.174	19.834	17.088
	Tc.		0.035	0.070	0.105	0.140	0.175	0.210	0.245	0.280
Los Cedros	10	0.37	0.207	1.042	5.161	41.328	97.118	23.143	13.431	11.572
	100		0.305	1.539	7.621	61.028	143.412	34.174	19.834	17.088
	Tc.		0.046	0.093	0.139	0.185	0.231	0.278	0.324	0.370
El Barro	10	0.32	0.207	1.042	5.161	41.328	97.118	23.143	13.431	11.572
	100		0.305	1.539	7.621	61.028	143.412	34.174	19.834	17.088
	Tc.		0.040	0.080	0.120	0.160	0.200	0.240	0.280	0.320

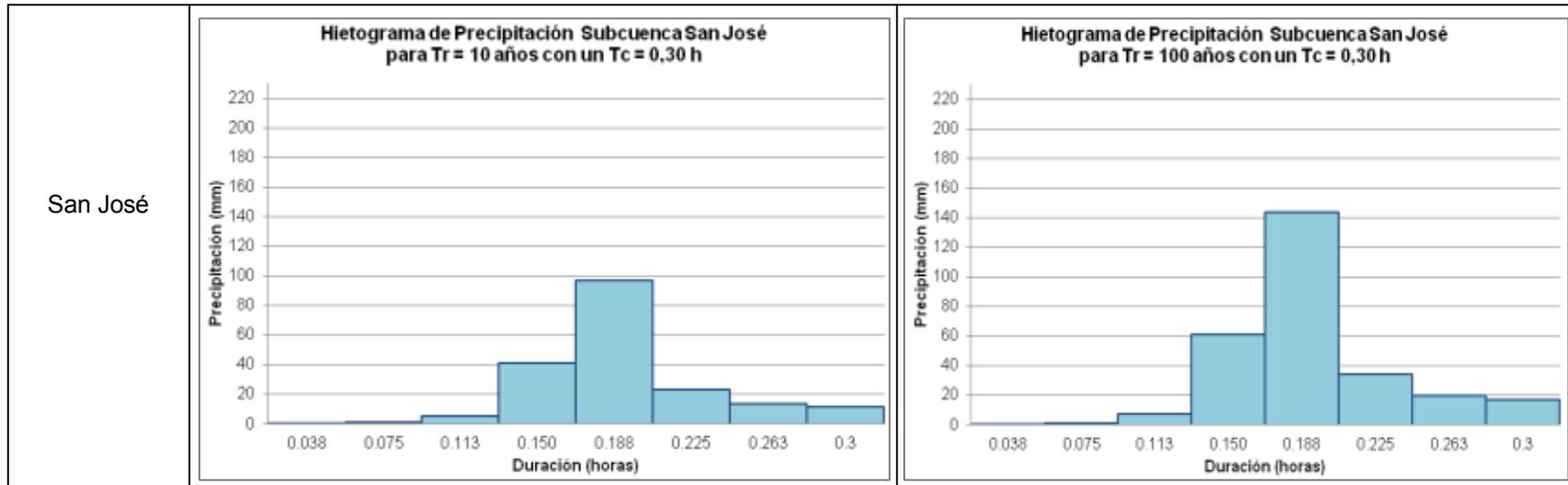
En función de que los tiempos de concentración (cuadro 5.27) son todos muy bajos, es decir, no alcanzan ni siquiera aproximarse a una hora; se debe destacar que lo anteriormente planteado guarda estrecha vinculación con los parámetros morfométricos del área de estudio, dado que, según estos, son subcuencas con pendientes pronunciadas y con capacidad torrencial alta; lo que se traduce en un tiempo de concentración muy cortos, entre (16 y 22 minutos o lo que es lo mismo 0,27 y 0,37 horas). Dicha información se representa a continuación en el gráfico 5.12.

**Gráfico 5.12.** Tiempo de concentración (h) del área de estudio, para las diferentes horas de precipitación de la tormenta del 05/12/1970.



**SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DE CRECIDAS EN LAS SUBCUENCAS DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO MOCOTÍES  
EN EL MUNICIPIO ANTONIO PINTO SALINAS, MÉRIDA – VENEZUELA.**





#### 5.4 Análisis de frecuencia de lluvias extremas.

En vista de que los tiempos de concentración para las subcuencas objeto en estudio, dieron muy bajos o cortos menores a una (1) hora; se procesaron datos de la misma estación La Fortuna en serie de tiempo desde (1968 a 1994) con datos de precipitación de 15 minutos, 30 minutos y 1 hora; esto con la finalidad de optimizar o ajustar los resultados a tiempos de concentración cortos entre (16 y 22 minutos) tal como es el comportamiento de los mismos en el área objeto de estudio. Para llevar a cabo este análisis, se consideró como un aspecto fundamental, el análisis de la frecuencia con la que estas ocurren, en este sentido, se partió de estimar la intensidad de las precipitaciones para las profundidades máximas de 15, 30 minutos y 01 hora, ver cuadro 5.16.

**Cuadro 5.16.** Intensidad de las Lluvias, para las profundidades máximas de 15 minutos, 30 minutos y 01 hora, según método Kt de Chow.

Años	15 Min	Intensidad	30 Min	Intensidad	1h	Intensidad
1968	39	156,00	56	112,00	72	72,00
1969	27	108,00	50	100,00	87	87,00
1970	30	120,00	49	98,00	73	73,00
1971	24	96,00	34	68,00	61	61,00
1972	26	104,00	47	94,00	72	72,00
1973	40	160,00	52	104,00	65	65,00
1974	29	116,00	39	78,00	60	60,00
1975	26	104,00	40	80,00	77	77,00
1976	20	80,00	30	60,00	45	45,00
1977	34	136,00	52	104,00	67	67,00
1978	26	104,00	40	80,00	59	59,00
1979	28	112,00	38	76,00	52	52,00
1980	22	88,00	34	68,00	55	55,00
1981	31	124,00	45	90,00	73	73,00
1982	31	124,00	48	96,00	66	66,00
1991	15	60,00	18	36,00	26	26,00
1992	27	108,00	40	80,00	75	75,00
1993	30	120,00	54	108,00	74	74,00
1994	24	96,00	42	84,00	55	55,00

**Fuente:** Atlas de Tormentas de Venezuela. (1984) bajo el auspicio del antiguo MARNR.

A partir de estos datos se inicia la elaboración de las curvas IDF y PDF, las cuales se corresponden con una evaluación estadística en este caso a partir del método del factor de frecuencia de Chow y la distribución de Gumbel Tipo I, para establecer la relación entre la precipitación, la duración y su periodo de retorno.

❖ **Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF):** se construyeron a partir de los registros de profundidades máximas de 15, 30 minutos y 1 hora. Los cuales se analizaron estadísticamente, arrojando como resultado, mientras que la distribución de probabilidad teórica resultó ser Gumbel Tipo I específicamente el factor de frecuencia Kt de Chow por tratarse de muestras pequeñas (20 años). Tomando estos parámetros como base, se obtuvo valores de intensidad para las duraciones antes señaladas, en los diferentes periodos de retorno (Cuadro 5.17), se muestran los valores de media y desviación estándar, los cuales permitirán realizar los cálculos para cada periodo de retorno e intensidades máximas a calcular.

**Cuadro 5.17.** Datos generales, para las intensidades máximas a calcular.

Datos	Media	Desviación Estándar
15 Min	111,37	23,90
30 Min	85,05	18,87
1h	63,89	13,71

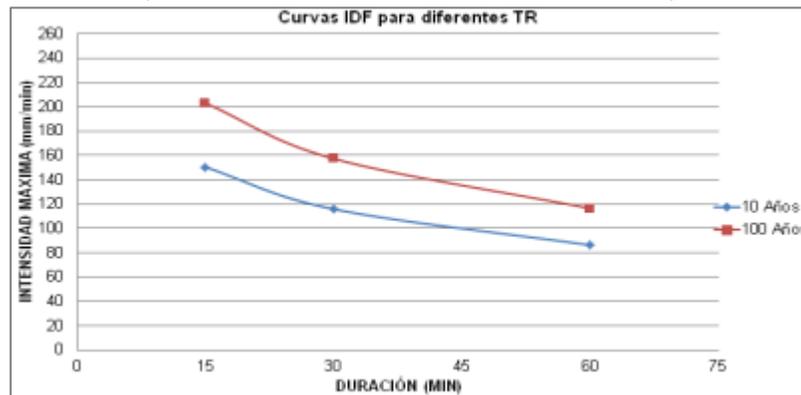
Siguiendo el mismo orden de ideas se muestra el cuadro 5.18, con los datos para las intensidades máximas de lluvia para periodos de retorno 10 y 100 años.

**Cuadro 5.18.** Intensidades máximas de lluvia en (mm/h) para periodos de retorno de 10 y 100 años.

PERIODOS DE RETORNO	DURACIÓN		
	15 MIN	30 MIN	60 MIN
TR= 10 AÑOS	150,42	115,89	86,30
TR= 100 AÑOS	203,03	157,44	116,49

En este sentido, en los resultados obtenidos (Cuadro 5.13 y gráfico 5.18) se evidencia que las mayores intensidades se corresponden con duraciones de 15 minutos o 0,25 horas para los diferentes periodos de retorno analizados, dado que todas se encuentran entre 150 y 203 mm, por lo que pueden considerarse como lluvias torrenciales.

**Gráfico 5.13.** Curva Intensidad Duración y Frecuencia (IDF) para periodos de retorno de 10 y 100 años y duraciones de 15 minutos, 30 minutos y 01 hora.



❖ **Curvas Profundidad - Duración - Frecuencia (PDF):** Muestran la variación existente entre profundidades duración y frecuencia para cada periodo de retorno ( $T_r$ ) de 10 y 100 años, en las que se expresó la frecuencia con la que se pueden presentar eventos de determinada profundidad y duración. Las curvas PDF se construyeron a partir de los registros de profundidades máximas de 15 minutos, 30 minutos y 01 hora; las cuales se analizaron estadísticamente en función del promedio de los registros de las profundidades máximas y la desviación estándar de las intensidades de precipitación para cada dato analizado, lo cual se puede

apreciar en el cuadro 5.19, los cuales permitirán realizar los cálculos para cada periodo de retorno y profundidades máximas a calcular.

**Cuadro 5.19.** Datos generales, para las profundidades máximas a calcular.

Datos	Media	Desviación Estándar
15 Min	27,84	5,97
30 Min	42,53	9,44
60 Min	63,89	13,71

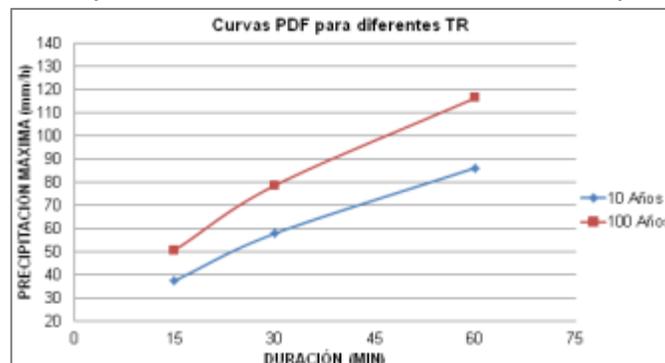
Siguiendo el mismo orden de ideas se muestra el cuadro 5.20 donde se plasman los datos para la Profundidad - Duración - Frecuencia (PDF) para cada periodo de retorno 10 y 100 años.

**Cuadro 5.20.** Profundidades máximas de precipitación en (mm) para periodos de retomo de 10 y 100 años, y duraciones de 15 minutos, 30 minutos y 1 hora.

PERIODOS DE RETORNO	DURACION		
	15 Min	30 Min	60 Min
TR= 10 AÑOS	37,61	57,95	86,30
TR= 100 AÑOS	50,76	78,72	116,48

Finalmente a manera de resumen se tiene que, las curvas PDF expresan la frecuencia con la que se puede presentar un evento de determinada duración. Lo cual se muestra en el gráfico 5.14 para cada periodo de retorno 10 y 100 años.

**Gráfico 5.14.** Curva Profundidad - Duración - Frecuencia (PDF) para periodos de retorno de 10 y 100 años y duraciones de 15 minutos, 30 minutos y 01 hora.



En este sentido, en los resultados obtenidos (Cuadro 5.21 y gráfico 5.14) se evidencia que las láminas de precipitación, para la duración de una hora y los dos periodos de retorno seleccionados, son cercanos o superiores a los 100 mm, así mismo, se evidencia como las mayores profundidades de precipitación se relacionan con el periodo de retorno de 100 años, lo que corrobora que la magnitud de un evento está inversamente relacionada con su frecuencia de ocurrencia, por lo que los eventos más severos ocurren con menor frecuencia que los eventos moderados.

Posteriormente en busca de ajustar los valores de precipitación utilizados a cortos o tiempos de concentración; se procede a afectar las curvas PDF de registros de 15, 30 minutos y 60 minutos ó 1 hora por el factor de reducción por efecto de área (Ka) como en cada una de las subcuencas el área es muy similar la interpolación resultaron ser de: 0,98; 0,99 y 1,0 razón por lo cual se decide trabajar en un promedio de 0,99 dado que eran muy similares los valores, lo cual favorece el análisis de la distribución espacial de las lluvias, no obstante su utilidad para esta investigación radica en, obtener una estimación de la precipitación que sea lo más aproximada a su comportamiento real, donde dichos resultados se pueden apreciar en el cuadro 5.20 y en el gráfico 5.15.

**Cuadro 5.21.** Datos de la nueva Profundidad Duración y Frecuencia (PDF) en función de que la

$$I = P_p * K_a$$

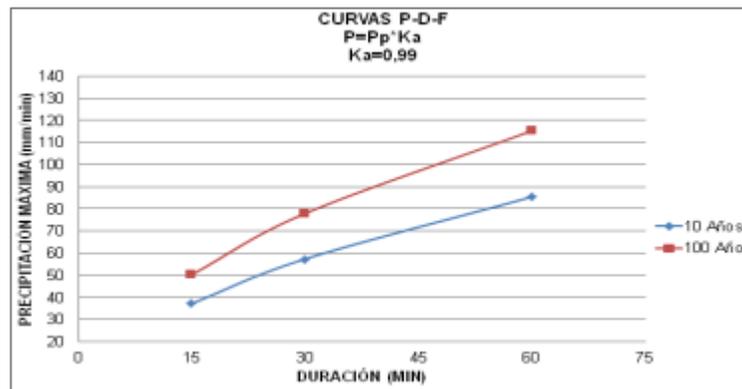
$$K_a = 0,99$$

TIEMPO	mm de Pp.	
	10	100
15 Minutos	37,23	50,25
30 Minutos	57,37	77,93
01 Hora	85,44	115,32

**Gráfico 5.15.** Curvas Profundidad Duración y Frecuencia (PDF) en función de que la

$$I = P_p * K_a$$

$$K_a = 0,99$$



Finalmente se busca relacionar la precipitación (para cada periodo de duración o registro de precipitación analizado) con los valores de tiempos de concentración; obtenidos en los parámetros morfométricos de las subcuencas en estudio. Ver cuadro 5.22.

**Cuadro 5.22.** Datos de tiempo de concentración (h) del área de estudio, para registros de 15, 30 y 60 minutos, con las diferentes fracciones de precipitación de la Estación La Fortuna.

Subcuencas	Tr Años	Tc Horas	mm de Precipitación		
			15	30	60
La Parada	10	0,27	14,141	33,577	74,476
			Tc= 1,08 h		
	100		25,764	61,968	135,686
			Tc= 0,54 h		
San José	10	0,30	14,141	33,577	74,476
			Tc= 1,20 h		
	100		25,764	61,968	135,686
			Tc= 0,60 h		
El Diamante	10	0,28	14,000	33,241	73,731
			Tc= 1,12 h		
	100		25,507	61,348	134,330
			Tc=0,56 h		
Los Cedros	10	0,37	14,000	33,241	73,731
			Tc=1,48 h		
	100		25,507	61,348	134,330
			Tc=0,74 h		
El Barro	10	0,32	13,859	32,905	72,986
			Tc= 1,28 h		
	100		25,249	60,729	132,973
			Tc= 0,64 h		

En función de que los tiempos de concentración de igual forma siguen siendo bajos en 30 minutos y una (1) hora duración.

### 5.5 Modelización hidrológica de crecidas mediante el programa HEC – HMS 4.2.1.0

✓ **Modelización hidrológica de crecidas mediante el programa HEC–HMS 4.2.1.0;** El modelo de simulación hidrológica HEC-HMS 4.2.1.0, se utilizó para generar los caudales máximos de las subcuencas en estudio ante un evento de lluvias extremas, para ello se requiere, los hietogramas de la tormenta a considerar, que fueron calculados en el apartado anterior, la estimación de algunos parámetros de las subcuenca, que se describen a continuación.

○ **Asignación de los parámetros hidráulicos, topográficos e hidrológicos**

• **Método del Número de Curva (CN):**

- 1. Grupos hidrológicos de suelos:** se clasifican en función de su potencial para generar escorrentía, basándose en la textura de los suelos. De esta manera, para las subcuencas en estudio en la margen izquierda del río Mocotíes Municipio Antonio Pinto Salinas; se consideró además la relación existente entre la litología presente en el área de estudio y la textura consecuente; los resultados

son mostrados en la Figura 5.4 donde la información se consultó el trabajo del PNUD (2010) y sus características se describen a continuación:

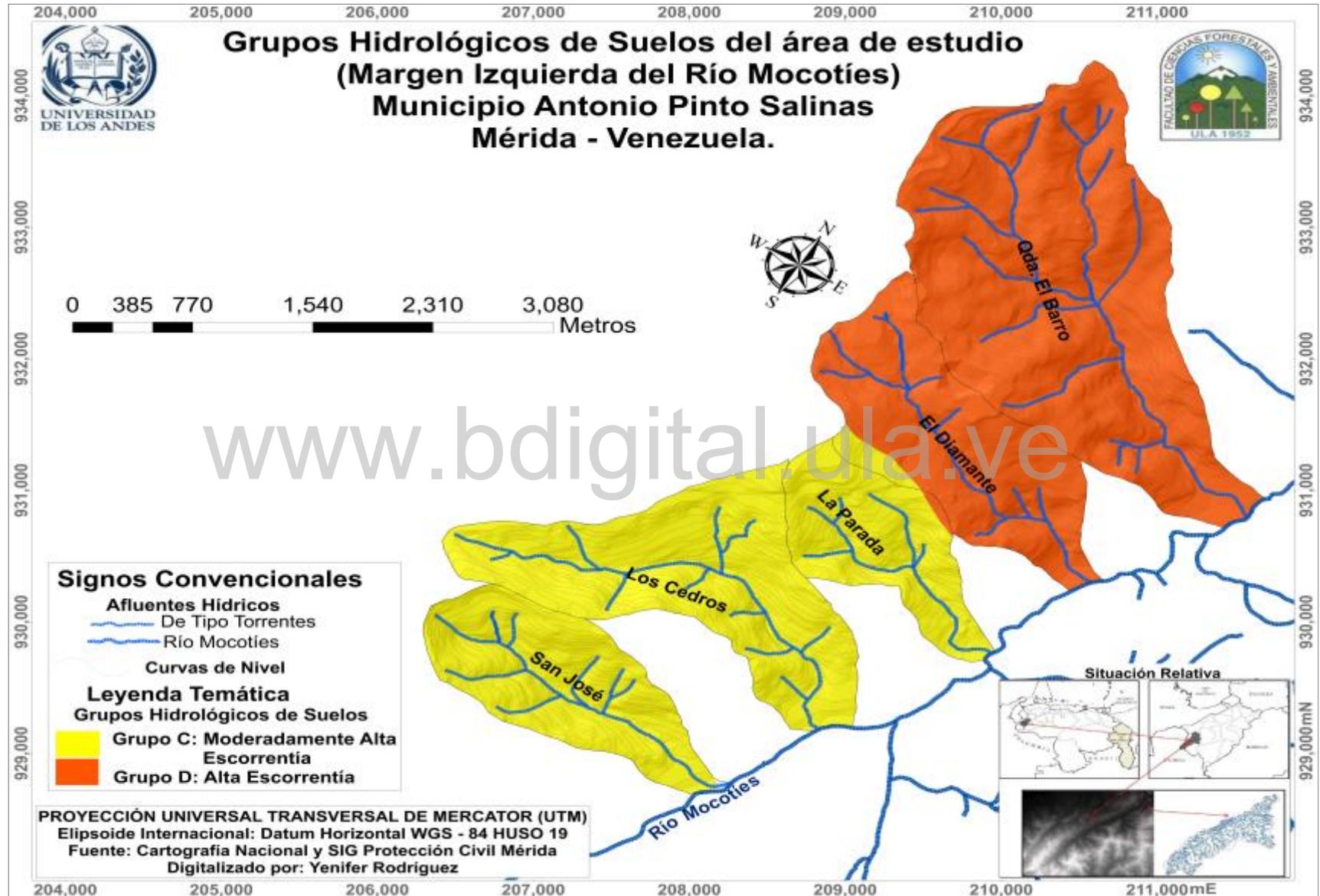
- **Grupo C:** son suelos de texturas predominantemente franco - arcillo - arenoso, con un potencial de escorrentía moderadamente alto, por lo que la infiltración es de moderada a baja. Para la presente investigación este grupo hidrológico se separó en función de la formación geológica de cada subcuenca, en este caso está las subcuencas San José, Los Cedros y La Parada; estas están conformadas por las formaciones geológicas: Formación Capacho, Aguardiente, Asociación Tostós y Sierra Nevada; localizándose en la parte alta y a lo largo de las geoformas presentes en dichas redes hídricas.
- **Grupo D:** suelos con texturas finas, fundamentalmente arcillo - limosas, la misma se presenta en todas las geoformas que conforman las subcuencas El Diamante y Quebrada El Barro; y dicho grupo es producto de la meteorización de la Formación Colón, Capacho y La Luna y la Asociación Tostós. Se caracterizan por presentar un alto potencial de escorrentía e infiltración baja, lo que conlleva a que en estas zonas se pueden generar importantes picos de crecidas, en caso que se produzcan lluvias máximas. Finalmente en el cuadro 5.23 se pueden detallar las superficies ocupadas por los grupos hidrológicos de suelos presentes en área de estudio en km<sup>2</sup> y el porcentaje (%).

**Cuadro 5.23.** Grupos hidrológicos de suelos en superficie y % de ocupación dentro del área de estudio.

Grupo Hidrológico		Superficie (km <sup>2</sup> )	% de ocupación
Moderadamente alto potencial de escorrentía	C	4,83	48,30%
Alto potencial de escorrentía	D	5,17	51,70 %
<b>Total</b>		<b>10 km<sup>2</sup></b>	<b>100%</b>

Así se puede apreciar que los suelos del grupo C y D ocupan superficies similares cercanas a los 5 km<sup>2</sup>.

Figura 5.4. Grupos Hidrológicos de Suelos.



**2. Número de Curva de Escorrentía (CN):** es un parámetro empírico cuya finalidad es estimar el potencial de escorrentía superficial, basándose en la estimación de la infiltración, considerando todas las pérdidas netas menos la evaporación real.

Desde esta perspectiva, el potencial es ponderado en función de un valor que podrá variar entre 0 y 100 según sea su capacidad. Por consiguiente, valores cercanos a 0 representan condiciones de permeabilidad muy alta, y en consecuencia un potencial muy bajo, mientras que valores cercanos a 100 representan condiciones de impermeabilidad extremas y un potencial muy alto de producir escorrentía.

En virtud de lo antes expuesto, el CN se obtuvo tomando como base la cobertura de la tierra, y los grupos hidrológicos de suelos, en función de la condición de humedad antecedente: I (para eventos bajo una condición normal).

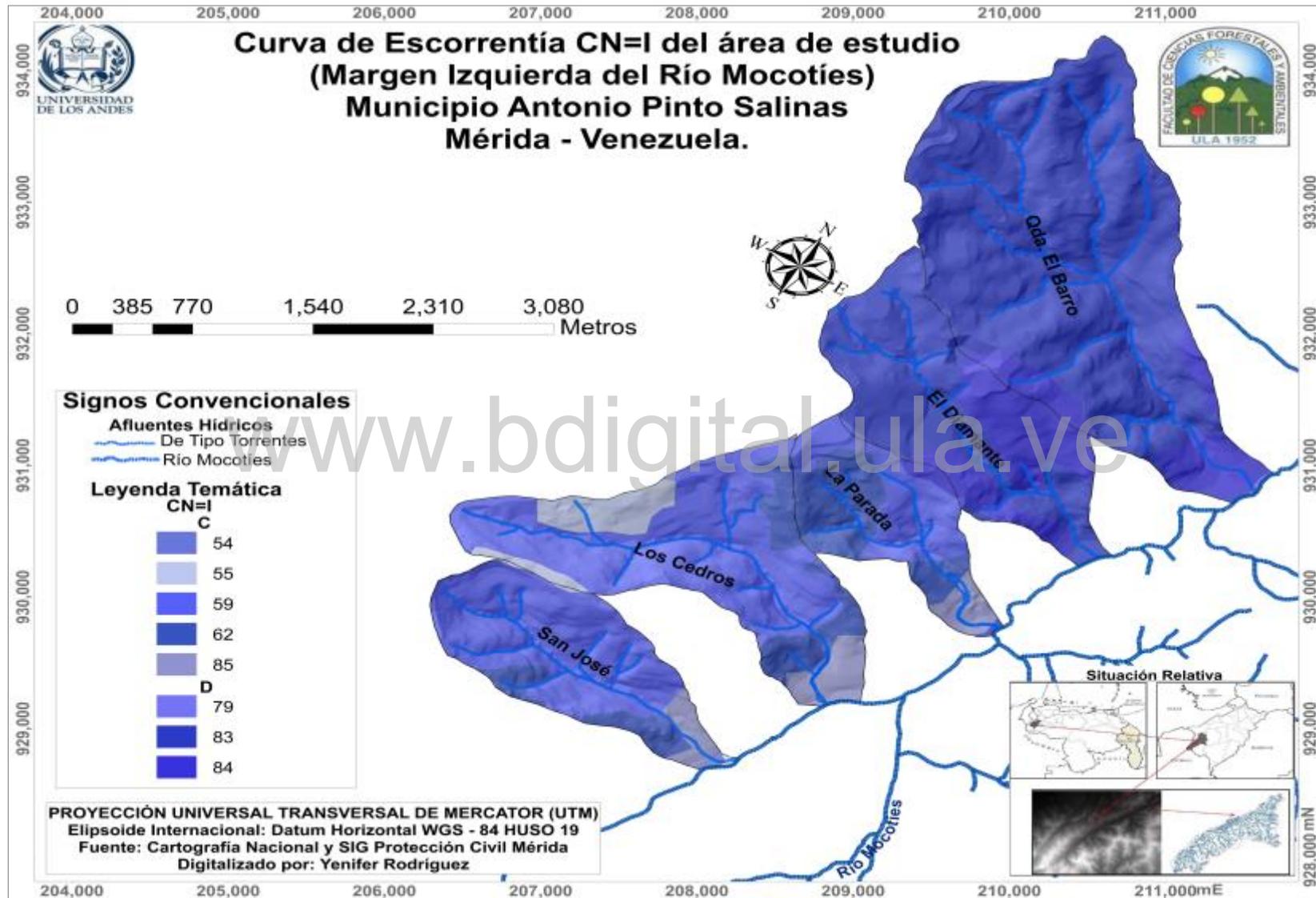
En este sentido, la distribución espacial de los valores del número de curva (CN) para las condiciones de humedad antecedente I en las subcuencas se muestra Figura 5.5 respectivamente; y en el cuadro 5.24, se refleja la superficie y área de ocupación de cada CN.

Para obtener dichos valores se realizó el cruce de la información del grupo hidrológico de suelo, con el tipo y uso de cobertura de la tierra para así obtener un promedio del valor CN para cada zona; dicho ejercicio se realizó para la condición hidrológica I.

**Cuadro 5.24.** Tipos de CN, superficie y % de ocupación dentro del área de estudio; para las condiciones de humedad antecedente I.

Tipos de usos de la tierra	CN I	Superficie (km <sup>2</sup> )	% de ocupación
Bosque Fuertemente Intervenido	59	2,45	24,50
	67	4,15	41,50
Bosque Medio con Herbazales	62	0,10	1,00
Bosque Moderadamente Intervenido	54	0,10	1,00
Ganadería Extensiva	62	1,34	13,40
	68	1,16	11,60
Pastizal Ganadería Extensiva	55	0,30	3,00
Área Urbanizada	85	0,40	4,00
<b>Total</b>		<b>10 km<sup>2</sup></b>	<b>100 %</b>

Figura 5.5. Mapa de Curva de Escorrentía PARA CN=I



- 3. Coeficiente de rugosidad de Manning:** El coeficiente de rugosidad de Manning (también conocido como  $n$  de Manning), es un parámetro que indica la resistencia al flujo, por lo que depende de múltiples factores, entre ellos, la rugosidad de la superficie, irregularidad del cauce y la densidad de la vegetación. En este sentido, mientras el valor sea mayor, su rugosidad será elevada y en consecuencia su oposición al flujo. De esta manera, los valores considerados se relacionaron directamente con las categorías de cobertura de la tierra definidas anteriormente, tal como se señala en el Cuadro 5.25, de igual forma se debe resaltar que dichos valores se extrajeron de un promedio para cada área.

**Cuadro 5.25.** Coeficiente De rugosidad  $n$  de Manning

Tipos de usos de la tierra	$n$ de Manning	Superficie (km <sup>2</sup> )	% de ocupación
Bosque Fuertemente Intervenido	0,80	6,6	69,1
Bosque Medio con Herbazales	0,40	0,1	1
Bosque Moderadamente Intervenido	0,40	0,1	1
Ganadería Extensiva	0,15	2,5	22,6
Pastizal Ganadería Extensiva	0,13	0,3	2,7
Área Urbanizada	0,01	0,4	3,6
<b>Total</b>		<b>10 km<sup>2</sup></b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Fuente: USDA-SCS (1986).

Es muy importante señalar que los valores de  $n$  de Manning del cuadro 5.24 fueron asignados para los segmentos de escurrimiento de las distintas subcuencas en estudio, mientras que en los segmentos de escorrentía se utilizó el valor de 0,05 tal y como había sido explicado en la metodología.

**4. Pendiente media:** es la forma de medir el grado de inclinación del terreno con respecto a un plano horizontal, y es un factor que influye de sobremanera en el comportamiento hidrológico y geomorfológico de una cuenca, pues las pendientes fuertes favorecen el escurrimiento y la escorrentía, además de arrastre de sedimentos, por lo que en muchas ocasiones se relacionan con comportamientos torrenciales y la ocurrencia de desbordes. Por el contrario, las pendientes más suaves favorecen la infiltración y los procesos de depositación.

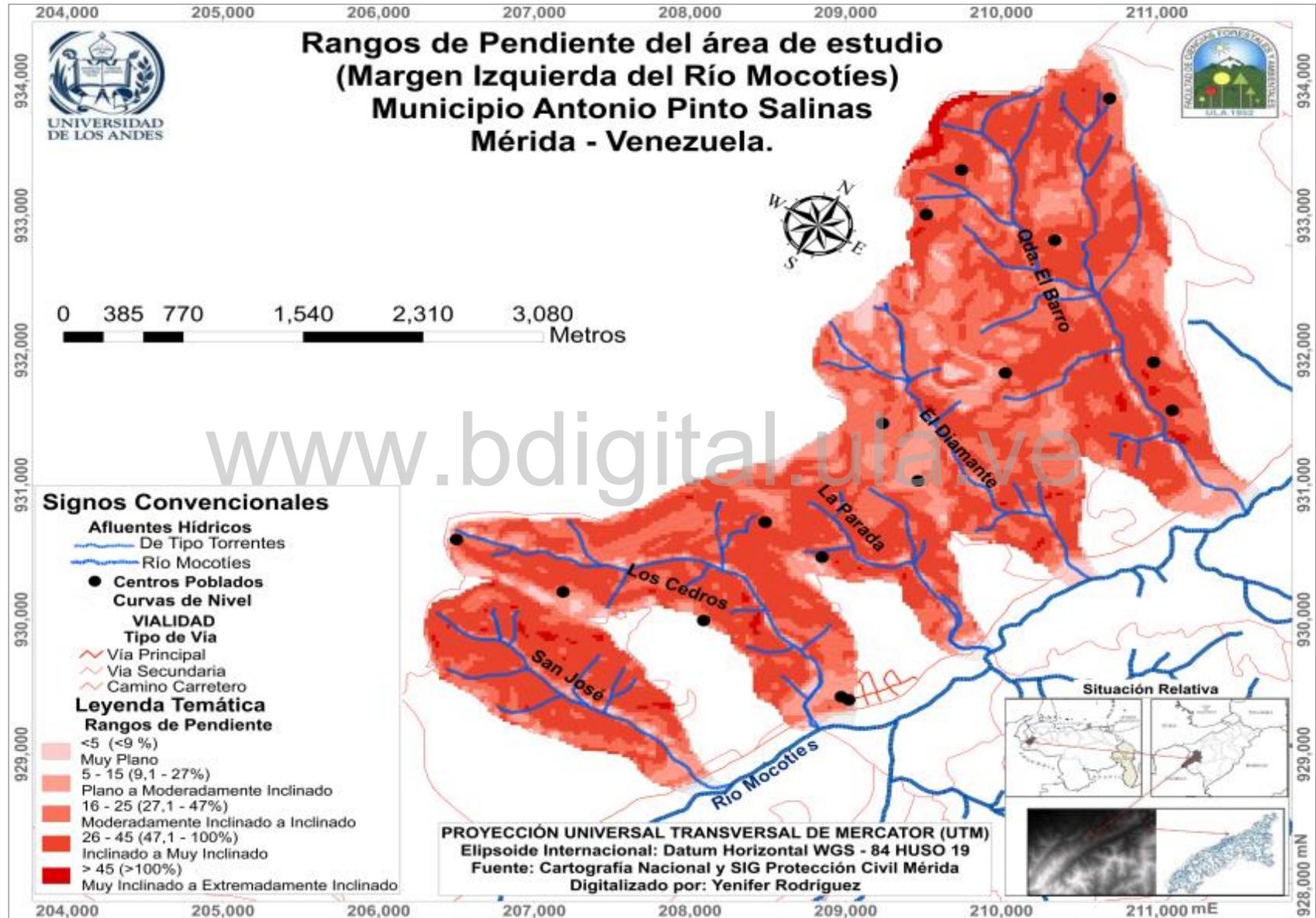
Para el caso de las subcuencas (El Barro, El Diamante, Los Cedros, La Parada y San José) de la margen izquierda del río Mocotíes por ubicarse en una zona montañosa, los valores de pendiente son elevados, como se puede observar en la Figura 5.6 en el que las vertientes tienen pendientes superiores al 100%, especialmente en la parte alta de

estos subsistemas hidrológicos; sin embargo, ésta va disminuyendo progresivamente y los valores más bajos se localizan en los depósitos del Cuaternario Reciente, es decir origen aluvio - torrencial como los abanicos sobre los que se asienta una parte de la población del municipio; por ser las zonas más planas y además se encuentra la principal arteria vial de la zona.

De acuerdo a la figura 5.6, se puede apreciar como la pendiente se dividió o clasificó en rangos desde: muy plano (<9%); de plano a moderadamente inclinado (< 9,1 a 27%); de moderadamente inclinado a inclinado (27,1 a 47%); de inclinado a muy inclinado (47,1 a 100%) y de muy inclinado a extremadamente inclinado (>100%).

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

Figura 5.6. Mapa de Pendiente.

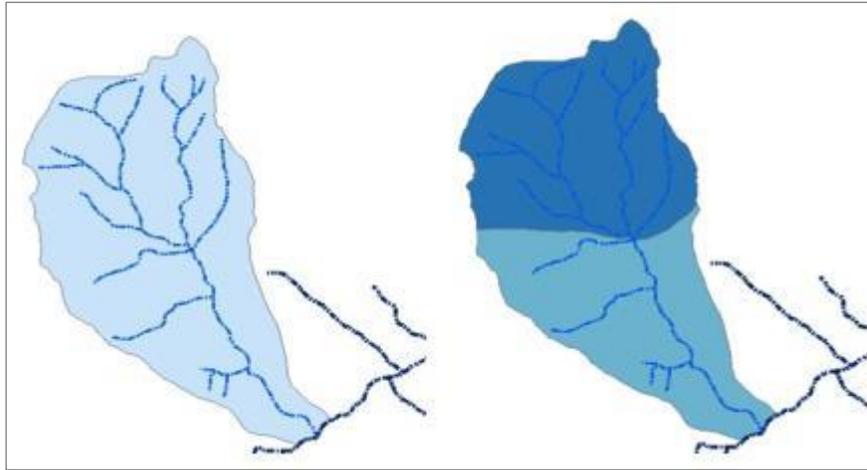


✓ **Aplicación del modelo de simulación hidrológica HEC-HMS 4.2.1.0.**

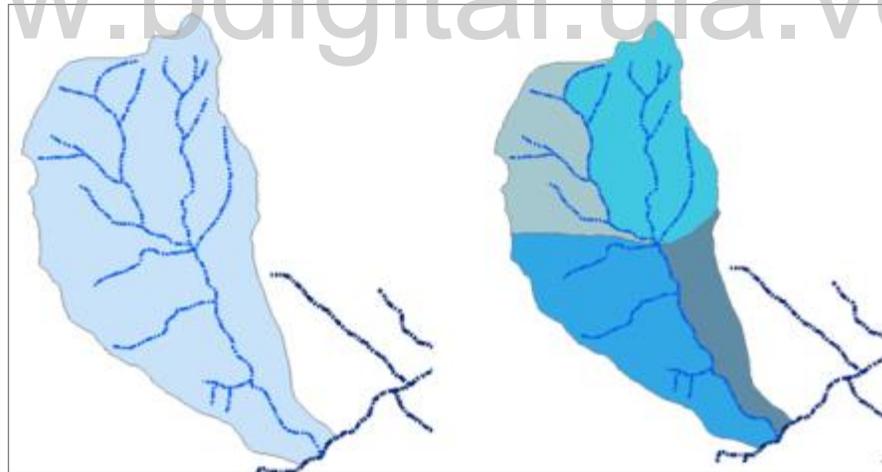
○ **Delimitación de las sub-cuencas en segmentos**

Para la subdivisión de los diferentes segmentos de las subcuencas, pertenecientes a la cuenca total se utilizó una extensión del programa ArcGIS 10.5 donde dichos segmentos de delimitación se ilustran en las figuras 5.7 y 5.8.

**Figura 5.7.** Delimitación de la subcuenca en segmentos



**Figura 5.8.** Delimitación de las vertientes de cada sub-cuenca

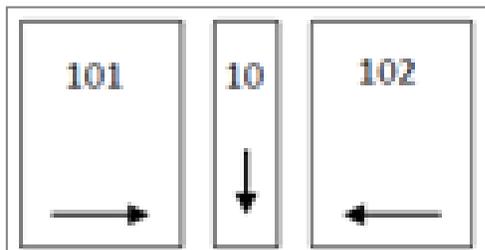


○ **Conceptualización hidrológica de la cuenca y generación de hidrogramas para diferentes periodos de retorno.**

El modelo de simulación hidrológica HEC-HMS 4.2.1.0, permite que una subcuenca se estructure como un sistema compuesto por segmentos, y estos a su vez divididas por secciones de escurrimiento, y en medio de ellas se define una sección, denominada flujo de escorrentía; de manera tal que los parámetros varían espacialmente, esto al elegir el método de la onda cinemática para el tránsito de los caudales. Siendo cada

una de las subcuencas en estudio divididas en dos secciones de escurrimiento y una de escorrentía ver figura 5.9; a cada sección se le estimaron los parámetros de entrada del modelo, los cuales se sintetizan en el cuadro 5.26.

**Figura 5.9.** Conceptualización de las subcuencas en estudio en vertientes y cauces.



Para efectos del tránsito de los caudales, el nivel de detalle en la división de la subcuencas es importante para los efectos del modelaje del HEC-HMS, dado que la manera en cómo se define el drenaje influye en el resultado de los hidrogramas que se obtienen con la simulación.

**Cuadro 5.26.** Características de los segmentos de escurrimiento y escorrentía

Subcuenca	Segmentos	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (%)	Longitud (m)	CNI	N Manning	Pendiente (m/m)
San José	101	0,57	57	247,29	55	0,80	50,3
	102	0,43	43	186,55	55	0,80	50,3
	10	1		2305		0,05	24,3
Los Cedros	101	1,32	66	400,85	54	0,80	32,7
	102	0,68	34	206,50	54	0,80	32,7
	10	2		3293		0,05	15,2
La Parada	101	0,65	65	277,90	55	0,80	40,4
	102	0,35	35	149,64	55	0,80	40,4
	10	1		2339		0,05	27,4
El Diamante	101	1,00	50	353,86	55	0,80	31,6
	102	1,00	50	353,86	62	0,15	31,6
	10	2		2826		0,05	24,1
El Barro	101	2,08	52	545,07	62	0,80	35,1
	102	1,92	48	503,14	62	0,80	35,1
	10	4		3816		0,05	26,2

La generación de hidrogramas para los periodos de retorno de 10 y 100 años se llevó a cabo a través del modelo de simulación hidrológica HEC-HMS, tomando en consideración confluencia de cada uno de los afluentes hídricos en estudio con el río Mocotíes.

○ **Aplicación del programa HEC-HMS**

Para estimar los caudales máximos durante una crecida el cual es el principal objeto de este estudio, se deben tener en cuenta los datos pluviométricos así como los

antecedentes de crecidas de gran magnitud que han tenido estas subcuencas, principalmente este estudio viene dado, en un principio por la transposición de la tormenta ocurrida el 5 de diciembre de 1970 registrada en la estación La Fortuna, de la cuenca del río Cachimí; para esto se estimó los caudales picos para los diferentes periodos de retorno  $T_r$  (10 y 100 años) simulados por el programa.

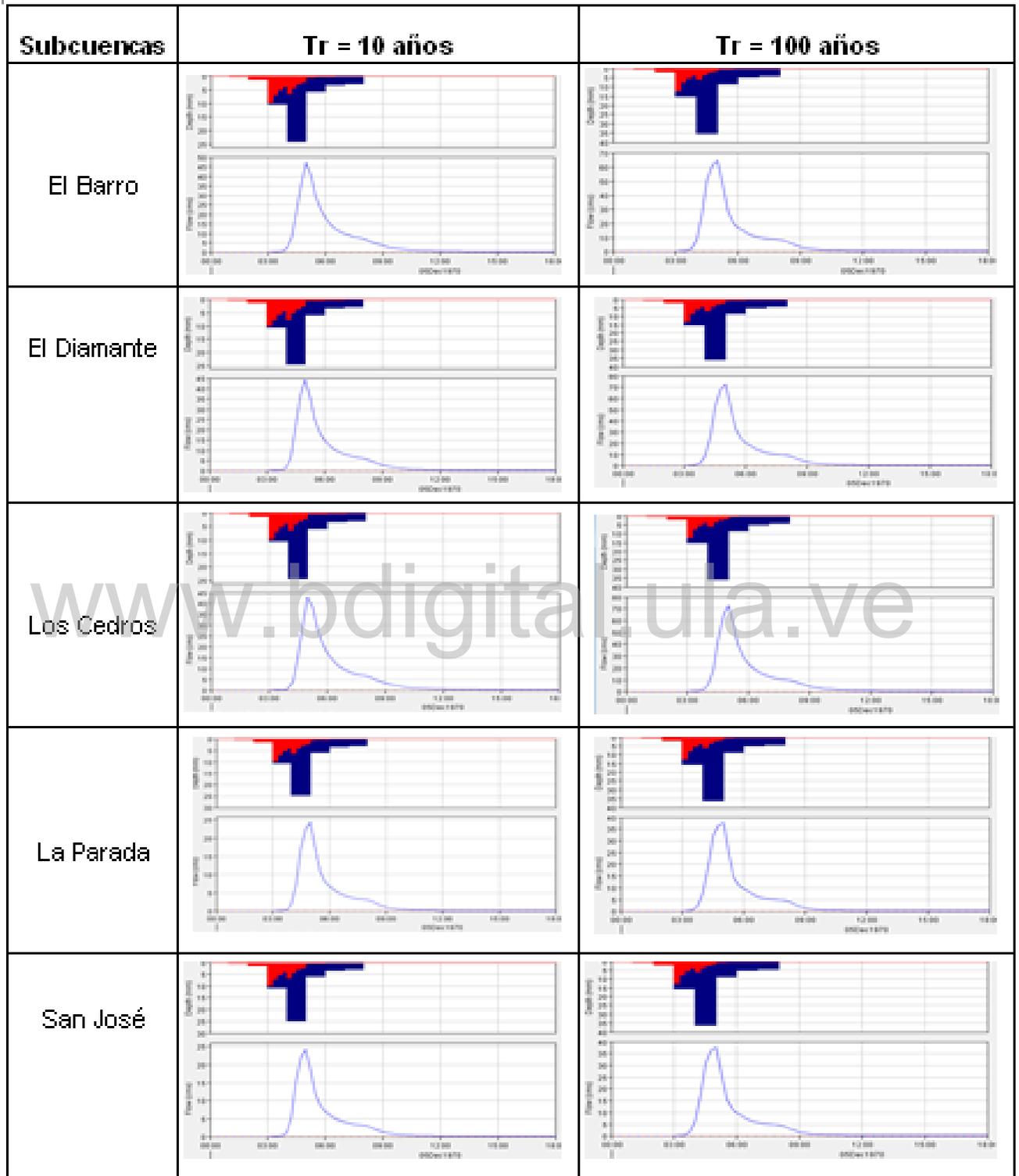
Siguiendo el mismo orden de ideas, en la siguiente figura 5.10 se ilustra a manera de ejemplo el sistema hidrológico de uno de los afluentes hídricos en estudio hasta su desembocadura en el río Mocotíes, modelado en el HEC-HMS, donde la subcuenca engloba los dos segmentos de escurrimiento, en este sentido, la subcuenca El Barro la cual contiene los segmentos 101 y 102.

**Figura 5.10.** Representación de la subcuenca El Barro por el programa HEC-HMS



Manteniendo el orden lógico del procedimiento expuesto para cada una de las subcuencas se procedió a introducir dentro del modelo de simulación HEC-HMS, la información de cada elemento hidrológico, así como los hidrogramas de diseño generados a través de la transposición de tormenta del río Cachimí, mostrada en páginas precedentes. Esta transposición permitió obtener finalmente los hidrogramas de crecidas correspondientes a los dos periodos de retorno seleccionados. Se muestran a continuación (Figura 5.11) los resultados del modelaje de cada subcuenca para la condición de humedad I.

**Figura 5.11.** Hidrogramas de crecida para diferentes periodos de retorno, obtenidos a partir de la transposición de la tormenta del Cachirí, para las cinco Subcuencas en estudio = CN I.



Los caudales máximos generados con el modelo de simulación hidrológica HEC-HMS se observan en el cuadro 5.27.

**Cuadro 5.27.** Estimación de caudales generados por el HEC-HMS para cada una de las subcuencas en estudio; condición I.

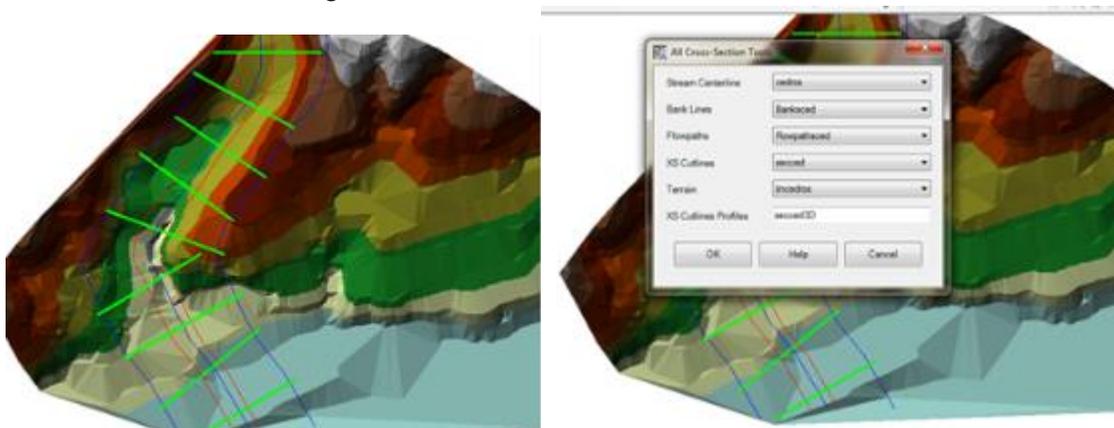
Punto de generación	Caudales máximos (m <sup>3</sup> /s) para los diferentes periodos de retorno.	
	10 años	100 años
El Barro	78,09	152,14
El Diamante	101,19	180,52
Los Cedros	131,09	170,89
La Parada	85,46	146,63
San José	61,63	127,94

En este sentido, al contrastar los resultados aquí generados con los estimados por Delgadillo y Páez (2008), se evidencian relaciones considerables en los caudales, ello debido a que la tormenta seleccionada presenta volúmenes considerables en cuanto a las lluvias caídas (ver el análisis de frecuencias y de la tormenta).

○ **Modelización Hidráulica**

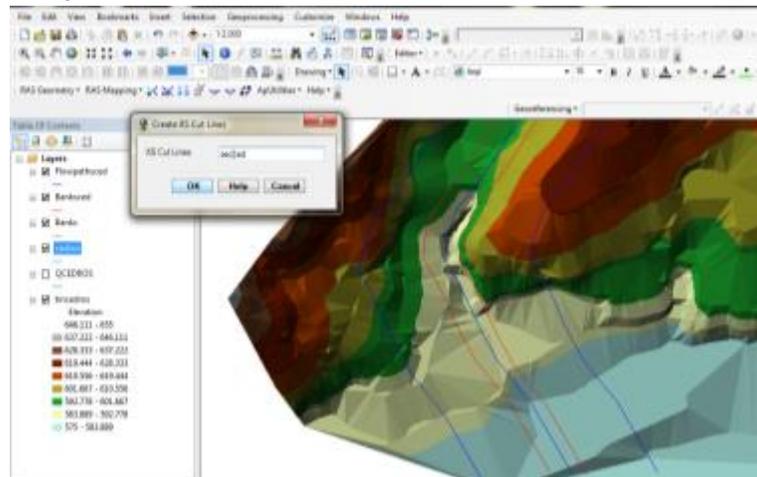
Posterior a la estimación de los caudales máximos en los sitios de interés; se procedió a simular las manchas de crecidas excepcionales, para ello se requirió de la geometría de los cauces, que se obtuvo de las secciones transversales generadas a partir del TIN con 1 m de resolución espacial. En este sentido, en el módulo HEC-GeoRAS de ArcGis 10.5; se discretizaron las secciones transversales cada 30 metros aproximadamente cubriendo ambas márgenes; esto se realizó en los abanicos aluviales de cada una de las subcuencas en estudio, como puede observarse en la Figura 5.12 teniendo en cuenta que previo a ello se definió la dirección del afluente hídrico, las márgenes y trayectoria de flujo, lo cual puede observarse en la figura 5.13.

**Figura 5.12.** Secciones transversales trazadas en intervalos cada 30 metros con longitud de 120 metros a cada margen de los abanicos aluviales de las subcuencas en estudio.



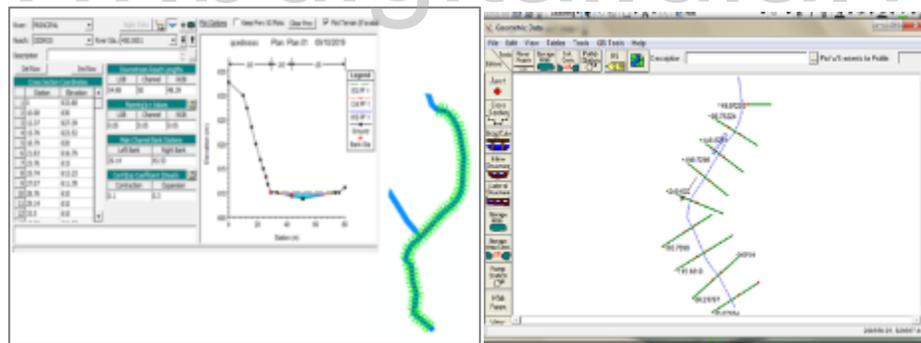
Seguidamente, a cada uno de esos segmentos se les asignó un valor de rugosidad  $n$  de Manning, tanto para el lecho del cauce como para los bordes. Siendo así, para el lecho se consideró un valor representativo de 0,05; teniendo como base lo expuesto en Sala y Batalla (1999):

Figura 5.13. Asignación de parámetros en cada una de las subcuencas en estudio.



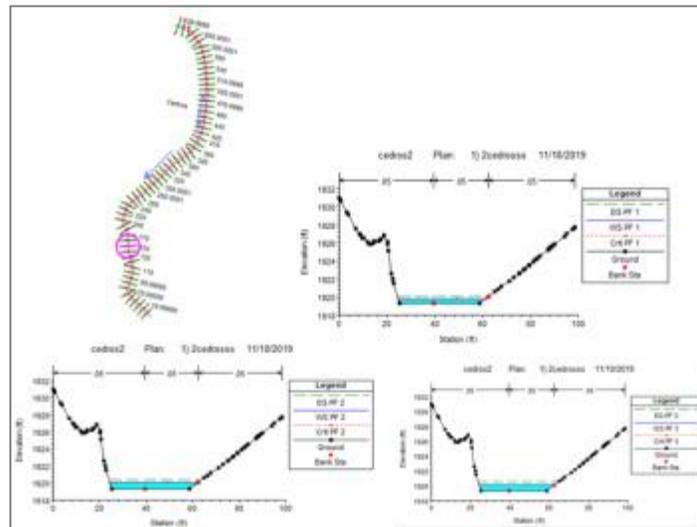
En este orden de ideas, la información geométrica del cauce con sus secciones transversales fue exportada al modelo de simulación hidráulica HEC-RAS 5.0.3. Adicionalmente, al abrir el proyecto exportado en HEC-GeoRAS de ArcGis 10.5 se logra obtener toda la información concerniente a las secciones transversales puntuales: aguas arriba y aguas abajo (Figura 5.14), donde además se introdujeron los caudales ( $m^3/s$ ) obtenidos para los dos periodos de retorno de 10 y 100 años, con condiciones de humedad antecedente I.

Figura 5.14. Secciones transversales en el abanico aluvial del afluente hídrico Los Cedros.



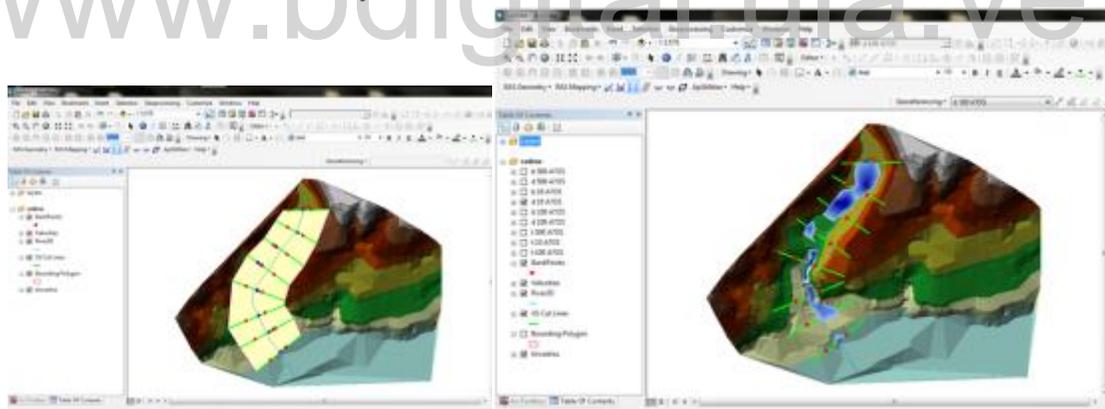
De esta manera, tomando como punto de partida las características antes descritas y sobre la base de que, el régimen de flujo es supercrítico, con el modelo se simuló las condiciones hidráulicas del cauce principal del afluente hídrico en estudio, generando como resultado capas en formato ráster de profundidad y velocidad, así como perfiles de profundidad para las distintas secciones transversales; un ejemplo de estos últimos puede observarse en la Figura 5.15.

**Figura 5.15.** Profundidad de agua para una sección transversal, afluente hídrico Los Cedros para los diferentes periodos de retorno



Posteriormente se asignan los atributos y se convierte el archivo .RAS a SDF para XML. Lo cual al abrirse en ArcGis 10.5 genera información de velocidad, manchas de crecidas excepcionales y espejos de agua para cada periodo de retorno, la figura 5.16.

**Figura 5.16.** Información de velocidad y manchas de crecidas excepcionales para cada periodo de retorno y cada una de las subcuencas en estudio.



Finalmente, se debe resaltar que, las simulaciones hidrológicas e hidráulicas fueron realizadas para los abanicos aluviales en función del cauce principal de cada uno de los drenes en estudio y para los dos periodos de retorno seleccionados; sin embargo, las manchas de crecidas excepcionales resultantes fueron generadas en el módulo HEC-GeoRAS de ArcGIS 10.5, para cada uno de los sectores en estudio por considerarse zonas críticas ante la ocurrencia de crecidas, debido a la vitalidad y población expuesta y por tanto de especial interés para la investigación.

**III. Trabajo de campo lo cual permitió verificar las condiciones de la zona;** en donde los principales problemas encontrados se relacionaron con: procesos de

socavación lateral, potenciales represamientos producto de la ausencia de mantenimiento en puentes, y obras de control de torrentes; lo cual se evidencia en las siguientes figuras referentes a fotografías tomadas en agosto de 2019 en el área de estudio, margen izquierda del río Mocotíes en el municipio Antonio Pinto Salinas.

**Figura 5.17.** Sedimentos y desechos en el lecho del cauce de la quebrada Carmania



**Figura 5.18.** Cauce de la quebrada Los Cedros cubiertos de vegetación.



**Figura 5.19.** Ausencia de mantenimiento en cuanto a remoción de sedimentos en el cauce, puente sobre la quebrada La Parada



**Figura 5.20.** Dique abierto para el control de torrentes colmatado de sedimentos, ubicado en la quebrada El Barro



**Figura 5.21.** Socavación lateral y de fondo en las obras de control de torrentes, que pudiera generar inestabilidad de estas estructuras.



**Figura 5.22.** Ausencia de drenajes transversales en ciertos sectores de la vialidad, aspecto que origina una alta probabilidad de afectación a la calzada.



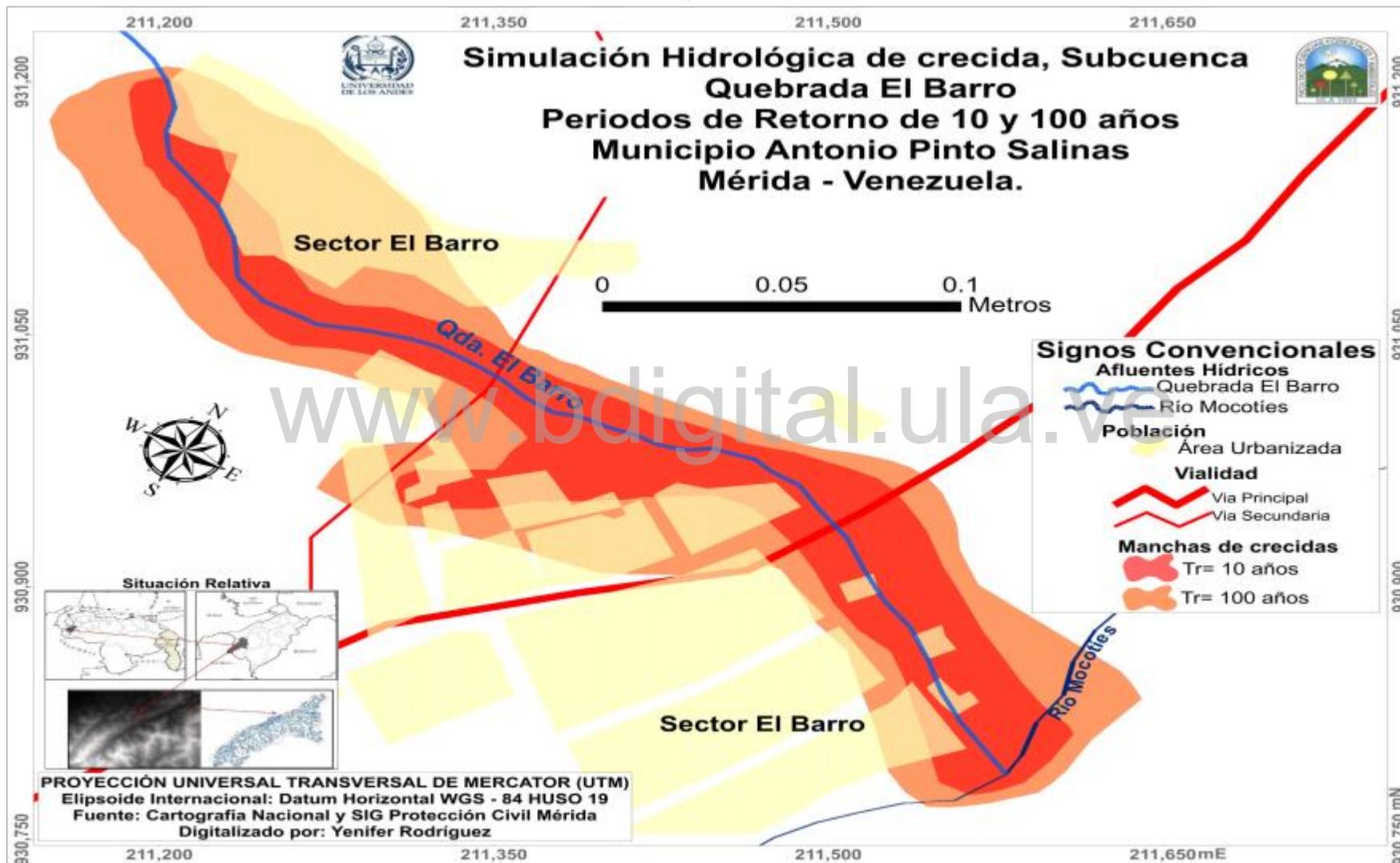
Se debe resaltar que la producción cartográfica de manchas de crecidas excepcionales para las subcuencas en estudio, así como para los diferentes periodos de retorno; se hizo para la condición de humedad antecedente I.

**IV. Generación de la cartografía de manchas de crecidas excepcionales para los siguientes periodos de retorno: 10 y 100 años y los sitios de posible afectación con base en las condiciones hidrogeomorfológicas presentes en el área de análisis.**

El conocer los sitios de afectación por manchas de crecidas excepcionales; constituyen una medida no estructural para el control de avenidas, pues se perfila como un modelo que permite identificar, clasificar y valorar las áreas pobladas potencialmente expuestas a crecidas y los consecuentes desbordes debido a un evento de precipitaciones extremas. En este orden de ideas, una vez obtenidas las manchas de crecidas excepcionales para las subcuencas objeto de estudio quebradas (El Barro, El Diamante, Los Cedros, La Parada y San José) en función de eventos correspondientes a periodos de retomo de 10 y 100 años en condición de humedad antecedente I, se procedió a cartografiar los resultados obtenidos de los sitios de posible afectación para cada una de las subcuencas objeto de análisis ver figuras 5.23 a la 5.27.

Con base en las ideas expuestas, se contemplaron los periodos de retorno de 10 y 100 años, y se generaron más adelante conclusiones ante procesos de planificación de desarrollo urbano local, para la localización de futuras obras de infraestructura como viviendas, vialidad y acueductos y que además servirán de referencia en procesos de planificación de desarrollo a largo plazo.

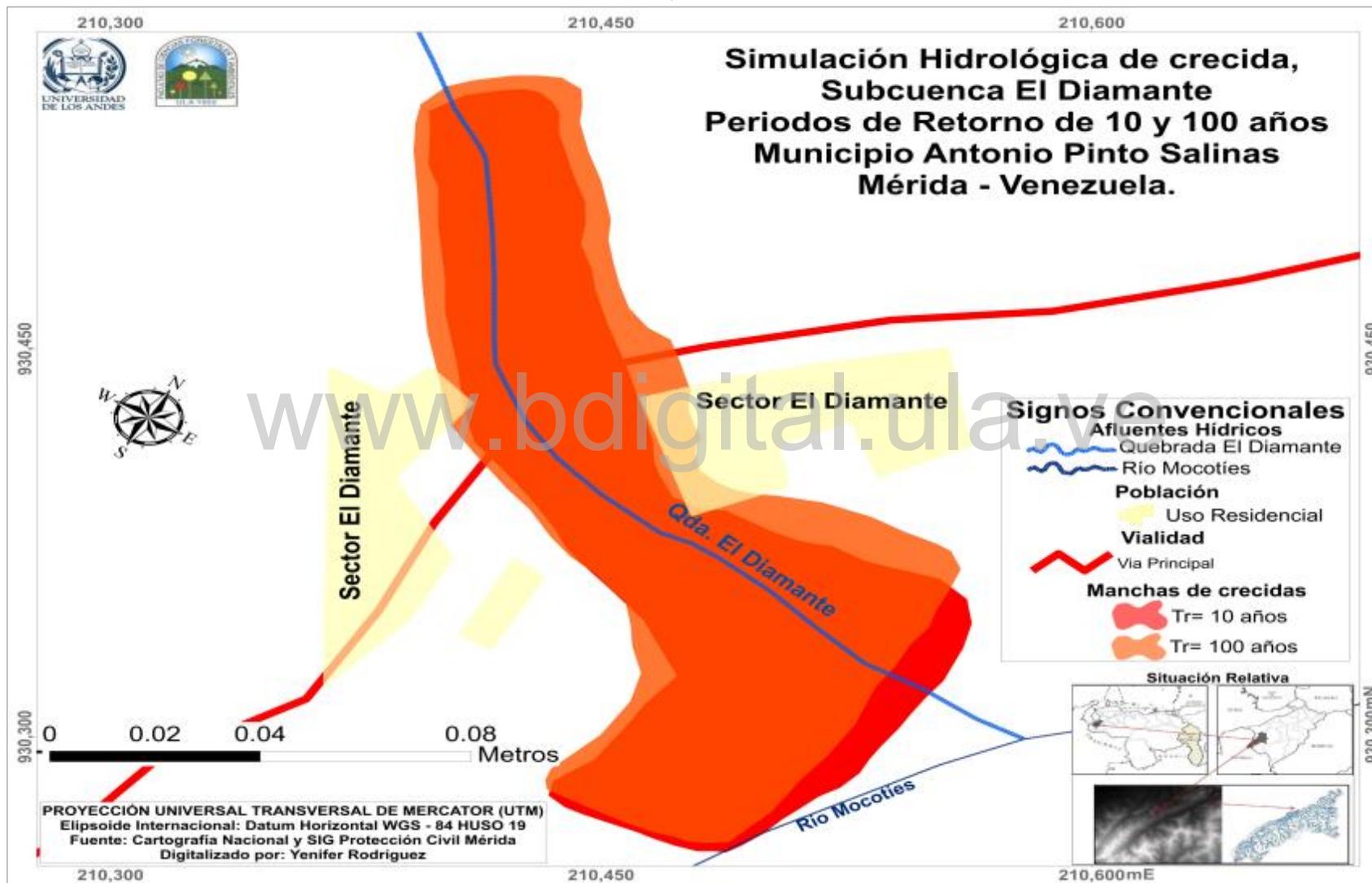
Figura 5.23. Zonificación de amenaza, afluente hídrico Quebrada El Barro.  
Tr= 10 y 100 años.



Se observan las manchas de posible afectación por crecidas excepcionales entre los años 10 y 100 años de periodo de retorno; con respecto al abanico o sección en estudio, se tiene que, para la sección proximal existe entre un año y otros escasos 5.1 metros; en la zona media de la sección aproximadamente 10 metros inclinándose la afectación hacia la margen derecha y por su parte en la zona distal o desembocadura de la quebrada El Barro, la diferencia radica en aproximadamente 8 a 9 metros. Por su parte, se destaca que, de generarse en la zona una tormenta con las condiciones que se están presentando en la investigación, resultaría afectada la vialidad y una buena parte de la población que habita la zona.

Siguiendo el mismo orden de ideas se debe resaltar que para la subcuenca objeto de estudio, la proporción de población es de 45848 m<sup>2</sup> y la mancha de afectación por crecidas excepcionales para un periodo de retorno de 10 años es de 26632 m<sup>2</sup> afectando a la población con 3505 m<sup>2</sup> lo que se traduce en que tan solo un 7,64% de la población pudiese resultar afectado y del área de ocupación de la mancha de afectación resultaría afectado un 13,16% de la misma. Por su parte para un periodo de retorno de 100 años la mancha de afectación ocupa 59076 m<sup>2</sup> afectando a la población con 17196 m<sup>2</sup> lo que representa un 37,50% de posible afectación y del área de ocupación por crecidas excepcionales para 100 años de periodo de retorno es de 29,11%; por lo que se concluye que la población que ocupa las inmediaciones de la Quebrada El Barro pudiese resultar afectada por crecidas excepcionales en periodos de retorno de 10 y 100 años ante condiciones de precipitación como las descritas en la presente investigación.

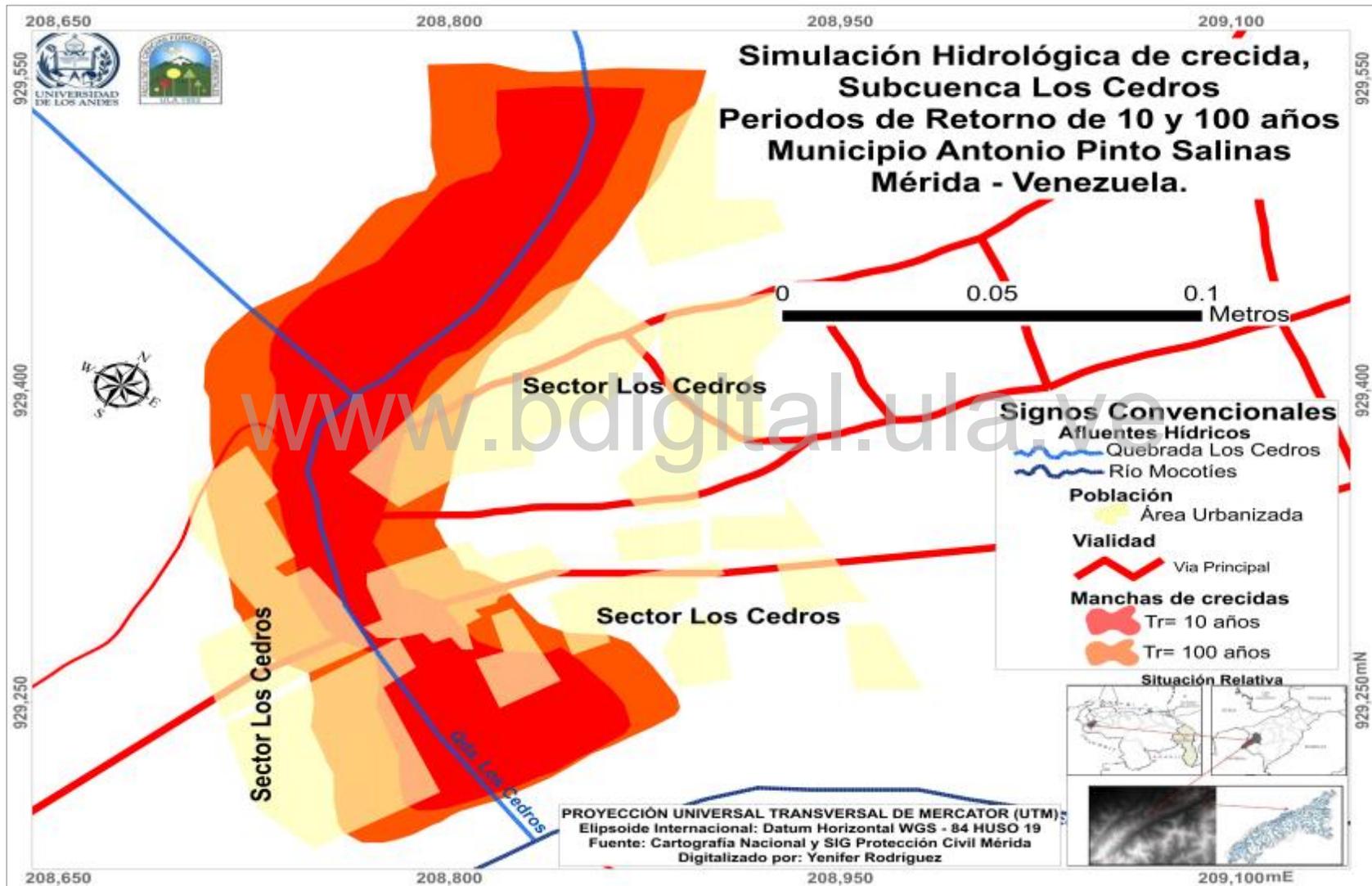
Figura 5.24. Zonificación de amenaza, afluente hídrico Quebrada El Diamante.  
Tr= 10 y 100 años.



En este caso existe una escasa diferencia en cuanto a las manchas de posible afectación por crecidas excepcionales entre los años 10 y 100 años de periodo de retorno; con respecto al abanico aluvial estudiado, se tiene que, para la sección apical existe entre un año y otros escasos 3 metros; en la zona media de la sección aproximadamente 5 o 7 metros inclinándose la afectación hacia la margen derecha y por su parte en la zona distal o desembocadura del afluente hídrico en estudio, la diferencia radica en aproximadamente 11 a 30 metros, el posible explayamiento de las manchas de crecidas excepcionales para los dos periodos de retorno considerados es notorio hacia la margen derecha donde se presentan las menores pendientes. De igual forma, se debe resaltar que, de generarse en la zona una tormenta con las condiciones que se están presentando en la investigación, resultaría afectada la vialidad y una pequeña parte de la población que habita la zona.

Siguiendo el mismo orden de ideas se debe resaltar que para el área objeto de análisis; la proporción de población es de 7547 m<sup>2</sup> y la mancha de afectación por crecidas excepcionales para un periodo de retorno de 10 años es de 18233 m<sup>2</sup> en donde la misma no generaría afectación a la población solo al entorno. Por su parte para un periodo de retorno de 100 años la mancha de afectación ocupa 21187 m<sup>2</sup> afectando a la población con 738 m<sup>2</sup> lo que representa un 9,78% de posible afectación y del área de ocupación por crecidas excepcionales para 100 años de periodo de retorno es de 3,48%; en donde la mayor afectación se origina en el entorno (vialidad principal del eje y agrícola); por lo que se concluye que la población que ocupa las inmediaciones de la Quebrada El Diamante pudiese resultar afectada por crecidas excepcionales en periodos de retorno de 100 años ante condiciones de precipitación como las descritas en la presente investigación. En periodos de retorno menores a este, bajo la misma condición resultaría afectada la vialidad y las áreas verdes de la comunidad.

Figura 5.25. Zonificación de amenaza, afluente hídrico Quebrada Los Cedros.  
Tr= 10 y 100 años.

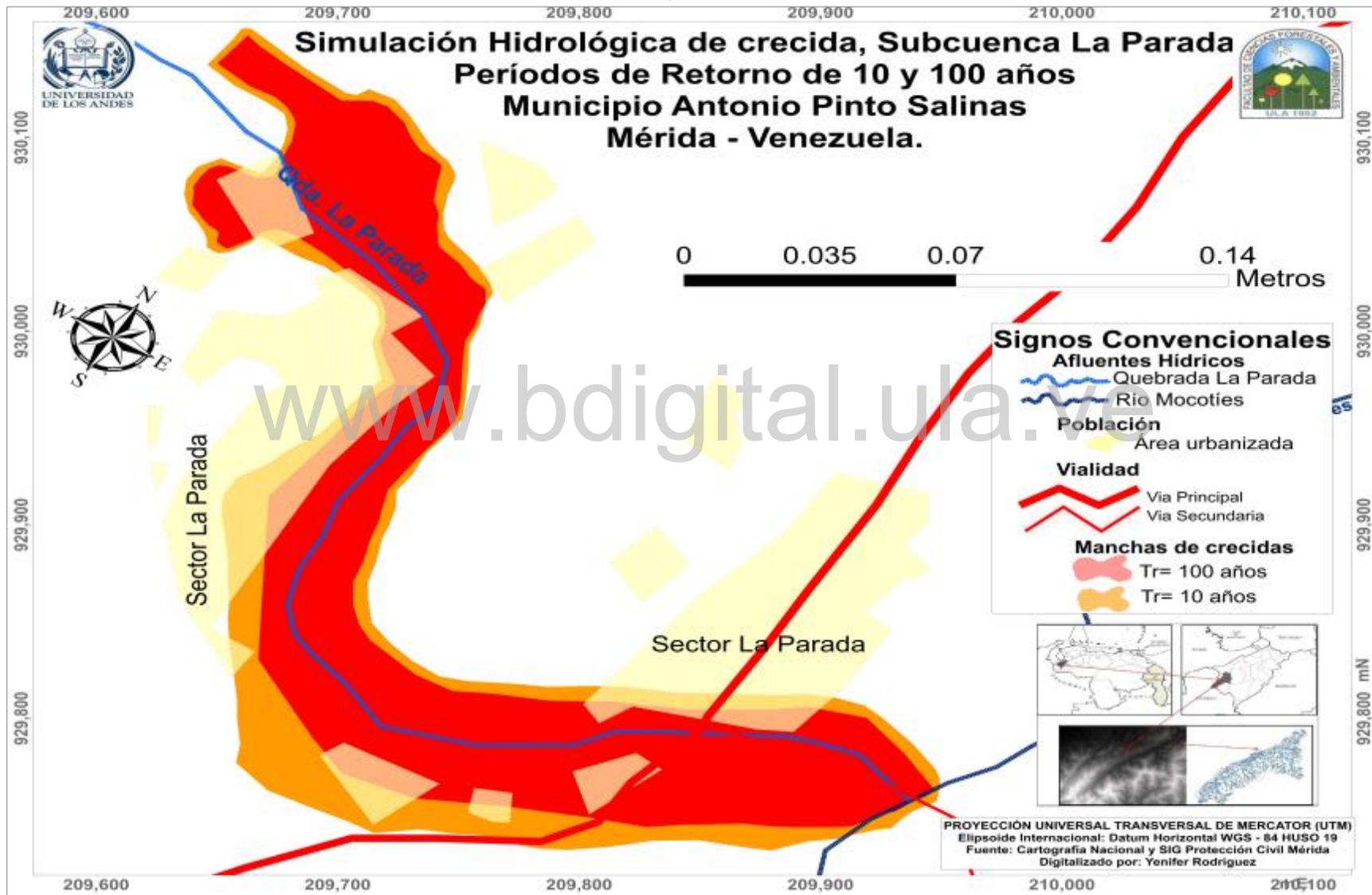


Con respecto al abanico o sección en estudio, se tiene que, para la sección proximal existe entre ambas frecuencias escasos 3 metros; en el abanico medio aproximadamente 5 o 7 metros inclinándose la afectación hacia ambos márgenes, y por su parte en la zona distal o desembocadura del afluente hídrico en estudio, la diferencia radica en aproximadamente 12 metros a ambos márgenes.

Por su parte, se debe resaltar que para la subcuenca objeto de análisis, la proporción de población que habita la zona es de 28695 m<sup>2</sup> y la mancha de afectación por crecidas excepcionales para un periodo de retorno de 10 años es de 20510 m<sup>2</sup> afectando a la población con 3315 m<sup>2</sup> lo que se traduce en que solo un 11,55% de la población pudiese resultar afectado y del área de ocupación de la mancha de afectación resultaría afectado un 16,16% de la misma. Aunado a ello para un periodo de retorno de 100 años la mancha de afectación ocupa 37524 m<sup>2</sup> afectando a la población con 18331 m<sup>2</sup> lo que representa un 63,88% de posible afectación y del área de ocupación por crecidas excepcionales para 100 años de periodo de retorno es de 48,85%; por lo que se concluye que la población que ocupa las inmediaciones de la Quebrada Los Cedros pudiese resultar afectada por crecidas excepcionales en periodos de retorno de 10 y 100 años ante condiciones de precipitación como las descritas en la presente investigación.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

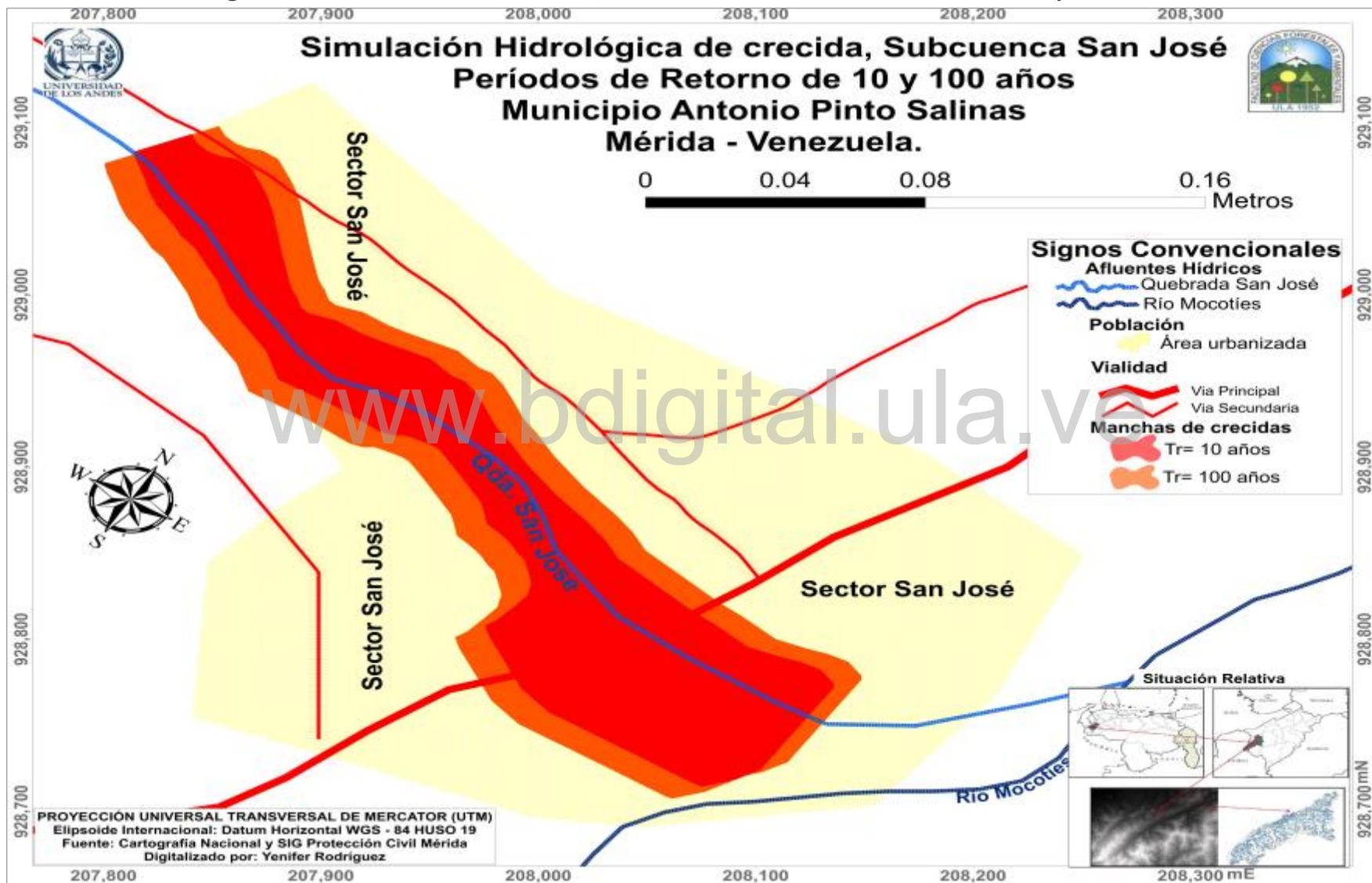
Figura 5.26. Zonificación de amenaza, afluente hídrico Quebrada La Parada.  
Tr= 10 y 100 años.



Se debe resaltar que existe escasa diferencia en cuanto a las manchas de posible afectación por crecidas excepcionales entre los periodos de retorno de 10 y 100 años de periodo de retorno; en la zona de depositación de sedimentos de la quebrada La Parada así para la sección superior del abanico existe entre un año y otros escasos 3 metros; en la parte media alrededor de 3 metros inclinándose la afectación hacia la margen derecha, y por su parte en su sección inferior o base del relleno aluvio - torrencial, la diferencia radica en aproximadamente 4 metros. Destacándose además que la población se encuentra dispersa por todo el abanico.

Finalmente se destaca que, para la subcuenca objeto de análisis, la proporción de población que habita la zona es de 25684 m<sup>2</sup> y la mancha de afectación por crecidas excepcionales para un periodo de retorno de 10 años es de 30135 m<sup>2</sup> afectando a la población con 5016 m<sup>2</sup> lo que se traduce en que un 19,52% de la población pudiese resultar afectado y del área de ocupación de la mancha de afectación resultaría afectado un 16,65% de la misma. Aunado a ello para un periodo de retorno de 100 años la mancha de afectación ocupa 45517 m<sup>2</sup> afectando a la población con 7825 m<sup>2</sup> lo que representa un 30,47% de posible afectación y del área de ocupación por crecidas excepcionales para 100 años de periodo de retorno es de 17,19%; por lo que se concluye que la población que ocupa las inmediaciones de la Quebrada La Parada pudiese resultar afectada por crecidas excepcionales en periodos de retorno de 10 y 100 años ante condiciones de precipitación como las descritas en la presente investigación.

Figura 5.27. Zonificación de amenaza, afluente hídrico Quebrada San José.  $T_r = 10$  y  $100$  años.



Es importante señalar que en la sección proximal existe entre un año y otro escasos 3 metros; en la zona media de la sección alrededor de 3 metros inclinándose la afectación hacia la margen derecha, y por su parte en la zona distal o desembocadura del afluente hídrico en estudio (quebrada San José), la diferencia radica en aproximadamente 3 metros. Destacándose que todo el afluente hídrico se encuentra bordeado de población.

Siguiendo el mismo orden de ideas, se destaca que, para la subcuenca objeto de análisis, la proporción de población que habita la zona es de 104951 m<sup>2</sup> y la mancha de afectación por crecidas excepcionales para un periodo de retorno de 10 años es de 23836 m<sup>2</sup> afectando a la población con 23836 m<sup>2</sup> lo que se traduce en que un 22,71% de la población pudiese resultar afectado y del área de ocupación de la mancha de afectación resultaría afectado un 100% de la misma. Aunado a ello para un periodo de retorno de 100 años la mancha de afectación ocupa 36569 m<sup>2</sup> afectando a la población con 36569 m<sup>2</sup>; que representa un 34,84% de posible afectación y del área de ocupación por crecidas excepcionales para 100 años de periodo de retorno es de 100%; por lo que se concluye que la población que ocupa las inmediaciones de la Quebrada San José tiene una alta probabilidad de resultar afectada por crecidas excepcionales en periodos de retorno de 10 y 100 años ante condiciones de precipitación como las descritas en la presente investigación. Pues las manchas de afectación ocupan toda la margen de área donde se destina el uso residencial de la comunidad.

De los resultados anteriores se puede concluir que las crecidas o crecientes, (sin considerar, en este caso los aportes de sedimentos) pueden afectar a una buena parte de los abanicos aluviales depositados por las quebradas en estudio (El Barro, El Diamante, Los Cedros, La Parada y San José) lo que estaría relacionado directamente con el comportamiento torrencial de estos afluentes hídricos, aunado a los altos niveles de vulnerabilidad presentes en toda el área.

Para el caso particular de la zona en estudio se debe considerar que existen obras de control de torrentes (tal es el caso de diques abiertos y cerrados, que se encuentran colmatados de sedimentos lo que se traduce en obras inoperativas para las cuales fueron diseñadas; además de muros longitudinales y marginales afectados por graves procesos de socavación lateral ello se constituye en una muestra de cómo la población y la vialidad se encuentran expuestos a pesar de las medidas estructurales; a esto se suma los acelerados procesos de desarrollo y expansión urbana del área.

Con base en estas consideraciones los sitios de posible afectación por crecidas torrenciales (especialmente aquellas que puedan sufrir los embates de las crecientes más frecuentes asociadas en este caso con un periodo de retorno de 10 años), no deben considerarse para el desarrollo urbanístico, y los espacios ya construidos ameritan de obras de mitigación o de medidas de reubicación (en el entendido de que estas últimas medidas no resultan nada sencillas de aplicar). De igual manera, es

necesario que las comunidades que habitan la zona objeto de estudio sean tomadas en cuenta por programas de sensibilización y reglamentación que impidan la construcción de infraestructuras vitales; pues las crecidas podrían ocasionar daños aun cuando no se produzcan desbordes, como consecuencia de la erosión lateral y de fondo, que derivarían en la socavación o destrucción de obras de protección; por lo que el potencial de amenaza siempre estará relacionado con la ocupación que se haga a los márgenes de los afluentes hídricos.

Seguidamente se debe resaltar que cada una de las manchas de crecidas excepcionales guarda relación con la posición geomorfológica presente en cada sección en estudio, pues algunas se catalogan en el lecho inundable, otras con poca distancia de retiro con respecto al cauce, así como posibles áreas de desborde por causa de represamientos lo cual en forma de panorámica se puede apreciar en la figura 5.28 para un período de retorno de 10 años y 5.29 para un período de retorno de 100 años.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**Figura 5.28.** Manchas de crecidas excepcionales.  $T_r = 10$  años

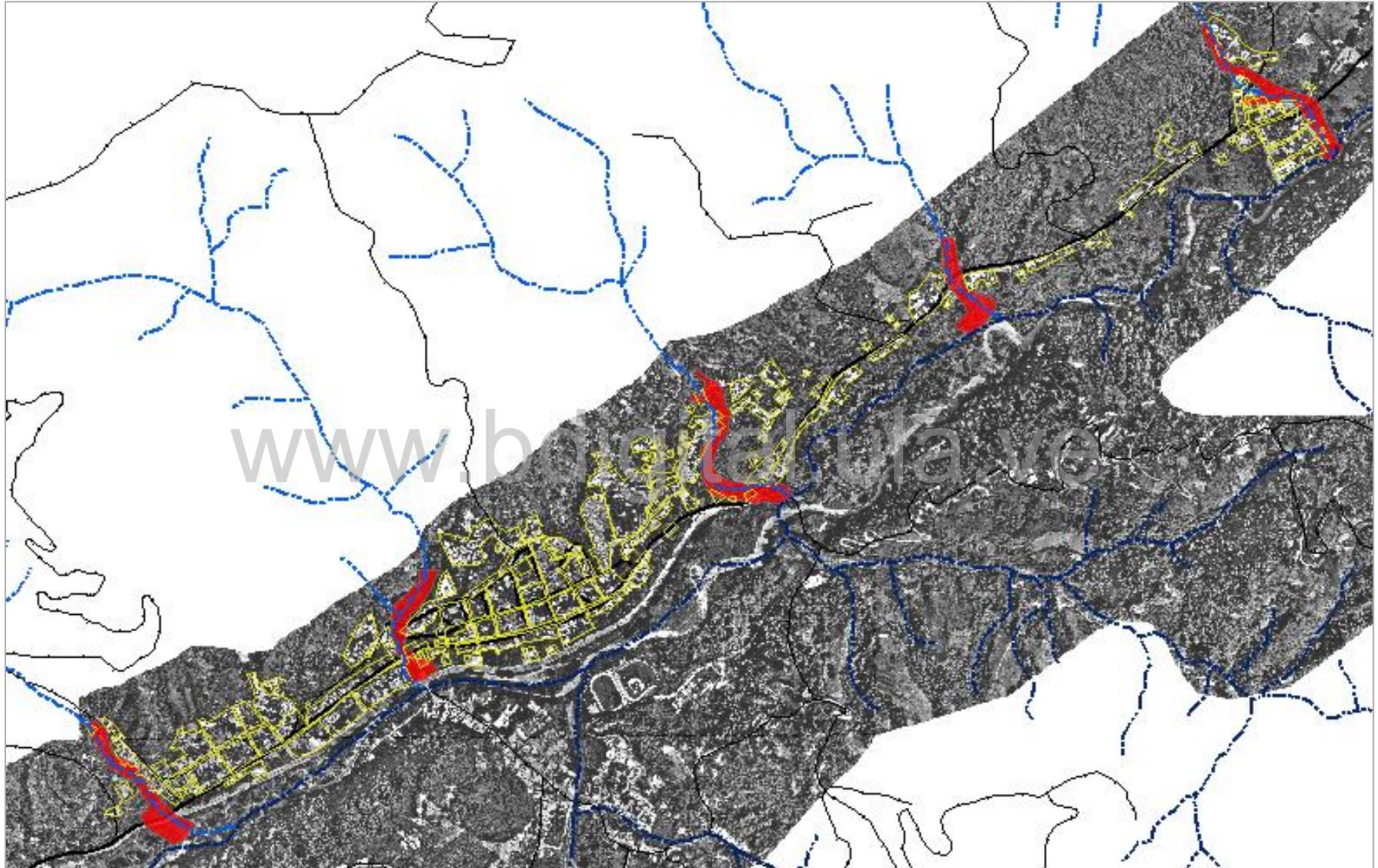
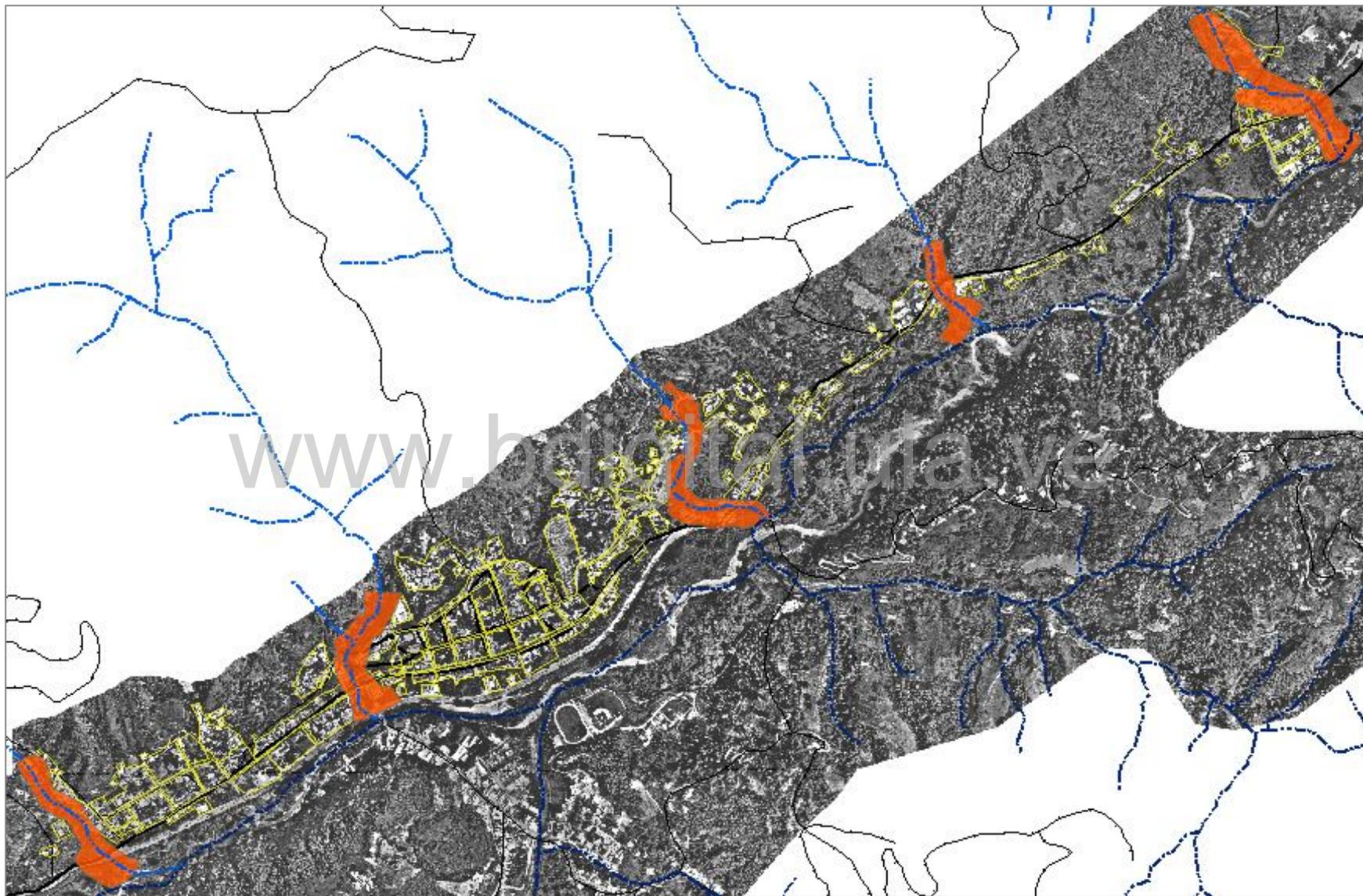


Figura 5.29. Manchas de crecidas excepcionales.  $T_r = 100$  años



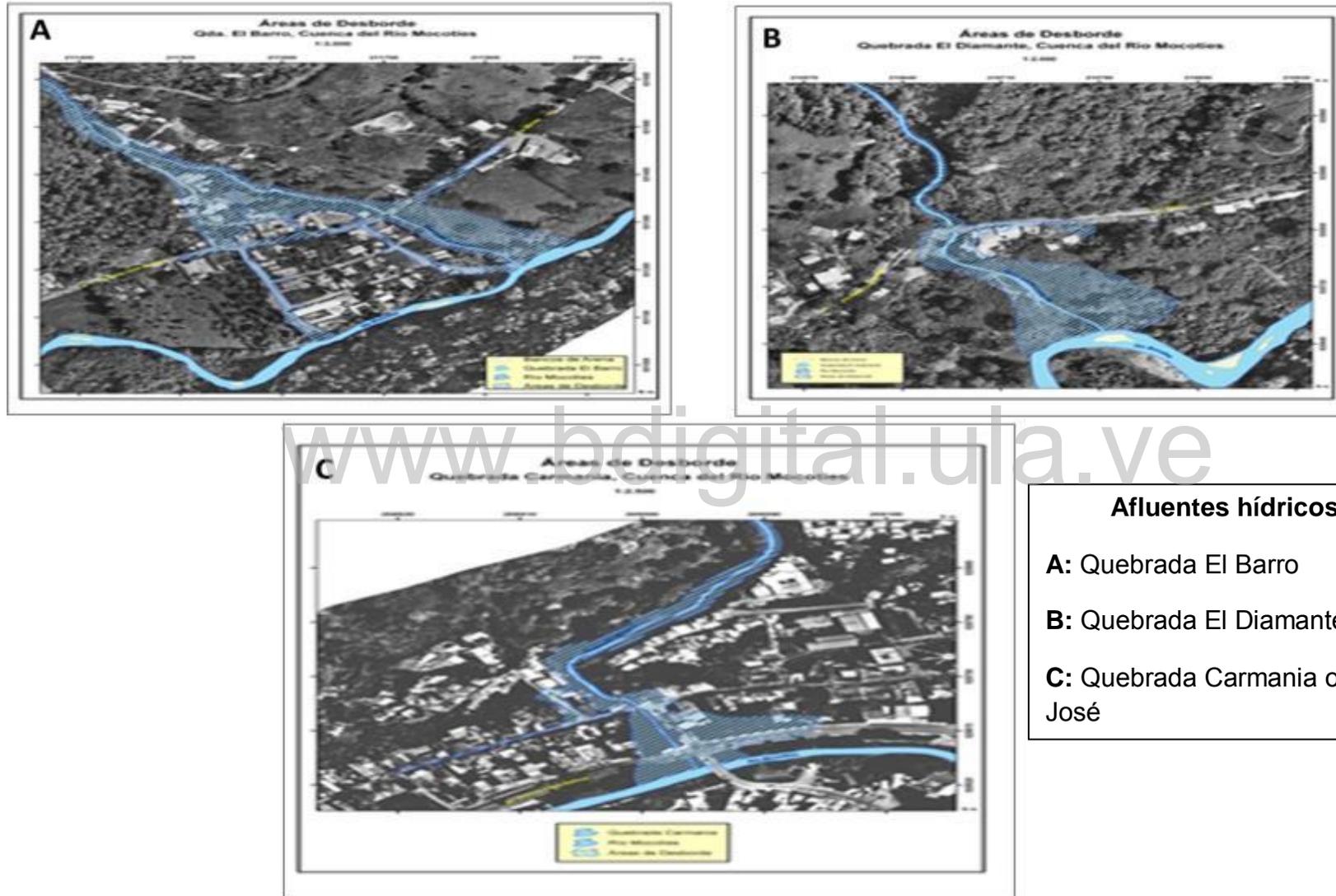
Así mismo los resultados obtenidos de esta investigación se pueden corroborar con los generados por Páez, G. en el año 2005 quien pasada la emergencia de ese año logró medir en campo y cartografiar las manchas de afectación a crecidas excepcionales de los afluentes hídricos, lo cual se puede apreciar en la figura 5.30 Y 5.31.

**Correlación de los resultados obtenidos en esta investigación con los generados por Páez (2005)**, lo cual se puede apreciar en la figura 5.30 para 10 años de periodo de retorno y 5.31 para 100 años de periodo de retorno; donde se puede apreciar la similitud en la geometría de las áreas o manchas de afectación por crecidas excepcionales, es decir; que los resultados obtenidos guardan congruencia con el comportamiento real de estas subcuencas. Básicamente la correlación es con las crecidas de 10 años de periodo de retorno. Ubicándose además las de 100 años de periodo de retorno en un escenario intermedio con respecto a Páez.

**Finalmente como comentario general para todas las subcuencas en estudio;** se tiene que resaltar que, de generarse en la zona una tormenta con las condiciones que se están presentando en la investigación, resultaría afectada la vialidad y una buena parte de la población que habita la zona.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

Figura 5.30. Área afectada en el año 2005

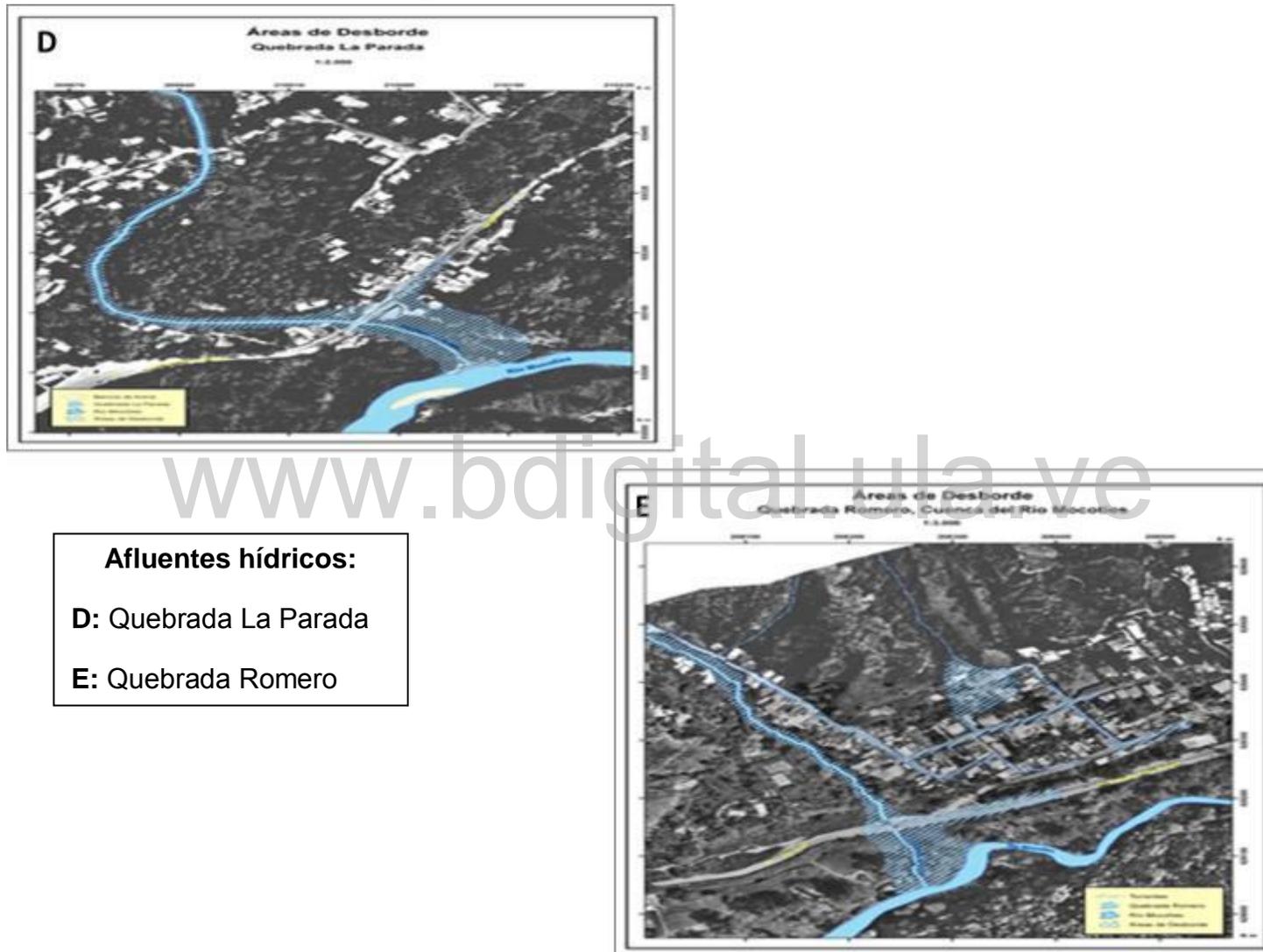


**Afluentes hídricos:**

- A:** Quebrada El Barro
- B:** Quebrada El Diamante
- C:** Quebrada Carmania o San José

Fuente: Páez, G. (2005)

Figura 5.31. Área afectada en el año 2005



**Afluentes hídricos:**

**D:** Quebrada La Parada

**E:** Quebrada Romero

Fuente: Páez, G. (2005)

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### Conclusiones

La vertiente izquierda del río Mocotíes, ha sido un área históricamente propensa a sufrir crecidas y desbordes, como consecuencia de las intensas precipitaciones que se originan en la zona, donde además influye el alto grado de meteorización de las rocas, la elevada inclinación de las vertientes y las posibilidades de ocurrencia de obturación de sus drenes. Es así como las condiciones físico - naturales de las subcuencas en estudio, le confieren una dinámica torrencial, que aunado a la presencia de suelos con moderado a alto potencial de escorrentía intensifican el potencial a generar eventos torrenciales. En este sentido, han ocurrido eventos históricos significativos en el sitio de estudio o en su área de influencia así destacan, entre los más recientes, las fuertes precipitaciones de 2005, las precipitaciones de noviembre y diciembre de 2010, la tormenta de abril de 2012, las emergencias de septiembre de 2016 y más recientemente las emergencias del 23 de agosto de 2021 en la zona.

Desde esta perspectiva, es que en la zona se ha llevado a cabo la construcción de obras de control de torrentes buscando minimizar los impactos sobre la comunidad y vialidad; sin embargo vale la pena destacar que los afluentes hídricos en estudio se corresponden con subcuencas pequeñas, con una alta torrencialidad, lo que aunado a la falta de mantenimiento de las citadas medidas estructurales y la alta vulnerabilidad presente en el área, configuran un cuadro de riesgos fácilmente detectables pero de difícil adaptación para las comunidades de la zona.

Las condiciones morfométricas estudiadas reflejan en líneas generales para los drenes en estudio: densidades de drenajes altas, pendientes medias de las subcuencas escarpadas a muy escarpadas, y tiempos de concentración muy bajos, que al interactuar con las delicadas condiciones geológicas - geomorfológicas de la zona, generan una alta propensión a la ocurrencia de crecidas y procesos geomorfológicos desencadenados por lluvias máximas.

Para el presente trabajo se hizo necesario transponer una tormenta suscitada en otra zona geográfica de Venezuela; de la cual se contaban con registros; dado que para la zona en estudio la disponibilidad de datos hidrometeorológicos es limitada, de allí que dicha transposición se llevó a cabo para compensar la falta de información; a partir del estudio de la tormenta ocurrida el 05/12/1970, en las cuencas del río Cachirí ubicada en el occidente venezolano, en la región noroccidental del estado Zulia, empleando el procedimiento de análisis de tormentas y considerando como parámetro la curva de  $Ka$  vs. Área. De allí se obtuvieron los hietogramas con una duración de 8 horas para periodos de retorno de 10 y 100 años. La cual además se utilizó porque tiene registros

de milímetros de precipitación considerables con respecto a los que caen en la zona objeto de estudio.

Posteriormente, se aplicó el modelo de simulación hidrológica HEC - HMS 4.2.1.0., para generar los caudales máximos en las subcuencas estudiadas, utilizando: (i) el método de número de curva escorrentía (CN) para el cálculo de la lluvia efectiva, con condición de humedad antecedente I, y (ii) el método de onda cinemática para el tránsito de los caudales, que permitieron en función de la conceptualización hidrológica realizada, generar las crecidas para los periodos de retorno de 10 y 100 años en los cinco afluentes hídricos en estudio (El Barro, El Diamante, Los Cedros, San José y La Parada), estando en esta última la población dispersa por todo el abanico; mientras que en el resto de subcuencas en estudio, la población se encuentra concentrada sobre las manchas de afectación a crecidas excepcionales; sin dejar a un lado que ante la ocurrencia de un evento hidrológico la vialidad de la zona resultaría afectada; y pues, la misma es la vía principal para otros municipio vecinos.

Seguidamente, se llevó a cabo la modelización hidráulica con el programa HEC - RAS 5.0.3 y la interfaz de ArcGIS 10.5 HEC - GeoRAS, considerando entre otros aspectos un modelo digital de elevación en formato TIN con resolución de un (1) metro, a partir de una escala 1: 5.000 y desde del cual se obtuvieron las secciones transversales que permitieron observar posteriormente la geometría del cauce y con base en los caudales generados, generar las manchas de crecidas excepcionales para los sitios de interés. En este sentido se definieron los sitios de posible afectación por desbordes, para los cinco (5) afluentes hídricos en estudio, en función de la magnitud de las crecidas y para los periodos de retorno de 10 y 100 años, a partir de los criterios descritos en la metodología en relación con las frecuencias seleccionadas.

En este sentido, es importante señalar, que las manchas de crecidas excepcionales, para los dos (02) periodos de retorno analizados, no generaron grandes variaciones espaciales: especialmente en las zonas apicales y medias de los abanicos aluviales depositados por las quebradas en estudio, esto se debe en primer lugar a la ausencia de información topográfica a nivel de detalle de la zona; el no levantamiento en campo de las secciones transversales por limitaciones económicas y finalmente que el software utilizado presenta limitantes para zonas con pendientes considerables y abanicos o zonas con pendientes pronunciadas.

Lo anteriormente planteado, guarda relación con que el HEC-RAS es un modelo que utiliza la ecuación de la energía donde supone las presiones y fricciones permanentes tomando a Manning constante, por lo que no se ajusta a la realidad de las quebradas, en las que la rugosidad es variable a través de las secciones transversales; aunado a ello es un modelo lineal 1D lo que hace que los resultados que arroja sean una aproximación a la realidad; finalmente es una excelente herramienta para simulación

hidráulica de afluentes hídricos, sin dejar a un lado que ofrece fiabilidad en los resultados siempre y cuando el cauce se encuentre en los rangos de pendiente señalados anteriormente.

Seguidamente, la interface HEC-GeoRAS, presentó algunas deficiencias al ser utilizado en zonas de alta pendiente, por lo que su uso en áreas de este tipo debe ser obligatoriamente contrastado con visitas de campo y criterio hidráulico para determinar su confiabilidad; pues, demuestra ser muy susceptible a la topografía, por lo que mientras más detallado sea el modelo de elevación digital, mas adaptada a la realidad será la respuesta del comportamiento del cauce en la simulación hidráulica

A pesar de lo señalado con anterioridad se puede decir, en líneas generales que se obtuvo en esta investigación una respuesta hidrológica aceptable, en cuando a la cartografía de la amenaza por crecidas. Los mismos se compararon con los resultados de otras investigaciones; además, dichos sitios de afectación se ajustan al comportamiento ante crecidas excepcionales en la zona; lo que se cuestiona es que, las manchas de afectación por crecidas excepcionales no dieron gran diferencia en cuanto a la geometría para los dos (02) periodos de retorno estudiados; lo cual pudiese estar relacionado con la información topográfica utilizada y las altas pendientes de las secciones apicales - proximales y medias de los abanicos aluviales trabajados. Pero la diferencia estuvo enmarcada en la proporción de población que pudiese resultar afectada en metros cuadrados ( $m^2$ ) y porcentaje (%) ante cada periodo de retorno; tomándose en consideración: el área de población de cada comunidad, así como, el área que ocupa cada mancha de afectación por crecidas excepcionales y su relación con la afectación.

Sobre la base de estas consideraciones, los caudales generados en los diferentes sitios y para los distintos periodos de retorno, representan una medida no estructural de mitigación, constituyéndose en un material de apoyo, que puede ser utilizado por los entes gubernamentales y particulares para diferentes propósitos, entre los que se encuentra: i) la optimización del Plan de Ordenación Urbana y los Planes de Desarrollo Urbano Local; ii) el manejo integral de la margen izquierda del río Mocotíes suministrando información para los planificadores y proyectistas locales, sirviendo como fundamento de proyectos de mitigación contra los efectos ocasionados por los desbordes, con el fin de mejorar las condiciones ambientales de la cuenca y el bienestar de sus habitantes; además de la sensibilización en materia de gestión de riesgo a la población sobre las posibles afectaciones por crecidas que pudiesen ocurrir en la zona.

Se debe resaltar que para el área objeto en estudio los asentamientos poblacionales se encuentran en la zona distal de los abanicos aluviales con el río Mocotíes; donde dichas comunidades siempre resultan afectadas así como la vialidad la cual es la única red de

acceso a estos municipios del eje. Destacándose para la zona que son tan violentas sus crecidas que no es recomendable la aplicación de Sistemas de Alerta Temprana; por lo que se sugiere es la no asignación de usos que conlleven a la dotación de infraestructuras en zonas expuestas a la ocurrencia de crecidas o en sus defecto construcción y activación de obras de control de torrentes en las subcuencas con mayores problemas: (Quebrada El Barro, Los Cedros, La parada y San José); las mismas son catalogadas de esta forma porque además de ser propensas a generar crecientes, poseen mayores áreas con uso residencial a ser afectadas por dichas crecidas. Aunque la Quebrada El Diamante no se incluya en estas por poseer poca área residencial a ser afectada, de igual forma posee un carácter torrencial en donde afectaría los ecosistemas, vialidad y ambiente en general.

Posteriormente se debe resaltar que, solo se trabajaron los periodos de retorno de 10 y 100 años dado que los registros donde se centró la tormenta analizada cuenta solo con 20 años de registro los cuales fácilmente permiten adaptarse o transponerlos para los años en estudio (10 y 100) mas no es recomendable para 500 años de periodo de retorno puesto que la tormenta objeto de análisis presenta muy pocos años de registro como para realizar la transposición hasta este punto.

Siguiendo el mismo orden de ideas, se tiene que los sitios de posible afectación son los sectores: El Barro, Los Cedros, La parada y San José para 10 y 100 años; pues estos, permiten generar conclusiones en zonas que requieren mayor protección (áreas urbanas); por su parte se toman en consideración 10 años de periodo de retorno dado que en la zona se están acortando los mismos o los eventos están ocurriendo con mayor frecuencia, es decir cada cuatro (04) y cinco (05) años; 2012, 2016 y 2021); donde han dejado diferentes afectaciones sobre la población y servicios básicos además de la vialidad; la cual es el eje principal de acceso hacia tres municipios del estado. Posteriormente, estas afectaciones pudiesen estar influenciadas con la variabilidad climática o la influencia del cambio climático; aunque no se descarta la ausencia de planes de desarrollo urbano local. Por su parte se tomó en consideración los 100 años de periodo de retorno que es considerado un año base o modelo para zonas que requieren ser protegidas específicamente en planificación urbana.

Finalmente según los resultados obtenidos estando los datos ya transpuestos en el área de estudio; las subcuencas en análisis no presentan la posibilidad de alertar a las comunidades ante una crecida torrencial; solo se debe preparar a la misma para que se tomen medidas de evacuación rápidas ante la ocurrencia de fuertes precipitaciones; esto en función de reducir las pérdidas humanas o minimizar los impactos ocasionados a la población; pues , la comunidad juega un rol fundamental en los planes de gestión local de riesgo, es por ello que solo si se logra captar su interés y participación en las actividades de gestión prospectiva, correctiva y reactiva se conseguirá disminuir la vulnerabilidad y crear comunidades resilientes a la ocurrencia de eventos hidrológicos.

### Recomendaciones:

A partir del análisis y discusión de los diferentes resultados obtenidos en este Trabajo de Grado, se establecieron las siguientes:

✓ Con el fin de optimizar los resultados de la simulación, lo ideal sería contar una red estaciones de climáticas e hidrométricas en toda la cuenca, que suministrase información tanto de precipitación como de caudal, para calibrar el modelo y tener datos reales.

✓ Se sugiere la realización de estudios detallados: hidrológicos - hidráulicos y geológico - geomorfológicos, para todos los torrentes que conforman la vertiente izquierda del río Mocotíes dado la alta probabilidad de generar afectación en la zona.

✓ Es necesaria la elaboración de investigaciones de producción de sedimentos, puesto que en este Trabajo Especial de Grado solo se considera solo los caudales líquidos, sin embargo en ríos de montaña, en casos de crecientes, los caudales sólidos tiene un papel fundamental influenciando directamente en los niveles de amenaza, pues es estos generalmente causan los mayores daños a la población.

✓ De igual forma es necesario realizar estudios en los que se evalúen los niveles de vulnerabilidad en todas sus aristas, con el fin de evaluar la situación de la población ante la ocurrencia de crecidas.

✓ De la misma manera se sugiere que los entes gubernamentales consideren la amenaza por desborde dentro de los planes de ordenamiento, así como que se adopten medidas inmediatas orientadas a corregir los múltiples conflictos ocasionados por el crecimiento urbanístico desordenado de los últimos años en la zona.

✓ Se propone formular e implementar un plan de manejo de la amenaza por desborde que incluya mantenimiento de las medidas estructurales que se encuentran en la zona y no estructurales (sistema de evacuación ante emergencias, así como la reubicación de familias establecidas en zonas de alto riesgo y finalmente la concientización de la población asentada en zonas críticas).

✓ Sistematizar y extraer información útil a nivel de los diversos sectores ubicados en la margen izquierda del río Mocotíes, con base en las distintas investigaciones que se han realizado, para el análisis de crecidas; de manera que esta sea compilada y esté disponible para la que la población en general tenga conocimiento y pueda utilizarla en la toma de decisiones.

✓ Fomentar en la población que se dedica a la actividad agrícola la necesidad de realizar prácticas de conservación de suelos para evitar que ante la ocurrencia de precipitaciones estos colapsen, es decir cultivar sobre terrazas y en contra de las pendientes, de igual forma cambiar los sistemas de riego y en lo posible evitar los cultivos de plantaciones musáceas.

✓ Implementar programas educativos que consideren la participación de la comunidad, con el fin de que conozcan los fenómenos naturales de su entorno y sepan actuar en caso de presentarse un evento de crecida; tomando como punto de partida la promoción de la cultura preventiva desde los diferentes espacios de los medios de comunicación y redes sociales.

✓ Se sugiere tener en cuenta las limitaciones del software HEC - RAS para zonas con pendientes pronunciadas, adicionalmente es recomendable realizar levantamientos topográficos en detalle para obtener con una mayor exactitud las secciones transversales de los cauces en estudio.

✓ Se recomienda además llevar a cabo planes de saneamiento ambiental y vigilancia para la recuperación de los cauces, realizando limpiezas periódicas en las que se extraigan los materiales acumulados en el cauce efectivo de los cursos de agua y especialmente en los puentes, de manera tal que se mantenga libre el área de la sección evitando así la obstrucción del flujo.

## REFERENCIAS CITADAS

- ✓ ACKERMAN, C. 2009. *HEC-GeoRAS. Manual de Usuario. Versión 4.2*. US Army Corps of Engineers. 246 p.
- ✓ ANDRESSEN, R. 2001. *Amenazas, riegos y vulnerabilidad de la ciudad de Mérida*. Foro: *Vulnerabilidad y riesgos de la ciudad de Mérida*. 33 - 37. CORPOANDES. Mérida-Venezuela (15-16 de noviembre). Academia de Mérida. Publicación. realizada en diciembre de 2006, por el Fondo Editorial “El Cobijo”.
- ✓ APARICIO, F. 1989. *Fundamentos de hidrología de superficie*. Editorial Limusa S.A. Grupo Noriega Editores. México D.F - México. 303 p.
- ✓ APARICIO, F. 2011. *Fundamentos de hidrología de superficie*. Editorial Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. México, D.F- México. 303 p.
- ✓ ARTEAGA, M. 2017. *Evaluación del modelo Hidrológico HEC-HMS para la predicción hidrológica y de crecidas en la cuenca baja del río Cañar*. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Escuela Politécnica Nacional. Quito - Ecuador. 171 p.
- ✓ ATAROFF, M. y SARMIENTO, L. 2004. *Las Unidades Ecológicas de Venezuela*. Reptiles de los Andes de Venezuela. Universidad de los Andes. Mérida - Venezuela.
- ✓ AUDEMARD, F. 1998. *Contribución de la Paleosismología a la sismicidad histórica: Los terremotos de 1610 y 1894 en los Andes venezolanos meridionales*. Revista Geográfica Venezolana. 39 (1 y 2): 87-105.
- ✓ AYALA, F. y OLCINA, J. 2002. *Riesgos Naturales. Conceptos fundamentales y clasificación*. En: Ayala-Carcedo, F. y Olcina, J. (eds.). *Riesgos naturales*. 950 - 972. Ediciones Ariel Ciencia. Barcelona – España.
- ✓ AYALA, R.; PÁEZ, G. y ARAQUE, F. 2007. *Análisis geomorfológico de la microcuenca El Guayabal, a propósito de la ocurrencia de las lluvias excepcionales de febrero 2005. Cuenca del río Mocotíes, estado Mérida Venezuela*. Revista Geográfica Venezolana. 48: (1) 59-82.
- ✓ BARRIOS, A., RIVAS, F. y VIDAL, R. 2012. *Evaluación de la amenaza torrencial en la vía principal, troncal 5 de la cuenca del río Mocotíes, Mérida-Venezuela*. Informe final. p. 17. Trabajo presentado por el INSTITUTO FORESTAL LATINOAMERICANO (IFLA) y MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA EL AMBIENTE (MPPA).
- ✓ BASTIDAS, J. 2007. *Nociones de Hidrografía*. Consejo de Publicaciones. Vicerrectorado Académico. Universidad de Los Andes. Mérida – Venezuela. 156 p.
- ✓ BENITO, G. 2002. *Crecidas e Inundaciones*. En: Ayala-Carcedo, F. y Olcina, J. (eds.). *Riesgos naturales*. 920 - 954. Ediciones Ariel Ciencia. Barcelona - España.

- ✓ BLANDÓN, J.; ESTEVA, Y.; HERNÁNDEZ, A.; MONTES, R.; MONTILLA, J.; MUÑOZ, L. Y N. UREÑA. 2006. *Plan de ordenación del territorio del municipio Antonio Pinto Salinas – Edo. Mérida: Respuesta a una vaguada*. Instituto de Geografía y Conservación de los Recursos Naturales. Universidad de Los Andes. Mérida – Venezuela. 158 p.
- ✓ BONGIORNO, F., GONZÁLEZ, L., BELANDRIA, N., y PÉREZ, R. 2010. *Análisis de vulnerabilidad y aspectos geológicos influyentes en los sucesos del año 2005 en el Valle del Mocotíes Estado Mérida*. Universidad de Los Andes. Escuela de Ing. Geológica. Facultad de Ingeniería. Grupo de Investigaciones en Geología Aplicada (GIGA). Mérida, Venezuela.
- ✓ BREÑA, A. y VILLA, M. 2006. *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Coordinación General de Vinculación y Desarrollo Institucional*. Rectoría General de la Universidad Autónoma Metropolitana. Distrito Federal – México. 289 p.
- ✓ CAMARASA, A. 2002. Crecidas e Inundaciones. En: Ayala-Carcedo, F. y Olcina, J. (eds.). *Riesgos naturales*. 859 - 877. Ediciones Ariel Ciencia. Barcelona - España.
- ✓ CASTILLO, M. y CASTILLO, J. 1970. *Clasificación interpretativa de los suelos y condiciones del clima en la cuenca del Mocotíes, estado Mérida*. Revista Geográfica Venezolana. XI: (24 - 25) 55 - 67. (Publicada en 1974).
- ✓ CASTILLO, J.; SALAS, F.; TRUCIC, M. y MARANTE, R. 1972. *Estudio integral de la cuenca de los ríos Chama y Capazón - Subproyecto N° 1 Suelos - Oficina de Publicaciones Geográficas*. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. U.L.A. - Mérida. 130 p. (Inédito).
- ✓ CÁRDENAS, P. 2008. *Manual de cálculo hidrológico e hidráulico a emplearse en estructuras de paso en ríos*. Trabajo presentado como requisito para optar al Título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
- ✓ CHOW, V., MAIDMENT, D., y MAYS, L. 1994. *Hidrología aplicada*. Mc-Graw Hill. Santa Fe de Bogotá, Colombia. 594 p.
- ✓ CHOW, V.T 1956. *Hydrologic studies of flood in the United States*. International Association Science Hydrological. 42. 134 - 170.
- ✓ CLAURE, P. 2016. *Modelación Hidrológica de la cuenca Lluska Mayu considerando el tránsito de avenidas en el embalse*. Diplomado en Modelación Hidrológica para la Gestión Integral de Cuencas. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba-Bolivia.[Online]. Consultado el 14/04/2018. Disponible en: <http://hdl.handle.net/123456789/5097>. [Consulta: Julio, 2016].
- ✓ COLEGIO DE AGRIMENSORES. 2010. *Introducción al HEC-RAS – limitaciones del modelo*. Provincia de Córdoba. Argentina. [Online]. Consultado el 24/02/2017. Disponible en: <http://agrimensorescordoba.org.ar/documentos/manual-hec-ras-2.pdf/>

- ✓ COLOMA, A. 2015. *Simulación hidrológica e hidráulica del río Tambo, Sector Santa Rosa, Distrito de Cocachacra, Provincia de Islay, departamento de Arequipa*. Trabajo presentado como requisito para optar al Título de Ingeniero Agrícola. Facultad de Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú.
- ✓ CÓRDOVA, J. y LÓPEZ, J. 2015. *Eventos extremos: inundaciones, deslaves y sequías*. En: Gabaldón, A., Rosales, A., Buroz, E., Córdova, J., Uzcátegui, G. y Iskandar, L. (eds.). *Agua en Venezuela: una riqueza escasa*. 289 – 349. Fundación Empresas Polar. Caracas – Venezuela.
- ✓ COURTEL, F.; LÓPEZ, J. y GARCÍA, R. 2010. *Mapeo de amenazas por inundaciones y aludes torrenciales: Aplicación en el estado Vargas y el Valle de Caracas*. En: López, J. (ed.). *Lecciones Aprendidas del desastre de Vargas*: 555-569. Fundación Empresas Polar – Universidad Central de Venezuela.
- ✓ CUERVO, V. 2011. *Flujos de detritos y otros procesos hidromorfológicos en dos cuencas de los Andes centrales venezolanos: Una contribución a la zonificación de amenazas en abanicos aluviales*. Maestría en manejo de Cuencas Hidrográficas. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela. Trabajo Especial de Grado. (Inédito). 148 p.
- ✓ DAS, S., GUPTA, R. y VARMA, H. 2007. *Gestión de crecidas y sequía mediante el desarrollo de los recursos hídricos en la India*. Boletín de la OMM, 56: 3, 179 – 188. Organización Meteorológica Mundial.
- ✓ DÁVILA, M. y REQUENA, M. 2004. *Zonificación de la amenaza hidrológica en un cono de deyección usando modelos de Simulación Hidrológica e Hidráulica. Aplicación a la quebrada La Pedregosa, sector La Pedregosa, estado Mérida*. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Trabajo Especial de Grado. (Inédito). 217 p.
- ✓ DELGADILLO, A. 2014. *Evaluación de las amenazas por crecidas del río Mocotíes en Tovar y Santa Cruz de Mora, con especial énfasis en el evento hidrometeorológico de febrero de 2005*. Trabajo presentado como requisito para optar al Título de Magíster Scientiae en Manejo de Cuencas. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
- ✓ DELGADILLO, A. 2016. *Trabajo Práctico. Análisis de Tormenta – Análisis de frecuencias de lluvias extremas. Tormenta del 5 de diciembre de 1970, en la cuenca del río Cachimán, Estado Zulia – Venezuela*. (Material de Enseñanza de Simulación hidrológica). Maestría en Manejo de Cuencas. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela. 3 p. Consultado el 14/06/2016.
- ✓ DELGADILLO, A. 2016. *Análisis Hidrometeorológico del evento del 03/09/2016*. Ponencia presentada en el I foro sobre emergencias meteorológicas ocurridas en

el valle del Mocotíes. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial CIDIAT, Mérida.

- ✓ DELGADILLO, A., FERRER, C. y TRINCA, D. 2016. *Amenazas hidrometeorológicas, climáticas e hidrológicas, evidencias geográficas de calentamiento global*. Revista Geográfica Venezolana. Vol. 57: (2). P.157 - 159.
- ✓ DELGADILLO, A. y MORENO, A. 2017. *Morfometría de Cuencas*. (Material de Enseñanza de Hidrología). Escuela de Geografía. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela. 10 p.
- ✓ DELGADILLO, A. y PÁEZ, G. 2008. *Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenarios de riesgo por crecidas*. En: Ferrer, C. y Dugarte, M. (coord.). Plan de desarrollo urbano del municipio Antonio Pinto Salinas bajo el enfoque de gestión de riesgo. Caracterización de la cuenca del valle de Mocotíes. Mérida. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) - Fundación para la Prevención de los Riesgos del Estado Mérida (FUNDAPRIS). 73 p. (Inédito).
- ✓ Diario El Nacional, 1950. 21 de Enero.
- ✓ Diario El Vigilante, 1969. 02 de Noviembre. Pág. 8
- ✓ Diario Frontera, 1994. 24 de Mayo. Pág. 7.
- ✓ Diario Frontera. 2005. 19 de noviembre. Pág. 8-C.
- ✓ Diario Pico Bolívar, 2010. 01 de diciembre. Pág. 3.
- ✓ Diario El Universal, 2011. 12 de Abril.
- ✓ Diario Frontera, 2011. 12 de abril. Pág.12-B.
- ✓ Diario Pico Bolívar, 2010. 01 de diciembre. Pág. 3.
- ✓ Diario Pico Bolívar, 2011. 28 de abril. Pág. 31.
- ✓ DIEZ, H. 2002. *Condicionantes geomorfológicos de las avenidas y cálculo de caudales y calados*. En: Ayala-Carcedo, F. y Olcina, J. (eds.). Riesgos naturales 921 - 952. Ediciones Ariel Ciencia. Barcelona - España.
- ✓ DIEZ, A y PUJADAS, J. 2002. *Mapas de riesgos de inundaciones*. En: Ayala-Carcedo, F. y Olcina, J. (eds.). Riesgos naturales. 997 – 1012. Ediciones Ariel Ciencia. Barcelona - España.
- ✓ DUGARTE, M. 2002. *Evaluación de áreas susceptibles a la ocurrencia de movimientos de masa en la cuenca del río Mocotíes del estado Mérida*. Trabajo presentado como requisito para optar al Título de Magíster Scientiae en Manejo de Cuencas. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
- ✓ DUGARTE, M. y FERRER, C. 2007a. *Tormenta de febrero 2005 en la cuenca del río Mocotíes (Andes merideños). Escenario de contrastes: El antes, durante y después*. Memorias del XI Encuentro de Geógrafos de América Latina. 1-21. Bogotá-Colombia. (26 al 30 de marzo) (CD-ROM; Mesa 3. Los Retos

Ambientales Hemisféricos, el Desarrollo Económico y la Sostenibilidad Ambiental).

- ✓ DUGARTE, M., FERRER, C. y DELGADILLO, A. 2014. Respuesta Hidrogeomórfica de una cuenca altamente asimétrica. La tormenta del año 2005 y su impacto en el río Mocotíes. Mérida - Venezuela. Revista Geográfica Venezolana. 56: (1). P.11-40.
- ✓ DUQUE, R. A. 1980. *Introducción a la Simulación Paramétrica de Sistemas Hidrológicos*. CIDIAT. Mérida – Venezuela.
- ✓ DUQUE, R. 2006a. *Programa AJUSTEV3*. Centro Interamericano de Investigación Ambiental y Territorial CIDIAT.
- ✓ DUQUE, R. 2006b. *Análisis de tormenta*. (Material de Enseñanza de Diseño Hidrológico). Maestría en Desarrollo de los Recursos de Aguas y Tierras. Mención: Ingeniería de Riego y Drenaje. Centro Interamericano de Investigación Ambiental y Territorial CIDIAT. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela. 13 p.
- ✓ DUQUE, R. 2010a. *Análisis de tormenta. Curvas Área-Profundidad-Duración. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia. Curvas  $k_a$  vs Área*. (Material de Simulación Paramétrica). Maestría en Desarrollo de los Recursos Aguas y Tierras. Mención: Planificación y Desarrollo de los Recursos Hidráulicos. Centro Interamericano de Investigación Ambiental y Territorial CIDIAT. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela. 20 p.
- ✓ DUQUE, R. 2010b. *Análisis de tormenta. Relación precipitación-escorrentía* (Material de Enseñanza de Simulación Paramétrica). Maestría en Desarrollo de los Recursos Aguas y Tierras. Mención: Planificación y Desarrollo de los Recursos Hidráulicos. Centro Interamericano de Investigación Ambiental y Territorial CIDIAT. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela. 20 p.
- ✓ DOUROJEANNI, A; JOURALEV, A Y CHÁVEZ, G. 2002. *Gestión del Agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. Serie recursos naturales e infraestructura. Publicaciones de las Naciones Unidas - Comunidad Económica para América Latina*. Santiago de Chile 83 p.
- ✓ ESTÉVEZ, R. 1993. Sismicidad. En: Schubert C. y L. Vivas. (eds.). *El Cuaternario de la Cordillera de Mérida, Andes venezolanos*. 246 – 256. Universidad de Los Andes – Fundación Polar. Mérida – Venezuela.
- ✓ ESTRADA, V. y REYES, A. 2011. *Modelación hidrológica del río Levisa con el modelo HEC–HMS*. Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental. 32: (2). P. 3 – 9.
- ✓ FATTORELLI, S. y FERNÁNDEZ, P. 2007. *Diseño Hidrológico*. Zeta Editores. Mendoza, Argentina. 604 p. + Apéndices.
- ✓ F.E.M.A. 2000. *Federal Emergency Management Agency. Guidelines for Determining Flood Hazards on Alluvial Fans*. U.S.A.

- ✓ FERRER, C. 2005. *Impacto geomorfológico del evento ocurrido el 11 de febrero en el valle del Mocotíes y en la vía Mérida - Panamericana. Foro: Tragedia en el Valle del Mocotíes, Causas y Medidas para una Gestión de Riesgos.* Publicaciones de la Corporación de los Andes. 9 - 16. Mérida-Venezuela (4 de marzo).
- ✓ FERRER, C.; ARISMENDI, V.; MENDEZ, O.; CARRERO, J.; GUITIERREZ, C. y SULBARAN, P. 1970. *Geomorfología de la cuenca del Mocotíes. Seminario de Geomorfología.* Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 42 p.
- ✓ FERRER, C. y DUGARTE, M. 2009. *Abanicos aluviales y conos de deyección, desde el punto de vista geomorfológico. Flujos de detritos. Represamientos y aludes sísmicos.* (Material de Enseñanza) Curso de actualización: "Zonificación de Riesgos de Inundación por Crecidas en Abanicos y Conos de Deyección de Deposición de Torrentes". Programa de Postgrado de Manejo de Cuencas hidrográficas. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 29 p.
- ✓ FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 1998. *El alud sísmico de La Playa: Causas y efectos. El terremoto de Bailadores (1610).* Revista Geográfica Venezolana. 39 (1 y 2): 23-86.
- ✓ FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 2004. *Una aproximación al estudio de niveles de susceptibilidad en un barrio ubicado en la ciudad de Mérida - Venezuela.* Revista Geográfica Venezolana. 45 (1): 11-34.
- ✓ GARCÍA, R.; LÓPEZ, J; NOYA, M.; BELLO, M.; GONZÁLEZ, N; PAREDES, G. y VIVAS, M. 2002. *Mapas de riesgo para eventos de flujo de barro y detritos en el estado de Vargas y Caracas.* Informe proyecto Ávila, Caracas, Venezuela.
- ✓ GARCÍA, S. (2008). *Identificación y jerarquización de áreas susceptibles a crecidas torrenciales en la subcuenca quebrada Mejías, municipio Antonio Pinto Salinas, estado Mérida.* Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela. Trabajo Especial de Grado, 114 p. (Inédito).
- ✓ GONZÁLEZ DE VALLEJO, FERRER, M.; ORTUÑO, L. y OTEO, C. 2002. *Ingeniería Geológica.* Prentice Hall. Madrid - España. 695 p.
- ✓ GONZÁLEZ, M; SCAINI, A; GOÑI, M; VALDENEBRO, J. y LÓPEZ, J. (2008). *Análisis del modelo HEC-HMS para la simulación de las avenidas del río Arga en Pamplona.* Universidad Pública de Navarra. Área de Proyectos Estratégicos. Ayuntamiento de Pamplona. P. 10.
- ✓ GONZÁLEZ, J.; OVALLES, Y.; RAMÍREZ, G.; RIPANTI, F. RIVAS, M.; SOTO, A.; y LEÓN, J. 2009. *Determinación de niveles de potencialidad torrencial de la cuenca del río Mocotíes.* Revista Forestal Venezolana. 53: (1). P.33-41.

- ✓ GUERRA, F. y GONZALES, J. 2002. *Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada La Bermeja, San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela*. GEOENSEÑANZA. Vol.7-2002 (1-2). 88-108 p.
- ✓ GUEVARA, E., Y CARTAYA, H. 1991. *Hidrología: una introducción a la ciencia hidrológica aplicada*. Universidad de Carabobo. Valencia-Venezuela. 358 p.
- ✓ GUEVARA, J. 2004. *Meteorología*. Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Caracas-Venezuela. 377 p.
- ✓ HERNÁNDEZ, E. y VALBUENA, J. 2001. *Las amenazas naturales, los riegos y la vulnerabilidad ambiental del poblamiento en el eje Chama – Mocotíes. Mérida – Venezuela*. Ponencia presentada en el IV Simposio Internacional de Desarrollo Sustentable. (p. 3-131). Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 2001
- ✓ INSTITUTO DE MECÁNICA DE FLUIDOS. 2005. *Impacto y prevención de inundaciones y aludes torrenciales en el valle de Caracas*. Instituto de Mecánica de Fluidos. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- ✓ INSTITUTO DE GESTIÓN DE RIESGOS, ADMINISTRACIÓN DE DESASTRES Y PROTECCIÓN CIVIL DEL ESTADO MÉRIDA. 2016. [Base de Datos en línea]. Consultada el 01/10/2016. Disponible en: <https://twitter.com/pcadmerida?lang=es>
- ✓ INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (INGEOMIN). 2005. *Proyecto Multinacional Andino: Geociencias Para Las Comunidades Andinas (Pma:Gca)*. [Online]. Consultado el 05/06/2012. Disponible en: <http://www.ingomin.gob.ve/parlamento/Proyecto%20Multinacional%20Andino.pdf>
- ✓ KELLER, E y DEVECCHIO, D. 2012. *Natural Hazards. Earth's Processes as Hazards, Disasters, and Catastrophes*. Prentice Hall - Pearson. New Jersey-USA. 578 p.
- ✓ LAFFAILLE, J.; FERRER, C. y DUGARTE, M. 2005 a. *Evaluación de campo del sector La Victoria - Santa Cruz de Mora - Tovar - San Francisco. Estudio preliminar de algunos de los efectos geomorfológicos del evento meteorológico observado el día 11 de febrero del año 2005*. Boletín de la Historia de las Geociencias en Venezuela. 28 - 36. Caracas-Venezuela. (Número 97, abril 2005).
- ✓ LAFFAILLE, J.; FERRER, C. y RINCÓN J. 2005b. *Antecedentes históricos de eventos meteorológicos ocurridos en el valle del río Mocotíes y su impacto geomorfológico*. Revista Geográfica Venezolana. Número Especial. P.297-311.
- ✓ LAMAS, J. 2005. Efecto social del evento de Santa Cruz de Mora. *Foro: Tragedia en el Valle del Mocotíes, Causas y Medidas para una Gestión de Riesgos*. Publicaciones de la Corporación de los Andes. 47-53. Mérida - Venezuela (4 de marzo).
- ✓ LINSLEY, R., KOHLER, M. y PAULHUS, J. 1977. *Hidrología para ingenieros*. Mc Graw - Hill. New York. 386 p.

- ✓ LÓPEZ, J. (ed.). 2010. *Lecciones aprendidas del desastre de Vargas. Aportes Científico - tecnológicos y experiencias nacionales en el campo de la prevención y mitigación de riesgos*. Editorial Gráficas Lauki. Caracas-Venezuela. 808 p.
- ✓ LLUÉN, W. y BLADE, E. 2015. *Aplicación de la nueva herramienta HEC-RAS 5.0 para cálculos bidimensionales del flujo de agua en ríos. Actas de las IV Jornadas de Ingeniería del Agua*. [Online]. Consultado el 14/01/2017. Disponible en: <http://www.uco.es/jia2015.pdf>.
- ✓ MATHUR, V. 2006. *Hacia el desarrollo sostenible mediante una gestión integrada de las crecidas*. Boletín de la OMM, 55: 3, 164 – 169. Organización Meteorológica Mundial.
- ✓ MARTELO, M. 2015. *El cambio climático global y sus posibles efectos en Venezuela*. El agua en Venezuela una riqueza escasa Fundación Polar (pp. 363-392). Caracas – Venezuela.
- ✓ MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES. 1984. *Atlas de Tormentas De Venezuela*. Dirección General Sectorial de Información e Investigación del Ambiente. Dirección de Hidrología Departamento de Investigaciones Hidrológicas. Caracas – Venezuela. 46 p.
- ✓ NANÍA, L. y MOLERO, E. 2007. *Manual básico de HEC-RAS y HEC-GeoRAS*. Área de Ingeniería Hidráulica y de Urbanismo y Ordenación del Territorio. Universidad de Granada.
- ✓ ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM) 1994. *Guía de prácticas hidrológicas. Adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones*. Nº 168. 818 p.
- ✓ ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM) Y ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA (UNESCO). 2012. *Glosario Hidrológico Internacional*. OMM-No. 978-92-63-03385-8. UNESCO-No 978-92-3-001154-3. 471 p.
- ✓ OVALLES, Y. 2007. *Estimación de crecidas máximas*. (Material de Enseñanza de Hidrología). Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela. 23 p.
- ✓ OVALLES, Y. y MÉNDEZ, E. 2011. *Ordenación y desarrollo de cuencas hidrográficas*. Talleres gráficos universitarios, Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela. 209 p.
- ✓ PÁEZ, G. 2005. *Cartografía hidrogeomorfológica de la amenaza torrencial del evento del 11/02/2005; sección media inferior del río Mocotíes*. 10 p. (Inédito).
- ✓ PÁEZ, G. 2010. *Zonificación de amenazas naturales con fines de ordenamiento territorial. Caso: Parroquia Santa Cruz de Mora, municipio Antonio Pinto Salinas - estado Mérida*. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela. Tesis Magister Scientiae en Ordenación del Territorio y Ambiente. 203 p.

- ✓ Pimstein, L. 2014. *Plan de gestión de riesgo local ante un evento hidrológico en la quebrada El Rincón. Municipio Libertador. Estado Mérida.* Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela. Tesis Magister Scientiae en Gestión de los Recursos Naturales Renovables y Ambiente. 102 p.
- ✓ PORTA, J., LÓPEZ, M. y ROQUERO, C. 2003. *Edafología para agricultura y medio ambiente.* Ediciones Mundi - Prensa. Madrid. Barcelona. México. 929 p.
- ✓ PREVENE. 2001. *Proyecto Prevene: Aporte a la prevención de desastres naturales en Venezuela.* Cooperación Venezuela - Suiza – PNUD. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. Caracas.
- ✓ PROGRAMA ASOCIADO DE GESTIÓN DE CRECIENTES. 2004. *Gestión Integrada de Crecientes. Documento Conceptual.* Organización Meteorológica Mundial - Asociación Mundial del Agua. 30 p.
- ✓ PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD) - Proyecto VEN-00051046. *Plan de Desarrollo Urbano del Municipio Antonio Pinto Salinas del Estado Mérida.* 2010. Bajo el enfoque de Gestión de Riesgo. Proceso SDP/182.
- ✓ QUIÑONES, E. y DAL POZZO, F. 2011. *Visualización de zonas de desborde usando HEC-GeoRAS. Microcuenca del río la Pedregosa, estado Mérida-Venezuela.* Revista Geográfica Venezolana, Vol. 53(1) 2012, P. 77-91
- ✓ REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2000. *Constitución de la República Bolivariana de Venezuela.* Gaceta oficial N° 5.453 Extraordinario. Caracas, 24 de marzo. 144 p.
- ✓ REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2009. *Dirección Municipal de Protección Civil y Administración de Desastres del municipio Antonio Pinto Salinas.* Ordenanza municipal N°17 en mayo de 2009.
- ✓ REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2001. Instituto de gestión de Riesgos, Administración de Desastres y Protección Civil del Estado Mérida, creado según Gaceta Oficial N° 239, 6 de agosto de 2001.
- ✓ REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2007. *Ley de Aguas.* Gaceta Oficial N° 38.595. Caracas 2 de Enero. 44 p.
- ✓ REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2009. *Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos.* Gaceta Oficial N° 39.095. Caracas, 9 de enero. 32 p.
- ✓ REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2006. *Ley Orgánica del Ambiente.* Gaceta Oficial N° 5833. Caracas 22 de diciembre. 52 p.
- ✓ REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2006. *Ley de Meteorología e Hidrología Nacional.* Gaceta Oficial N° 5833 del 22 de diciembre 13 p.
- ✓ REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2002. *Ley Orgánica de Seguridad de la Nación* según Gaceta Oficial N° 37594 del 18 diciembre 18 p.

- ✓ RINCÓN, J. LEÓN, J. y GRATEROL, J. 2015. Análisis comparativo de los modelos HEC-RAS y BRI-STARS en la evaluación hidráulica de puentes considerando el lecho fijo. *Revista Ingeniería UC*, Vol. 22, No. 3, Diciembre 2015 41 – 51. [Online]. Consultado el 24/01/2017. Disponible en: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v22n3/art04.pdf>
- ✓ RODRÍGUEZ, E. GONZÁLEZ, R. MEDINA, M. PARDO, Y. y SANTOS, A. 2007. *Propuesta metodológica para la generación de mapas de inundación y clasificación de zonas de amenaza. Caso de estudio en la parte baja del Río Las Ceibas (Neiva- Huila)*. *Avances en Recursos Hidráulicos - Número 16*, Octubre de 2007, 65 – 78. Medellín – Colombia.
- ✓ RODRÍGUEZ, Y. 2015. *Simulación hidrológica en dos subcuencas de la cuenca del río Zaza de Cuba*. *Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. 36: (2). P.109 - 123.
- ✓ ROJAS, M. 2010. *Gestión de Riesgos de desastres un elemento fundamental en el desarrollo sostenible, caso de estudio: Municipio Antonio Pinto Salinas; Mérida, Venezuela*. GEOMINAS. 38 (52): 85-88.
- ✓ ROJAS, R. 2005. *Evaluación preliminar del modelo HEC-HMS*. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Facultad de Ciencias Forestales y ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 24 p.
- ✓ ROJAS, Y. 2017. *Simulación de crecidas del río Albarregas empleando el modelo HEC-HMS. Mérida – Venezuela*. Trabajo presentado como requisito para optar al Título de Geógrafo. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
- ✓ SALA, S. y BATALLA, R 1999. *Teoría y Métodos en Geografía Física*. Editorial Síntesis. Madrid España. 302 p.
- ✓ SÁNCHEZ, F. 2015. *HEC-HMS. Manual Elemental*. Departamento de Geología. Universidad de Salamanca. España. [Online]. Consultado el 24/02/2017. Disponible en: <http://hidrologia.usal.es/Complementos/Hec-hms-4.pdf>.
- ✓ SCHARFFENBERG, F. y FLEMING, M. 2010. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS. User's Manual*. Washington, DC - USA. 318 p.
- ✓ SCHUBERT, C., y VIVAS, L. 1993. *El Cuaternario de la cordillera de Mérida. Andes Venezolanos*. Universidad de los Andes - Fundación Polar. Mérida - Venezuela. 345 p.
- ✓ SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (SENAMHI). 2002. *HEC-RAS*. <http://www.senamhi.gob.pe> (03-06-02).
- ✓ SILVA, G. 1990. *Estudio de las crecientes del río Albarregas y la Quebrada Milla, estado Mérida. Bases para un Plan de Prevención de Daños*. División de Planificación y Ordenación del Ambiente. Región Mérida. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. 97 p.
- ✓ SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ (SIRE). 2002. *Conceptualización de*

Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo.

<http://www.sire.gov.co/Inundacion/amenaza.htm> (03-06-02).

- ✓ SUPERLANO, W. 2010. *Estudio de crecidas máximas usando el modelo de simulación hidrológica HEC-HMS en la subcuenca San Francisco, municipio Tovar, estado Mérida*. Trabajo presentado como requisito para optar al Título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
- ✓ STARKEL, L. 1976. *The role of extreme (catastrophic) meteorological events in contemporary evolution of slopes*. En: Derbyshire, E (ed.). *Geomorphology and Climate*. 203 - 246. John Wiley & Sons. London - New York - Sydney - Toronto.
- ✓ TANAKA, S. 2006. *Mapas de las zonas susceptibles de sufrir crecidas en Japón*. Boletín de la OMM, 55: 3, 166 – 167. Organización Meteorológica Mundial.
- ✓ TORRES, E; SÁENZ, E; CEDILLO, L; PALACIOS E; GARCÍA, A; y FREZIERES, J. 2008. *Adaptación de un modelo de simulación Hidrológica a la cuenca del río Laja, Guanajuato*. Manejo Integral de Cuencas S.A de C.V. Texcoco, México.
- ✓ TORRES, E. y GONZÁLEZ, E. 2012. *Aplicación del modelo de simulación hidráulica HEC-RAS para la emisión de pronósticos hidrológicos de inundaciones en tiempo real, en la cuenca media del río Bogotá sector Alicachin*. Grupo TECNOAMBIENTAL. Universidad Libre.
- ✓ UMAÑA, B. 2014. *Análisis hidrológico de la cuenca del río Toyogres utilizando el modelo HEC-HMS*. Trabajo presentado como requisito para optar al Título de Licenciatura en ingeniería en construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería en construcción.
- ✓ UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USGS) - LAND COVER INSTITUTE. 2011. *National Land Cover Database (NLCD-2011)*. Disponible en: <http://landcover.usgs.gov/glc/>. [Consulta: Abril de 2019].
- ✓ VALENCIA, F. y GUEVARA, E. 2014. *Validación del modelo HEC-HMS en la cuenca del río Cabriales para el análisis hidrológico*. Revista de Ingeniería – Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales (CIHAM) Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela. 21: (1). P. 36 - 49.
- ✓ VÉLEZ, J. RAVE, C; CABALLERO, H. MONTES, L. ESCOBAR, D; ARANGO, A; CUADRADO, A. y SMITH, R. 2004. *Retiros en cuencas urbanas*. Ponencia presentada en el XVI Seminario Nacional de Hidráulica e hidrología. Sociedad Colombiana de Ingenieros, Universidad del Quindío, Armenia, Colombia.
- ✓ VILLÓN, M. 2008. *HEC-HMS. Ejemplos*. Ediciones Villón. Lima-Perú. 371 p.
- ✓ WHITTOW, J. 1984. *Diccionario de geografía física*. Alianza Editorial S. A. Madrid España.
- ✓ ZAMORA, R. 2002. *Glosario de términos relacionados con riesgos y desastres*. En: Ayala-Carcedo, F. y Olcina, J. (eds.). *Riesgos naturales*. 950 - 972. Ediciones Ariel Ciencia. Barcelona – España.

## REFERENCIAS CITADAS

- ✓ ACKERMAN, C. 2009. *HEC-GeoRAS. Manual de Usuario. Versión 4.2*. US Army Corps of Engineers. 246 p.
- ✓ ANDRESSEN, R. 2001. *Amenazas, riegos y vulnerabilidad de la ciudad de Mérida*. Foro: *Vulnerabilidad y riesgos de la ciudad de Mérida*. 33 - 37. CORPOANDES. Mérida-Venezuela (15-16 de noviembre). Academia de Mérida. Publicación. realizada en diciembre de 2006, por el Fondo Editorial “El Cobijo”.
- ✓ APARICIO, F. 1989. *Fundamentos de hidrología de superficie*. Editorial Limusa S.A. Grupo Noriega Editores. México D.F - México. 303 p.
- ✓ APARICIO, F. 2011. *Fundamentos de hidrología de superficie*. Editorial Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. México, D.F- México. 303 p.
- ✓ ARTEAGA, M. 2017. *Evaluación del modelo Hidrológico HEC-HMS para la predicción hidrológica y de crecidas en la cuenca baja del río Cañar*. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Escuela Politécnica Nacional. Quito - Ecuador. 171 p.
- ✓ AUDEMARD, F. 1998. *Contribución de la Paleosismología a la sismicidad histórica: Los terremotos de 1610 y 1894 en los Andes venezolanos meridionales*. Revista Geográfica Venezolana. 39 (1 y 2): 87-105.
- ✓ AYALA, F. y OLCINA, J. 2002. *Riesgos Naturales. Conceptos fundamentales y clasificación*. En: Ayala-Carcedo, F. y Olcina, J. (eds.). *Riesgos naturales*. 950 - 972. Ediciones Ariel Ciencia. Barcelona – España.
- ✓ AYALA, R.; PÁEZ, G. y ARAQUE, F. 2007. *Análisis geomorfológico de la microcuenca El Guayabal, a propósito de la ocurrencia de las lluvias excepcionales de febrero 2005. Cuenca del río Mocotíes, estado Mérida Venezuela*. Revista Geográfica Venezolana. 48: (1) 59-82.
- ✓ BARRIOS, A., RIVAS, F. y VIDAL, R. 2012. *Evaluación de la amenaza torrencial en la vía principal, troncal 5 de la cuenca del río Mocotíes, Mérida-Venezuela*. Informe final. p. 17. Trabajo presentado por el INSTITUTO FORESTAL LATINOAMERICANO (IFLA) y MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA EL AMBIENTE (MPPA).
- ✓ BASTIDAS, J. 2007. *Nociones de Hidrografía*. Consejo de Publicaciones. Vicerrectorado Académico. Universidad de Los Andes. Mérida – Venezuela. 156 p.
- ✓ BENITO, G. 2002. *Crecidas e Inundaciones*. En: Ayala-Carcedo, F. y Olcina, J. (eds.). *Riesgos naturales*. 920 - 954. Ediciones Ariel Ciencia. Barcelona - España.
- ✓ BLANDÓN, J.; ESTEVA, Y.; HERNÁNDEZ, A.; MONTES, R.; MONTILLA, J.; MUÑOZ, L. Y N. UREÑA. 2006. *Plan de ordenación del territorio del municipio Antonio Pinto Salinas – Edo. Mérida: Respuesta a una vaguada*. Instituto de

Geografía y Conservación de los Recursos Naturales. Universidad de Los Andes. Mérida – Venezuela. 158 p.

- ✓ BONGIORNO, F., GONZÁLEZ, L., BELANDRIA, N., y PÉREZ, R. 2010. *Análisis de vulnerabilidad y aspectos geológicos influyentes en los sucesos del año 2005 en el Valle del Mocotíes Estado Mérida*. Universidad de Los Andes. Escuela de Ing. Geológica. Facultad de Ingeniería. Grupo de Investigaciones en Geología Aplicada (GIGA). Mérida, Venezuela.
- ✓ BREÑA, A. y VILLA, M. 2006. *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Coordinación General de Vinculación y Desarrollo Institucional*. Rectoría General de la Universidad Autónoma Metropolitana. Distrito Federal – México. 289 p.
- ✓ CAMARASA, A. 2002. Crecidas e Inundaciones. En: Ayala-Carcedo, F. y Olcina, J. (eds.). *Riesgos naturales*. 859 - 877. Ediciones Ariel Ciencia. Barcelona - España.
- ✓ CASTILLO, M. y CASTILLO, J. 1970. *Clasificación interpretativa de los suelos y condiciones del clima en la cuenca del Mocotíes, estado Mérida*. Revista Geográfica Venezolana. XI: (24 - 25) 55 - 67. (Publicada en 1974).
- ✓ CASTILLO, J.; SALAS, F.; TRUCIC, M. y MARANTE, R. 1972. *Estudio integral de la cuenca de los ríos Chama y Capazón - Subproyecto N° 1 Suelos - Oficina de Publicaciones Geográficas*. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. U.L.A. - Mérida. 130 p. (Inédito).
- ✓ CÁRDENAS, P. 2008. *Manual de cálculo hidrológico e hidráulico a emplearse en estructuras de paso en ríos*. Trabajo presentado como requisito para optar al Título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
- ✓ CHOW, V., MAIDMENT, D., y MAYS, L. 1994. *Hidrología aplicada*. Mc-Graw Hill. Santa Fe de Bogotá, Colombia. 594 p.
- ✓ CHOW, V.T 1956. *Hydrologic studies of flood in the United States*. International Association Science Hydrological. 42. 134 - 170.
- ✓ CLAURE, P. 2016. *Modelación Hidrológica de la cuenca Lluska Mayu considerando el tránsito de avenidas en el embalse*. Diplomado en Modelación Hidrológica para la Gestión Integral de Cuencas. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba-Bolivia.[Online]. Consultado el 14/04/2018. Disponible en: <http://hdl.handle.net/123456789/5097>. [Consulta: Julio, 2016].
- ✓ COLOMA, A. 2015. *Simulación hidrológica e hidráulica del río Tambo, Sector Santa Rosa, Distrito de Cocachacra, Provincia de Islay, departamento de Arequipa*. Trabajo presentado como requisito para optar al Título de Ingeniero Agrícola. Facultad de Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú.
- ✓ CÓRDOVA, J. y LÓPEZ, J. 2015. *Eventos extremos: inundaciones, deslaves y sequías*. En: Gabaldón, A., Rosales, A., Buroz, E., Córdova, J., Uzcátegui, G. y

- Iskandar, L. (eds.). Agua en Venezuela: una riqueza escasa. 289 – 349. Fundación Empresas Polar. Caracas – Venezuela.
- ✓ COURTEL, F.; LÓPEZ, J. y GARCÍA, R. 2010. *Mapeo de amenazas por inundaciones y aludes torrenciales: Aplicación en el estado Vargas y el Valle de Caracas*. En: López, J. (ed.). *Lecciones Aprendidas del desastre de Vargas*: 555-569. Fundación Empresas Polar – Universidad Central de Venezuela.
  - ✓ CUERVO, V. 2011. *Flujos de detritos y otros procesos hidrogeomorfológicos en dos cuencas de los Andes centrales venezolanos: Una contribución a la zonificación de amenazas en abanicos aluviales*. Maestría en manejo de Cuencas Hidrográficas. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela. Trabajo Especial de Grado. (Inédito). 148 p.
  - ✓ DAS, S., GUPTA, R. y VARMA, H. 2007. *Gestión de crecidas y sequía mediante el desarrollo de los recursos hídricos en la India*. Boletín de la OMM, 56: 3, 179 – 188. Organización Meteorológica Mundial.
  - ✓ DÁVILA, M. y REQUENA, M. 2004. *Zonificación de la amenaza hidrológica en un cono de deyección usando modelos de Simulación Hidrológica e Hidráulica. Aplicación a la quebrada La Pedregosa, sector La Pedregosa, estado Mérida*. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Trabajo Especial de Grado. (Inédito). 217 p.
  - ✓ DELGADILLO, A. 2014. *Evaluación de las amenazas por crecidas del río Mocotíes en Tovar y Santa Cruz de Mora, con especial énfasis en el evento hidrometeorológico de febrero de 2005*. Trabajo presentado como requisito para optar al Título de Magíster Scientiae en Manejo de Cuencas. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
  - ✓ DELGADILLO, A. 2016. *Trabajo Práctico. Análisis de Tormenta – Análisis de frecuencias de lluvias extremas. Tormenta del 5 de diciembre de 1970, en la cuenca del río Cachimán, Estado Zulia – Venezuela*. (Material de Enseñanza de Simulación hidrológica). Maestría en Manejo de Cuencas. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela. 3 p. Consultado el 14/06/2016.
  - ✓ DELGADILLO, A. 2016. *Análisis Hidrometeorológico del evento del 03/09/2016*. Ponencia presentada en el I foro sobre emergencias meteorológicas ocurridas en el valle del Mocotíes. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial CIDIAT, Mérida.
  - ✓ DELGADILLO, A., FERRER, C. y TRINCA, D. 2016. *Amenazas hidrometeorológicas, climáticas e hidrológicas, evidencias geográficas de calentamiento global*. Revista Geográfica Venezolana. Vol. 57: (2). P.157 - 159.

- ✓ DELGADILLO, A. y MORENO, A. 2017. *Morfometría de Cuencas*. (Material de Enseñanza de Hidrología). Escuela de Geografía. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela. 10 p.
- ✓ DELGADILLO, A. y PÁEZ, G. 2008. *Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenarios de riesgo por crecidas*. En: Ferrer, C. y Dugarte, M. (coord.). Plan de desarrollo urbano del municipio Antonio Pinto Salinas bajo el enfoque de gestión de riesgo. Caracterización de la cuenca del valle de Mocotíes. Mérida. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) - Fundación para la Prevención de los Riesgos del Estado Mérida (FUNDAPRIS). 73 p. (Inédito).
- ✓ Diario El Nacional, 1950. 21 de Enero.
- ✓ Diario El Vigilante, 1969. 02 de Noviembre. Pág. 8
- ✓ Diario Frontera, 1994. 24 de Mayo. Pág. 7.
- ✓ Diario Frontera. 2005. 19 de noviembre. Pág. 8-C.
- ✓ Diario Pico Bolívar, 2010. 01 de diciembre. Pág. 3.
- ✓ Diario El Universal, 2011. 12 de Abril.
- ✓ Diario Frontera, 2011. 12 de abril. Pág.12-B.
- ✓ Diario Pico Bolívar, 2010. 01 de diciembre. Pág. 3.
- ✓ Diario Pico Bolívar, 2011. 28 de abril. Pág. 31.
- ✓ DIEZ, H. 2002. *Condicionantes geomorfológicos de las avenidas y cálculo de caudales y calados*. En: Ayala-Carcedo, F. y Olcina, J. (eds.). Riesgos naturales 921 - 952. Ediciones Ariel Ciencia. Barcelona - España.
- ✓ DIEZ, A y PUJADAS, J. 2002. *Mapas de riesgos de inundaciones*. En: Ayala-Carcedo, F. y Olcina, J. (eds.). Riesgos naturales. 997 – 1012. Ediciones Ariel Ciencia. Barcelona - España.
- ✓ DUGARTE, M. 2002. *Evaluación de áreas susceptibles a la ocurrencia de movimientos de masa en la cuenca del río Mocotíes del estado Mérida*. Trabajo presentado como requisito para optar al Título de Magíster Scientiae en Manejo de Cuencas. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
- ✓ DUGARTE, M. y FERRER, C. 2007a. *Tormenta de febrero 2005 en la cuenca del río Mocotíes (Andes merideños). Escenario de contrastes: El antes, durante y después*. Memorias del XI Encuentro de Geógrafos de América Latina. 1-21. Bogotá-Colombia. (26 al 30 de marzo) (CD-ROM; Mesa 3. Los Retos Ambientales Hemisféricos, el Desarrollo Económico y la Sostenibilidad Ambiental).
- ✓ DUGARTE, M., FERRER, C. y DELGADILLO, A. 2014. *Respuesta Hidrogeomórfica de una cuenca altamente asimétrica. La tormenta del año 2005 y su impacto en el río Mocotíes*. Mérida - Venezuela. Revista Geográfica Venezolana. 56: (1). P.11-40.

- ✓ DUQUE, R. A. 1980. *Introducción a la Simulación Paramétrica de Sistemas Hidrológicos*. CIDIAT. Mérida – Venezuela.
- ✓ DUQUE, R. 2006a. *Programa AJUSTEV3*. Centro Interamericano de Investigación Ambiental y Territorial CIDIAT.
- ✓ DUQUE, R. 2006b. *Análisis de tormenta*. (Material de Enseñanza de Diseño Hidrológico). Maestría en Desarrollo de los Recursos de Aguas y Tierras. Mención: Ingeniería de Riego y Drenaje. Centro Interamericano de Investigación Ambiental y Territorial CIDIAT. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela. 13 p.
- ✓ DUQUE, R. 2010a. *Análisis de tormenta. Curvas Área-Profundidad-Duración. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia. Curvas  $k_a$  vs Área*. (Material de Simulación Paramétrica). Maestría en Desarrollo de los Recursos Aguas y Tierras. Mención: Planificación y Desarrollo de los Recursos Hidráulicos. Centro Interamericano de Investigación Ambiental y Territorial CIDIAT. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela. 20 p.
- ✓ DUQUE, R. 2010b. *Análisis de tormenta. Relación precipitación-escorrentía* (Material de Enseñanza de Simulación Paramétrica). Maestría en Desarrollo de los Recursos Aguas y Tierras. Mención: Planificación y Desarrollo de los Recursos Hidráulicos. Centro Interamericano de Investigación Ambiental y Territorial CIDIAT. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela. 20 p.
- ✓ DOUROJEANNI, A; JOURALEV, A Y CHÁVEZ, G. 2002. *Gestión del Agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. Serie recursos naturales e infraestructura. Publicaciones de las Naciones Unidas - Comunidad Económica para América Latina*. Santiago de Chile 83 p.
- ✓ ESTÉVEZ, R. 1993. Sismicidad. En: Schubert C. y L. Vivas. (eds.). *El Cuaternario de la Cordillera de Mérida, Andes venezolanos*. 246 – 256. Universidad de Los Andes – Fundación Polar. Mérida – Venezuela.
- ✓ ESTRADA, V. y REYES, A. 2011. *Modelación hidrológica del río Levisa con el modelo HEC-HMS*. Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental. 32: (2). P. 3 – 9.
- ✓ FATTORELLI, S. y FERNÁNDEZ, P. 2007. *Diseño Hidrológico*. Zeta Editores. Mendoza, Argentina. 604 p. + Apéndices.
- ✓ F.E.M.A. 2000. *Federal Emergency Management Agency. Guidelines for Determining Flood Hazards on Alluvial Fans*. U.S.A.
- ✓ FERRER, C. 2005. *Impacto geomorfológico del evento ocurrido el 11 de febrero en el valle del Mocotíes y en la vía Mérida - Panamericana. Foro: Tragedia en el Valle del Mocotíes, Causas y Medidas para una Gestión de Riesgos*. Publicaciones de la Corporación de los Andes. 9 - 16. Mérida-Venezuela (4 de marzo).
- ✓ FERRER, C.; ARISMENDI, V.; MENDEZ, O.; CARRERO, J.; GUITIERREZ, C. y SULBARAN, P. 1970. *Geomorfología de la cuenca del Mocotíes. Seminario de*

*Geomorfología*. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 42 p.

- ✓ FERRER, C. y DUGARTE, M. 2009. *Abanicos aluviales y conos de deyección, desde el punto de vista geomorfológico. Flujos de detritos. Represamientos y aludes sísmicos*. (Material de Enseñanza) Curso de actualización: “Zonificación de Riesgos de Inundación por Crecidas en Abanicos y Conos de Deyección de Deposición de Torrentes”. Programa de Postgrado de Manejo de Cuencas hidrográficas. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 29 p.
- ✓ FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 1998. *El alud sísmico de La Playa: Causas y efectos. El terremoto de Bailadores (1610)*. Revista Geográfica Venezolana. 39 (1 y 2): 23-86.
- ✓ FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 2004. *Una aproximación al estudio de niveles de susceptibilidad en un barrio ubicado en la ciudad de Mérida - Venezuela*. Revista Geográfica Venezolana. 45 (1): 11-34.
- ✓ GARCÍA, R.; LÓPEZ, J; NOYA, M.; BELLO, M.; GONZÁLEZ, N; PAREDES, G. y VIVAS, M. 2002. *Mapas de riesgo para eventos de flujo de barro y detritos en el estado de Vargas y Caracas*. Informe proyecto Ávila, Caracas, Venezuela.
- ✓ GARCÍA, S. (2008). *Identificación y jerarquización de áreas susceptibles a crecidas torrenciales en la subcuenca quebrada Mejías, municipio Antonio Pinto Salinas, estado Mérida*. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida – Venezuela. Trabajo Especial de Grado, 114 p. (Inédito).
- ✓ GONZÁLEZ DE VALLEJO, FERRER, M.; ORTUÑO, L. y OTEO, C. 2002. *Ingeniería Geológica*. Prentice Hall. Madrid - España. 695 p.
- ✓ GONZÁLEZ, M; SCAINI, A; GOÑI, M; VALDENEBRO, J. y LÓPEZ, J. (2008). *Análisis del modelo HEC-HMS para la simulación de las avenidas del río Arga en Pamplona*. Universidad Pública de Navarra. Área de Proyectos Estratégicos. Ayuntamiento de Pamplona. P. 10.
- ✓ GONZÁLEZ, J.; OVALLES, Y.; RAMÍREZ, G.; RIPANTI, F. RIVAS, M.; SOTO, A.; y LEÓN, J. 2009. Determinación de niveles de potencialidad torrencial de la cuenca del río Mocotíes. Revista Forestal Venezolana. 53: (1). P.33-41.
- ✓ GUERRA, F. y GONZALES, J. 2002. *Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada La Bermeja, San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela*. GEOENSEÑANZA. Vol.7-2002 (1-2). 88-108 p.
- ✓ GUEVARA, E., Y CARTAYA, H. 1991. *Hidrología: una introducción a la ciencia hidrológica aplicada*. Universidad de Carabobo. Valencia-Venezuela. 358 p.
- ✓ GUEVARA, J. 2004. *Meteorología*. Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Caracas-Venezuela. 377 p.
- ✓ HERNÁNDEZ, E. y VALBUENA, J. 2001. *Las amenazas naturales, los riegos y la vulnerabilidad ambiental del poblamiento en el eje Chama – Mocotíes*. Mérida –

Venezuela. Ponencia presentada en el IV Simposio Internacional de Desarrollo Sustentable. (p. 3-131). Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 2001

- ✓ INSTITUTO DE MECÁNICA DE FLUIDOS. 2005. *Impacto y prevención de inundaciones y aludes torrenciales en el valle de Caracas*. Instituto de Mecánica de Fluidos. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- ✓ INSTITUTO DE GESTIÓN DE RIESGOS, ADMINISTRACIÓN DE DESASTRES Y PROTECCIÓN CIVIL DEL ESTADO MÉRIDA. 2016. [Base de Datos en línea]. Consultada el 01/10/2016. Disponible en: <https://twitter.com/pcadmerida?lang=es>
- ✓ INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (INGEOMIN). 2005. *Proyecto Multinacional Andino: Geociencias Para Las Comunidades Andinas (Pma:Gca)*. [Online]. Consultado el 05/06/2012. Disponible en: <http://www.ingomin.gob.ve/parlamento/Proyecto%20Multinacional%20Andino.pdf>
- ✓ KELLER, E y DEVECCHIO, D. 2012. *Natural Hazards. Earth's Processes as Hazards, Disasters, and Catastrophes*. Prentice Hall - Pearson. New Jersey-USA. 578 p.
- ✓ LAFFAILLE, J.; FERRER, C. y DUGARTE, M. 2005a. *Evaluación de campo del sector La Victoria - Santa Cruz de Mora - Tovar - San Francisco. Estudio preliminar de algunos de los efectos geomorfológicos del evento meteorológico observado el día 11 de febrero del año 2005*. Boletín de la Historia de las Geociencias en Venezuela. 28 - 36. Caracas-Venezuela. (Número 97, abril 2005).
- ✓ LAFFAILLE, J.; FERRER, C. y RINCÓN J. 2005b. *Antecedentes históricos de eventos meteorológicos ocurridos en el valle del río Mocotíes y su impacto geomorfológico*. Revista Geográfica Venezolana. Número Especial. P.297-311.
- ✓ LAMAS, J. 2005. Efecto social del evento de Santa Cruz de Mora. *Foro: Tragedia en el Valle del Mocotíes, Causas y Medidas para una Gestión de Riesgos*. Publicaciones de la Corporación de los Andes. 47-53. Mérida - Venezuela (4 de marzo).
- ✓ LINSLEY, R., KOHLER, M. y PAULHUS, J. 1977. *Hidrología para ingenieros*. Mc Graw - Hill. New York. 386 p.
- ✓ LÓPEZ, J. (ed.). 2010. *Lecciones aprendidas del desastre de Vargas. Aportes Científico - tecnológicos y experiencias nacionales en el campo de la prevención y mitigación de riesgos*. Editorial Gráficas Lauki. Caracas-Venezuela. 808 p.
- ✓ LLUÉN, W. y BLADE, E. 2015. *Aplicación de la nueva herramienta HEC-RAS 5.0 para cálculos bidimensionales del flujo de agua en ríos*. Actas de las IV Jornadas de Ingeniería del Agua.[Online]. Consultado el 14/01/2017. Disponible en: <http://www.uco.es/jia2015.pdf>.

- ✓ MATHUR, V. 2006. *Hacia el desarrollo sostenible mediante una gestión integrada de las crecidas*. Boletín de la OMM, 55: 3, 164 – 169. Organización Meteorológica Mundial.
- ✓ MARTELO, M. 2015. *El cambio climático global y sus posibles efectos en Venezuela*. El agua en Venezuela una riqueza escasa Fundación Polar (pp. 363-392). Caracas – Venezuela.
- ✓ MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES. 1984. *Atlas de Tormentas De Venezuela*. Dirección General Sectorial de Información e Investigación del Ambiente. Dirección de Hidrología Departamento de Investigaciones Hidrológicas. Caracas – Venezuela. 46 p.
- ✓ NANÍA, L. y MOLERO, E. 2007. Manual básico de HEC-RAS y HEC-GeoRAS. Área de Ingeniería Hidráulica y de Urbanismo y Ordenación del Territorio. Universidad de Granada.
- ✓ ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM) 1994. Guía de prácticas hidrológicas. Adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones. N° 168. 818 p.
- ✓ ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM) Y ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA (UNESCO). 2012. *Glosario Hidrológico Internacional*. OMM-No. 978-92-63-03385-8. UNESCO-No 978-92-3-001154-3. 471 p.
- ✓ OVALLES, Y. 2007. *Estimación de crecidas máximas*. (Material de Enseñanza de Hidrología). Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela. 23 p.
- ✓ OVALLES, Y. y MÉNDEZ, E. 2011. *Ordenación y desarrollo de cuencas hidrográficas*. Talleres gráficos universitarios, Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela. 209 p.
- ✓ PÁEZ, G. 2005. *Cartografía de los procesos hidrogeomorfológicos del 11/02/2005; en la margen izquierda del río Mocotíes*. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela. (Inédito).
- ✓ PÁEZ, G. 2010. *Zonificación de amenazas naturales con fines de ordenamiento territorial. Caso: Parroquia Santa Cruz de Mora, municipio Antonio Pinto Salinas - estado Mérida*. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela. Tesis Magister Scientiae en Ordenación del Territorio y Ambiente. 203 p.
- ✓ PÉREZ J. 1979. *Fundamentos del ciclo hidrológico*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Departamento de Meteorología e Hidrología. Caracas - Venezuela. 01 - 38.
- ✓ PORTA, J., LÓPEZ, M. y ROQUERO, C. 2003. *Edafología para agricultura y medio ambiente*. Ediciones Mundi - Prensa. Madrid. Barcelona. México. 929 p.

- ✓ PREVENE. 2001. *Proyecto Prevене: Aporte a la prevención de desastres naturales en Venezuela*. Cooperación Venezuela - Suiza – PNUD. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. Caracas.
- ✓ PROGRAMA ASOCIADO DE GESTIÓN DE CRECIENTES. 2004. *Gestión Integrada de Crecientes. Documento Conceptual*. Organización Meteorológica Mundial - Asociación Mundial del Agua. 30 p.
- ✓ PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD) - Proyecto VEN-00051046. *Plan de Desarrollo Urbano del Municipio Antonio Pinto Salinas del Estado Mérida*. 2010. Bajo el enfoque de Gestión de Riesgo. Proceso SDP/182.
- ✓ QUIÑONES, E. y DAL POZZO, F. 2011. *Visualización de zonas de desborde usando HEC-GeoRAS. Microcuenca del río la Pedregosa, estado Mérida-Venezuela*. Revista Geográfica Venezolana, Vol. 53(1) 2012, P. 77-91
- ✓ REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2000. *Constitución de la República Bolivariana de Venezuela*. Gaceta oficial N° 5.453 Extraordinario. Caracas, 24 de marzo. 144 p.
- ✓ REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2009. *Dirección Municipal de Protección Civil y Administración de Desastres del municipio Antonio Pinto Salinas*. Ordenanza municipal N°17 en mayo de 2009.
- ✓ REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2001. Instituto de gestión de Riesgos, Administración de Desastres y Protección Civil del Estado Mérida, creado según Gaceta Oficial N° 239, 6 de agosto de 2001.
- ✓ REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2007. *Ley de Aguas*. Gaceta Oficial N° 38.595. Caracas 2 de Enero. 44 p.
- ✓ REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2009. *Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos*. Gaceta Oficial N° 39.095. Caracas, 9 de enero. 32 p.
- ✓ REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2006. *Ley Orgánica del Ambiente*. Gaceta Oficial N° 5833. Caracas 22 de diciembre. 52 p.
- ✓ REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2006. *Ley de Meteorología e Hidrología Nacional*. Gaceta Oficial N° 5833 del 22 de diciembre 13 p.
- ✓ REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2002. *Ley Orgánica de Seguridad de la Nación* según Gaceta Oficial N° 37594 del 18 diciembre 18 p.
- ✓ RINCÓN, J. LEÓN, J. y GRATEROL, J. 2015. Análisis comparativo de los modelos HEC-RAS y BRI-STARS en la evaluación hidráulica de puentes considerando el lecho fijo. Revista Ingeniería UC, Vol. 22, No. 3, Diciembre 2015 41 – 51. [Online]. Consultado el 24/01/2017. Disponible en: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v22n3/art04.pdf>
- ✓ RODRÍGUEZ, E. GONZÁLEZ, R. MEDINA, M. PARDO, Y. y SANTOS, A. 2007. *Propuesta metodológica para la generación de mapas de inundación y clasificación de zonas de amenaza. Caso de estudio en la parte baja del Río Las*

- Ceibas (Neiva- Huila)*. Avances en Recursos Hidráulicos - Número 16, Octubre de 2007, 65 – 78. Medellín – Colombia.
- ✓ RODRÍGUEZ, Y. 2015. *Simulación hidrológica en dos subcuencas de la cuenca del río Zaza de Cuba*. Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental. 36: (2). P.109 - 123.
  - ✓ ROJAS, M. 2010. *Gestión de Riesgos de desastres un elemento fundamental en el desarrollo sostenible, caso de estudio: Municipio Antonio Pinto Salinas; Mérida, Venezuela*. GEOMINAS. 38 (52): 85-88.
  - ✓ ROJAS, R. 2005. *Evaluación preliminar del modelo HEC-HMS*. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Facultad de Ciencias Forestales y ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 24 p.
  - ✓ ROJAS, Y. 2017. *Simulación de crecidas del río Albarregas empleando el modelo HEC-HMS. Mérida – Venezuela*. Trabajo presentado como requisito para optar al Título de Geógrafo. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
  - ✓ SALA, S. y BATALLA, R 1999. *Teoría y Métodos en Geografía Física*. Editorial Síntesis. Madrid España. 302 p.
  - ✓ SÁNCHEZ, F. 2015. *HEC-HMS. Manual Elemental*. Departamento de Geología. Universidad de Salamanca. España. [Online]. Consultado el 24/02/2017. Disponible en: <http://hidrologia.usal.es/Complementos/Hec-hms-4.pdf>.
  - ✓ SCHARFFENBERG, F. y FLEMING, M. 2010. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS. User's Manual*. Washington, DC - USA. 318 p.
  - ✓ SCHUBERT, C., y VIVAS, L. 1993. *El Cuaternario de la cordillera de Mérida. Andes Venezolanos*. Universidad de los Andes - Fundación Polar. Mérida - Venezuela. 345 p.
  - ✓ SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (SENAMHI). 2002. *HEC-RAS*. <http://www.senamhi.gob.pe> (03-06-02).
  - ✓ SILVA, G. 1990. *Estudio de las crecientes del río Albarregas y la Quebrada Milla, estado Mérida. Bases para un Plan de Prevención de Daños*. División de Planificación y Ordenación del Ambiente. Región Mérida. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. 97 p.
  - ✓ SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ (SIRE). 2002. *Conceptualización de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo*. <http://www.sire.gov.co/Inundacion/amenaza.htm> (03-06-02).
  - ✓ SUPERLANO, W. 2010. *Estudio de crecidas máximas usando el modelo de simulación hidrológica HEC-HMS en la subcuenca San Francisco, municipio Tovar, estado Mérida*. Trabajo presentado como requisito para optar al Título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.

- ✓ STARKEL, L. 1976. *The role of extreme (catastrophic) meteorological events in contemporary evolution of slopes*. En: Derbyshire, E (ed.). *Geomorphology and Climate*. 203 - 246. John Wiley & Sons. London - New York - Sydney - Toronto.
- ✓ TANAKA, S. 2006. *Mapas de las zonas susceptibles de sufrir crecidas en Japón*. Boletín de la OMM, 55: 3, 166 – 167. Organización Meteorológica Mundial.
- ✓ TORRES, E; SÁENZ, E; CEDILLO, L; PALACIOS E; GARCÍA, A; y FREZIERES, J. 2008. *Adaptación de un modelo de simulación Hidrológica a la cuenca del río Laja, Guanajuato*. Manejo Integral de Cuencas S.A de C.V. Texcoco, México.
- ✓ TORRES, E. y GONZÁLEZ, E. 2012. *Aplicación del modelo de simulación hidráulica HEC-RAS para la emisión de pronósticos hidrológicos de inundaciones en tiempo real, en la cuenca media del río Bogotá sector Alicachin*. Grupo TECNOAMBIENTAL. Universidad Libre.
- ✓ UMAÑA, B. 2014. *Análisis hidrológico de la cuenca del río Toyogres utilizando el modelo HEC-HMS*. Trabajo presentado como requisito para optar al Título de Licenciatura en ingeniería en construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería en construcción.
- ✓ UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USGS) - LAND COVER INSTITUTE. 2011. *National Land Cover Database (NLCD-2011)*. Disponible en: <http://landcover.usgs.gov/glc/>. [Consulta: Abril de 2019].
- ✓ VALENCIA, F. y GUEVARA, E. 2014. *Validación del modelo HEC-HMS en la cuenca del río Cabriales para el análisis hidrológico*. Revista de Ingeniería – Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales (CIHAM) Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela. 21: (1). P. 36 - 49.
- ✓ VÉLEZ, J. RAVE, C; CABALLERO, H. MONTES, L. ESCOBAR, D; ARANGO, A; CUADRADO, A. y SMITH, R. 2004. *Retiros en cuencas urbanas*. Ponencia presentada en el XVI Seminario Nacional de Hidráulica e hidrología. Sociedad Colombiana de Ingenieros, Universidad del Quindío, Armenia, Colombia.
- ✓ VILLÓN, M. 2008. *HEC-HMS. Ejemplos*. Ediciones Villón. Lima-Perú. 371 p.
- ✓ WHITTOW, J. 1984. *Diccionario de geografía física*. Alianza Editorial S. A. Madrid España.
- ✓ ZAMORA, R. 2002. *Glosario de términos relacionados con riesgos y desastres*. En: Ayala-Carcedo, F. y Olcina, J. (eds.). *Riesgos naturales*. 950 - 972. Ediciones Ariel Ciencia. Barcelona – España.