



**REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**VALIDACION DE ZONAS DE PLANICIE INUNDABLE, EN EL RÍO  
GUACARA, PARROQUIA SAN AGUSTÍN DE GUACARA, MUNICIPIO  
GUACARA, ESTADO CARABOBO**

**TUTOR:**  
Msc. Adriana Márquez

**AUTORES:**  
Br. Karina A. Barrios G. C.I: 19.756.232  
Br. Laura D. Trompiz G. C.I: 19.857.976

Valencia, Junio 2016



**REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**VALIDACION DE ZONAS DE PLANICIE INUNDABLE, EN EL RÍO  
GUACARA, PARROQUIA SAN AGUSTIN DE GUACARA, MUNICIPIO  
GUACARA, ESTADO CARABOBO.  
(Trabajo Especial de Grado presentado ante la ilustre Universidad de  
Carabobo para optar el título de: Ingeniero Civil)**

**TUTOR:**  
Msc. Adriana Márquez

**AUTORES:**  
Br. Karina A. Barrios G. C.I: 19.756.232  
Br. Laura D. Trompiz G. C.I: 19.857.976

Valencia, Junio 2016



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**VEREDICTO**

Nosotros, Miembros del Jurado designado para la Evaluación del Trabajo de Grado titulado: “VALIDACION DE ZONAS DE PLANICIE INUNDABLE, EN EL RÍO GUACARA, PARROQUIA SAN AGUSTIN DE GUACARA, MUNICIPIO GUACARA, ESTADO CARABOBO”, presentado por los Bachilleres: Karina Barrios C.I: 19.756.232 y Laura Trómpiz C.I: 19.857.976; para optar al título de Ingeniero Civil, estimamos que el mismo reúne los requisitos para ser considerado como: APROBADO

---

Prof. Adriana Márquez

Presidente del Jurado

---

Prof. Gerardo Huguet

Miembro del Jurado

---

Prof. Ítalo Salazar

Miembro del Jurado

Valencia, Junio 2016

## **DEDICATORIA**

En especial a mis padres, quienes con su gran apoyo, paciencia y ejemplo me permitieron tener la fuerza y confianza para continuar a pesar de los obstáculos presentados en el camino. Gracias a mi mamá, por habernos dedicado gran parte de su tiempo y conocimiento para realizar el mejor trabajo posible.

A Jorge Castillo, mil gracias por su incondicional amistad, su incondicional ayuda, sus consejos y sus fuerzas para ayudarme cumplir esta gran meta que con tanto esfuerzo he logrado alcanzar.

A mis hermanos, por apoyarme y creer en mi capacidad para lograr mi objetivo, al igual que sus consejos en todos aquellos momentos difíciles.

A mi compañera Laura Trómpiz, por su ayuda, su amistad y su esfuerzo, quien demostró ser una gran compañera en esta difícil tarea.

A la familia Trómpiz Guillén, por toda su ayuda y recibimiento.

Muchas gracias a todas estas personas, a quienes quiero, y sin las cuales hubiera podido lograrlo, por lo que este logro es también de ellos.

Karina, A. Barrios, G.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Laura y José, que sin su guía, no sería la persona que soy hoy en día.

A mis hermanas, Mariela y María Fernanda, que siempre han estado a mi lado, dándome su apoyo y amor incondicional.

A Oriana, la alegría de mi vida.

A ti Adrián, que has sido mi compañero durante todo este proceso.

A mi compañera Karina, por su paciencia y entendimiento. ¡Lo logramos!

A la familia Barrios Guevara, por recibirme en su hogar como un miembro más.

Este logro también es de ustedes.

Laura, D. Trómpiz, G.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias, a Dios por habernos dado la fuerza y voluntad para cumplir esta anhelada meta, permitiéndonos superar cada obstáculo presentando.

A nuestras familias, por todo el apoyo y confianza brindada durante esta etapa, ayudándonos a continuar con esta labor.

A nuestra tutora, la profesora Adriana Márquez, por su colaboración, tiempo y dedicación en la realización de este trabajo.

A nuestros compañeros y amigos, por darnos ánimo en todo momento.

Al ingeniero Samuel Reyes, por su colaboración, al igual que al personal del Instituto Municipal de Agua y de la Alcaldía de Guacara.

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS .....</b>	<b>XIV</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I .....</b>	<b>3</b>
<b>EL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
Planteamiento del Problema	3
Interrogantes de la Investigación	7
Objetivos de la Investigación	7
Objetivo General.....	7

Objetivos Específicos.....	7
Justificación de la Investigación.....	7
Alcances y Limitaciones.....	10
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>12</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
Antecedentes de la Investigación.....	12
Bases Legales.....	15
Bases Teóricas .....	17
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>25</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>25</b>
Tipo y Diseño de la Investigación.....	25
Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	26
Técnicas de Análisis e Interpretación de Datos .....	28
Procedimiento Metodológico.....	28
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>74</b>

<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>74</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>88</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>90</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>92</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1. Localización del Río Guacara en el mapa del Estado Carabobo.</b> .....	30
<b>Gráfico 2. Ubicación de estaciones hidrometeorológicas adyacentes al Río Guacara.</b> .....	32
<b>Gráfico 3. Imagen satelital de la ubicación del Río Guacara. Fuente: EarthExplorer (2016)</b> .....	33
<b>Gráfico 4. Imagen de composición de bandas.</b> .....	34
<b>Gráfico 5. Usos de la tierra: agua, vegetación y urbano.</b> .....	34
<b>Gráfico 6. Mapa de clasificación de tipos de suelo según USDA. Fuente: Universidad Bolivariana de Venezuela.</b> .....	35
<b>Gráfico 7. Esquema metodológico.</b> .....	36
<b>Gráfico 8. Transformación de Imagen DEM a Raster.</b> .....	37
<b>Gráfico 9. Creación de recorte.</b> .....	37
<b>Gráfico 10. Resultado del Fill Sinks.</b> .....	38
<b>Gráfico 11. Resultado del Flow Direction.</b> .....	38
<b>Gráfico 12. Resultado del Flow Accumulation.</b> .....	39
<b>Gráfico 13. Definición de número de celdas.</b> .....	39
<b>Gráfico 14. Segmentación de cauces.</b> .....	40
<b>Gráfico 15. Definición de cuencas por segmento de cauce.</b> .....	40
<b>Gráfico 16. Subcuencas en formato vector.</b> .....	41
<b>Gráfico 17. Definición de cauces.</b> .....	41
<b>Gráfico 18. Obtención de Adjoint Catchment Processing.</b> .....	42
<b>Gráfico 19. Datos de entrada para la creación del proyecto.</b> .....	42
<b>Gráfico 20. Creación del proyecto.</b> .....	43
<b>Gráfico 21. Cuenca del Río Guacara.</b> .....	43
<b>Gráfico 22. Curvas de nivel de la cuenca del Río Guacara.</b> .....	44
<b>Gráfico 23. Longitud e inclinación del cauce del Río Guacara.</b> .....	44

<b>Gráfico 24.</b> Inclinación de la cuenca del Río Guacara. ....	455
<b>Gráfico 25.</b> Ubicación del centroide y longitud más larga del cauce de la cuenca del Río Guacara. ....	45
<b>Gráfico 26.</b> Valores del centroide respecto a su elevación y proyección. ....	46
<b>Gráfico 27.</b> Parámetros hidrológicos. ....	46
<b>Gráfico 28.</b> Selección de los métodos HMS. ....	47
<b>Gráfico 29.</b> Selección del River Auto Name. ....	47
<b>Gráfico 30.</b> Selección del Basin Auto Name. ....	48
<b>Gráfico 31.</b> Cuadrícula de la cuenca. ....	48
<b>Gráfico 32.</b> Selección del Subbasin Parameters From Raster. ....	49
<b>Gráfico 33.</b> Esquema metodológico para el cálculo del CN ponderado. ....	50
<b>Gráfico 34.</b> Clasificación del uso de la tierra en la cuenca del Río Guacara. ...	51
<b>Gráfico 35.</b> Clasificación del tipo de suelo en la cuenca del Río Guacara. ....	51
<b>Gráfico 36.</b> Base de datos de uso de la tierra y tipo de suelo. ....	52
<b>Gráfico 37.</b> Base de datos de uso de la tierra, tipo de suelo y número de curvas. ....	55
<b>Gráfico 38.</b> Resultado de generar el CN Grid. ....	55
<b>Gráfico 39.</b> Generación del CN Lag. ....	56
<b>Gráfico 40.</b> Herramientas aplicadas para la importación del archivo a HEC-HMS. ....	57
<b>Gráfico 41.</b> Modelo HMS en ArcGis 10. ....	57
<b>Gráfico 42.</b> Creación del proyecto HMS. ....	57
<b>Gráfico 43.</b> Importación desde HEC-GeoHMS. ....	58
<b>Gráfico 44.</b> Pluviógrafo correspondiente a la simulación de un evento tormentoso de 1 hora. ....	59
<b>Gráfico 45.</b> Modelo meteorológico correspondiente al pluviógrafo 1. ....	59
<b>Gráfico 46.</b> Especificaciones de control correspondiente a 12 horas de modelado. ....	60
<b>Gráfico 47.</b> Paso 1: Nombre de la corrida. ....	60
<b>Gráfico 48.</b> Paso 2: Selección del modelo de cuenca. ....	60

<b>Gráfico 49.</b> Paso 3: Selección del modelo meteorológico.....	61
<b>Gráfico 50.</b> Paso 4: Selección del modelo de control.....	61
<b>Gráfico 51.</b> Finalización de la corrida.....	61
<b>Gráfico 52.</b> Eje del cauce de la cuenca del Río Guacara.....	62
<b>Gráfico 53.</b> Creación del Flow Path.....	63
<b>Gráfico 54.</b> Líneas de corte para secciones transversales del cauce del Río Guacara.....	63
<b>Gráfico 55.</b> Exportación de datos GIS a RAS.....	64
<b>Gráfico 56.</b> Importación del formato GIS a la ventana de trabajo.....	65
<b>Gráfico 57.</b> Sección transversal de la cuenca del Río Guacara.....	66
<b>Gráfico 58.</b> Finalización de cálculos.....	66
<b>Gráfico 59.</b> Exportación del archivo *.sdf.....	67
<b>Gráfico 60.</b> Transformación del archivo *.sdf a *.xml.....	67
<b>Gráfico 61.</b> Configuración de las capas.....	68
<b>Gráfico 62.</b> Importación de datos RAS.....	68
<b>Gráfico 63.</b> Generación de la superficie de agua.....	69
<b>Gráfico 64.</b> Creación del Floodplain Delineation.....	69
<b>Gráfico 65.</b> Creación del Velocity Mapping.....	70
<b>Gráfico 66.</b> Creación del Shear Stress Mapping.....	71
<b>Gráfico 67.</b> Creación del Stream Power Mapping.....	71
<b>Gráfico 68.</b> Representación de los sectores afectados. Fuente: EarthExplorer.	73
<b>Gráfico 69.</b> Hietograma de la estación Campo Carabobo.....	74
<b>Gráfico 70.</b> Hietograma, Estación: Guaparo – El Café.....	75
<b>Gráfico 71.</b> Porcentajes de área según clasificación del uso de la tierra.....	75
<b>Gráfico 72.</b> Mapa de Clasificación de uso de la tierra de la cuenca del Río Guacara.....	76
<b>Gráfico 73.</b> Porcentajes de área según el tipo de suelo.....	77
<b>Gráfico 74.</b> Mapa de taxonomía del suelo de la cuenca del Río Guacara.....	78
<b>Gráfico 75.</b> Resultado de caudal y pérdida de precipitación de la cuenca del Río Guacara para una duración de 1 hora.....	80

<b>Gráfico 76.</b> Resultado de caudal y pérdida de precipitación de la cuenca del Río Guacara para una duración de 2 horas. ....	80
<b>Gráfico 77.</b> Mapa de planicies inundables de la cuenca del Río Guacara. ....	81
<b>Gráfico 78.</b> Secciones transversales del Río Guacara. ....	82
<b>Gráfico 79.</b> Sector La Yegua. ....	84
<b>Gráfico 80.</b> Plano de ubicación real de planicies inundables. Fuente: IMAGUA (2016). ....	85
<b>Gráfico 81.</b> Superposición de manchas obtenidas de la simulación y manchas reales. ....	86
<b>Gráfico 82.</b> Superposición del cauce real con el cauce simulado. ....	86

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Coordenadas del Rio Guacara. ....	29
<b>Cuadro 2.</b> Coordenadas de Estaciones Hidrometeorológicas. ....	31
<b>Cuadro 3.</b> Datos obtenidos de estación hidrometeorológica Planta de Potabilización, Estado Carabobo, en tiempo real. ....	32
<b>Cuadro 4.</b> Número de curvas de escorrentía para usos agrícola, suburbano y urbano. Condición II de humedad antecedente. ....	53
<b>Cuadro 5.</b> Número de curvas de escorrentía para usos agrícola, suburbano y urbano. Condición II de humedad antecedente. ....	54
<b>Cuadro 6.</b> Datos complementarios para la creación de las secciones transversales. ....	65
<b>Cuadro 7.</b> Coordenadas de los sectores afectados. ....	72
<b>Cuadro 8.</b> Datos de entrada para la simulación del proceso lluvia - escorrentía. ....	79
<b>Cuadro 9.</b> Posibles zonas vulnerables a la inundación. ....	83



REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**VALIDACION DE ZONAS DE PLANICIE INUNDABLE, EN EL RÍO  
GUACARA, PARROQUIA SAN AGUSTÍN DE GUACARA, MUNICIPIO  
GUACARA, ESTADO CARABOBO**

**Autores:** Barrios, G. Karina, A.  
Trómpiz, G. Laura, D.  
**Tutor:** Adriana Márquez.  
**Fecha:** Junio 2016

**RESUMEN**

Las inundaciones constituyen para la sociedad una problemática de gran consideración, pues, afecta el crecimiento poblacional y la ocupación de espacios que pertenecen a la cuenca de un río. En este marco de ideas, el Municipio Guacara del Estado Carabobo se ve afectado por inundaciones provenientes del Río Guacara desde algunos años. Ante estos elementos, se justifica y se hace necesaria la presente investigación debido a la urgente determinación y validación de las áreas inundables con el fin de producir los posibles perjuicios por las fuertes lluvias que se puedan suscitar en el municipio Guacara y especialmente las zonas cercanas al Río Guacara. Este estudio se realiza mediante el uso del software ArcGIS 10 y las extensiones HEC, de las cuales se obtienen modelos matemáticos, hidrogramas de creciente para toda la cuenca, la onda de crecida a lo largo del cauce, parámetros que definen la seguridad de presas, entre otras aplicaciones. En este estudio, se describe como variable hidrometeorológica principalmente a la precipitación, por lo que, se selecciona el evento registrado por la estación Campo Carabobo con una profundidad

máxima de lluvia de 12.6 mm y un tiempo de duración de 1 hora. Igualmente, para una duración de dos horas el evento ocurrido con una profundidad máxima de 10.8mm correspondiente a la estación Guaparo – El Café. Aunado a esto, se obtiene una superficie delimitada correspondientes a agua con un 6%, vegetación con un 20% y zonas urbanas con un 74% de área.

Por otra parte, se obtiene en las adyacencias del Río Guacara dos tipos de suelo, el Inceptisol cuya área de cobertura representa el 43% y el Molisol con un área del 57%.

En lo que respecta, a los planos de inundación se logra evidenciar que las zonas afectadas son: La Yegua, Los Pinos, Av. Humbolt, La Milagrosa, Autopista Bárbula - Guacara, Autopista Caracas - Valencia, Yagua, Campo Amor, El Cabrito, Las Malvinas y El Porvenir para la zona Sur y el sector Vigirima correspondiente a la zona Norte.

**Descriptores:** Inundación, Variable Hidrometeorológica, Simulación, Validación.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de procesos de investigación persigue encontrar las mejoras oportunas a situaciones que privan a la población de bienestar. En este sentido, es pertinente el estudio que se realiza en la población de Guacara, Estado Carabobo.

Cabe señalar, que el Municipio Guacara es uno de los 14 municipios autónomos que constituyen el Estado Carabobo, región central de Venezuela. En lo que refiere, fue fundada en el año 1624 y su capital es la ciudad San Agustín de Guacara. En cuanto a su ubicación geográfica, se encuentra a 430msnm, al noreste del Lago de Valencia y cuya superficie es de 165Km<sup>2</sup>; así mismo, se comunica con las ciudades de Caracas, Maracay y Valencia.

Respecto a su población, es de 194.000 habitantes aproximadamente de acuerdo al último censo realizado en el 2013, representando el 7,8% de la población total del Estado Carabobo.

En la presente investigación, se estudia el proceso de lluvia-escorrentía para determinar el área inundable, las cuales por lo general representan inundaciones en el municipio mencionado y aquellos alledaños como el municipio San Joaquín y Los Guayos, afectando diversas propiedades de la zona, así como, de las poblaciones.

Entre los métodos más empleados como medidas preventivas y mitigación de daños, se encuentran: la reforestación de la superficie de la cuenca de drenaje con el fin de reducir la concentración de la escorrentía, la construcción de embalses, presas y diques para retener el caudal del río, el dragado, ensanchamiento y enderezado del cauce para facilitar su desagüe y la construcción de estructuras de derivación con el fin de dirigir las aguas lejos de las zonas sujetas a una mayor protección frente a las crecidas.

Aunado a esto, para el análisis de planicies inundables, existe actualmente software de simulación hidrológica, que de acuerdo a los datos disponibles, permiten seleccionar de manera eficiente la metodología a utilizar. Entre estos softwares se

encuentra la herramienta HEC, que junto a sus diferentes aplicaciones proporciona el análisis hidrológico de la cuenca mediante la apreciación de manchas de inundación.

En lo que refiere, a los objetivos de esta investigación es primordial la descripción de las variables hidrometeorológicas competentes para simular el proceso lluvia-escorrentía. En este orden de ideas, se pretende, una vez obtenido el modelo de elevación digital con su respectiva mancha de inundación, validar las zonas de planicie inundable en el Río Guacara, a partir del trabajo de campo, a lo que corresponde mediciones con equipo GPS.

Por su parte, este trabajo de investigación se encuentra desarrollado en cuatro capítulos como se muestra a continuación; en el Capítulo I, se plantea el problema de investigación, sus objetivos, justificación, alcance y limitaciones, en torno a los cuales, gira el estudio.

En lo que respecta a, el Capítulo II presenta el marco teórico, el cual contiene los antecedentes y las bases teóricas entre las que se sustenta la investigación.

Por su parte, en el Capítulo III describe el marco metodológico donde se puntualiza el tipo de investigación, su diseño, la descripción de la metodología, la técnica de recolección de información, así como, los procesamientos para el análisis de datos.

Por último, en el Capítulo IV se presenta el análisis de los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación y, conllevan, a identificar las planicies de inundación de los distintos tramos del Río Guacara, así mismo, a determinar las conclusiones y respectivas recomendaciones que se pueden desprender de todo el proceso de análisis de los sectores vulnerables representados en los mapas de inundación.

# **CAPITULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **Planteamiento del Problema**

Las inundaciones constituyen para la sociedad una problemática de gran consideración, pues, afecta el crecimiento poblacional y la ocupación de espacios que pertenecen a la cuenca de un río. En este sentido, según Lemus y Otros (2009), explican que “las inundaciones ocurren en su mayoría en zonas planas y/o cercanas a los cauces del río” por ello, es de importancia investigar qué causas producen las inundaciones y como afectan los asentamientos poblacionales.

Esta situación, referida a las inundaciones perjudica a tales extremos que originan pérdidas naturales en el medio ambiente y hasta humanas. Para, De Elia (2011), una inundación es “un evento factible de pronosticar”, con el fin de, planificar y tomar decisiones oportunas para minimizar los riesgos en el contexto y en la población.

Dentro de este contexto, se puede mencionar acontecimientos como el ocurrido en Malawi Mozambique (2015), en el que las fuertes lluvias causaron inundaciones, desplazo de miles de personas y hasta el fallecimiento de aproximadamente 48 personas. Respecto a esta situación, la ONU (2015) publica un comunicado en el que señala que “debido a lo ocurrido se produjo graves daños a los cultivos y el ganado, casas inundadas, carreteras y otras infraestructuras fueron afectadas”, en lo que se aprecia, consecuencias graves para los pobladores del lugar.

A tal efecto, las inundaciones en países como Colombia, cada año y en la reciente temporada invernal de 2008, se repitió la destrucción de vidas, viviendas,

cosechas e infraestructura; inclusive, con secuelas de miseria (Márquez, 2010); por lo que, es un aspecto digno de hacer referencia relacionado con la investigación.

De esta manera, por ejemplo, las intensas precipitaciones acaecidas en el segundo semestre del año 2015 en la cuenca del Plata, Argentina en las que debido al fenómeno de El Niño se producen intensas precipitaciones que ocasionan desbordes, insuficiencias en el funcionamiento de desagües fluviales existentes, inundaciones en barrios cercanos a los cauces, afectación en la red de caminos y pérdidas a los habitantes de la región, incluyendo a los productores de bienes y servicios (Pristupluk, 2016). En tal sentido, son situaciones de especial cuidado y atención por parte de los organismos correspondientes como alcaldías, gobernaciones y autoridades de protección civil, así como, de los mismos habitantes.

En el caso de Venezuela, este fenómeno también se presenta todos los años, siendo similar a los que se han registrado en otros países y, que al igual que, el resto del mundo sufre y no escapa a las grandes consecuencias.

Estos planteamientos precedentes, invitan a ejemplificar en la tragedia ocurrida en el país, en la cual, más de 200 mil damnificados y un número incalculable de fallecimientos, fue el saldo dejado por las fuertes lluvias que azotaron a Venezuela en el mes de diciembre de 1999. Así, estas precipitaciones desbordaron las quebradas de la capital y colapsaron las principales vías de comunicación. Tanto así que, siete estados fueron declarados en emergencia nacional: Vargas, Distrito Federal, Miranda, Falcón, Táchira, Zulia y Trujillo y posteriormente Nueva Esparta (Pujadas, 2012), de esta manera, se determinaron como conclusiones que ha sido el peor desastre natural ocurrido en la historia de nuestro país.

A manera de contraste, en el Estado Miranda existen diversas áreas bajo amenaza de inundaciones; por lo que, la ocurrencia de este evento físico cobra importancia, tanto por su recurrencia, como por el hecho de existir emplazamientos urbanos en acelerado crecimiento y expansión (INE, 2001; IERU, 2007; en Lemus, y Otros, 2009). Estos desarrollos urbanos están representados por las ciudades de Guarenas, Guatire y Araitha, que simbolizan centros de expansión y crecimiento urbano e industrial para el estado y el país.

En este marco de ideas, el Municipio Guacara del Estado Carabobo se ve afectado por inundaciones provenientes del Río Guacara desde algunos años, entre los que se puede indicar, según cifras presentadas por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas FUNVISIS (2008), el acaecido en el sector Los Mangos, vía Yagua también sufrieron debido a las lluvias, pues, el río se desbordó inundando más de 30 viviendas.

Así mismo, el desbordamiento del Río Guacara, también afectó parte de la urbanización Malavé Villalba y aunque no hubo daños que lamentar, el agua subió casi un metro, impidiendo que los vecinos de los conjuntos residenciales aledaños pudieran salir hacia sus sitios de trabajo.

De acuerdo a, FUNVISIS (2010) en la población de Valles de Yagua, se registró el desbordamiento de algunos caños de este río, esto trajo como consecuencia, 30 viviendas inundadas y varias familias perjudicadas. Por ello, esta problemática afecta principalmente a las familias que se encuentran viviendo junto a este río o en zonas cercanas al mismo, reportando el mencionado organismo (2013), el evento producido por el desbordamiento de algunas quebradas y riachuelos en el sector La Compañía, dejando alrededor de 40 personas damnificadas, además, del producido en la Urb. José Laurencio Silva, en el cual, resultaron al menos 5 personas afectadas.

Cabe destacar que, como resultado complementario de estas inundaciones se encuentra el brote de enfermedades por estancamiento de pozos, contaminación del agua potable, colapso de drenajes y redes cloacales, pérdida de cultivos y pérdida de animales. Adicionalmente, el cauce del río tiende al arrastre de sedimentos, lo cual representa un gran problema en la alteración del estado natural del río y su entorno.

De acuerdo a estas descripciones, el Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2014), como organismo internacional para la evaluación del cambio climático, establece en el V Reporte de Evaluación sobre el cambio climático a nivel mundial, y por ende de Latinoamérica, concluye que en definitiva el clima de la tierra se está calentando, por ello presentan una lista de cambios en la que los científicos observan que son los predominantes a nivel mundial; entre ellos, mencionan el

aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera como resultado de la actividad humana, estimando el referido organismo que es uno de los elementos determinantes en la disponibilidad y calidad del agua potable.

Inclusive, pronostican que el cambio climático amenazará progresivamente el crecimiento económico y la seguridad humana en formas complejas, tanto en la región latinoamericana, como en el mundo entero. Más aun, Latinoamérica es una región con abundantes recursos de agua dulce, que se encuentran distribuidas de manera desigual; considerando su importancia para el abastecimiento de agua en las zonas urbanas, la agricultura y la energía hidroeléctrica que cubre el 60% de la demanda eléctrica de la región.

En lo que refiere, la WMO (2013), indica conjuntamente con la Asociación Mundial del Agua, a través, del programa asociado de gestión de crecidas el promover un enfoque multidisciplinario hacia la gestión integrada de crecidas para evitar las pérdidas de vidas humanas, además de, la merma y detrimento de cultivos, perjuicio de las especies naturales de plantas y animales.

En este orden de ideas, es importante hacer referencia a lo que es una planicie inundable; por lo que, para la fundación The Nature Conservancy (2014), de Colombia explica que son “ecosistemas dinámicos de las cuencas, conectadas a cauces principales. Estos hábitats cumplen funciones importantes al permitir la expansión de los ríos en épocas de gran descarga, como temporada de lluvias, y son de gran valor ambiental por su capacidad para retener sedimentos y albergar gran biodiversidad de especies de aves, mamíferos, reptiles y peces, que dependen de estas áreas en sus ciclos de reproducción, crianza y migración”; visto así, son espacios considerados estratégicos para el control de las inundaciones.

Por su parte, Vidal (2011) determina que “La llanura de inundación debería estar siempre libre de obstáculos en las épocas de crecida”, confirmando, los efectos catastróficos que se ciernen sobre estos lugares.

En adición, es importante recalcar que la problemática que se plantea constituye una gran inquietud para los habitantes de los alrededores al Río Guacara, ya que, entre los efectos provocados más resaltantes están la contaminación del agua

potable y enfermedades transmisibles; por lo que, se hace importante desarrollar planes de acción y colaboración, tanto de, los entes gubernamentales como de todos los ciudadanos. En este sentido, en la situación estudiada, se identifican las zonas de riesgo de la localidad, indicando aquellos sectores que presentan mayor vulnerabilidad en lo que refiere a crecidas extraordinarias.

### **Interrogantes de la Investigación**

Partiendo de esta realidad, se plantearon las siguientes interrogantes:

¿Qué variables hidrometeorológicas son características del Río Guacara, Municipio Guacara, Estado Carabobo?

¿Qué herramientas podrían aplicarse para la simulación del proceso lluvia-escorrentía en el Río Guacara, Municipio Guacara, Estado Carabobo?

¿Cuáles zonas podrían ser catalogadas como planicies inundables en el Río Guacara, Municipio Guacara, Estado Carabobo?

### **Objetivos de la Investigación**

#### **Objetivo General**

Validar zonas de planicie inundable en el Río Guacara, Parroquia San Agustín de Guacara, Municipio Guacara, Estado Carabobo.

#### **Objetivos Específicos**

1. Describir las variables hidrometeorológicas en el Río Guacara.
2. Simular proceso lluvia-escorrentía en el Río Guacara.
3. Validar zonas de planicie inundable en el Río Guacara.

### **Justificación de la Investigación**

En el campo de la ingeniería, al analizar la situación de las inundaciones se advierte en que no existe una solución definitiva al problema, pero, se remarca en los desafíos y ejes a los que se debe prestar atención (Guitelamn, 2015); especialmente a,

abordar el problema de las inundaciones con “concientización e integrar propuestas transdisciplinarias”.

Ante estos elementos, se justifica y se hace necesaria la presente investigación debido a la urgente determinación de las áreas inundables con el fin de producir los posibles perjuicios por las fuertes lluvias que se puedan suscitar en el municipio Guacara y especialmente las zonas cercanas al Río Guacara.

Sumado a lo expuesto, se considera igualmente necesaria la investigación por representar los posibles resultados en la avenencia de medidas, que contribuyan en la toma posterior de decisiones por parte de los organismos competentes en lo que refiere a la protección de la salud humana.

Como complemento, la investigación converge en un beneficio al ofrecer como producto de la misma información a favor de prevenir y permitir la recogida de aguas de lluvia a fin de hacer frente las poblaciones a los efectos del cambio climático.

Por su parte, se considera importante esta investigación principalmente por configurar un aprovechamiento del desarrollo urbano y la construcción de medidas para hacer frente al riesgo de inundación; en este sentido, la posibilidad de mejorar la calidad estética de una zona urbana, lo cual, aumentaría el valor de las zonas residenciales del entorno.

Igualmente, la relevancia de este trabajo se encuentra en el aporte académico que se genera para la línea de investigación “Hidrología” a la cual, se encuentra suscrita la investigación, así como, para el Departamento de Ingeniería Ambiental en la Cátedra de Hidrología de la Facultad de Ingeniería Escuela de Civil de la Universidad de Carabobo, en lo que refiere a la obtención de información relevante, no solamente para los efectos de la investigación, sino además, para la consideración de futuras investigaciones, tanto en la misma zona de referencia, como, a otras que se realicen en otras regiones nacionales e inclusive internacionales.

Por lo que, se asigna especial significado investigador y exploratorio para la Alcaldía del Municipio Guacara, en lo que respecta a documentación y testimonio para el desarrollo de planes y programas de prevención.

Sumado a lo expuesto, el estudio brinda su mayor relevancia y contribución al originar una publicación de un trabajo en el que se utilizan técnicas para la simulación del proceso lluvia-escorrentía.

Con base en la situación descrita, implica fomentar el desarrollo sostenible del municipio, pues, el aspecto relevante está en analizar y describir impactos significativos a las generaciones presentes, con el fin de evitar cifras alarmantes como: 45 viviendas anegadas, pérdidas de enceres en el sector Los Girasoles de Yagua (Romero, 2012); así como, 117 familias afectadas en los sectores Cristo Salva, Ojo de Agua, Yagua, La Emboscada y El Sisal (Alcaldía de Guacara, 2015); vinculado a esto, 32 viviendas de los sectores La Compañía y Ojo de Agua (Rivero, 2015); en lo que, son situaciones que de acuerdo a lo expuesto, ameritan permanentemente establecer medidas para potenciar los impactos positivos y minimizar los negativos.

## **Alcances y Limitaciones**

La presente investigación se lleva a cabo en el Río Guacara del Municipio Guacara, Parroquia San Agustín de Guacara, Estado Carabobo, en conjunto con el Departamento de Ingeniería Ambiental de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo; además de, la colaboración de la Alcaldía de Guacara, Municipio Guacara, Estado Carabobo.

De esta manera, se realizan estudios en los tramos del río con la finalidad de determinar las manchas inundables para un periodo de retorno de 2 años.

Por lo que, este estudio se realiza mediante el uso del software ArcGIS 10 y las extensiones HEC, de las cuales se obtienen modelos matemáticos, hidrogramas de creciente para toda la cuenca, la onda de crecida a lo largo del cauce, parámetros que definen la seguridad de presas, entre otras aplicaciones. Así mismo, la selección de modelos matemáticos, se elabora a partir de los más aplicables al caso de estudio, según la información climatológica e hidrológica proporcionada por los organismos competentes encargados para tal propósito.

En este particular, entre las limitaciones se encuentra, la escases de información del régimen del cauce, ya que solo se cuenta con información de datos hidrometereológicos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) destacados de las estaciones en tiempo real, en las adyacencias del Lago de Valencia, el cual, representa la estación de estudio más cercana a la zona de interés, comprendida entre el periodo 2013-2015.

No obstante, entre las limitaciones encontradas la imposibilidad de la medición del cauce debido a los problemas de inseguridad en las zona cercana al río; aunado a esto, se cuenta la escases de transporte por parte del ente gubernamental con el fin de facilitar el traslado al sitio de estudio. De igual forma, esto trae como consecuencia la imposibilidad del uso de equipos topográficos que conlleva en la utilización de imágenes satelitales extraídas del portal earthexplorer como medio de obtención de los modelos de elevación digital.

Así mismo, esta situación permite que el estudio se realice desde la obtención de las planicies de inundación hasta la valides de las mismas a partir de una toma de datos con equipo GPS (Sistema de Posicionamiento Global).

Por lo que, en virtud a los resultados obtenidos correspondiente a la mancha de inundación, el alcance de esta investigación, se lleva a cabo en las zonas donde existe más vulnerabilidad del río.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### **Antecedentes de la Investigación**

Históricamente se ha demostrado que mediante la educación, la civilización evoluciona según el ritmo que promueve la sociedad, para que se produzcan los cambios para satisfacer sus múltiples necesidades, especialmente, aquellas de las que depende su calidad de vida. En este sentido, el hombre muestra preocupación por los espacios de la tierra en los que se producen inundaciones y en los estudios que se han realizado busca conocer las causas que producen éste fenómeno, encontrando que la más habitual es en las que los ríos o arroyos desbordan sus riberas.

Cabe destacar que, la relevancia de trazar las manchas de inundación asociadas con una tormenta con un período de retorno específico, en áreas susceptibles a este tipo de eventos (Márquez y Guevara, 2006; en Paredes y Otros, 2011), pues, son estudios de inundabilidad que estiman la delimitación de las planicies inundables.

Según la investigación elaborada por De Elia (2011), en la Universidad Nacional de Córdoba en España, afirma la necesidad de tener un modelo hidrológico y un sistema de alerta inteligente, para así, optimizar el tiempo de obtención de imágenes satelitales, mediante la aplicación de un modelo de mecanismo que proporciona posibles adquisiciones enlazadas a eventos de emergencia. En lo que respecta, a las técnicas utilizadas para el desarrollo de la investigación, se empleó el algoritmo de búsqueda Best-First y se adjudicó la planificación clásica mediante el Metric-FF (Lenguaje PDDL). Este último (Metric-FF), evidenció ser un soporte óptimo en cuanto a los criterios de las pruebas experimentales.

Por otra parte, Ovin (2014), en la Universidad de Oviedo en España, busca validar el mapa de peligrosidad de inundaciones fluviales en la cuenca del Río Sella

para la llanura del Bajo Sella, empleando como metodología la recopilación de información y el cálculo de los periodos de retorno, así mismo, como el análisis del mapa de peligrosidad y de inundación empleando el programa ArcGIS, cuantificando aquellas áreas realmente inundadas, al igual que el estudio individual de los polígonos en los que se notó divergencia entre los datos. Como resultado, se evidencia que en las peligrosidades analizadas se puede afirmar que dicho mapa presenta un elevado grado de acierto, reiterando que la metodología seguida para su modelado es adjudicable para realizar este tipo de documentos cartográficos.

Sobre la base de las ideas expuestas, por Pérez (2015), en su indagación elaborada en la Universidad de Alicante en España, realizo un estudio hidráulico para la determinación y análisis valorado de soluciones de protección en el Municipio de Balmasea, Vizcaya, comunidad autónoma del país Bajo. Con relación a esto, la elaboración del modelo hidráulico se desarrolló mediante el software HEC-RAS en su versión 4.1. En cuanto, a la estimación de caudales se recurrió al uso del ábaco vigente en el Plan Hidrológico Norte III. Como se puede inferir, se acudió en la medida de lo posible a diseñar soluciones ambientalmente compatibles y de menor costo, garantizando el nivel de protección requerido con la menor intervención posible.

De acuerdo, al estudio realizado por Mena y otros (2011), en la Universidad de Talca en Chile, en su Centro de Geomática, vinculado con la generalización digital de elevación condicionada por puntos críticos de terreno, el cual se compone de tres etapas, la primera seleccionan los puntos de modelo de elevación digital con valores críticos de elevación característicos del terreno, en la segunda etapa se elabora una matriz de ranking en la que consideran la importancia de cada punto crítico según su elevación y rasgo representado, por ultimo en la tercera etapa establece la generalización condicionada por puntos críticos. En lo que refiere, el propósito consistió en comparar con otro método que solamente considera una interpolación bilineal aplicada al cambio de resolución del modelo de elevación (MDE). Entre los resultados estuvieron que, el método de generalización condicionada por puntos

críticos muestra una mejor ejecución en lo que respecta a la generalización por media aritmética, preservando rasgos que caracterizan el terreno.

En lo que refiere, Méndez (2013), realiza una investigación en la Universidad Nacional Colombiana relacionado con el proceso de interceptación de lluvias y su comportamiento dinámico según su intensidad y duración, así como, con las condiciones meteorológicas locales y las características de las coberturas vegetales. Siendo el propósito de estudio plantear una propuesta metodológica de medición de variables hidrometeorológicas mediante la implementación de modelos matemáticos. De esta manera, logra como resultados importantes que solo se aplica el 20% de modelos matemáticos para describir el proceso físico; así como, determinar el efecto considerable de las coberturas vegetales sobre los demás componentes del ciclo hidrológico.

Sumado a lo expuesto, una investigación realizada por Mireles (2013), en la Universidad Nacional Autónoma de México, tiene como finalidad el uso de herramientas tecnológicas y la implementación de información hidrológica, como es el caso de Sistemas de Información Geográfica, vuelos LIDAR para la identificación de zonas inundables o manchas de inundación de La Delegación Venustiano Carranza, relacionando volumen de precipitación que cae sobre la zona con la topografía de la misma considerando varios tiempos de retorno y así poder conocer los posibles escenarios de inundación. Al respecto, se obtuvo como resultado una relación entre las manchas de inundación y las colonias afectadas, las cuales se encuentran alrededor de 47 colonias, principalmente aquellas que se encuentren en zonas en las que la topografía favorece el escurrimiento y la acumulación de agua producida por precipitaciones, un ejemplo de lo expuesto es el aeropuerto, debido a que se encuentra definido como la zona de más baja delegación.

En lo correspondiente a, el estudio realizado por Marreno y Perozo (2011), en la Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda", en virtud de que en los últimos 30 años ha ocurrido un proceso de urbanización en la planicie de inundación del Río Coro del Estado Falcón, obliga a tomar medidas para reducir el riesgo de inundación. De esta manera, se estima en este trabajo, la probabilidad de

ocurrencia en cuanto a las consecuencias desde el punto de vista económico, producto de los daños causados por las inundaciones, de manera tal, que se optimice el desarrollo de la toma de decisiones. En este sentido, la metodología empleada consta de 7 fases, entre las que se encuentran la recopilación de información básica, la evaluación hidrodinámica mediante el uso del modelo HEC-RAS, la estimación de amenaza de inundación de los urbanismos ubicados en la planicie del río, a través del software ArcView GIS, entre otras. Por ello se constató, que el riesgo de inundación es capaz de originar importantes pérdidas materiales, ya que en algunas zonas las profundidades de inundación alcanzan los 5m, poniendo en peligro la vida de las personas que habitan la zona.

Posteriormente, Farías (2015), en su investigación realizada en la Universidad de Carabobo, estableció como principal objetivo la validación de un modelo de estimación del proceso lluvia-escorrentía en el Río Unare, determinando la simulación de dicho proceso natural y las respectivas zonas de planicie inundables para tormentas de diseño con periodos de retorno de dos y cincuenta años, a través del software ArcGIS 10.1 y las extensiones HEC-GeoHMS, HEC-RAS. Así, los resultados arrojados concluyen una validación de un modelo muy adaptado al comportamiento del proceso a simular en la cuenca y para un periodo de 50 años se obtuvo un riesgo de inundación de 42%.

Finalmente, en relación con las investigaciones destacadas, se cuenta con un aporte de técnicas e información complementarias al trabajo de investigación desarrollado, teniendo en cuenta sus fortalezas considerando el tema en el que se desenvuelven.

### **Bases Legales**

Con el propósito de ofrecer una contextualización y soporte legal a la investigación que se desea realizar, se presenta a continuación lo referente a los artículos citados de los siguientes documentos:

De acuerdo a la situación planteada, el fenómeno de las inundaciones es producido por causas naturales, y además, por la intervención errónea del hombre. En

este sentido, se estima por ser una problemática mundial importante. Organismos se han ocupado de establecer directrices a los diversos países, en el fin, de minimizar los riesgos y consecuencias adversas.

De esta manera, a continuación se especifican los distintos criterios, leyes y normas, entre las que se sustentara la investigación.

En lo que respecta la Unesco (2015) en conjunto con la declaración ministerial de la Haya, decreta una serie de criterios para la conservación, protección y prevención del medio ambiente y su degradación natural. Así, según el criterio n°3 que indica “proteger los ecosistemas, asegurando su integridad a través de una gestión sostenible de los recursos hídricos”; por lo que, se exhorta a los organismos competentes de un país, a generar los planes de acción necesarios y que contribuyan en la resolución de problemáticas relacionadas con el agua.

En lo que se establece, en el criterio n°4; se expresa “compartir los recursos hídricos mediante la gestión sostenible de la cuenca de un río”. En este orden de ideas, se refiere a la trascendencia de proyectos, programas y campañas que indiquen y promuevan el aprovechamiento de las aguas en ríos, así como, de su potencial como aspecto de bienestar de una población.

Por último, el criterio n°5, referido a “administrar los riesgos, ofrecer seguridad ante una serie de riesgos relacionados con el agua”. Visto así, se hace énfasis a la actuación oportuna y preventiva de instituciones, organismos y la misma ciudadanía para participar de manera activa y continua sobre las posibilidades de desastres que atenten a la calidad debida de los pobladores.

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (2000) como respuesta que contrasta a lo decretado por organismos internacionales, la carta magna del estado venezolano en este aspecto dispone:

#### **Capítulo IX de Los Derechos Ambientales.**

**Artículo 127:** Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente, un beneficio de si misma y del mundo futuro. El estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos, los procesos

ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia.

En este contexto, se hace referencia en la primera parte de la necesidad de formar en la población el interés de participar y cuidar, así como, contribuir en la protección del medio ambiente, comprendiendo la importancia del agua o fuentes hídricas de una región. Así mismo, funda en el estado el menester y obligación de advertir, reparar y contemplar todo lo concerniente a la custodia, defensa y conservación del medio ambiente, por lo que, las aguas forman parte de estas consideraciones.

**Artículo 129:** Todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañadas de estudios de impacto ambiental y socio cultural. A tal aspecto, se incentiva a las instituciones a realizar labores que impliquen mejorar el aprovechamiento de la gestión del agua.

#### **Ley Orgánica del Ambiente (2006).**

#### **Capítulo III. De Los Demás Elementos del Ambiente.**

**Artículo 55:** La gestión integral del agua está orientada a asegurar su conservación, garantizando las condiciones de calidad, disponibilidad y cantidad en función de la sustentabilidad del ciclo hidrológico. En este sentido, se pretende asegurar en que consiste la conservación, pues, su importancia radica en confirmar y comprometerse con la planificación, administración e inversión necesaria que avale los cambios y manejos de las alteraciones hidrológicas.

#### **Bases Teóricas**

La prioridad de este estudio radica en conocer e identificar el particular comportamiento de un río, al momento de un evento natural, como es el caso de intensas y constantes lluvias en las que intervienen diversas variables. Cabe destacar que, como aspecto importante el investigador debe proporcionar todas aquellas teorías necesarias y básicas para el entendimiento de la investigación, cuyo caso, se encuentran relacionadas y basadas en la ingeniería ambiental como principal herramienta, al igual que aspectos tecnológicos como es el uso de software.

Visto de esta forma, este trabajo se sustentará en las siguientes bases teóricas que fundamentarán el análisis de las diversas perspectivas en las que se desarrolla la presente investigación; iniciando en las siguientes definiciones:

### **Variables Hidrometeorológicas**

Se encuentran definidas como variable hidrometeorológicas a todas aquellas que intervienen en el ciclo hidrológico, estas mismas se encuentran relacionadas entre sí y son las principales causantes de los mayores eventos naturales, entre ellas se encuentran: el caudal, la evaporación, la evotranspiración, la humedad, interceptación, precipitación, presión atmosférica, radiación solar, temperatura, transpiración y viento.

En consideración, a Guevara (2011), dispone las variables hidrometeorológicas como la interrelación de la atmósfera y los parámetros pertenecientes al ciclo hidrológico, mencionando factores geográficos como latitud, longitud, topografía y las masas de la tierra, que de alguna forma intervienen en las condiciones meteorológicas, destacando que “todos estos factores determinan la magnitud de la precipitación y la respuesta de la cuenca, así como su distribución en el espacio y en el tiempo”. Es importante resaltar, que el mencionado autor introduce aspectos tanto hidrológicos como geográficos para el estudio del comportamiento y desarrollo de variables hidrometeorológicas, los cuales, juegan un papel importante al momento de un evento tormentoso.

### **Cuenca Hidrográfica**

Según el Consejo Legislativo del Estado Barinas (2005), se establece el concepto de una cuenca hidrográfica desde dos puntos de vista en los que se señala que “Desde una concepción natural estas se consideran como áreas geográficas, constituidas por recursos naturales que interactúan entre sí, haciendo que las guas fluyen y forman una unidad autónoma o diferenciada, pudiendo desembocar o no en un río. Por otra parte, desde una concepción funcional las cuencas hidrográficas se

definen como la unidad de planificación territorial, validas para el manejo del mayor o menor porcentaje acuífero de un territorio respecto a otro”.

En la misma forma, se consideran las cuencas hidrográficas como espacios del territorio en el cual naturalmente discurren todas las aguas (provenientes de precipitaciones, deshielos, acuíferos, etc. que discurren por cursos superficiales o ríos) hacia un único lugar o punto de descarga, Núñez (2011). Referido al mencionado autor, cabe destacar que las cuencas hidrográficas son catalogadas como territorios en los que habitan cierta cantidad de pobladores, por lo que son zonas con una considera demanda del estos recursos naturales.

### **Proceso lluvia-escorrentía**

El proceso lluvia-escorrentía se encuentra netamente relacionada a los procesos hidrológicos, ya que son las precipitaciones las principales autoras que dan origen a la interacción entre dichas variables hidrometeorológicas, dando como resultado un proceso natural importante desde el punto de vista del estudio de una cuenca.

De acuerdo con Montaña (2015), un modelo lluvia – escorrentía es “Una representación matemática de estas dos variables que forman parte del ciclo hidrológico de una cuenca hidrográfica. El modelo se usa mayormente para entender el proceso de escurrimiento y para pronosticarlo con el propósito de regularizar el uso del agua o diseñar obras hidráulicas para el control de inundaciones”.

Aunado a esto, Breña (2006), declara que “En las cuencas hidrológicas, la transformación de la lluvia en escurrimiento, genera gastos que son requeridos para revisar o diseñar las estructuras hidráulicas que están localizadas en su áreas de aportación”. Al respecto, puede considerarse el proceso lluvia-escorrentía como un análisis de definición de zonas con mayor riesgo de inundación de forma precisa y relativamente sencilla.

## **Sistemas de Información Geográfica**

Los sistemas de información geográfica son considerados herramientas tecnológicas modernas de gran utilidad ya que permiten la obtención de datos del mundo real que están vinculados a una referencia espacial.

Con relación a lo expuesto, esta herramienta que constituye en particular los mapas satelitales se utiliza regularmente en la repuesta a emergencias y ayuda humanitaria como consecuencia de desastres naturales. De Elia (2011).

Por su parte, Ellis y otros (2012), define que “Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) – definido como la captura, manejo y análisis de datos e información geográfica representados – son amplia y mundialmente implementados por instituciones gubernamentales, no gubernamentales y académicos, como una herramienta indispensable para la planeación territorial, manejo integrado de cuencas, evaluación y mitigación de desastres, así como para la conservación de recursos naturales”. Cabe señalar, que estos sistemas facilitan la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz.

### **Modelo de elevación digital (DEM)**

Un modelo de elevación digital puede ser definido como la información visual y matemática de los desniveles respecto al nivel del mar, característicos de un determinado relieve y sus elementos. A lo que, ESRI (2016) denomina representación de la superficie topográfica por una disposición regular de los valores Z.

Por otra parte, United States Geological Survey (USGS) (2016), determina un modelo de elevación digital como aquella “matriz de muestra de elevación para un numero de posiciones de tierra a intervalos regularmente espaciados”. Aunado a esto, es importante conocer que el Digital Elevation Model (DEM), contiene sus valores en un archivo tipo raster, el cual se proyecta a través de equipos de cómputos y software especializado.

## **Landsat**

Los satélites Landsat forman parte de la primera misión de los Estados Unidos para realizar el monitoreo de los recursos terrestres. Según, USGS (2016) Landsat representa la base de datos espacial de teledetección con el mayor alcance del mundo, proporcionando imágenes como recurso único para la agricultura, geología, educación, cartografía, investigación del cambio global, así como para la respuesta ante eventos de emergencia.

Además, NASA (2016) expresa que el programa Landsat “ofrece el record mundial continuo más largo de la superficie que sigue ofreciendo imágenes visualmente impactantes y científicamente valiosas de nuestro planeta”. En este sentido, es pertinente mencionar que las imágenes del satélite Landsat 8 son datos recogidos por instrumentos a bordo del satélite y están disponibles para todos los usuarios de forma gratuita en líneas de búsqueda de imágenes satelitales como EarthExplorer, Glovis o a través del visor LandsatLook.

## **EarthExplorer**

El EarthExplorer representa una herramienta de gran importancia en lo que se refiere a búsqueda de imágenes satelitales, ya que proporciona al usuario la herramienta para identificar áreas de búsqueda y conjuntos de datos integrados a la interfaz, USGS (2016).

Cabe agregar, que EarthExplorer proporciona datos de la tierra provenientes de las misiones de la NASA, Terra y Aqua, al igual que productos de datos ASTER sobre los Estados Unidos y los territorios de la misión.

## **ArcGIS 10**

De acuerdo con el Environmental Systems Research Institute (ESRI) (2016), se conoce como ArcGIS al “completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica”, a lo que es recurrente mencionar que es catalogado como uno de los principales software capaces de generar información geográfica a partir de un modelo de elevación digital.

En lo que refiere al autor, Cartoteca (2011) se define la herramienta ArcGIS como un “Programa informático producido y comercializado por ESRI, que agrupa varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica”.

En la misma forma, Hernández y Montaner (2008), describen que “ArcGISTM es un sistema de información geográfica (SIG o GIS en inglés) integrado que consta de tres partes claves: El software ArcGIS Desktop como un conjunto integrado de aplicaciones SIG avanzadas, el ArcSDETM Gateway es una interfaz para administrar las geodatabase (base de datos geográfica) en un sistema de administración de bases de datos (DBMS), el software ArcIMS es un SIG orientado a Internet para distribuir datos y servicios”. En lo esencial, se considera un producto compuesto de diferentes software (ArcGlobe, ArcMap y ArcScene) de amplia utilidad, ya que a través de su aplicación en conjunto con los sistemas de información geográfica se puede obtener y editar información complementaria para el estudio de un área en particular mediante su visibilidad y modelado.

### **HEC**

El Centro Hidrológico de Ingeniería, también llamado Hydrologic Engineering Center (HEC), es una organización de referencias oficiales en las áreas técnicas de hidrología tanto superficiales como subterráneas, fluvial, transporte de sedimentos, estadísticas hidrológicas, riesgo de análisis, análisis del sistema de reservas y planificación, entre otros temas asociados para el cuerpo de ingenieros del ejército de Estados Unidos (U.S Army Corps of Engineers).

Cabe agregar, que existen herramientas y extensiones complementarias que al ser aplicadas en conjunto con algunos software como el ArcGIS, pueden dar origen a estudios hidrológicos con diversos resultados para una determinada investigación, entre los cuales se encuentran:

### **HEC-GeoHMS**

La Extensión de la Modelación Hidrológica Espacial (HEC – GeoHMS), se considera una herramienta complementaria del software ArcGIS, desarrollada como un conjunto de herramientas de la hidrología geoespacial, que en referencia con el

Hydrologic Engineering Center (HEC) (2016) “transforma las vías de drenaje y límites de la cuenca en una estructura de datos hidrológicos que representa la red de drenaje”. Además, admite visualizar de información espacial, caracterizar, analizar y delinear de cuencas hidrográficas, subcuencas y arroyos.

### **HEC-HMS**

El sistema de modelado hidrológico (HEC-HMS), está diseñado para simular los procesos hidrológicos completos de sistemas de cuencas hidrográficas dendríticas, incluye procedimientos necesarios para la simulación continua incluyendo la evapotranspiración, la fusión de la nieve, y la contabilidad de la humedad del suelo. También, se proporcionan capacidades avanzadas para la simulación de la escorrentía.

### **HEC-RAS**

El sistema de análisis de río (HEC - RAS), permite al usuario realizar de forma unidimensional el flujo constante de una y dos dimensiones, cálculos de flujo no estacionario, transporte de sedimentos, cálculos lecho móvil, temperatura del agua y modelización de la calidad del agua.

### **HEC-GeoRAS**

Es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades para el procesamiento de datos geospaciales en ArcGIS, mediante una interfaz gráfica de usuario. Además, La interfaz permite la preparación de los datos geométricos para su importación en HEC-RAS y procesa los resultados de simulación exportados de HEC-RAS.

### **GPS**

Para determinar las coordenadas que permiten ubicar puntos sobre la superficie de la tierra, es necesario utilizar equipos tecnológicos de alta precisión como el GPS (Sistema de Posicionamiento Global), que de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (2016) es “un sistema de posicionamiento por satélites desarrollado por el Departamento de la Defensa de los E.U, diseñado para apoyar los requerimientos de navegación y posicionamiento precisos con fines

militares”, por lo que se considera un equipo de gran utilidad en lo que procesamiento de puntos se refiere, bien sean de tierra, mar o aire.

A estos elementos, el Gobierno de los Estados Unidos señala que el GPS proporciona datos topográficos y cartográfico con una alta precisión, donde las superficies medidas pueden ser visualizadas en mapas y en Sistemas de Información Geográfica (SIG), que almacenan, manipulan y visualizan datos geográficos referenciados, al igual que, facilita el levantamiento donde hay pocos puntos de referencia en tierra, como costas y vías fluviales.

## **CAPITULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

En este capítulo se definen los diversos aspectos descritos al diseño metodológico empleados para la elaboración de este trabajo de investigación. Así mismo, se señala el tipo de estudio desarrollado para la observación y obtención de datos, e igualmente, se precisa el procedimiento para validar las zonas de planicie inundable en las adyacencias de la Cuenca del Río Guacara.

En este orden de ideas, en la investigación se desarrolla mediante la combinación de métodos, técnicas e instrumentos tanto de recolección como de análisis de datos, en los cuales, intervienen la utilización de equipos y materiales que resultan claves para el logro de resultados, por lo que, es de importancia seleccionar el procedimiento adecuado que conlleve al mejoramiento de los conocimientos y de las prácticas educativas.

#### **Tipo y Diseño de la Investigación**

Se considera una investigación de tipo Documental, debido a que según la Upel (2011), se refiere a:

El estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos. La originalidad del estudio se refleja en el enfoque, criterios, conceptualizaciones, reflexiones, conclusiones, recomendaciones y, en general, en el pensamiento del autor.

Por lo que, los resultados que se obtiene son producto de la interpretación de los investigadores, de acuerdo, a lo que se observa en el campo de trabajo. En lo esencial, es una investigación de campo, debido a que la Upel (2011) establece que:

El análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlo, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo. Los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad; en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales o primarios.

Como complemento, atendiendo la clasificación de Hernández, Fernández y Baptista (2003), “el diseño del estudio es no experimental, ya que no se manipulan las variables”, sino que se busca establecer una relación entre los valores de acuerdo a lo que se manifiesta en la realidad para así analizarlos.

En relación a lo expuesto, se tiene que es una investigación de campo de tipo descriptiva, ya que según Tamayo (2003) la investigación descriptiva “comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre cómo una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente”. En relación al autor mencionado, se expone que el trabajo de investigación que se realiza es catalogado como un estudio exploratorio en el que “se realizan con miras a consecución de datos fieles y seguros para la sistematización de estudios futuros”. En este caso, se indaga y analiza el conjunto de eventos tormentosos en zonas próximas al Río Guacara.

### **Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Según, Hurtado (2000), las técnicas de recolección de datos comprende procedimientos y actividades que le permiten al investigador obtener la información necesaria para dar respuesta a sus preguntas de investigación. De esta manera, se contribuye en el acomodo, seguimiento y almacenamiento de información que, de

acuerdo, a los objetivos que se persiguen en este estudio facilitaron su organización como aspecto relevante en demostrar la efectividad del programa y que, a su vez, brindaría una posible respuesta de solución a la problemática planteada. Por lo que, en la investigación se trabaja con la observación indirecta y la observación directa.

### **Observación Indirecta**

Por su parte, Sabino (2000), explica como observación indirecta es aquella que se aplica “si apelamos al auxilio de diversos instrumentos capaces de registrar información sobre el problema en estudio”; en este sentido, el resultado puede ser percibido mediante la utilización de aparatos o instrumentos que permitan complementar la información o los datos que se obtengan de manera directa. En este paso de la investigación, el instrumento utilizado para la medición de las precipitaciones es el pluviómetro, ubicado en las estaciones de estudio cercanas al Río Guacara.

### **Observación Directa**

A este respecto, Tamayo (2003) hace referencia a que la observación directa es aquella “en la cual el investigador puede contemplar y percibir datos mediante su propia curiosidad”; por lo que, sin duda en el presente estudio se comprueba a través de la toma de datos por medio de GPS se examina en campo los diferentes puntos de interés del terreno.

### **Instrumentos o Equipos**

A continuación se presentan los diferentes equipos requeridos y utilizados para el desarrollo de la presente investigación:

#### **Equipos**

- Computadora.
- Internet.
- Pendrive.
- Cámara.
- Teléfono.
- GPS.

- Transporte.

### **Materiales**

- Lápices.
- Bolígrafos.
- Hojas.
- Borrador.
- Carpetas.

## **Técnicas de Análisis e Interpretación de Datos**

De acuerdo con, Bautista (2004) se considera análisis e interpretación de datos o análisis de contenido a aquella “Técnica que permite reducir y sistematizar cualquier información contenidos en documentos escritos, filmes, grabaciones, etc”. Con relación, a la recopilación de información del estudio que se realiza se obtuvo una serie de datos hidrometeorológicos (precipitaciones) proporcionados por la pagina web del INAMEH, los cuales fueron desglosados y organizados en tablas de Excel, obteniendo así graficas de pluviogramas e hietogramas, respectivamente para cada estación y año en un periodo establecido desde 2013 al 2015.

## **Procedimiento Metodológico**

### **Plan de Desarrollo**

La metodología de una investigación a través de fases representa planeación, organización, dirección y control de actividades (Dantzig, 1996). En la misma forma, Molero y Villasmil (2012) presentan en su indagación como parte del desenvolvimiento de la misma que “una vez seleccionada la metodología a utilizar en el desarrollo de la investigación, se procede a realizar la planificación de las actividades a desarrollar durante todo el período de investigación, que acceden al desarrollo elaborado y preciso de este proyecto, tomando en consideración los resultados que se esperan obtener a través de la aplicación de la metodología”; de esta manera, se procede a organizar toda la serie de actividades, con el fin de, monitorear

de forma progresiva los resultados. En base a lo expuesto, se consideran las siguientes fases para la distribución del trabajo que se desarrolla:

***FASE I***  
**Diagnóstico**

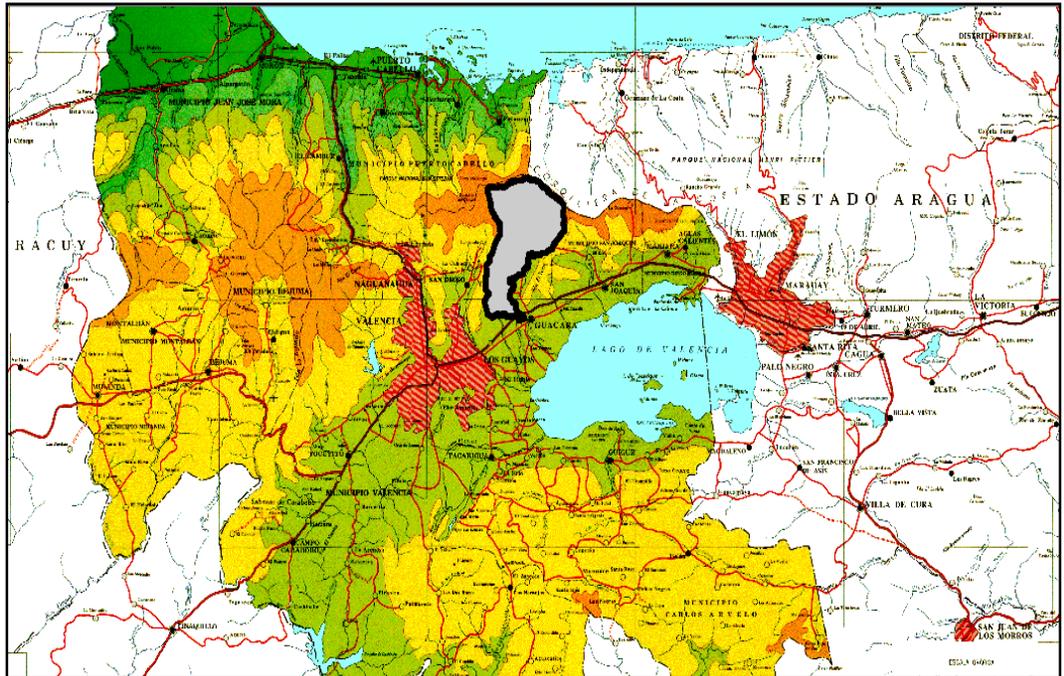
En esta fase se procede a escoger el área de interés en la que se realiza el trabajo de investigación, siendo esta la cuenca del Río Guacara, la cual se desplaza de Norte a Sur desde las alturas de La Cordillera del Litoral hasta el Lago de Valencia. Así mismo, se encuentra ubicada en la Parroquia San Joaquín, Municipio Guacara del Estado Carabobo, siendo una corriente hidrográfica con una longitud de 19,43 Km, un área de 94,60 Km<sup>2</sup> y comprendida entre los puntos que se muestran en el siguiente cuadro:

**Cuadro 1.**

Coordenadas del Rio Guacara.

<b>PUNTO</b>	<b>LATITUD</b>	<b>LONGITUD</b>
Alto	10°19'57"	67°53'0"
Bajo	10°14'00"	67°53'06"

A continuación, se representa en el Gráfico 1 la ubicación de la cuenca del Río Guacara respecto al mapa del Estado Carabobo:



**Gráfico 1. Localización del Río Guacara en el mapa del Estado Carabobo.**

En la misma forma, el sector Norte del municipio al cual pertenece la cuenca del Río Guacara, consta con una vegetación de selvas pluviales, al igual que por la alta lluviosidad de la zona la vegetación es muy variada predominando especies arbóreas como el Cedro, el Saqui-saqui, el Apamate, el Mijao y el Pardillo. En lo que refiere, a la zona Sur cercana al Lago de Valencia, la vegetación ha sido alterada por procesos agrícolas e industriales.

Adicionalmente, con relación a lo publicado por el Instituto Nacional de Estadística (INE), en su informe geoambiental Carabobo (2011), estima una serie de datos climatológicos correspondientes al Municipio Guacara, entre los cuales se encuentran, una temperatura media de 24,5 °C y precipitación promedio anual de 909,5 mm correspondientes a un 91,6 % para los meses de Mayo a Octubre y lluvias máximas entre los meses de Junio, Julio y Septiembre. Por otra parte, el INE se refiere al Municipio Guacara como un centro de explotación agrícola de café, algodón, añil, maíz, entre otros.

## **FASE II**

### **Recopilación de Información**

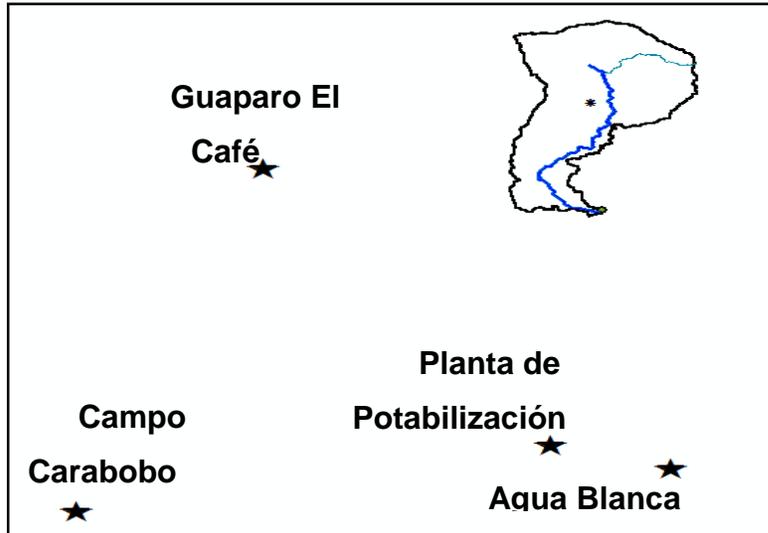
Con referencia, a lo requerido en el objetivo específico 1 se describe que las variables hidrometeorológicas estudiadas en este trabajo de investigación son las relacionadas al proceso lluvia-escorrentía. Debe señalarse, que los datos respectivos a las precipitaciones son obtenidos a partir del sitio web del INAMEH, los cuales se procesan mediante tablas de Excel para disgregar las lluvias acumuladas en un intervalo de tiempo de 5min correspondientes a cada evento tormentoso en un periodo de 3 años, desde el 2013 al 2015. El análisis precedente, concluye en la realización de pluviogramas e hietogramas respectivos para cada estación pluviométrica y año de estudio.

#### **Cuadro 2.**

Coordenadas de Estaciones Hidrometeorológicas.

<b>ESTACION</b>	<b>LATI TUD</b>	<b>LONGIT UD</b>	<b>SERIAL</b>	<b>TIPO</b>
Planta de Potabilización	10°3'37"	67°54'41"	CA07297A P1	Pluviométrica
Agua Blanca	10°2'34"	67°51'00"	CA00489A P1	Pluviométrica
Campo Carabobo	10°0'43"	68°9'14"	CA01397A P1	Pluviométrica
Guaparo El Café Prueba	10°15'53"	68°3'28"	CA01310A P1	Pluviométrica

Con referencia al cuadro 2, se ilustra en el gráfico 2 la ubicación de las estaciones hidrometeorológicas cercanas a la cuenca del Río Guacara:



**Gráfico 2.** Ubicación de estaciones hidrometeorológicas adyacentes al Río Guacara.

En relación a lo expuesto, la información suministrada por el INAMEH a lo que intensidad y lluvias máximas se refiere, se encuentra organizada por estados, estación y tiempo de duración, como se ejemplifica a continuación en el cuadro 3:

**Cuadro 3.**

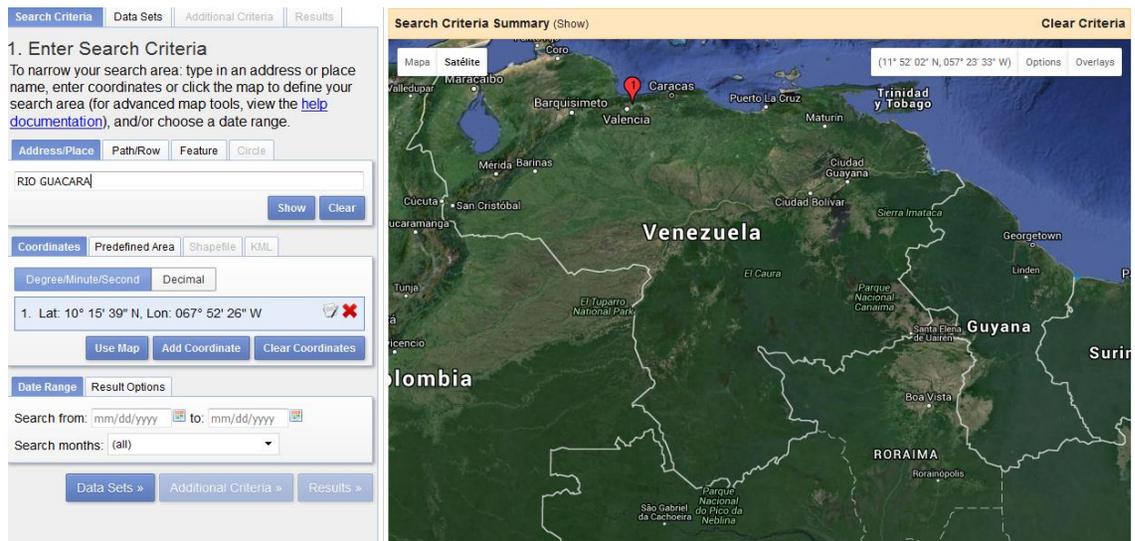
Datos obtenidos de estación hidrometeorológica Planta de Potabilización, Estado Carabobo, en tiempo real.

PLANTA DE POTABILIZACION		FECHA / HORA (UTC)	VALORES	LLUVIA DISGREGADA
 <p>SERIAL CA07297API</p> <p>ESTADO Carabobo</p> <p>UBICACION 10.0603 -67.9114</p> <p>TIPO DE ESTACION P</p> <p>SENSOR Precipitacion</p> <p>EXPORTAR:  <a href="#">CONSULTAR UN RANGO MAYOR</a></p>		03/03/2016 3:40	2126,2	
		03/03/2016 3:35	2126,2	0
		03/03/2016 3:30	2126,2	0
		03/03/2016 3:25	2126,2	0
		03/03/2016 3:20	2126,2	0
		03/03/2016 3:15	2126,2	0
		03/03/2016 3:10	2126,2	0
		03/03/2016 3:05	2126,2	0
		03/03/2016 3:00	2126,2	0
		03/03/2016 2:55	2126,2	0
		03/03/2016 2:50	2126,2	0
		03/03/2016 2:45	2126,2	0
		03/03/2016 2:40	2126,2	0
		03/03/2016 2:35	2126,2	0
		03/03/2016 2:30	2126,2	0
03/03/2016 2:25	2126,2	0		

**Fuente:** INAMEH (2016)

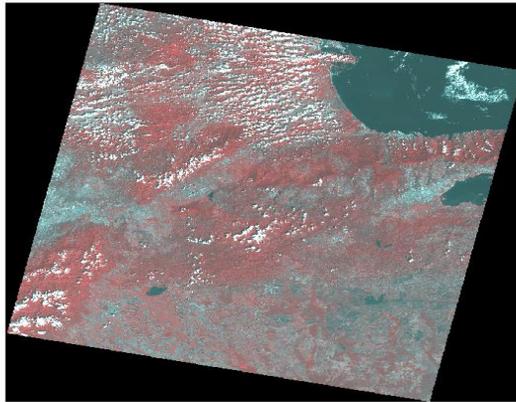
Con respecto a, delimitar, ubicar y distinguir las áreas de planicie inundable, se incorpora a este trabajo de investigación la línea de búsqueda EarthExplorer como

herramienta para la obtención de la imagen satelital del área que comprende la cuenca del Río Guacara.



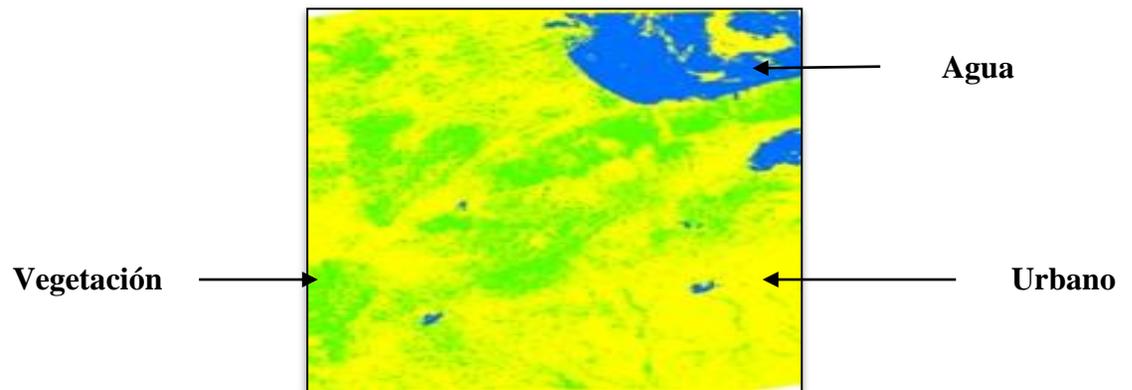
**Gráfico 3.** Imagen satelital de la ubicación del Río Guacara. Fuente: EarthExplorer (2016)

Así mismo, para generar el mapa de uso de la tierra se descarga la imagen mediante el satélite Landsat, la cual incluye 8 bandas espectrales que al componerse por medio del software ArcGis 10, se generan una gama de imágenes de color para poder realizar el monitoreo de la vegetación, geología y estudio de los recursos naturales y cultivos.



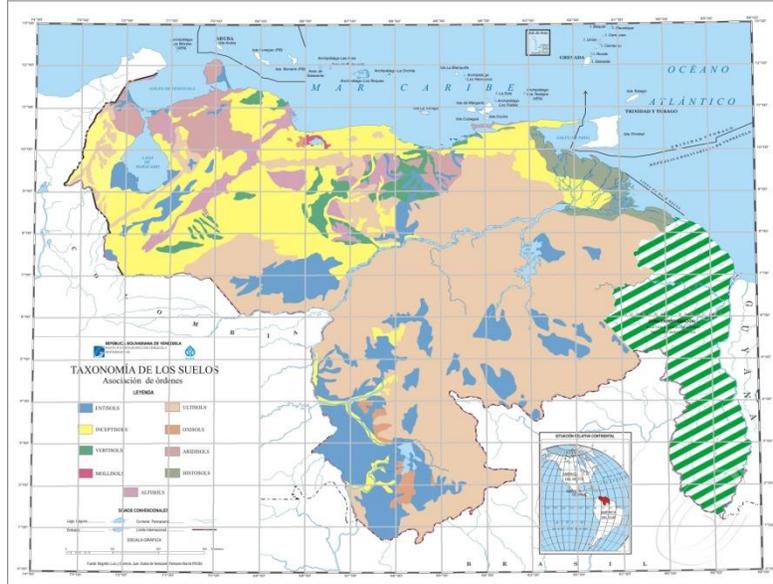
**Gráfico 4.** *Imagen de composición de bandas.*

Entorno a lo expuesto, se efectúa el procesamiento de la imagen de composición de bandas, generando una capa de puntos, los cuales son asignados para definir los tipos de uso de la tierra, como lo son agua, vegetación y urbano, así como se muestra en el siguiente gráfico:



**Gráfico 5.** *Usos de la tierra: agua, vegetación y urbano.*

De acuerdo a, Santander (2013) “Venezuela se encuentra ubicada en la zona intertropical y su ubicación geográfica la hace estar ubicada en la confluencia de las biorregiones Andina, Amazónica y Caribeña”, por lo que presenta una gran diversidad de tipos de suelo cuya clasificación se encuentra definida por la Séptima Aproximación Norteamericana, elabora por el Soil Survey Staff (USDA) en 1960.

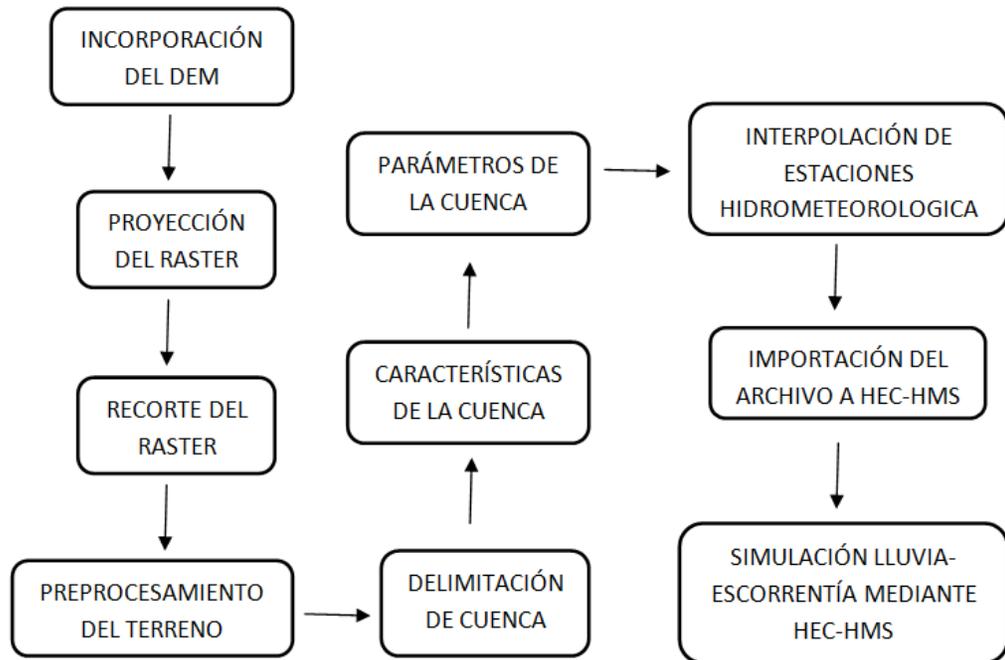


**Gráfico 6.** Mapa de clasificación de tipos de suelo según USDA. Fuente: Universidad Bolivariana de Venezuela.

### **FASE III**

#### **Procesamiento de Datos**

En la presente fase, se conduce a realizar el proceso de simulación lluvia-escorrentía del Río Guacara, por consiguiente, se muestra a continuación de forma esquemática la secuencia de la metodología aplicada con el software ArcGis 10, para luego exportar al software HEC-HMS y proceder a realizar dicha simulación:

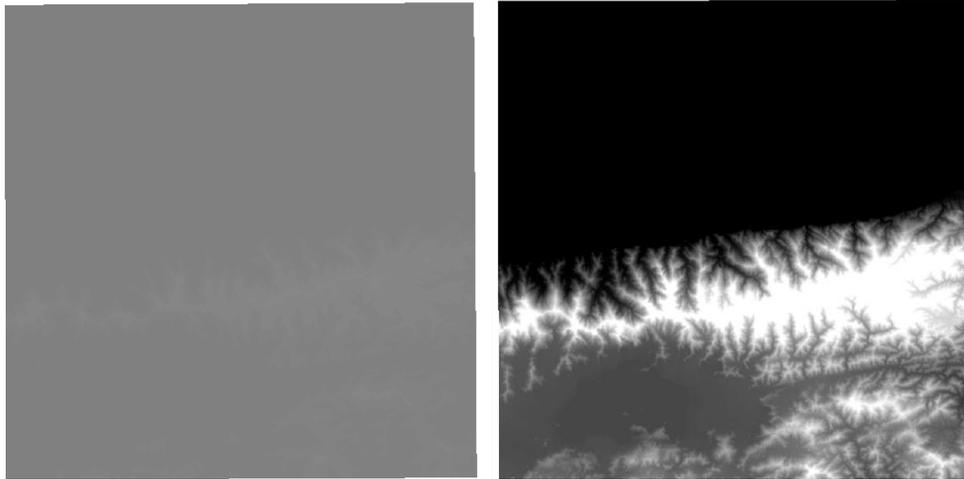


*Gráfico 7. Esquema metodológico.*

De acuerdo con, el esquema antes planteado, se inicia el proceso de lluvia escorrentía de la siguiente forma:

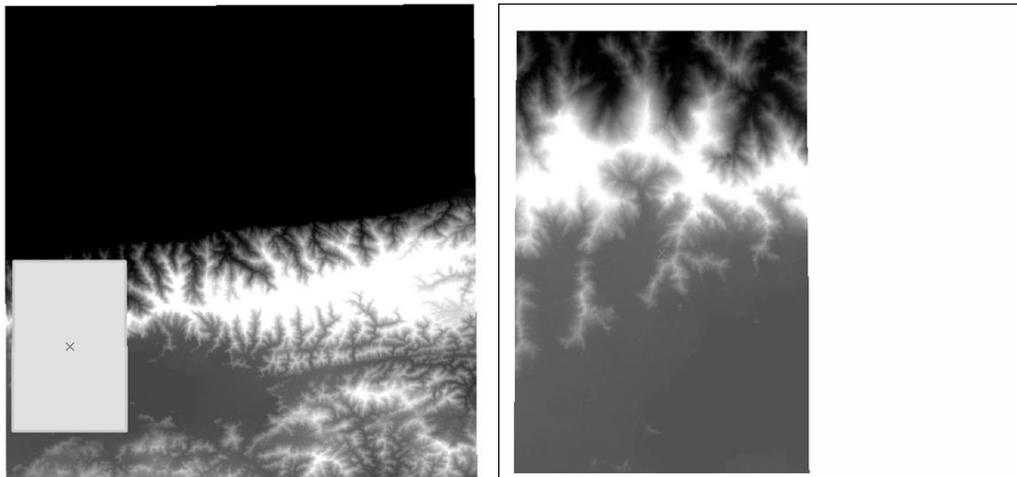
### **Delimitación de cuenca**

En esta etapa de desarrollo del proyecto, se incluye inicialmente, añadir el archivo DEM al espacio de trabajo en ArcMap para ser proyectado como imagen Raster, lo que implica asignarle el correspondiente sistema de coordenadas de acuerdo con la zona de ubicación de la cuenca del Río Guacara, según el Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84), correspondiente a la zona 19 Norte en unidades Universal Transverse Mercator (UTM).



**Gráfico 8.** *Transformación de Imagen DEM a Raster.*

Como se ha señalado, en esta investigación se estudia el comportamiento de la cuenca del Río Guacara ante eventos tormentosos, por lo que se debe realizar una aproximación de la imagen a la zona de interés, originando un polígono que permita generar el recorte que contenga la región que se pretende analizar.

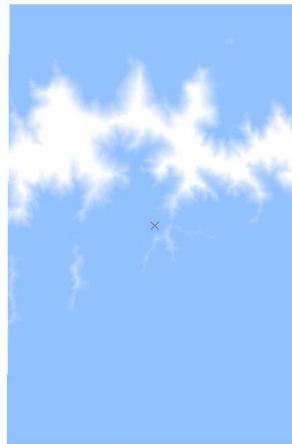


**Gráfico 9.** *Creación de recorte.*

En lo que prosigue, es necesario realizar el preprocesado del terreno, para describir los patrones de drenaje, delineación y red de drenaje de la cuenca del Río

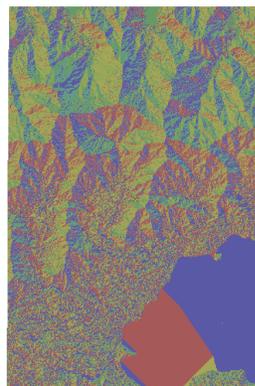
Guacara. Esto consiste en obtener una serie de conjunto de datos descritos de la siguiente forma:

**Fill Sinks:** es el relleno de las depresiones para que de esta manera con el agua pueda fluir de una celda a otra sin estancarse, ya que las celdas más profundas a menudo son catalogadas como errores, gracias a la interpolación en la triangulación de las curvas de nivel.



*Gráfico 10. Resultado del Fill Sinks.*

**Flow Direction:** define la dirección del flujo con mayor pendiente de descenso.



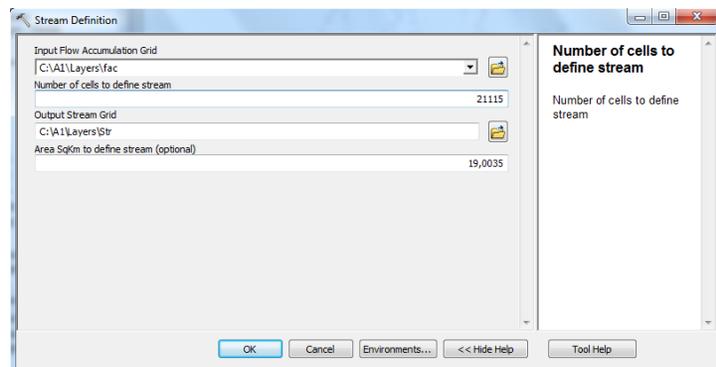
*Gráfico 11. Resultado del Flow Direction.*

**Flow Accumulation:** se determina el número de celdas que drenan a cada celda, desde aguas arriba hasta aguas abajo, calculando el área de drenaje mediante el producto del valor de la acumulación de flujo por el área de la celda.



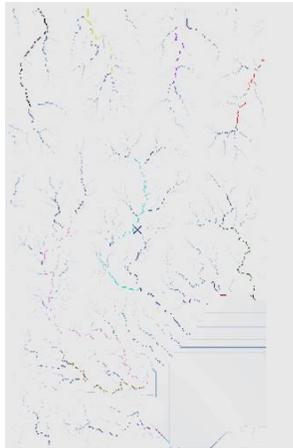
*Gráfico 12. Resultado del Flow Accumulation.*

**Stream Definition:** clasifica todas las celdas con flujo procedente de una celda mayor. Cabe destacar, que para la ejecución de este paso debe definirse un número de celdas correspondiente al flujo, que permite obtener la menor o mayor cantidad de cuencas, con el objetivo de tener una mayor precisión y observación de la cuenca que se desea obtener, cuyo valor es de 21115 para el caso de la definición de la cuenca del Río Guacara.



*Gráfico 13. Definición de número de celdas.*

**Stream Segmentation:** permite segmentar los cauces en distintos tramos, cada uno con su respectiva cuenca. Es de hacer notar, que el resultado de este paso se encuentra sujeto al valor definido en el stream definition.



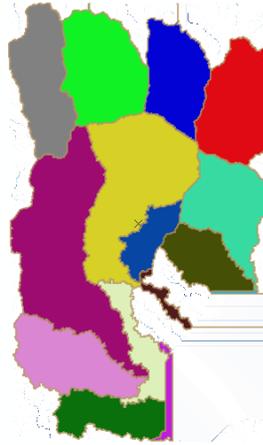
*Gráfico 14. Segmentación de cauces.*

**Catchment Grid Delineation:** Define una cuenca por cada segmento de cauce, seccionado en el procedimiento anterior.



*Gráfico 15. Definición de cuencas por segmento de cauce.*

**Catchment Polygon Processing:** este paso convierte las subcuencas de formato grid a vector.



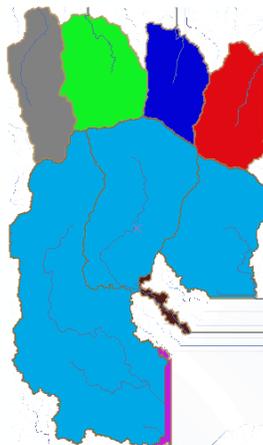
*Gráfico 16. Subcuencas en formato vector.*

**Drainage Line Processing:** define el cauce principal para cada cuenca.



*Gráfico 17. Definición de cauces.*

**Adjoint Catchment Processing:** este proceso une las subcuencas que vierten a cada confluencia, mejorando la delineación de las subcuencas y la obtención de datos.

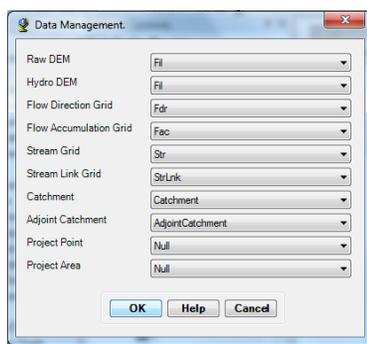


*Gráfico 18. Obtención de Adjacent Catchment Processing.*

En este orden de ideas, se selecciona la herramienta Project Setup, la cual se encarga de extraer la información necesaria de la base de datos para la creación del proyecto HMS.

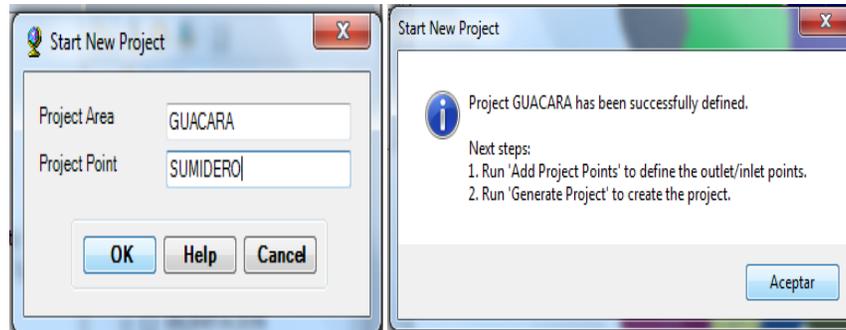
Para iniciar un nuevo proyecto se ejecutan las siguientes aplicaciones:

**Data Managment:** Se especifican los datos de entrada para la creación del proyecto.



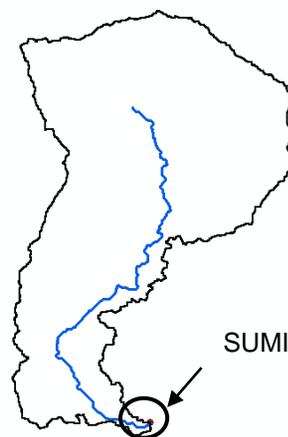
*Gráfico 19. Datos de entrada para la creación del proyecto.*

**Start New Project:** se define el proyecto junto con su respectiva área y punto de descarga, identificando el área del proyecto como Guacara y el punto como Sumidero.



*Gráfico 20. Creación del proyecto.*

**Generate Project:** en este paso se genera el proyecto de la cuenca con la que se desea trabajar, a partir de definir la ubicación del sumidero. En este sentido, es pertinente señalar que el programa origina un nuevo archivo como base de datos que contiene los datos del preprocesamiento del terreno, al igual que agrega dos nuevas capas designadas River y Subbasin, las cuales contienen las red de ríos y los datos de las subcuencas respectivamente.



*Gráfico 21. Cuenca del Río Guacara.*

### Características de la cuenca

Esta operación consiste en estimar parámetros hidrológicos mediante el cálculo de las propiedades topográficas del cauce y la cuenca. Es importante mencionar, que los datos obtenidos a través del uso de esta herramienta son de tipo numérico, es decir, refleja las características físicas de la cuenca, siendo estos almacenados en una tabla de atributos.

**Slope:** en este proceso se le asigna la inclinación del terreno a la cuenca, en otras palabras se define las curvas de nivel.



*Gráfico 22. Curvas de nivel de la cuenca del Río Guacara.*

A continuación, en el gráfico 22 se refleja la longitud (RivLen) e inclinación (Slp) del cauce:

Table			
River38			
Slp	ElevUP	ElevDS	RivLen
0.029138	568	0	19493.18072

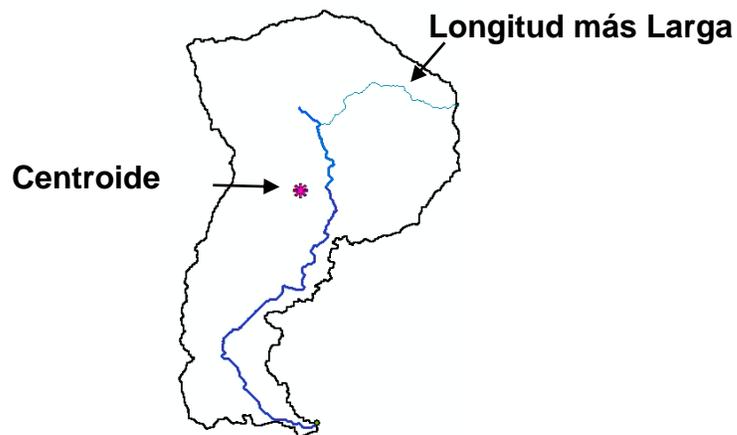
*Gráfico 23. Longitud e inclinación del cauce del Río Guacara.*

De esta manera, en el gráfico 23 se muestra la inclinación de la cuenca, la cual es una característica importante para calcular el tiempo de concentración según el número de curvas procedentes del uso de la tierra

Table	
Subbasin38	
BasinSlope	31.717716

**Gráfico 24.** Inclinación de la cuenca del Río Guacara.

En adelante, para calcular la longitud más larga del flujo se ejecuta la herramienta Longest Flowpath, a lo que prosigue la ubicación del centroide de la cuenca.



**Gráfico 25.** Ubicación del centroide y longitud más larga del cauce de la cuenca del Río Guacara.

Igualmente, es importante conocer la elevación del centroide de la cuenca, como también la proyección del centroide en el camino más largo de flujo.

Centroid38				
OBJECTID *	Shape *	DrainID	Elevation	Elevation HM
1	Point	2	645	645

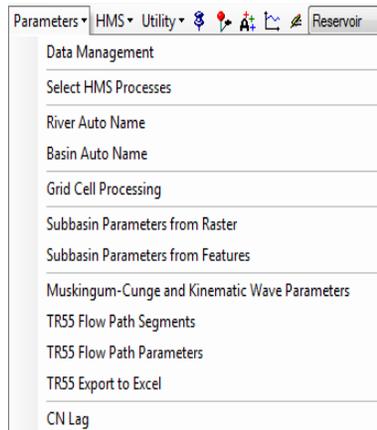
CentroidalLongestFlowPath38				
OBJECTID *	Shape *	Shape Length	DrainID	CentroidalFL
1	Polyline	15371.088732	2	15371.088732

**Gráfico 26.** Valores del centroide respecto a su elevación y proyección.

### Parámetros de la cuenca

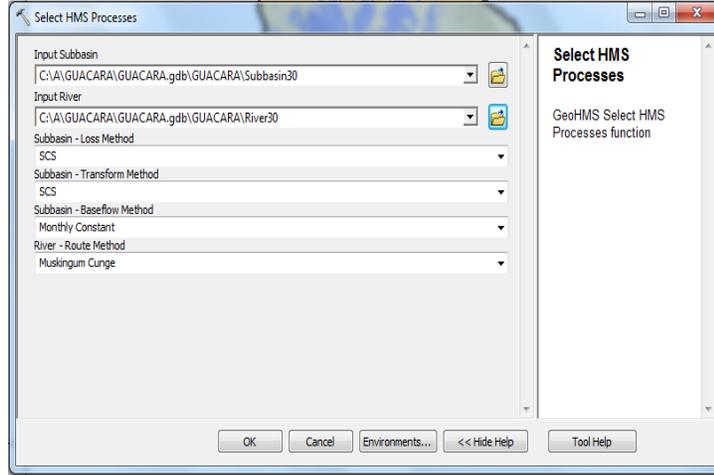
En esta extensión, se estiman parámetros hidrológicos importantes a partir de las características físicas calculadas anteriormente.

De igual manera, en el siguiente gráfico se muestran las diferentes herramientas correspondientes a los parámetros de interés para obtener el tiempo de concentración de la cuenca del Río Guacara:



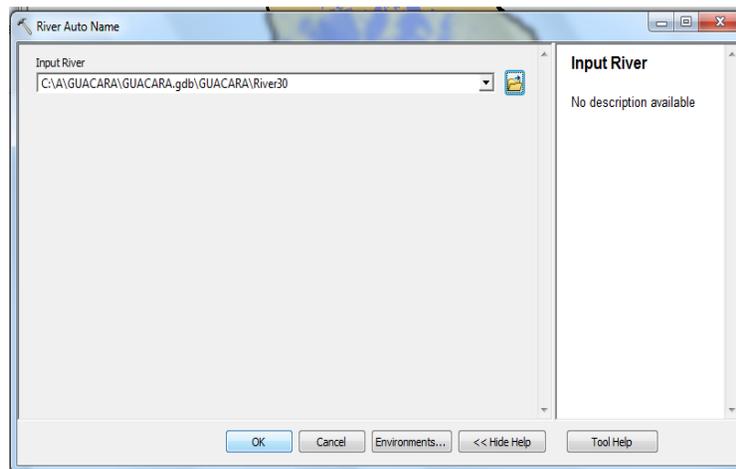
**Gráfico 27.** Parámetros hidrológicos.

**Select HMS Processes:** esta herramienta permite seleccionar la metodología que será usada en el estudio de la cuenca, información que es guardada en las tablas de atributo de las capas Subbasin y River.



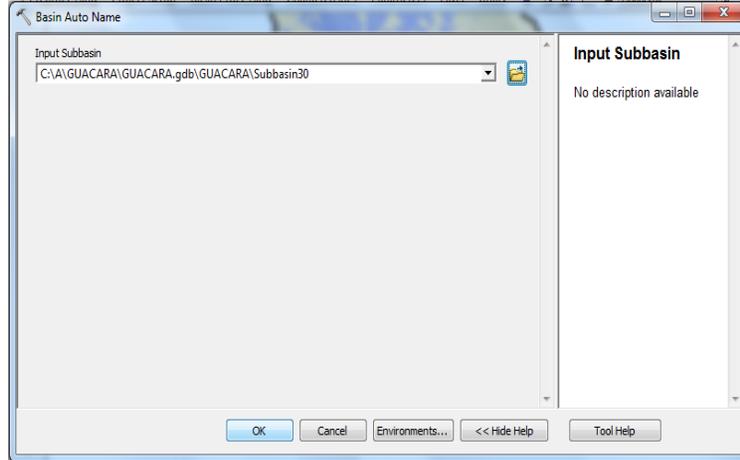
*Gráfico 28. Selección de los métodos HMS.*

**River Auto Name:** en este paso se nombran los ríos desde aguas arriba hasta aguas abajo combinando la letra “R” con un número.



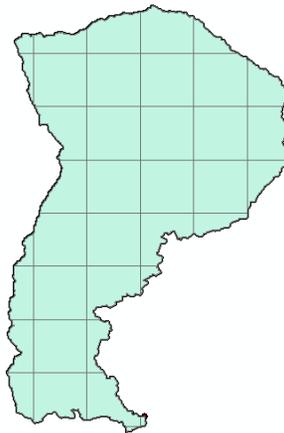
*Gráfico 29. Selección del River Auto Name.*

**Basin Auto Name:** en este paso se nombran las subcuencas desde aguas arriba hasta aguas abajo combinando la letra “W” con un número.



*Gráfico 30. Selección del Basin Auto Name.*

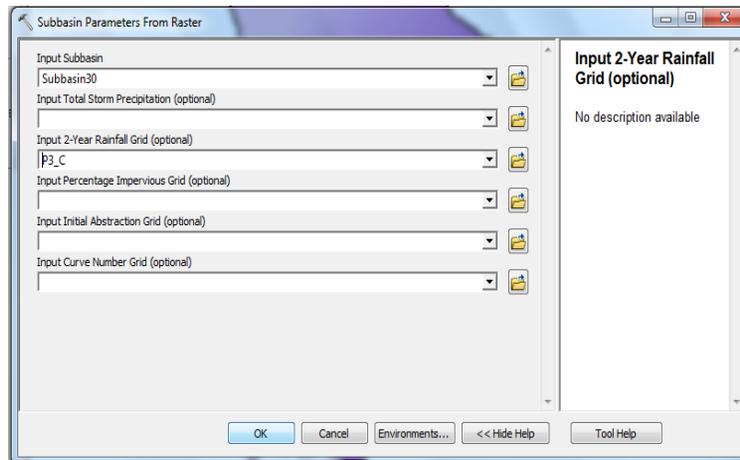
**Grid Cell Processing:** esta herramienta crea una capa de polígono que divide el área de proyecto en celdas de cuadrícula, que es interceptada con la capa de la subcuenca para determinar la ubicación de las cuadrículas y el área dentro de cada subcuenca.



*Gráfico 31. Cuadrícula de la cuenca.*

**Subbasin Parameters from Raster:** esta herramienta funciona con una capa raster calculando los parámetros hidrológicos promedios para cada subcuenca, determinando estimaciones de los parámetros iniciales de los métodos de pérdidas de

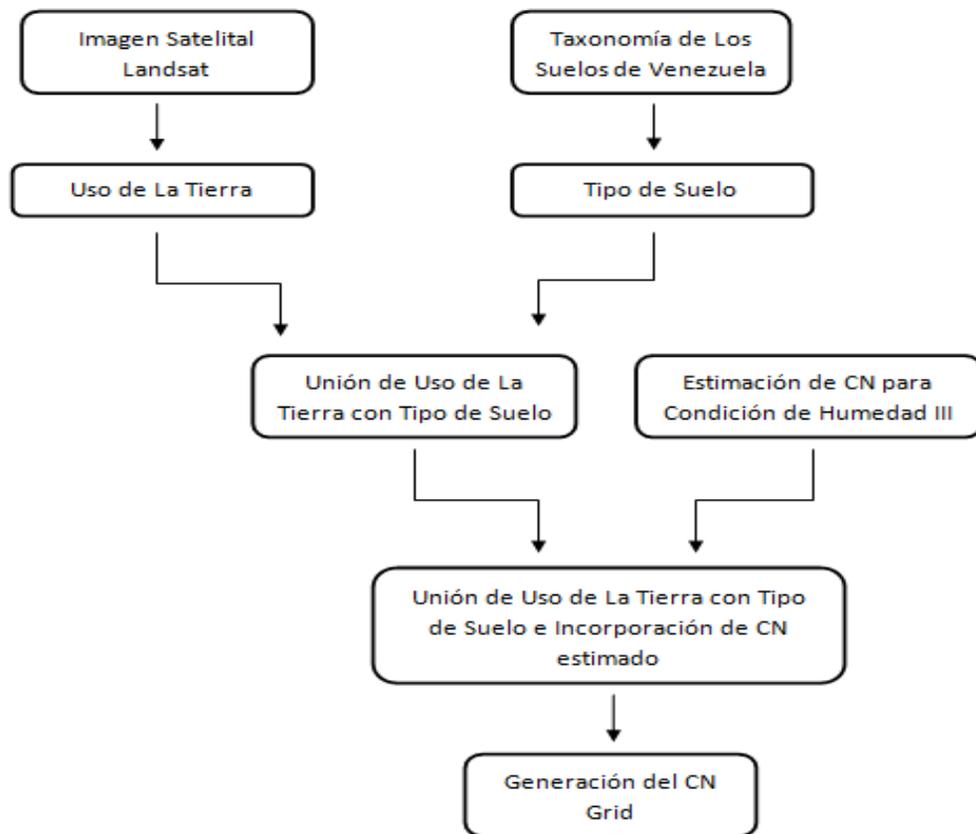
HEC-HMS. En adelante, la capa raster utilizada en este procedimiento es una capa que contiene la interpolación de las estaciones hidrometeorológicas adyacentes al Río Guacara, con información de lluvias en pulgadas para estimar la precipitación para un tiempo de retorno de 2 años.



**Gráfico 32.** Selección del Subbasin Parameters From Raster.

### **Cálculo del CN ponderado**

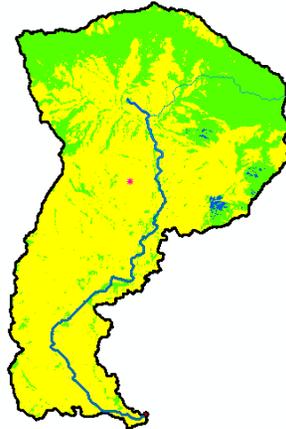
Para la estimación del número de curvas (CN) ponderado se realiza una secuencia de pasos representados en la siguiente gráfica:



**Gráfico 33.** Esquema metodológico para el cálculo del CN ponderado.

### **Uso de la tierra**

Para poder determinar el uso de la tierra en la cuenca del Río Guacara es necesario realizar una extracción por máscara en la superposición de la cuenca con la imagen satelital Landsat ya procesada en la fase II, para obtener el porcentaje de área de agua, vegetación y urbano dentro del entorno perteneciente a la región en estudio.



*Gráfico 34. Clasificación del uso de la tierra en la cuenca del Río Guacara.*

### **Tipo de suelo**

Con el objetivo de determinar el tipo de suelo en la cuenca del Río Guacara se requiere elaborar una extracción por máscara en la superposición de la cuenca con el mapa de la taxonomía de suelos de Venezuela ya procesada en la fase II, para obtener el porcentaje de área de cada tipo de suelo.



*Gráfico 35. Clasificación del tipo de suelo en la cuenca del Río Guacara.*

## Unión del uso de la tierra con tipo de suelo

La realización de esta combinación se efectúa mediante una base de datos que contiene en su tabla de atributos parámetros tanto del uso de la tierra como del tipo de suelo, para así contemplar el tipo de suelo correspondiente al área de agua, vegetación y urbano. Cabe señalar, que esta combinación se elabora a través de la herramienta ArcGis 10 y la extensión HEC-GeoHMS.

OBJECT	Shape *	FID	UT	POL	A1	LU	pctA	pctB	pctC	pctD	FID ts	pol2	ID 1	GRIDCODE	Shape Length	Shape Area	landus	luvalue	lucode
1	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	0	1	3	112.494732	576.348726	3	3	C	
2	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	1	2	3	286.84794	4053.940284	3	3	C	
3	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	2	3	3	863.940228	27475.455707	3	3	C	
4	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	3	4	3	424.323026	9354.656617	3	3	C	
5	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	4	5	2	151.827698	1169.246917	2	2	C	
6	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	5	6	3	113.185761	616.192844	3	3	C	
7	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	6	7	2	120.000076	876.884909	2	2	C	
8	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	7	8	3	1174.529468	69528.303341	3	3	C	
9	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	8	9	2	119.999876	876.881988	2	2	C	
10	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	9	10	3	624.719819	19640.57551	3	3	C	
11	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	10	11	2	1712.807073	61122.145471	2	2	C	
12	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	11	12	3	170.212144	1214.866126	3	3	C	
13	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	12	13	3	306.559218	5766.606121	3	3	C	
14	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	13	14	2	213.352256	2005.75629	2	2	C	
15	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	14	15	2	364.250973	6953.88707	2	2	C	
16	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	15	16	3	263.029683	3038.035493	3	3	C	
17	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	16	17	2	113.185718	616.192331	2	2	C	
18	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	17	18	3	169.765815	1228.861325	3	3	C	
19	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	18	19	2	119.999876	899.989133	2	2	C	
20	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	19	20	3	113.185551	616.190502	3	3	C	
21	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	20	21	3	113.185427	616.189187	3	3	C	
22	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	21	22	2	701.006135	15585.626481	2	2	C	
23	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	22	23	3	113.185718	616.192331	3	3	C	
24	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	23	24	3	1010.64405	59319.71354	3	3	C	
25	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	24	25	3	2252.648814	189913.985957	3	3	C	
26	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	25	26	2	224.977127	2781.692003	2	2	C	
27	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	26	27	3	1792.540083	126574.30902	3	3	C	
28	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	27	28	3	224.279574	2418.204015	3	3	C	
29	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	28	29	2	213.012865	2132.215471	2	2	C	
30	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	29	30	3	113.185761	616.192844	3	3	C	
31	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	30	31	3	169.765677	1228.869977	3	3	C	
32	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	31	32	3	113.185427	616.189187	3	3	C	
33	Polygon	0	0	INCEPTISOLS	5	5	85	5	5	5	32	33	3	256.112585	3961.963191	3	3	C	

Gráfico 36. Base de datos de uso de la tierra y tipo de suelo.

## Estimación de CN

Para la evaluación de planicies inundables se debe asumir la condición de humedad antecedente húmeda (CNIII), correspondiente a la más desfavorable ya que implica la saturación del suelo. A partir de esta información, se aplica la ecuación mostrada a continuación para la estimación del número de curvas para este estado del terreno:

$$CNIII = \frac{23CNII}{10 + 0.13CNII}$$

Siendo, CNII la condición de humedad normal que para efectos del tipo de suelo característico de la zona se asignan los siguientes valores:

**Cuadro 4.**

Número de curvas de escorrentía para usos agrícola, suburbano y urbano. Condición II de humedad antecedente.

TABLA 5.3. NÚMERO DE CURVAS DE ESCORRENTIA PARA USOS AGRICOLA, SUBURBANO Y URBANO

Condición II de humedad antecedente.	Grupo de suelos			
	A	B	C	D
Uso de la tierra				
Tierra cultivada:				
Sin tratamiento conservacional	72	81	88	91
Con tratamiento conservacional	62	71	78	81
Pradera o Pastizal:				
Condición mala	68	79	86	89
Condición buena	39	61	74	80
Sabanas:				
Condición buena	30	58	71	78
Bosques:				
Ralo, cobertura pobre	45	66	77	83
Cobertura buena	25	55	70	77

Espacios abiertos, jardines, parques, campos de golf.  
Cementerios, etc.:

**Fuente:** Guevara (2004).

### Cuadro 5.

Número de curvas de escorrentía para usos agrícola, suburbano y urbano. Condición II de humedad antecedente.

Condición regular: Cobertura de grama de 50% a 75% del área	49	69	79	84
Áreas comerciales y de negocios (85% impermeable)	89	92	94	95
Áreas industriales (72% impermeables)	81	82	91	93
<b>Residencial</b>				
Parcela Promedio	% Impermeabilidad			
500 m <sup>2</sup> o menos	65	77	85	90
1000 m <sup>2</sup>	38	61	75	83
1500 m	30	57	72	81
2000 m	25	54	70	80
4000 m	20	51	68	79
Estacionamientos, parcelas, techos, autopistas, etc.	98	98	98	98
Pavimentados con cunetas. Y alcantarillas	98	98	98	98
Calles y caminos Granzón	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

**Fuente:** Guevara (2004).

### Unión de uso de la tierra con tipo de suelo e incorporación de CN estimado

El desarrollo de incorporar el CN estimado con la base de datos que contiene en su tabla de atributos parámetros tanto del uso de la tierra como del tipo de suelo, implica el uso de la herramienta ArcGis 10 y la extensión HEC-GeoHMS, adicionando el valor de CN correspondiente a polígono de tipo de suelo.

FID	Shape	OBJECTID	FID	UT	POL	Id	LU	pctA	pctB	pctC	pctD	FID	ts	pol	ID	1	GRIDCODE	Shape	Leng	Shape	Area	landuse	lvvalue	lvcode	CU
0	Polygon	1	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	0	1	3	112.494732	576.348726	3	C	99						
1	Polygon	2	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	1	2	3	288.84794	4053.940284	3	C	99						
2	Polygon	3	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	2	3	3	863.940228	27475.455707	3	C	99						
3	Polygon	4	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	3	4	3	424.323026	9354.656817	3	C	99						
4	Polygon	5	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	4	5	2	151.827698	1169.246917	2	C	81.7						
5	Polygon	6	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	5	6	3	113.185761	616.192844	3	C	99						
6	Polygon	7	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	6	7	2	120.000076	876.884909	2	C	81.7						
7	Polygon	8	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	7	8	3	1174.529488	69528.303341	3	C	99						
8	Polygon	9	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	8	9	2	119.999876	876.881988	2	C	81.7						
9	Polygon	10	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	9	10	3	624.719619	19640.57551	3	C	99						
10	Polygon	11	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	10	11	2	1712.807073	61122.145471	2	C	81.7						
11	Polygon	12	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	11	12	3	170.212144	1214.866126	3	C	99						
12	Polygon	13	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	12	13	3	306.559218	5766.606121	3	C	99						
13	Polygon	14	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	13	14	2	213.352256	2005.75629	2	C	81.7						
14	Polygon	15	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	14	15	2	364.250973	6953.88707	2	C	81.7						
15	Polygon	16	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	15	16	3	263.029883	3038.035493	3	C	99						
16	Polygon	17	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	16	17	2	113.185718	616.192331	2	C	81.7						
17	Polygon	18	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	17	18	3	169.765815	1228.861325	3	C	99						
18	Polygon	19	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	18	19	2	119.999876	899.998133	2	C	81.7						
19	Polygon	20	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	19	20	3	113.185551	616.190502	3	C	99						
20	Polygon	21	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	20	21	3	113.185427	616.189187	3	C	99						
21	Polygon	22	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	21	22	2	701.006135	15585.626481	2	C	81.7						
22	Polygon	23	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	22	23	3	113.185718	616.192331	3	C	99						
23	Polygon	24	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	23	24	3	1010.64405	59319.71354	3	C	99						
24	Polygon	25	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	24	25	3	2252.648814	189913.965957	3	C	99						
25	Polygon	26	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	25	26	2	224.977127	2781.692003	2	C	81.7						
26	Polygon	27	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	26	27	3	1792.540083	128574.30902	3	C	99						
27	Polygon	28	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	27	28	3	224.279574	2418.204015	3	C	99						
28	Polygon	29	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	28	29	2	213.012865	2132.215471	2	C	81.7						
29	Polygon	30	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	29	30	3	113.185761	616.192844	3	C	99						
30	Polygon	31	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	30	31	3	169.765677	1228.859977	3	C	99						
31	Polygon	32	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	31	32	3	113.185427	616.189187	3	C	99						
32	Polygon	33	0	0	0	0	INCEPTSOLS	5	5	85	5	32	33	3	258.112585	3961.963191	3	C	99						

Gráfico 37. Base de datos de uso de la tierra, tipo de suelo y número de curvas.

### Generación de CN Grid

En lo que respecta a este proceso, se crea la cuadrícula del numero de curvas mediante la extensión Utility de HEC-GeoHMS seleccionando el Generate CN Grid, que tiene como datos de entrada el Fill Sinks y la base de datos que contiene el uso de la tierra, el tipo de suelo y los valores de CN.

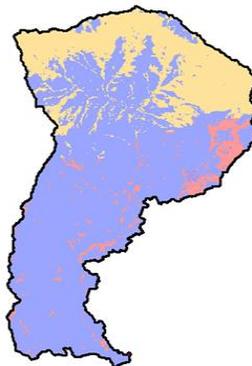
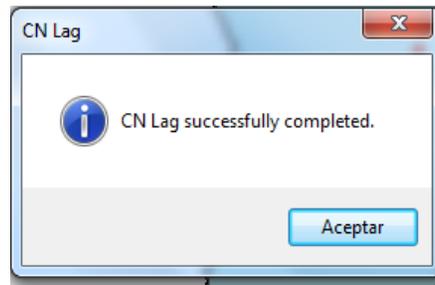


Gráfico 38. Resultado de generar el CN Grid.

Para culminar con los parámetros hidrológicos de la cuenca, se aplica la herramienta CN Lag que comprende el cálculo del tiempo de retardo de la cuenca basándose en el número de curvas, seleccionando la capa de la subcuenca para así completar la tabla de atributos de la misma.



**Gráfico 39.** *Generación del CN Lag.*

### **Importación del archivo a HEC-HMS:**

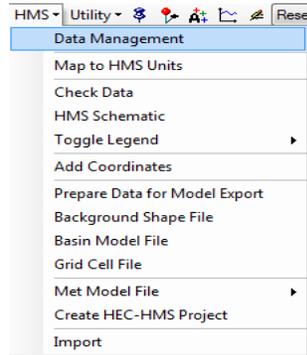
Para la aplicación de esta herramienta, es necesario realizar un conjunto de controles de datos para verificar la relación entre los elementos hidrológicos, debido a que en procedimientos de edición anteriores es posible que sin intención se haya modificado, como por ejemplo que los tramos, subcuencas y puntos de salida tengan nombres únicos.

De igual forma, es necesario convertir las características físicas de la cuenca en unidades de HMS, que para el caso de estudio se selecciona el Sistema Internacional (SI). Adicionalmente, se realiza el esquema de la cuenca para HMS del modelo hidrológico, ubicando los centroides de las subcuencas, las salidas y las uniones de los cauces, mediante un tema de puntos y de líneas que posteriormente se le asignan coordenadas geográficas.

Además, para poder realizar la corrida en HMS es necesario que el modelo de la cuenca contenga los elementos hidrológicos, sus conectividades y la información geográfica relacionada a un fichero de texto que pueda ser leído por el mismo.

Por último, se requiere la copia de todos los ficheros generados con GeoHMS, de tal manera que este grupo de ficheros (\*.met, \*.mod, \*gage) define el proyecto

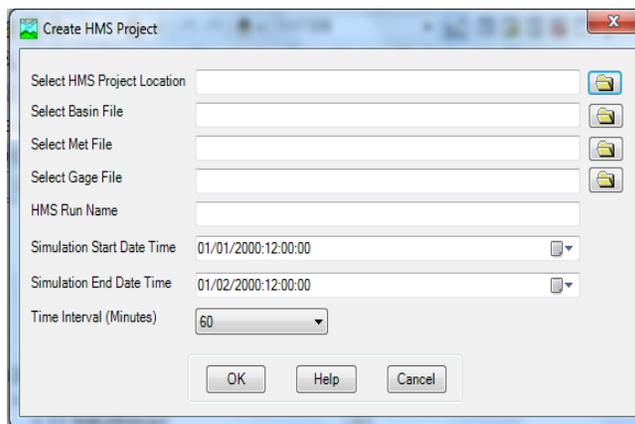
HMS, lo que implica cargar y ejecutar la información en el formato necesario del mismo.



*Gráfico 40. Herramientas aplicadas para la importación del archivo a HEC-HMS.*



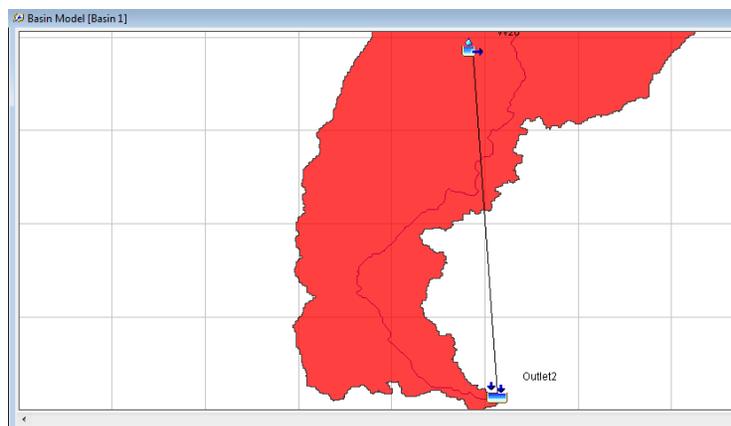
*Gráfico 41. Modelo HMS en ArcGis 10.*



*Gráfico 42. Creación del proyecto HMS.*

### **Simulación lluvia-escorrentía mediante HEC-HMS**

Para la simulación del proceso lluvia-escorrentía se hace uso del sistema de modelación hidrológica (HMS) partiendo de la copia de los archivos del proyecto HEC-HMS que son creados por el HEC-GeoHMS incluyendo los archivos Basin, Meteorologic, Gage, Grid Cell y Background Map. Incluso, crea el archivo \*.HMS que contiene la información del proyecto HEC-HMS.



*Gráfico 43. Importación desde HEC-GeoHMS.*

- **Descripción de los componentes**

Una vez importado el proyecto de la cuenca del Río Guacara a partir del archivo \*.basin se procede a crear los componentes requeridos para la corrida de la simulación lluvia-escorrentía.

**Time-Series Data Manager:** en este componente se le proporciona al programa principalmente los datos meteorológicos correspondientes a las tormentas del proyecto, al igual que el intervalo de duración pertinente a dichos eventos.

Time-Series Gage		Time Window
Name: PLUVIOGRAFO1		
Description:	PRECIPITACION MM	
Data Source:	Manual Entry	
Units:	Incremental Millimeters	
Time Interval:	5 Minutes	
Latitude Degrees:		
Latitude Minutes:		
Latitude Seconds:		
Longitude Degrees:		
Longitude Minutes:		
Longitude Seconds:		

Time-Series Gage		Time Window
Table		Graph
Time (ddMMYYYY, ...)	Precipitation (MM)	
27ago2014, 20:15		
27ago2014, 20:20	0,2	
27ago2014, 20:25	5,6	
27ago2014, 20:30	12,6	
27ago2014, 20:35	9,2	
27ago2014, 20:40	1,4	
27ago2014, 20:45	1,0	
27ago2014, 20:50	1,2	
27ago2014, 20:55	1,0	
27ago2014, 21:00	0,4	
27ago2014, 21:05	0,4	
27ago2014, 21:10	0,2	
27ago2014, 21:15	0,2	

**Gráfico 44.** Pluviógrafo correspondiente a la simulación de un evento tormentoso de 1 hora.

**Meteorologic Model Manager:** en este componente se le configura a la cuenca el dato de precipitación y se especifica el hietograma; además, se le indica que reconozca el modelo meteorológico de la cuenca y finalmente se le señala el pluviógrafo correspondiente.

Meteorology Model		Basins	Options
Met Name: Met 1			
Description:			
Shortwave:	--None--		
Longwave:	--None--		
Precipitation:	Specified Hyetograph		
Evapotranspiration:	--None--		
Snowmelt:	--None--		
Unit System:	Metric		
Replace Missing:	Set To Default		

Subbasins	
Met Name: Met 1	
Subbasin Name	Gage
W20	PLUVIOGRAFO1

**Gráfico 45.** Modelo meteorológico correspondiente al pluviógrafo 1.

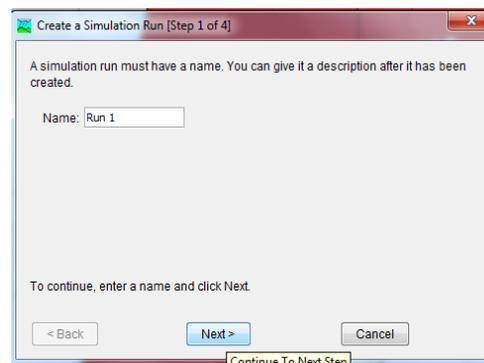
**Control Specifications Manager:** a dicho componente se le indica el tiempo y el intervalo del modelado, al igual que la fecha de inicio y finalización del evento tormentoso.



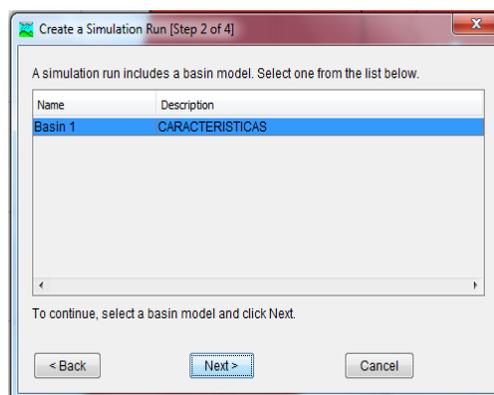
**Gráfico 46.** Especificaciones de control correspondiente a 12 horas de modelado.

- **Creación de la corrida de la simulación del proceso lluvia-escorrentía**

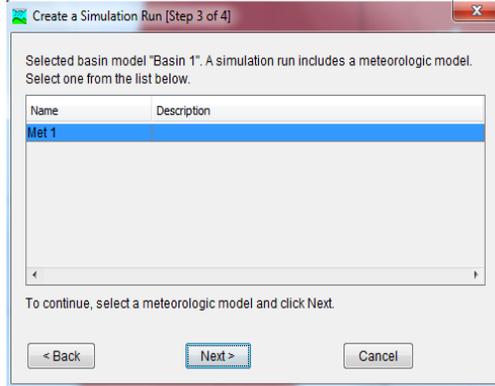
Una vez creados los componentes que debe tener el modelo, se procede a crear la corrida de la simulación comprendida en los siguientes pasos:



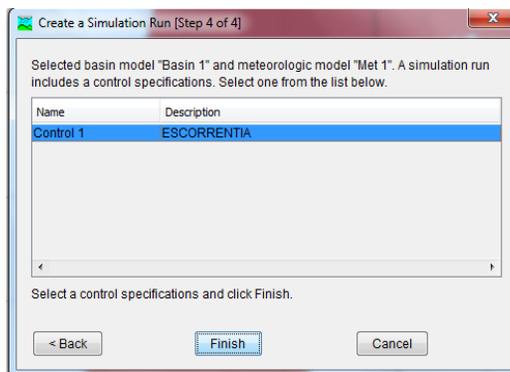
**Gráfico 47.** Paso 1: Nombre de la corrida.



**Gráfico 48.** Paso 2: Selección del modelo de cuenca.



*Gráfico 49. Paso 3: Selección del modelo meteorológico.*



*Gráfico 50. Paso 4: Selección del modelo de control.*



*Gráfico 51. Finalización de la corrida.*

- **Preprocesamiento con HEC-GeoRAS**

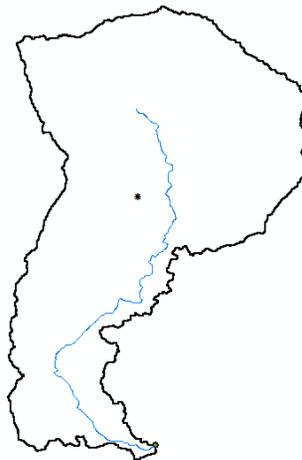
Esta herramienta asiste en la preparación de la data geométrica para importar HEC-RAS y procesar los resultados de la simulación exportados desde HEC-RAS.

En lo que refiere, a la importación a la data geométrica se utiliza la extensión RAS Geometry y sus diferentes aplicaciones, entre ellas se tienen:

### **Create RAS Layer**

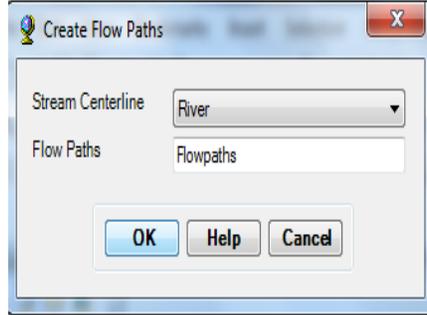
Esta aplicación realiza la copia de características existentes del conjunto de datos de los diferentes elementos que contiene este artilugio, a través de las siguientes capas:

**Stream Centerline:** para la creación del eje central de la corriente se nombra la capa y se agrega al espacio de trabajo. Seguidamente, se comienza con la edición de la capa recién creada trazando segmentos rectos correspondientes a la trayectoria del cauce, desde aguas arriba hasta aguas abajo. Por consiguiente, al finalizar el recorrido del río se procede a detener y salvar la edición.



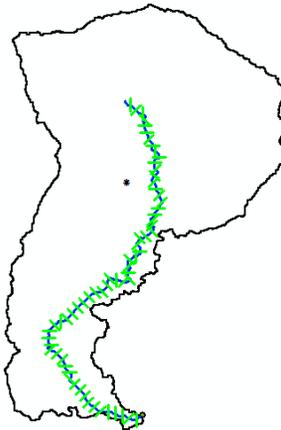
*Gráfico 52. Eje del cauce de la cuenca del Río Guacara.*

**Flow Path Centerlines:** permite establecer automáticamente las distancias entre las secciones transversales, por medio de la creación de las líneas del flujo central.



*Gráfico 53. Creación del Flow Path.*

**XS Cut Lines:** esta herramienta permite generar las líneas de corte de las secciones transversales de la cuenca, tomando como método de edición la aplicación Construct XS Cut Lines, debido a que crea automáticamente las líneas de corte especificando la longitud de intervalo y el ancho de la sección.



*Gráfico 54. Líneas de corte para secciones transversales del cauce del Río Guacara.*

### **Layer Setup**

Una vez creadas las capas anteriores, se recurre a la configuración de las mismas ubicándolas correctamente en cada pestaña del cuadro de diálogo. Vinculado a lo anterior, se selecciona el tipo de archivo para la superficie requerida que contenga la información topográfica, se indican las capas requeridas (River y XS Cut Lines) y se señalan las capas opcionales (Flow Path).

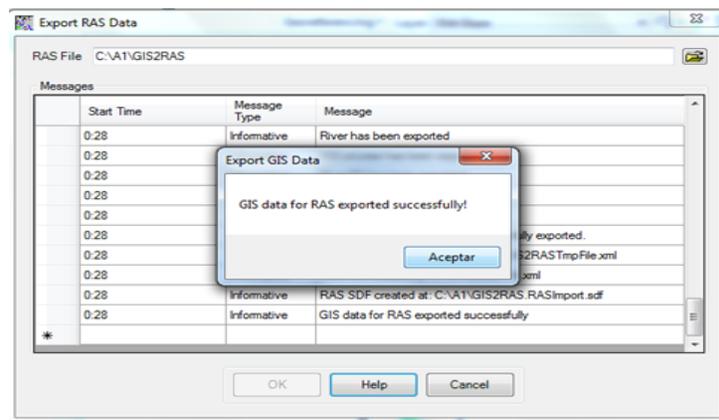
### Stream Centerline Attributes

En el siguiente paso a ejecutar se completan los atributos del eje central de corriente correspondientes a la topología, longitud, estaciones y elevaciones.

### XS Cut Line Attributes

Luego del paso anterior se elabora la completacion de los atributos de las secciones transversales correspondientes a los nombres de los ríos, estaciones, longitud de los tramos de salida y elevaciones.

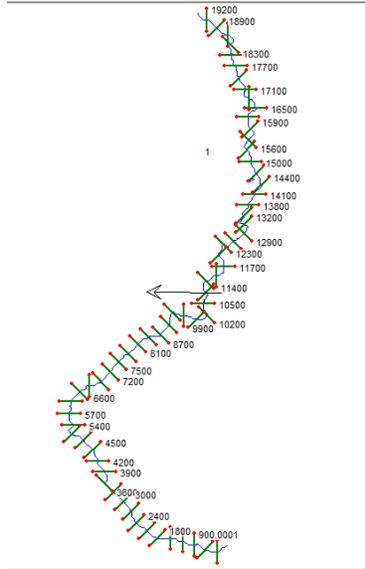
Para concluir con la primera parte de la aplicación de la extensión HEC-GeoRAS, se conduce a crear dos archivos: \*.xml y \*.sbf por medio de la exportación de los datos GIS a archivos XML y la conversión de archivos XML a formato SDF.



*Gráfico 55. Exportación de datos GIS a RAS.*

- **Desarrollo en HEC-RAS**

Para iniciar el trabajo en HEC-RAS se requiere importar el formato GIS a la ventana de trabajo, como se muestra a continuación en el gráfico 45:



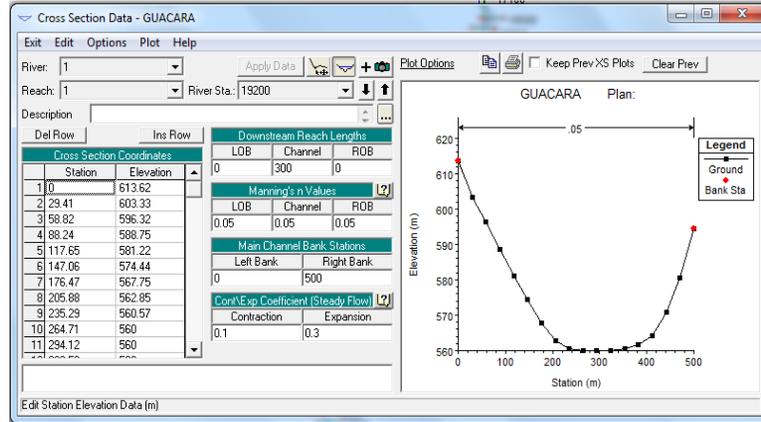
**Gráfico 56.** Importación del formato GIS a la ventana de trabajo.

Para crear las secciones transversales de la cuenca se necesita completar los datos como el número de Manning, coeficientes de contracción y expansión, obstrucciones, interpolación de secciones edición de puentes por medio del icono Cross Section, obtenidos a partir del Manual de usuario de HEC-RAS River Analysis System (2010).

**Cuadro 6.**

Datos complementarios para la creación de las secciones transversales.

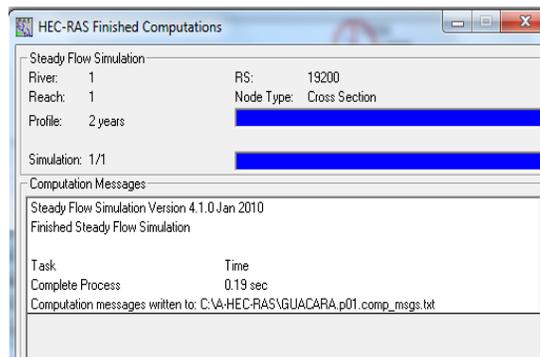
DATOS	DESCRIPCIÓN	VALOR
Número de Manning	Canales sin revestir en tierra con tramos de montaña	0.05
Coefficiente de Expansion	Secciones tipo puente	0.5
Coefficiente de Contracción	Secciones tipo puente	0.3



**Gráfico 57.** Sección transversal de la cuenca del Río Guacara.

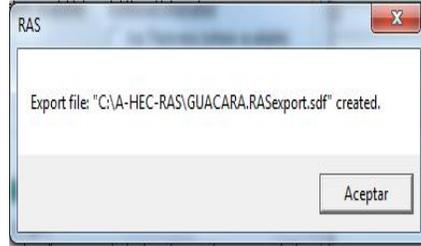
**Steady Flow Data:** en esta herramienta se elabora la edición de los datos del flujo una vez indicados los datos geométricos. Cabe destacar, que en este proceso se indica el periodo de retorno para cada perfil (2 años), además del caudal pico. De forma consecutiva, se señala que la condición de borde es la profundidad crítica (Critical Depth).

De esta manera, se finaliza la edición almacenando los datos para luego generar la corrida desde la herramienta Run seleccionando el Steady Flow Analysis.



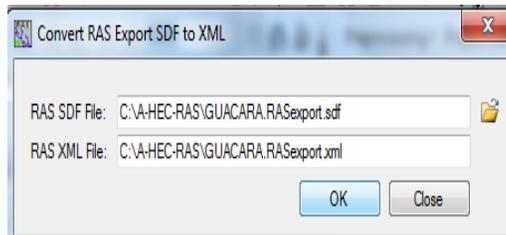
**Gráfico 58.** Finalización de cálculos.

Como se puede inferir, una vez completados todos estos procedimientos se añade la información de los datos geométricos, caudales pico y corrida en la ventana principal de HEC-RAS; para así, crear el archivo de exportación.



**Gráfico 59.** Exportación del archivo \*.sdf.

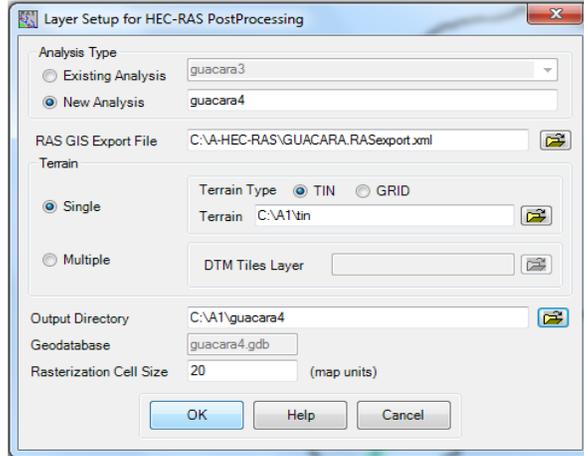
En lo que respecta, a la obtención de las manchas de inundación, se hace uso nuevamente de la extensión HEC-GeoRAS, a partir de la transformación del archivo \*.sdf, proveniente del software HEC-RAS, a un archivo \*.xml.



**Gráfico 60.** Transformación del archivo \*.sdf a \*.xml.

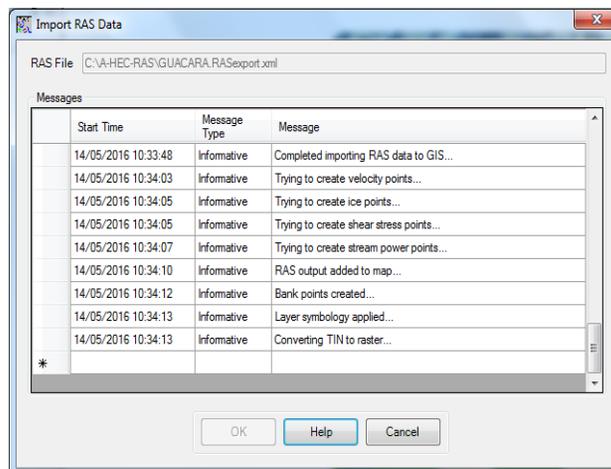
### **Postprocesamiento con HEC-GeoRAS**

En lo que refiere al postprocesamiento, se elige la herramienta RAS Mapping junto con su aplicación Layer Setup donde se escoge el tipo de análisis, se localiza el archivo exportado desde HEC-RAS y la capa que contenga la topografía del terreno. Al igual que, se le asigna un nombre y ubicación al archivo de salida, especificando su base de datos geográfica.



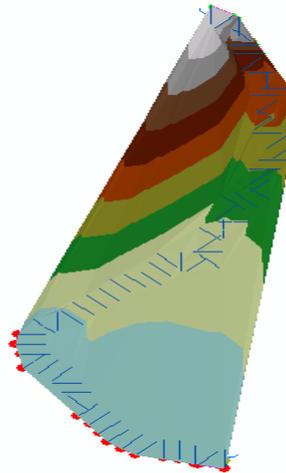
**Gráfico 61.** Configuración de las capas.

De igual forma, se realiza la importación de datos RAS desde el archivo \*.xml por medio de la aplicación Import RAS Data.



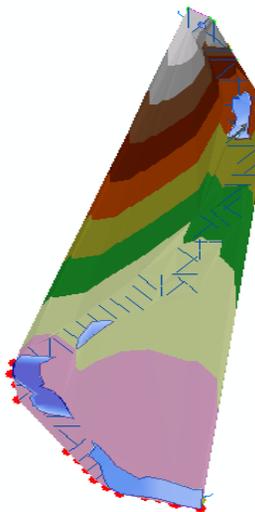
**Gráfico 62.** Importación de datos RAS.

Sumado a lo expuesto, se prosigue a crear los mapas de inundación y sus características, luego que el archivo de exportación haya sido leído, iniciando con la creación de las superficies de agua correspondientes a los dos años de periodo de retorno, usando la extensión de la herramienta RAS Mapping, Inundation Mapping, indicando el Water Surface Generation.



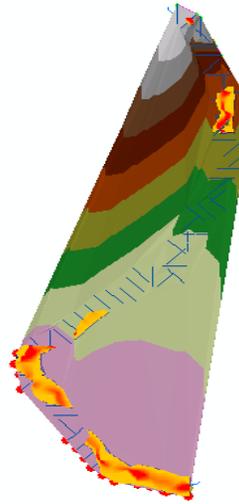
**Gráfico 63.** *Generación de la superficie de agua.*

Por otra parte, a lo que refiere a planicies inundables se generan dos capas, una de profundidades (Grid) y otra del contorno de las manchas de inundación (polígonos).



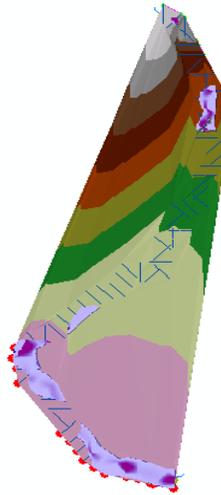
**Gráfico 64.** *Creación del Floodplain Delineation.*

En cuanto a, la velocidad del flujo se crea una capa basada en la información de los puntos de velocidad y la capa de contornos de las planicies inundables, ejecutando la aplicación Velocity Mapping de la herramienta RAS Mapping.



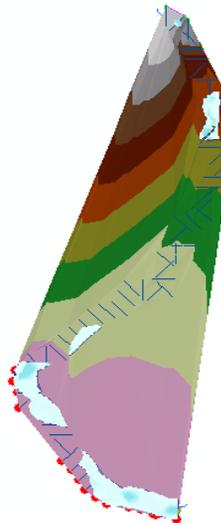
**Gráfico 65.** Creación del Velocity Mapping.

En adelante, para la generación de la fricción en el lecho del canal se crea una capa Grid de Shear Stress referenciado a la información de las capas Stress y Contornos de la planicie inundable.



**Gráfico 66.** Creación del Shear Stress Mapping.

Para finalizar, se crea una capa de energía del flujo aplicando el Stream Power de la herramienta RAS Mapping fundamentado en las capas Power y Contornos de la planicie inundable.



**Gráfico 67.** Creación del Stream Power Mapping.

## FASE IV

### Análisis de Resultados

En lo que respecta a esta última fase, se tiene como objetivo validar las zonas de planicie inundable para la cuenca del Río Guacara, para ello, se procede a la obtención de coordenadas en las superficies de aquellos sectores donde se tiene registro de eventos de inundación, información que es suministrada por el Instituto Municipal del Agua (IMAGUA) Guacara, las cuales tienen como finalidad, ser comparadas con la ubicación de las manchas obtenidas mediante la simulación del proceso lluvia-escorrentía.

De la misma manera, se realiza la toma de datos con equipo GPS, en los sectores identificados por el IMAGUA como los comúnmente afectados por las precipitaciones y el desborde del cauce del Río Guacara, los cuales se muestran en el siguiente cuadro:

#### Cuadro 7.

Coordenadas de los sectores afectados.

Sector	Punto	Coordenadas		
		Norte	Este	Elevación
Flor de la Manga	1	1143068.010	621747.010	544
	2	1143091.010	621734.010	545
	3	1143137.010	621699.010	547
La Morita	1	1141114.010	622639.010	501
	2	1140081.010	622859.010	506
	3	1140408.010	623071.010	496
	4	1139942.010	623190.010	498
Las Malvinas	1	1135537.010	620225.010	460
Las Mandarinas	1	1135233.010	620195.010	450
La Manga	1	1134280.010	620329.010	454
La Yegua	1	1130971.010	622215.010	446
	2	1131210.010	622125.010	447



*Gráfico 68.* Representación de los sectores afectados. Fuente: EarthExplorer.

## CAPITULO IV

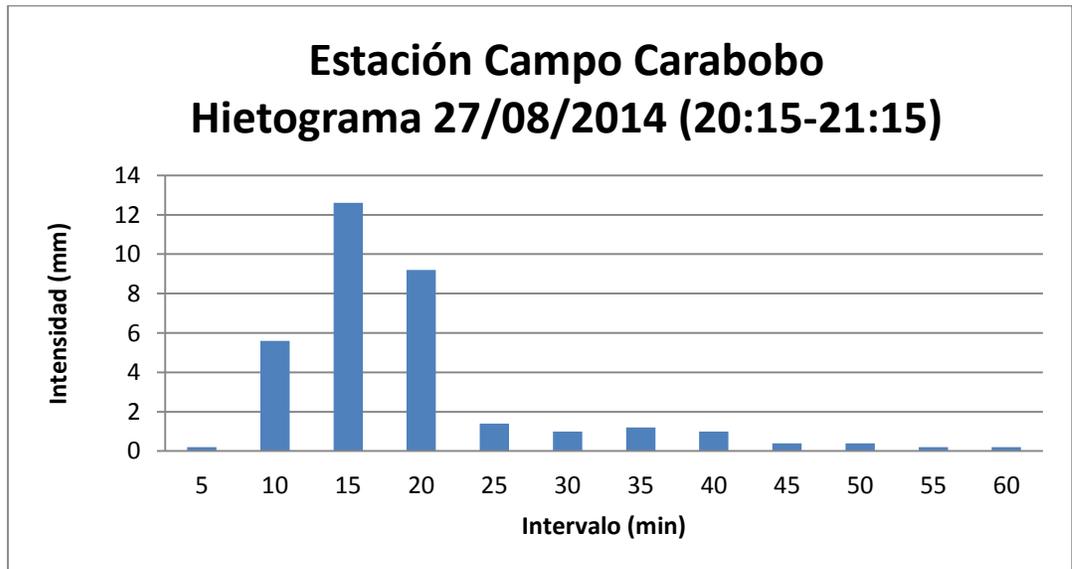
### Análisis de Resultados

.El presente capítulo, detalla los resultados que dan respuesta cada uno de los objetivos específicos planteados en este trabajo de investigación.

#### 1. Describir las variables hidrometeorológicas en el Río Guacara

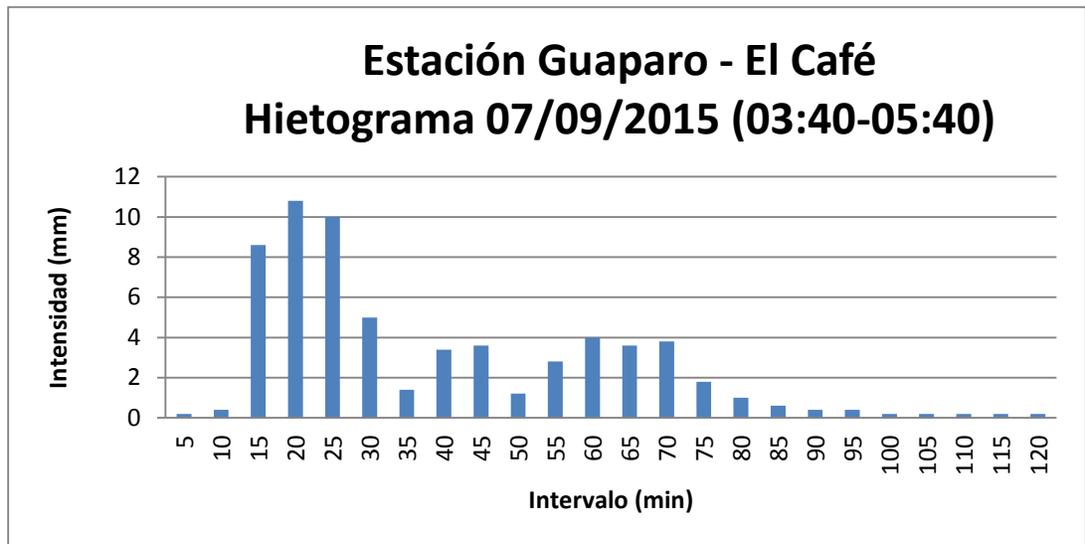
En este estudio, se describe como variable hidrometeorológica principalmente a la precipitación, cuyos datos en tiempo real son obtenidos del INAMEH y representados en hietogramas con intervalos de 5 minutos.

En este orden de ideas, el análisis de la información se realiza con los eventos pertinentes al estudio, por lo que se selecciona el evento registrado por la estación Campo Carabobo el día 27 de Agosto de 2014, a las 20:15, con una profundidad máxima de lluvia de 12.6 mm y un tiempo de duración de 1 hora.



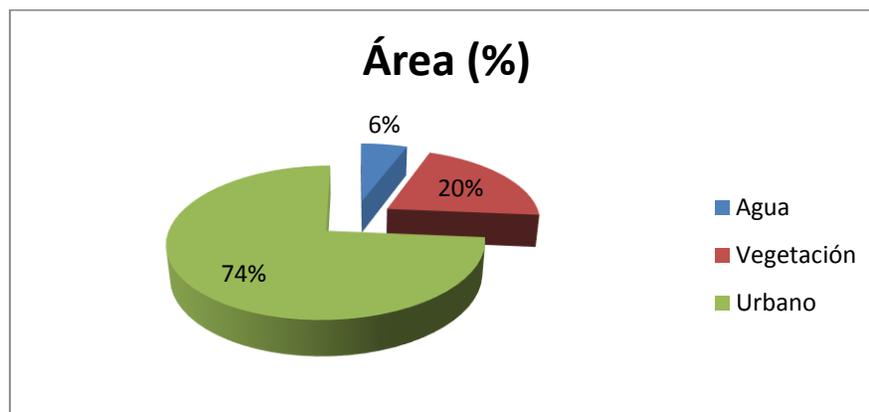
*Gráfico 69.* Hietograma de la estación Campo Carabobo.

Igualmente, para una duración de dos horas se escoge el evento ocurrido el día 07 de Septiembre de 2015, a las 03:40, con una profundidad máxima de 10.8mm correspondiente a la estación Guaparo – El Café.

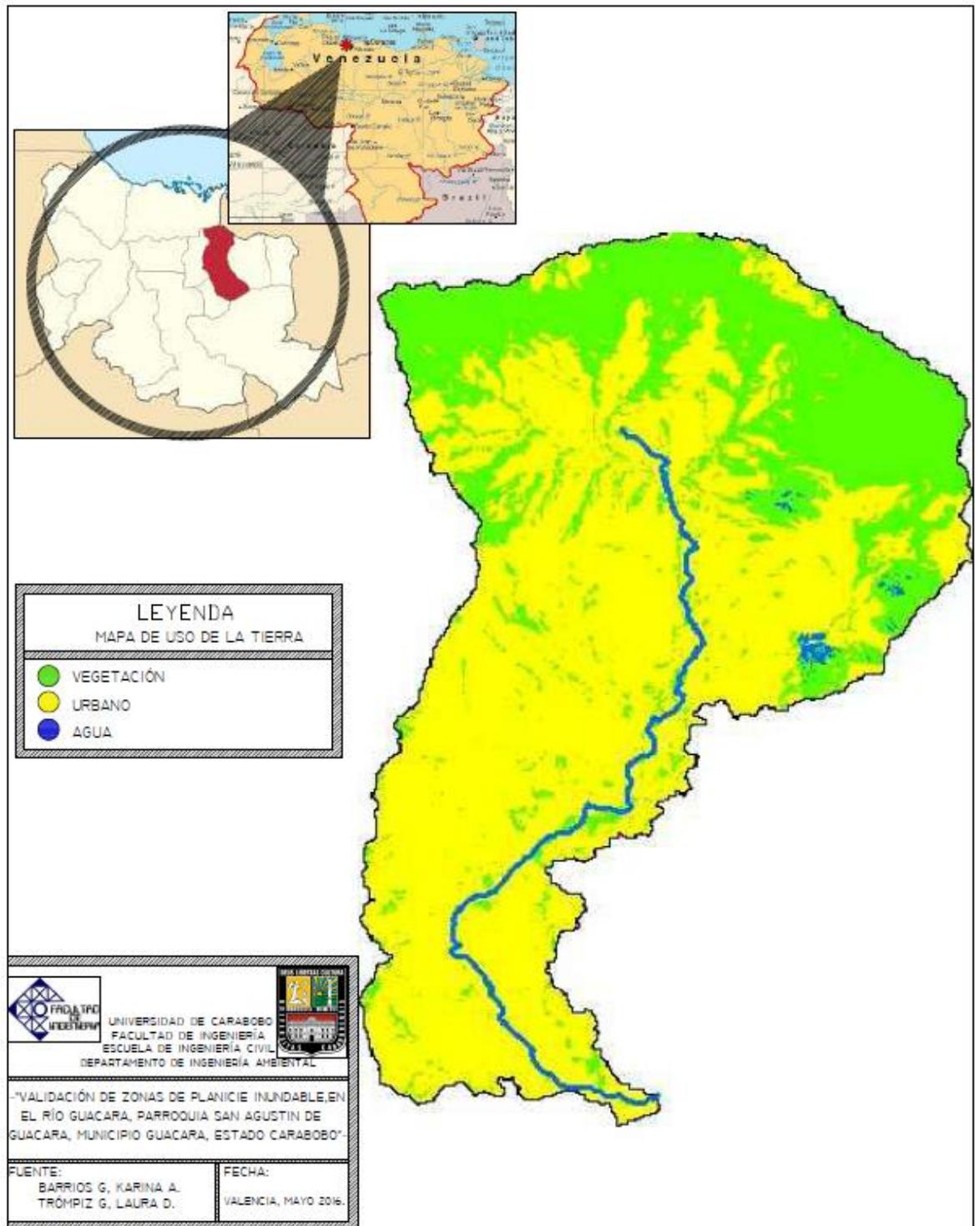


**Gráfico 70.** Hietograma, Estación: Guaparo – El Café.

Aunado a esto, se clasifica la superficie delimitada por la cuenca del Río Guacara en tres usos; correspondientes a agua, vegetación y urbano, con una cobertura de 5.45 km<sup>2</sup>, 19.47 km<sup>2</sup> y 69.68 km<sup>2</sup>, respectivamente. Por consiguiente, en el gráfico 58 se muestra el porcentaje de área correspondiente a cada uso.



**Gráfico 71.** Porcentajes de área según clasificación del uso de la tierra.

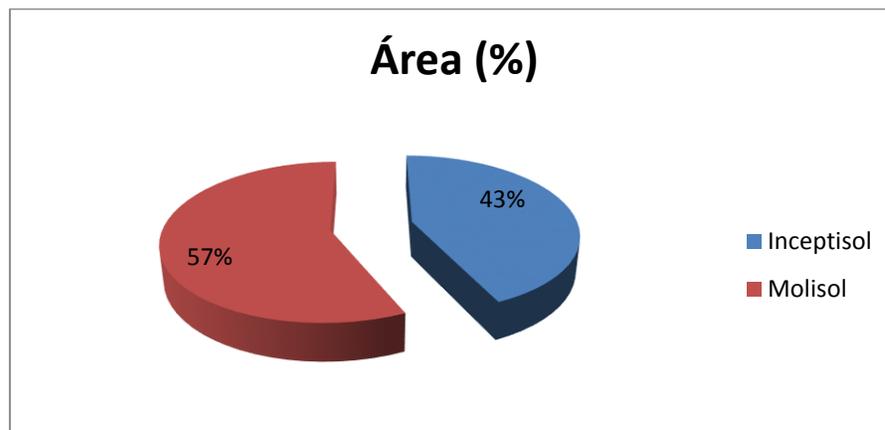


*Gráfico 72.* Mapa de Clasificación de uso de la tierra de la cuenca del Río Guacara.

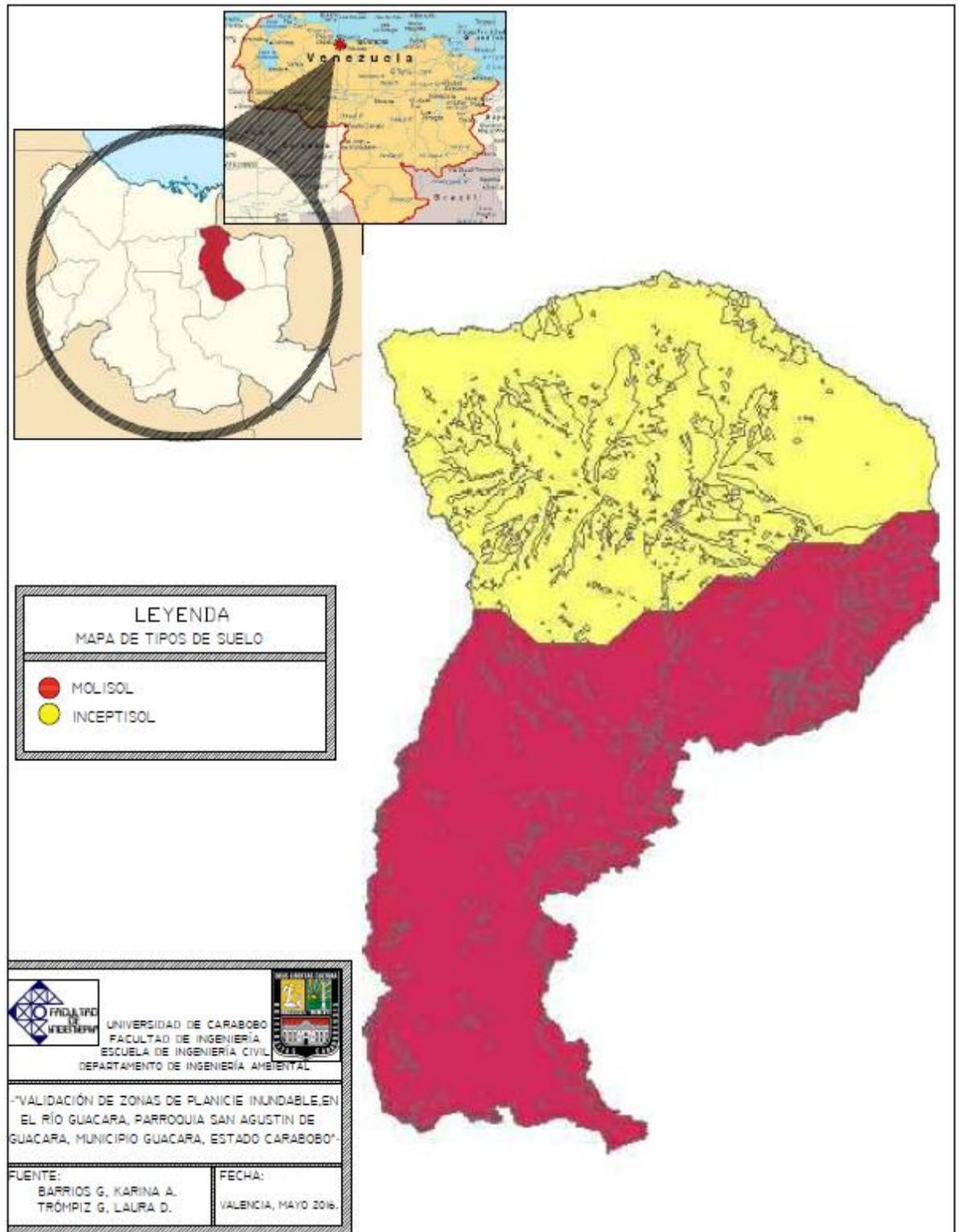
En referencia, a la taxonomía del suelo, se obtiene en las adyacencias del Río Guacara dos tipos de suelo, el Inceptisol el cual se encuentra hacia la parte Norte de la cuenca, abarcando un área de 48.81 Km<sup>2</sup>, y en la región Sur el tipo de suelo Mollisol cubriendo un área de 53.79 Km<sup>2</sup>.

Según, Gómez (2012) se consideran como características principales de los suelos Inceptisoles, la acumulación de materia orgánica en climas fríos, mientras que para climas cálidos la descomposición de la misma es mayor, poseen mal drenaje, acumulan arcillas amorfas y no presentan cambios extremos desde el punto de vista ambiental (temperatura, luz, viento, etc.). Además, Gómez indica que los suelos Molisoles presentan alto contenido de materia orgánica por lo que son suelos muy oscuros, fértiles, ricos en sales minerales y presentan texturas pesadas en las que predominan las arcillas. Cabe destacar, que en los suelos poco permeables como las arcillas, la erosión causada por la escorrentía superficial, provoca una menor productividad de las cosechas, además, como los suelos arcillosos están compuestos de partículas muy pequeñas, tienden a generar turbiedad y disminuir la transmisión de luz, lo que conlleva a interrumpir los ecosistemas acuáticos.

Visto de otro modo, los suelos mal drenantes y capaces de acumular agua, contribuyen al estancamiento de agua en algunas zonas, por lo que al momento de un evento con alta intensidad de lluvia estos mismos no pueden absorber ni almacenar toda el agua caída en la superficie.



**Gráfico 73.** Porcentajes de área según el tipo de suelo.



**Gráfico 74.** Mapa de taxonomía del suelo de la cuenca del Río Guacara.

## 2. Simular proceso lluvia – escorrentía en el Río Guacara

Para desarrollar la simulación del proceso lluvia-escorrentía mediante el software HEC-HMS, se consideran eventos con periodo de retorno de 2 años, y como datos de entrada los mostrados a continuación:

### Cuadro 8.

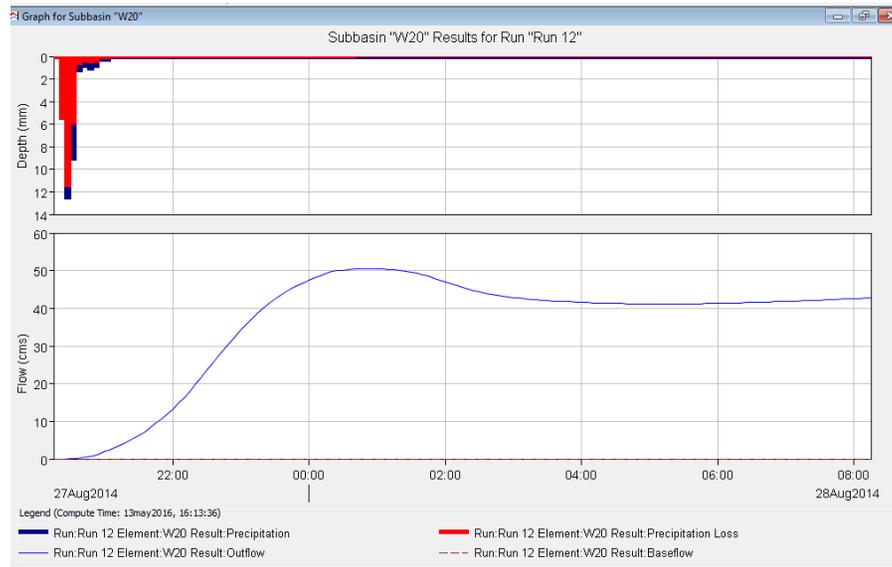
Datos de entrada para la simulación del proceso lluvia - escorrentía.

<b>ESTACIÓN</b>	<b>DURACIÓN (hr)</b>	<b>PROFUNDIDAD (mm)</b>	<b>FECHA (dd/mm/aaaa)</b>	<b>HORA (00:00)</b>
Campo Carabobo	1	12.6	27/08/2014	20:15 - 21:15
Guaparo - El Café	2	10.8	07/09/2015	03:40 - 05:40

En referencia a lo expuesto, se ejecuta la simulación a partir de dichos datos, ya que representan los eventos tormentosos de mayor intensidad. Además, se especifican los siguientes métodos utilizados para los procesos físicos de la cuenca:

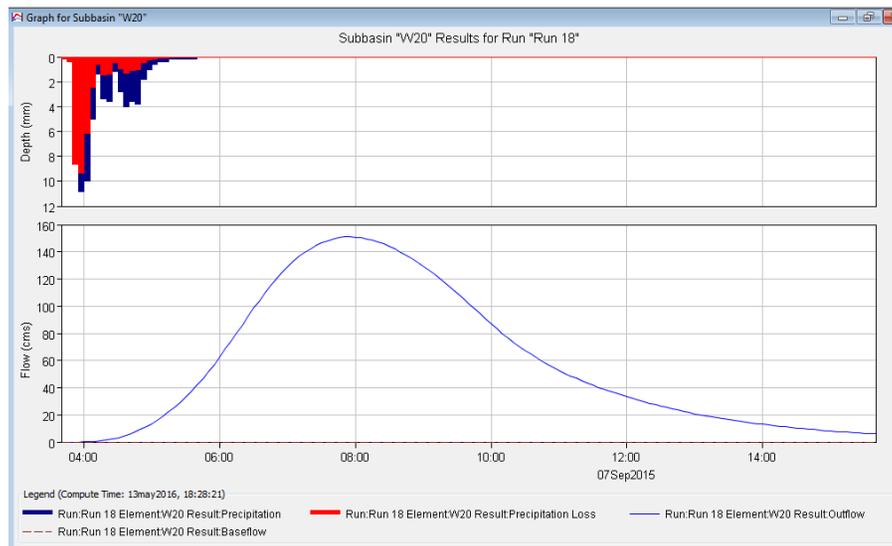
- Pérdida: Servicio de Conservación de los Suelos (SCS).
- Transformación: Servicio de Conservación de los Suelos (SCS).
- Tránsito: Muskingum Cuge.

Para la simulación de 1 hora correspondiente a los datos de la estación Campo Carabobo se tiene que el caudal pico para este evento es de  $50.5 \text{ m}^3/\text{s}$  y el volumen es de  $1567.1 \text{ m}^3$ .



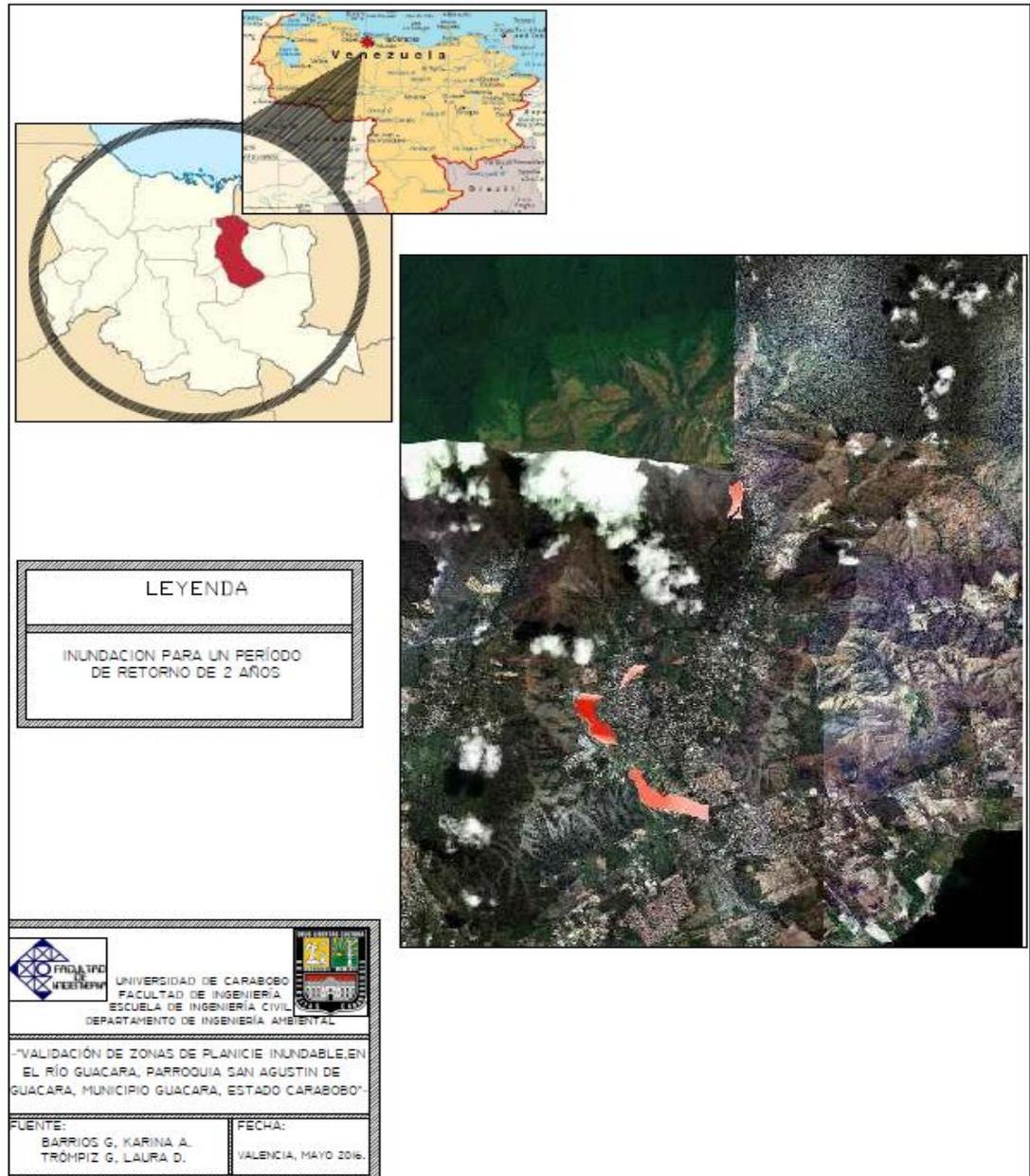
**Gráfico 75.** Resultado de caudal y pérdida de precipitación de la cuenca del Río Guacara para una duración de 1 hora.

Para la simulación de 2 horas correspondiente a los datos de la estación Guaparo-El Café se tiene que el caudal pico para este evento es de  $151.1 \text{ m}^3/\text{s}$  y el volumen es de  $2525.7 \text{ m}^3$ .



**Gráfico 76.** Resultado de caudal y pérdida de precipitación de la cuenca del Río Guacara para una duración de 2 horas.

Para visualizar los sectores inundados, se superpone en una imagen ESRI, las manchas de inundación producto de la simulación del proceso lluvia-escorrentía. Para ello se transforman los caudales máximos obtenidos mediante la simulación con HEC-RAS, con el fin de generar las láminas de escorrentía a través de la herramienta HEC-GeoRAS.



**Gráfico 77.** Mapa de planicies inundables de la cuenca del Río Guacara.

De igual forma, en la figura 65 se muestra el comportamiento del Río Guacara para una simulación con periodo de retorno de 2 años, mediante la visualización de la sección transversal correspondiente a la progresiva señalada.

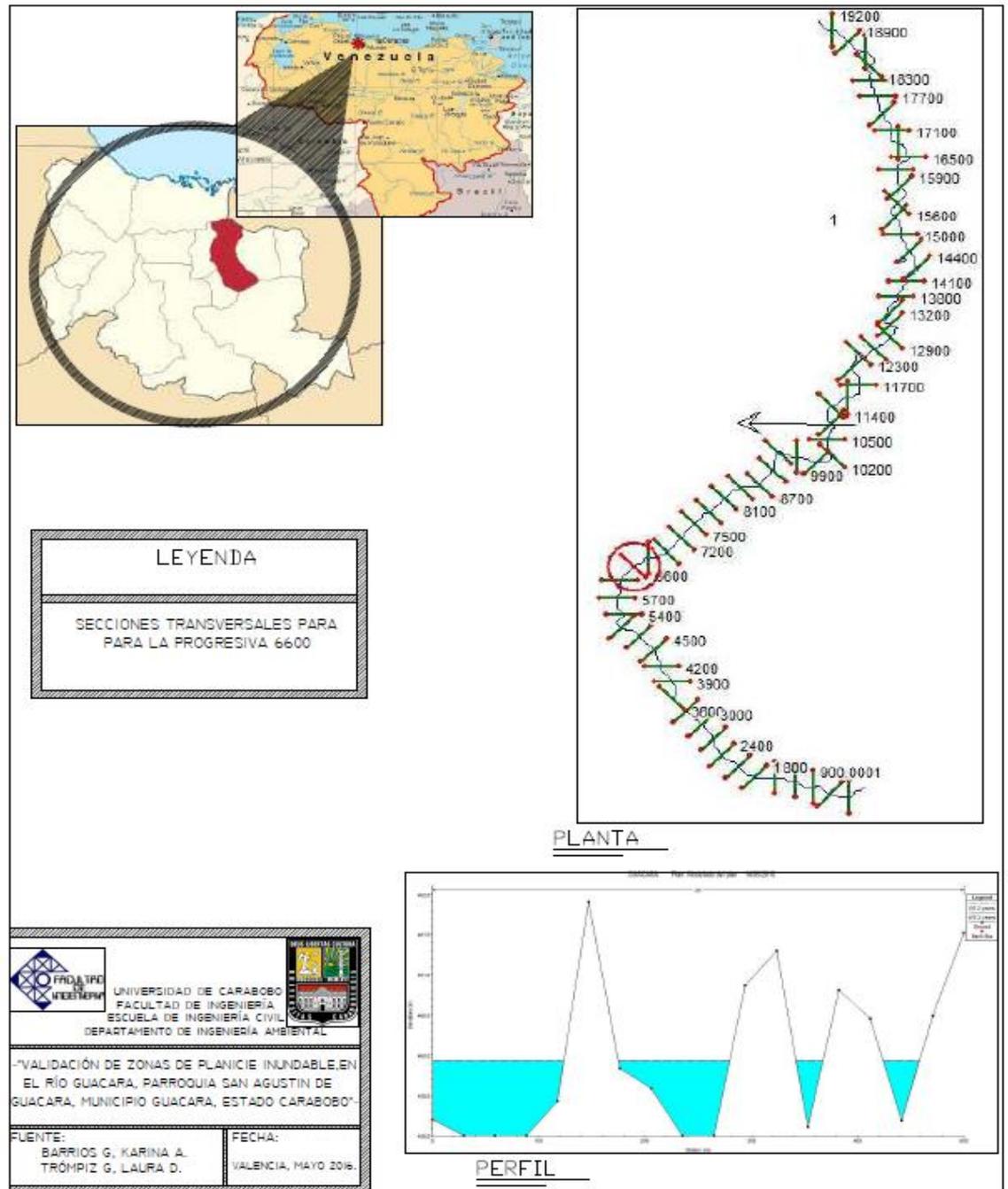


Gráfico 78. Secciones transversales del Río Guacara.

En lo que compete, al análisis del riesgo de inundación, es imprescindible determinar la naturaleza y la extensión de la amenaza, haciendo referencia a la ocurrencia potencial en un intervalo de tiempo y un área geográfica específica, por lo que se generan mapas de sectorización de planicies inundables, en este caso, de la cuenca del Río Guacara. De esta manera, por medio del estudio de los planos de inundación se logra evidenciar que las posibles zonas vulnerables cercanas al Río Guacara son:

**Cuadro 9.**

Posibles zonas vulnerables a la inundación.

<b>ZONA</b>	<b>SECTORES</b>
<b>SUR</b>	La Yegua, Los Pinos, Av. Humbolt, La Milagrosa, Autopista Bárbula - Guacara, Autopista Caracas - Valencia, Yagua, Campo Amor, El Cabrito, Las Malvinas y El Porvenir.
<b>NORTE</b>	Carretera Vía Vigirima y Sector Vigirima.

**3. Validar zonas de planicie inundable en el Río Guacara**

Para realizar la validación de planicies inundables se requiere comparar las zonas realmente afectadas con las obtenidas en la simulación, con el objetivo de verificar la precisión de los resultados alcanzados.

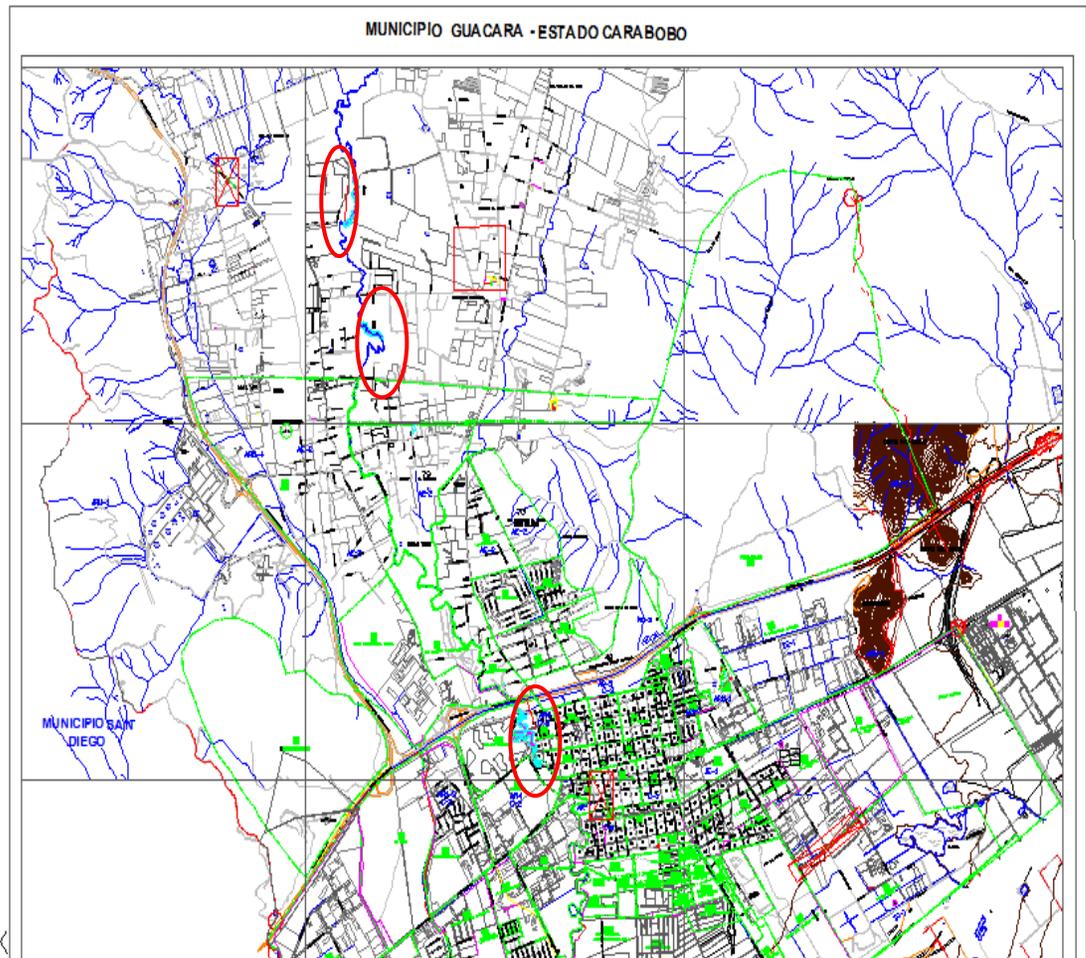
Entre tanto, se procede a identificar, inspeccionar y recopilar datos de ubicación con equipo GPS, en las zonas indicadas por el Instituto Municipal del Agua (IMAGUA) del Municipio Guacara, con el fin de comparar los sectores obtenidos por medio de la simulación y los sectores realmente afectados por las inundaciones.

De este modo, se observa a través de la inspección de campo, un asentamiento poblacional en los sectores inundables, al igual que, contaminación en la ribera del Río Guacara en la zona cercana al Centro de Guacara, contemplándose desechos sólidos como cauchos, botellas, bolsas, entre otros, además de malos olores.

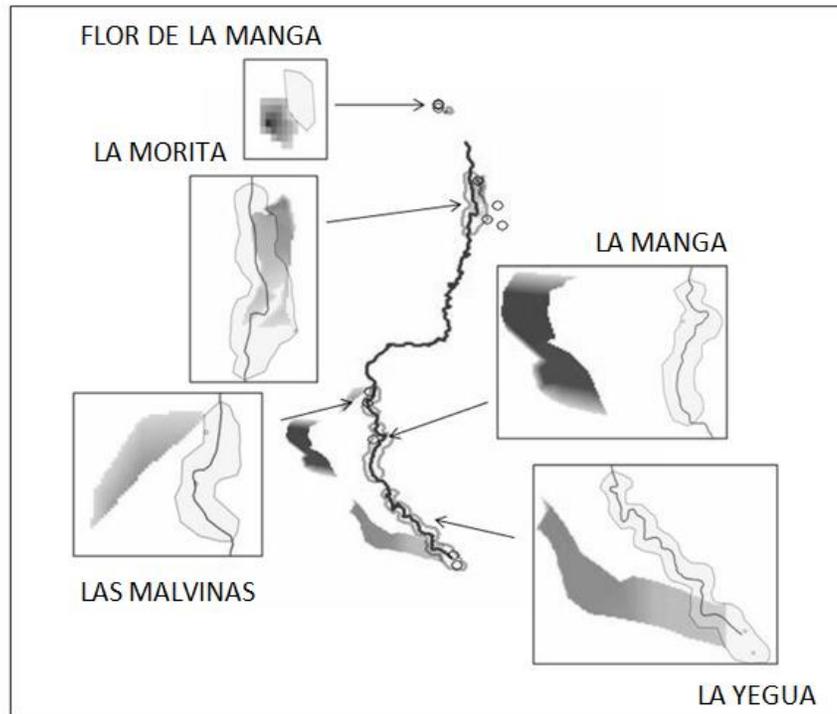


**Gráfico 79.** Sector La Yegua.

Dicho esto, al confrontar la realidad con la simulación, se observa que existe un desfase en la ubicación de las planicies inundables, debido a que en la zona Sur, correspondientes a la parte baja de la cuenca, presenta diferencias de desniveles en la topografía del terreno, cuyos valores son menores a 1 metro, por lo que, la mancha inundable obtenida se encuentra fuera del eje central del cauce.

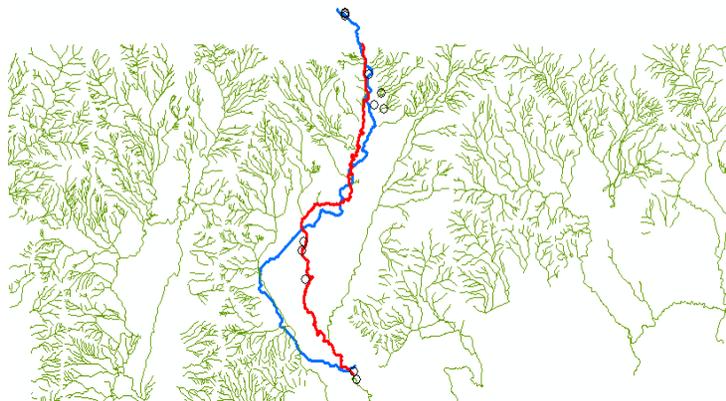


**Gráfico 80.** Plano de ubicación real de planicies inundables. Fuente: IMAGUA (2016).



**Gráfico 81.** Superposición de manchas obtenidas de la simulación y manchas reales.

Ahora bien, otro análisis comparativo a considerar es la dirección del flujo del cauce, debido a que las manchas de inundación se generan en torno al eje central del Río, lo que conlleva a superponer la hidrología obtenida en la simulación con la hidrografía digitalizada del municipio Guacara



**Gráfico 82.** Superposición del cauce real con el cauce simulado.

Asociado a lo precedente, es de hacer notar que el río obtenido a partir de la simulación, presenta una dirección de flujo distinta a la generada por la, esto se debe a que la definición del cauce principal se encuentra netamente dependiente al número de celdas (Stream Definition) que se introduce en el software, ya que en esta etapa se definen la cantidad de subcuencas y la longitud de cada cauce, tomando en cuenta posibles islas ficticias cercanas a la línea central de la corriente.

En consonancia con este parecer, debido a la interpolación que realiza el DEM la resolución que se obtiene es muy gruesa para definir un alineamiento, en este caso el cauce del río a causa de que el modelo de elevación digital contiene las curvas de nivel cada 30 metros.

## CONCLUSIONES

Una de las bases más importantes para la realización del presente trabajo de investigación es el modelo de elevación digital, que al ser comparado con la ubicación, condiciones topográficas y relieve real de la zona se puede notar que ambos son similares.

Es importante destacar, que los meses de Agosto y Septiembre son los que presentan el periodo de lluvia con mayor intensidad, aun cuando se evidencian datos para años y estaciones distintas.

En cuanto, a la clasificación del uso de la tierra, se obtiene un mayor porcentaje de área urbana, lo que indica una gran cantidad de población que se encuentra cercana al cauce.

De acuerdo con el proceso de simulación obtenido con HEC-HMS para un periodo de retorno de 2 años, se genera un valor de caudal máximo de  $50.5 \text{ m}^3/\text{s}$  para una duración de 1 hora y un valor de  $151.1 \text{ m}^3/\text{s}$  para una duración de 2 horas, lo que es bastante lógico debido a la dimensión de la cuenca.

Por otra parte, la realización de modelo hidrológico permite ilustrar las características del cauce, y así poder obtener las zonas de riesgo propensas a presentar inundaciones, lo que simboliza un aporte valioso mostrando la variación del riesgo en cada zona, permitiendo optimizar la gestión de riesgo de inundación.

A estos elementos, se añade que los resultados indican la distribución geográfica de la superficie inundable en la cuenca, mayormente en la parte baja de la misma, considerando así, los posibles impactos asociados, que por ser en gran parte zonas urbanas dichos impactos serán principalmente desde el punto de vista económico.

Sin embargo, al realizar la validación, se observa un desfase entre las manchas de inundación reales con las simuladas, debido a la falta de precisión a lo que curvas de nivel se refiere.

Ante estas exigencias, como aspecto de mayor relevancia del proceso desarrollado en el estudio, se logra evidenciar el recorrido e identificación de las planicies inundables denotan la realidad que acaece en la zona propuesta y descrita para la simulación del proceso lluvia-escorrentía. Por lo que se traduce, que la metodología utilizada muestra como resultado sectores paralelos a los identificados en la realidad.

No obstante, es de observar que en las manchas resultantes se refleja un desfase en cuanto a la ubicación de las manchas de inundación, debido a la falta de precisión de los desniveles del terreno, obtenidos de las imágenes satelitales.

Conforme a estas ideas, el proceso de definir el número de celdas para la delimitación de subcuencas implica un seguimiento detallado a la selección del mismo, ya que puede producir una alteración en la dirección y longitud del flujo real del cauce, como es el caso de la unión o exclusión de los cauces pertenecientes a cada subcuenca.

En síntesis, de lo que se trata es de validar las zonas de planicie inundables correspondientes al Río Guacara y presentar otros espacios de inundación para posteriores investigaciones que contribuyan en la planificación, prevención y concientización de los organismos del estado y de la población.

## RECOMENDACIONES

Una de las principales sugerencias es establecer estaciones pluviométricas internas a las delimitaciones de la cuenca de Río Guacara, al igual que el mantenimiento continuo de las estaciones existentes.

Por otro lado, se propone mejorar la precisión de la información topográfica, ya que para obtener resultados más exactos, se requiere de levantamiento topográfico en sitio como dato de entrada para la proyección de la ubicación de la cuenca.

Al mismo tiempo, debido a la cercanía de diversas zonas urbanas al cauce del Río Guacara, se exhorta a los entes gubernamentales a efectuar el mantenimiento periódico de los sistemas de drenaje, evitando el estancamiento de aguas pluviales en las calles de los sectores afectados.

Adicionalmente, no solo se invita a las comunidades y a los productores agrícolas a conocer la importancia de la concientización del problema desde el punto de vista de contaminación y asentamiento poblacional, ya que esto lleva al deterioro de la vegetación riparia atentando contra el equilibrio del ecosistema, sino que también a las instituciones pertinentes a proporcionar de forma pública y masiva las noticias relacionadas a eventos meteorológicos.

Se debe destacar, que este trabajo de investigación representa un aporte a los organismos encargados de la realización de planes de alerta temprana, debido a que les permite identificar las zonas más vulnerables a inundaciones. Esto conlleva, a cumplir con lo descrito en un plan de prevención, alertando a la comunidad ante cualquier cambio que pueda presentar el nivel del río.

De igual forma, es considerable la posibilidad de realizar un levantamiento topográfico en las zonas donde ocurre el desfase entre las manchas de inundación, para así, contar con una mayor precisión en lo que compete al estudio del comportamiento del Río Guacara.

A estos planteamientos se adiciona, la aplicación de la herramienta DEM Reconditioning, que consiste en la modificación del terreno mediante la reducción de la red de celdas a lo largo de una línea característica, es decir, partiendo de la

hidrografía digitalizada como capa de línea y del Grid del DEM (ambos proyectados en el mismo sistema de coordenadas), se realiza un quemado para eliminar la transición de islas ficticias cercanas a línea central de la corriente como efecto secundario indeseable.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abellán, A. (2015). *Drenaje Urbano Sostenible. Ventajas e Inconvenientes* [Documento en línea]. Disponible: <http://drenajeyurbanosostenible.org/ventajas-e-inconvenientes/> [Consulta: 2016, Marzo 21]
- Alcaldía de Guacara (2015). Alcaldía de Guacara Atiende a Comunidades Afectadas por Las Fuertes Lluvias Registradas. *Diario Noticias 24* [Diario en línea], 1. Disponible: <http://noticias24carabobo.com/actualidad/noticia/77481/alcaldia-de-guacara-atiende-a-comunidades-afectadas-por-el-aguacero/> [Consulta: 2016, Marzo 21]
- Barboza, L. (2013). Calentamiento Global: “La Máxima Expresión de La Civilización Petrofósil”. *Revista Redalyc* [Revista en línea], 35. Disponible: <http://www.redalyc.org/pdf/2433/243329724003.pdf> [Consulta: 2016, Marzo 16]
- Bautista, M. (2004). *Manual de Metodología de Investigación*. Caracas. p-42.
- Breña, A. Jacobo, M. (2006). *Principio y Fundamentos de La Hidrología Superficial*. México: Universidad Autónoma Metropolitana. p-190.
- Cartoteca, R. (2011). Tutorial (Nivel Básico) Para La Elaboración de Mapas Con ArcGIS. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. p-5. Recuperado el 22 de Marzo de 2016 de [http://biblioteca.uam.es/cartoteca/documentos/CURSO\\_SIG\\_BASIC0\\_I.pdf](http://biblioteca.uam.es/cartoteca/documentos/CURSO_SIG_BASIC0_I.pdf)
- Consejo Legislativo del Estado Barinas (2005). Ley de Protección y Conservación de Las Cuencas Hidrográficas y Los Ríos del Estado Barinas. Barinas, Venezuela. Recuperado el 22 de Marzo de 2016 de <http://www.cleb.gob.ve/pdf/2005/LEY%20DE%20CUENCAS%20HIDROGRAF..pdf>
- Constitucion de La República Bolivariana de Venezuela (2000). Cap. IX. De Los Derechos Ambientalistas. p-102-104.
- De Elia, E. (2011). Planificación de Imágenes Satelitales Aplicada a Modelos Hidrológicos de Alerta Temprana. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Trabajo de Grado Magistral. p-3. Recuperado el 27 de Febrero de 2016 de <http://www.famaf.unc.edu.ar/wp-content/uploads/2014/04/4-Gulich-De-Elia.pdf>

- Ellis, E. Romero, J. Hernández, I. Gallo, C. Alanís, J. (2012). Centro de Investigaciones Tropicales CITRO. Universidad Veracruzana, México. Evaluación Geográfica de Áreas Susceptibles A Inundación En La Cuenca del Río Tuxpan, Veracruz. Recuperado el 27 de Febrero de 2016 de <http://www.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2012/enero/1.pdf>
- Environmental Systems Research Institute ESRI (2016). GIS Dictionary. Recuperado el 19 de 2016 de <http://support.esri.com/en/knowledgebase/GISDictionary/term/DEM>
- Environmental Systems Research Institute ESRI (2016). Introducción a ArcGIS. Recuperado el 19 de Mayo de 2016 de <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Farias, B (2015). Validación de Modelos de Estimación del Proceso Lluvia-escorrentía en La Cuenca del Río Unare (Guárico – Anzoátegui). Universidad de Carabobo, Venezuela. Trabajo de Grado Magistral. Recuperado el 16 de Febrero de 2016 de <http://riuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/123456789/1802/1/bfarias.pdf>
- FUNVISIS (2008). Estudios y Desastres. Municipio Guacara. Estado Carabobo. Recuperado el 3 de enero de 2016 de [http://www.estudiosydesastres.info.ve/det\\_evento.php?id=7828](http://www.estudiosydesastres.info.ve/det_evento.php?id=7828)
- FUNVISIS (2010). Estudios y Desastres. Municipio Guacara. Estado Carabobo. Recuperado el 3 de enero de 2016 de [http://www.estudiosydesastres.info.ve/det\\_evento.php?id=7766](http://www.estudiosydesastres.info.ve/det_evento.php?id=7766)
- FUNVISIS (2013). Estudios y Desastres. Municipio Guacara. Estado Carabobo. Recuperado el 3 de enero de 2016 de [http://www.estudiosydesastres.info.ve/det\\_evento.php?id=11427](http://www.estudiosydesastres.info.ve/det_evento.php?id=11427)
- Gobierno de Los Estados Unidos (2016). Topografía y Cartografía. Recuperado el 26 de Mayo de 2016 de <http://www.gps.gov/applications/survey/spanish.php>
- Gómez, G. Morales, G. Macedo, G. Pavón, T (2013). Aplicación del Modelo Visual Modflow Para La Evaluación de la Hidronámica del Acuífero Subyacente A Un Vertedero de Residuos Sólidos Urbanos. *Revista Redalyc*. [Revista en línea], 119. Disponible: <http://www.redalyc.org/pdf/370/37029665014.pdf> [Consulta: 2016, Febrero 17]
- Gómez, S. (2012). Clases Taxonómicas de Suelo y Susceptibilidad a La Degradación. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Colombia. Recuperado el 18 de

Mayo de 2016 de [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30160/leccin\\_3\\_clases\\_taxonomicas\\_de\\_suelo\\_y\\_susceptibilidad\\_a\\_la\\_degradacion.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30160/leccin_3_clases_taxonomicas_de_suelo_y_susceptibilidad_a_la_degradacion.html)

Guevara, E. (2011). Hidrología Ambiental. p. 157.

Guitelamn (2015). Ingenieros Advierten Cómo Hacer Para Que No Haya Mas Inundaciones. *Diario Minuto Uno*. Buenos Aires, Argentina. Recuperado el 3 de enero de 2016 de <http://www.minutouno.com/notas/1285224-ingenieros-advierten-como-hacer-que-no-haya-mas-inundaciones>

Hernández, J. Montaner, D. (2008). Manual ArcGIS 9.2. Laboratorio de Geometría y Ecología del Paisaje. Chile. p-4. Recuperado el 22 de Marzo de 2016 de [http://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Libro-Tutorial\\_de\\_ArcGis\\_9.2.pdf](http://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Libro-Tutorial_de_ArcGis_9.2.pdf)

Hernández, R. Fernández, C. Baptista, P. (2003). *Metodología de La Investigación...* México: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. De CV. p-267.

Hidrologic Engineering Center HEC (2016). Recuperado el 19 de Mayo de 2016 de <http://www.hec.usace.army.mil/>

Hurtado, J. (2000). *Metodología de La Investigación Holística*. Caracas: Instituto Universitario de Tecnología Caripito, Servicios y Proyecciones Para América Latina (SYPAL). p-153.

Instituto Nacional de Estadística INE (2011). Informe Geoambiental Carabobo. p. 54-58. Recuperado el 11 de Mayo de 2016 de [http://www.ine.gov.ve/documentos/Ambiental/PrincIndicadores/pdf/Informe\\_Geoambiental\\_Carabobo.pdf](http://www.ine.gov.ve/documentos/Ambiental/PrincIndicadores/pdf/Informe_Geoambiental_Carabobo.pdf)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI (2016). Sistema de Posicionamiento Global (GPS). México. Recuperado el 26 de Mayo de 2016 de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/gps.aspx?dv=c1>

Intergovernmental Panel On Climate Change IPCC (2007). Climate Change 2007: Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cap. 3.4.3 Floods and Droughts. Recuperado el 3 de enero de 2016 de [https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg2/en/ch3s3-4-3.html](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch3s3-4-3.html)

Intergovernmental Panel On Climate Change IPCC (2014). El V Reporte de Evaluación del IPCC. ¿Que Implica Latinoamerica?. p-4. Recuperado el 21 de Marzo de 2016 de <http://cdkn.org/wp-content/uploads/2014/12/INFORME-del-IPCC-Que-implica-para-Latinoamerica-CDKN.pdf>

- Jaramillo, D. (2012). Descripción de Los Órdenes de Suelo. Recuperado el 11 de Mayo de 2016 de [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358013/ContenidoEnLinea/leccin\\_5\\_clasificacin\\_de\\_suelos.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358013/ContenidoEnLinea/leccin_5_clasificacin_de_suelos.html)
- Kingma, N. Westen, C. Vargas, R. (2014). Evaluación de La Amenaza Por Inundación: Introducción. p-6. Recuperado el 03 de Marzo de 2016 de <https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/Presentaciones%20Powerpoint/08%20Amenaza%20por%20inundaciones/Amenaza%20por%20inundaciones.pdf>
- Lemus, J. Sáez, V. Oropeza, M. Siso, E. Barrios, P. (2009). Riesgos por Desbordamiento e Inundaciones en la Cuenca del Rio Guarenas. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. *Revista electrónica Redalyc*. Vol. XXV.38. p. 143-166. Recuperado el 3 de enero de 2016 de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72112047007>
- Ley Orgánica Del Ambiente. Gaceta Oficial de La República Bolivariana de Venezuela, 5.833 (Extraordinario), Diciembre 22, 2006. p-22.
- Márquez, G (2010). Las Inundaciones: De Proceso Natural A Catástrofe Humana. *Un Periódico*. Colombia. p-13. Recuperado el 3 de enero de 2016 de <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/las-inundaciones-de-proceso-natural-a-catastrofe-humana.html>
- Marreno, N . Perozo, M (2011). Estimación de Riesgo de Inundación en Urbanismos y Zonas Agrícolas Ubicadas en La Planicie de Río Coro, Estado Falcón, Venezuela. Universidad Nacional Experimental “Francisco de Miranda”. Venezuela. Recuperado el 27 de Febrero de 2016 de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542011000300001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542011000300001)
- Mena, C. Molina, L. Ormazábal, Y. Morales, Y. (2011). Generalización de Modelo Digital de Elevación Condicionada por Puntos Críticos de Terreno. Universidad de Talca. Talca, Chile. Recuperado el 27 de Febrero de 2016 de <http://www.scielo.br/pdf/bcg/v17n3/a07v17n3.pdf>
- Méndez, J. (2013). Metodología Para La Medición de Variables Hidrometeorológicas que Faciliten La Implementación de Modelos Dinámicos de Interceptación de Lluvia en El Contexto Colombiano. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Trabajo de grado Magistral. Recuperado el 16 de Febrero de 2016 de <http://www.bdigital.unal.edu.co/9678/1/JavierfernandoMendezmonroy.pdf>

- Metro de Quito. (2012). Estudio de Impacto y Plan de Manejo de La Primera Linea del Metro de Quito. Quito, Ecuador. p-3. Recuperado el 21 de Marzo de 2016 de <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=37306784>
- Mireles, R. (2013). Estimación de Manchas de Inundación Para La Delegación Venustiano Carranza Utilizando Sistemas de Información Geográfica. Recuperado el 06 de Marzo de 2016 de [https://www.google.co.ve/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cad=8&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjFouyp2KzLAhWQsh4KHe\\_FDUM\\_QFgg6MAc&url=http%3A%2F%2Fwww.ptolomeo.unam.mx%3A8080%2Fxmlui%2Fbitstream%2Fhandle%2F132.248.52.100%2F3127%2Ftesis.pdf%3Fsequence%3D1&usq=AFQjCNFv37TZNQOAgbTY5CIE0szJ0IVoOw&sig2=6CywSDp8SuFhsFhsJVly8w&bvm=bv.116274245,d.dmo](https://www.google.co.ve/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cad=8&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjFouyp2KzLAhWQsh4KHe_FDUM_QFgg6MAc&url=http%3A%2F%2Fwww.ptolomeo.unam.mx%3A8080%2Fxmlui%2Fbitstream%2Fhandle%2F132.248.52.100%2F3127%2Ftesis.pdf%3Fsequence%3D1&usq=AFQjCNFv37TZNQOAgbTY5CIE0szJ0IVoOw&sig2=6CywSDp8SuFhsFhsJVly8w&bvm=bv.116274245,d.dmo)
- Molero, A. Villasmil, Y. (2012). Automatizacion de Parametros de Funcionamiento Para un Galpon de Una Granja Avicola Reproductora. Caso Técnico & Ingenieros. Trabajo de Pregrado. Universidad Privada Rafael Bellosó Chacín. Zulia, Venezuela. p-72. Recuperado el 24 de Marzo de 2016 de <http://virtual.urbe.edu/tesispub/0093145/cap03.pdf>
- Montaña, L. (2015). Calibración de Los Modelos Hidrológico e Hidráulico para El Sistema de Alerta Temprana Para Inundación Por Desbordamiento Para La Quebrada Chiguaza. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. p-7. Trabajo de Grado Magistral. Recuperado el 22 de Marzo de 2016 de <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/16803/1/MontanaForeroLuisEsteban2015.pdf>
- NASA (2016). About Landsat Then And Now. Recuperado el 19 de Mayo de 2016 de [http://www.google.com/url?q=http%3A%2F%2Flandsat.gsfc.nasa.gov%2F%3Fpage\\_id%3D2&sa=D&sntz=1&usq=AFQjCNGpBnsxeeRtEvIzD7ixMdVII DWT5w](http://www.google.com/url?q=http%3A%2F%2Flandsat.gsfc.nasa.gov%2F%3Fpage_id%3D2&sa=D&sntz=1&usq=AFQjCNGpBnsxeeRtEvIzD7ixMdVII DWT5w)
- NASA (2016). USGS EarthExplorer. Recuperado el 19 de Mayo de 2016 de [https://lpdaac.usgs.gov/data\\_access/usgs\\_earthexplorer](https://lpdaac.usgs.gov/data_access/usgs_earthexplorer)
- National Geographic (2013). Inundaciones. Recuperado el 01 de Marzo de 2016 de <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/desastres-naturales/floods-profile>
- Núñez, M. (2011). La Cuenca Hidrológica en La Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Bolivia. *Revista Virtual Redesma*. Recuperado el 22 de Marzo de 2016 de [http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S1995-10782011000100003&script=sci\\_arttext](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S1995-10782011000100003&script=sci_arttext)

- Olivares, J. (2014). 3 Maneras de Obtener Limites de Inundación en HEC-RAS. Recuperado el 28 de Febrero de 2016 de <http://www.hidrojing.com/3-maneras-de-obtener-limites-de-inundacion-en-hec-ras/>
- Olivares, J. (2014). Como obtener hietogramas a partir de curvas IDF para HEC-HMS y SWMM. Recuperado el 16 de Marzo de 2016 de <http://www.hidrojing.com/como-obtener-hietogramas-a-partir-de-curvas-idf-para-hec-hms-y-swmm/>
- Organización de Las Naciones Unidas ONU (2015). Major Floods In Malawi, Mozambique Force Thousands To Flee Their Homes-UN. p-1. Recuperado el 3 de enero de 2016 de <http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=49820#.Vq1IjE-yr5d>
- Organización Mundial de La Salud (2016). Inundaciones. Recuperado el 01 de Marzo de 2016 de <http://www.who.int/hac/techguidance/ems/floods/es/>
- Ovin, C (2014). Inundaciones Fluviales en La Cuenca del Río Sella en Junio del 2010 y Febrero de 2012. Validación del Mapa de Peligrosidad Por Inundaciones en El Bajo Sella. Universidad de Oviedo. Oviedo, España. Trabajo de Grado Master. Recuperado el 27 de Febrero de 2016 de [http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/30789/1/TFM\\_CarolinaOvinVega.pdf](http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/30789/1/TFM_CarolinaOvinVega.pdf)
- Paredes, F. Quiroz, I. Cortez, M. Rumbo, L. La Cruz, F. (2011). Estimación de las manchas de Inundación de La Quebrada La Yaguara en El Sector La Yaguara – Los Jardines. San Carlos, Estado Cojedes. Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Cojedes, Venezuela. p-3-8. Recuperado el 28 de Febrero de 2016 de [http://www.postgradovipi.50webs.com/archivos/agrollania/2011/agro2011\\_14.pdf](http://www.postgradovipi.50webs.com/archivos/agrollania/2011/agro2011_14.pdf)
- Pérez, N (2015). Estudio Hidráulico Para La Determinación de Zonas inundables y Análisis Valorado de Soluciones de Protección en El Municipio de Balmasea, Vizcaya, Comunidad Autónoma del País Bajo. Universidad de Alicante. País Vasco. Trabajo de Grado Pregrado. Recuperado el 27 de Febrero de 2016 de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/47515>
- Pristupluk, R (2016). p-1. Emergencia Hídrica. Buenos Aires, Argentina. Diario *La Nación*. Recuperado el 3 de enero de 2016 de <http://www.lanacion.com.ar/1866419-por-las-inundaciones-que-causo-el-nino-decretaron-la-emergencia-hidrica-en-siete-provincias>
- Pujadas, E. (2012). Tragedia de Vargas: El Día Que La Montaña Avanzo Hasta El Mar. *La Voz*. Guarenas, Estado Miranda. p-1. Recuperado el 28 de Febrero de

2016 de <http://www.diariolavoz.net/2012/12/16/edda-pujadas-el-dia-que-la-montana-avanzo-hasta-el-mar/>

Rivero, M. (2013). Afectadas 32 Casas en Guacara por Desbordamiento del Río. Carabobo, Venezuela. *Diario Notitarde*. Recuperado el 21 de Marzo de 2016 de <http://www.notitarde.com/Sucesos/Afectadas-32-casas-en-Guacara-por-desbordamiento-del-rio/2013/10/27/276689>

Romero, T. (2012). Lluvias Afectan a Cinco Municipios. Carabobo, Venezuela. *Diario El Nacional*. Recuperado el 21 de Marzo de 2016 de [http://www.el-nacional.com/regiones/Lluvias-afectaron-municipios\\_0\\_51595011.html](http://www.el-nacional.com/regiones/Lluvias-afectaron-municipios_0_51595011.html)

Sabino, C. (2000). El Proceso de Investigación. Editorail Panapo. Caracas, Venezuela. p-118. Recuperado el 24 de Marzo de 2016 de <http://es.slideshare.net/male2712/sabino-carlos-el-proceso-de-investigacion>

Santander, S. (2013). El Mapa de Suelos de Venezuela. Recuperado el 11 de Mayo de 2016 de <https://ubvsuelos.wordpress.com/2010/03/08/el-mapa-de-suelos-de-venezuela/>

Tamayo, M. Tamayo. (2003). El Proceso de Investigación. 4ta Edición. Editorial Limusa, S.A. De CV. Grupo Noriega de Editores. Mexico D.F, Mexico. p-46-99. Recuperado el 23 de Marzo de 2016 de <http://es.scribd.com/doc/12235974/Tamayo-y-Tamayo-Mario-El-Proceso-de-la-Investigacion-Cientifica#scribd>

The Nature Conservancy. (2014). Río Magdalena. Manejo de Planicies Inundables. p.1. Recuperado el 28 de Febrero de 2016 de <http://www.mundotnc.org/donde-trabajamos/americas/colombia/lugares/manejo-de-planicies-inundables.xml>

UNESCO (2005). Prevención de Desastres Naturales. Recuperado el 29 de Febrero de 2016 de [http://www.unesco.org/bpi/pdf/memobpi06\\_prevention\\_es.pdf](http://www.unesco.org/bpi/pdf/memobpi06_prevention_es.pdf)

UNESCO (2011). Manual Sistemas de Alerta Temprana. 10 Preguntas. 10 Respuestas. Recuperado el 29 de Febrero de 2016 de <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/San-Jose/pdf/Panama%20MANUAL%20INFORMATIVO.pdf>

UNESCO (2012). Glosario Hidrológico Internacional. p-268. Recuperado el 03 de Marzo de 2016 de <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002218/221862M.pdf>

UNESCO (2015). Agua Para todos. Agua Para La vida. Informe de Las Naciones Unidas Sobre El Desarrollo de Los Recursos Hídricos en El Mundo. p-6.

Recuperado el 03 de Marzo de 2016 de <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556s.pdf>

United States Geological Survey USGS (2016). Digital Elevation Models. Data Users Guide 5. Recuperado el 19 de Mayo de 2016 de <http://agdc.usgs.gov/data/usgs/geodata/dem/dugdem.pdf>

United States Geological Survey USGS (2016). EarthExplorer Distribution Download. Recuperado el 19 de Mayo de 2016 de <http://earthexplorer.usgs.gov/distribution>

United States Geological Survey USGS (2016). Landsat Project Description. Recuperado el 19 de Mayo de 2016 de [http://www.google.com/url?q=http%3A%2F%2Flandsat.usgs.gov%2F%2Fabout\\_project\\_descriptions.php&sa=D&sntz=1&usg=AFQjCNE19E4trkcFD7AdvR\\_AF69zIfUhw](http://www.google.com/url?q=http%3A%2F%2Flandsat.usgs.gov%2F%2Fabout_project_descriptions.php&sa=D&sntz=1&usg=AFQjCNE19E4trkcFD7AdvR_AF69zIfUhw)

Upel (2011). *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales*. Caracas: Universidad Pedagógica Experimental Libertador. p-18-20.

Vázquez, A. Estedia, B. Jiménez, P. Valero, M. (2011). Lluvias Dejaron 4 Mil 718 Afectados. Venezuela. *Noticia Venezuela*, p. 7. Recuperado el 3 de Enero de 2016 de <http://www.escondiendolanoticia.com/en/noticia/lluvias-dejaron-4-mil-718-afectados-N2513.html>

Vidal, J. (2011). Las Llanuras de Inundación. España. *La Voz de Galicia*. p-12. Recuperado el 28 de Febrero de 2016 de [http://www.lavozdegalicia.es/galicia/2011/07/11/0003\\_201107G11P6993.htm](http://www.lavozdegalicia.es/galicia/2011/07/11/0003_201107G11P6993.htm)

World Meteorological Organization WMO (2012). International Glossary Of Hydrology. Recuperado el 15 de Marzo de 2016 de [http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/publications/international\\_glossary/385\\_IGH\\_2012.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/publications/international_glossary/385_IGH_2012.pdf)

World Meteorological Organization WMO (2013). Flood Management. Recuperado el 3 de enero de 2016 de <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/Floodmanagement.php>