

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**ESTUDIO DE LA AMENAZA DE INUNDACIONES EN  
UN TRAMO DEL RIO CABRIALES EN EL ESTADO  
CARABOBO**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Ing., Valencia V. Federico F.  
Para optar al Título  
de Magíster Scientiarum en Ingeniería Hidráulica

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ESTUDIO DE LA AMENAZA DE INUNDACIONES EN  
UN TRAMO DEL RIO CABRIALES EN EL ESTADO  
CARABOBO**

TUTOR: Prof. José Luis López

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Ing., Valencia V. Federico F.  
Para optar al Título  
de Magíster Scientiarum en Ingeniería Hidráulica

Caracas, 2011

**Valencia V., Federico F.**

**ESTUDIO DE LA AMENAZA DE INUNDACIONES EN  
UN TRAMO DEL RIO CABRIALES EN EL ESTADO  
CARABOBO**

**Tutor: Prof. José Luis López. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.  
Instituto de Mecánica de Fluidos. Año 2012, 186 p**

**Palabras Claves:** Mapa de Amenaza, río Cabriales.

**Resumen.**

En este trabajo se aplica la metodología desarrollada por el Instituto de Mecánica de Fluidos de la Universidad Central de Venezuela para la obtención del mapa de amenaza hidrometeorológica en un tramo de la cuenca del río Cabriales. Para lograr los objetivos planteados se realiza la caracterización de la cuenca desde el punto de vista geomorfológico, se analiza el comportamiento hidrológico aplicando el HEC HMS, se validan las variables hidrológicas estimadas, así como también se realizan simulaciones hidráulicas unidimensionales (HEC RAS) y bidimensionales (FLO 2D) en el tramo evaluado de 3,5 km, el cual comienza en la Avenida Salvador Feo La Cruz y culmina en la Avenida San José de Tardes (Pte. El Trigal). Se desarrolla el mapa de amenaza hidrometeorológica a partir de eventos hipotéticos de precipitación con 10 y 100 años de período de retorno, el cual se intersecta sobre una imagen satelital para obtener cuales zonas estarían bajo una peligrosidad baja, media y alta. Se propone el Índice Municipal Ponderado de Amenaza por Inundación como una variable para medir peligrosidad de un municipio en particular.

Caracas, Febrero de 2012

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Comité de la Maestría de Ingeniería Hidráulica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Ingeniero Federico Valencia, titulado:

**Estudio de la Amenaza de Inundaciones en un Tramo del Río Cabiliales en el Estado Carabobo**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Magister Scientiarum en Ingeniería Hidráulica, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. José Luis López  
Jurado

Prof. Yuri Medina  
Jurado

Prof. Diógenes Santander  
Jurado

Prof. José Luis López  
Tutor

## DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso.

A mi esposa Patricia y a mi hijo Federico Fabrizio.

A mis Padre, Federico Valencia Tello, mi madre, Rosa Ventura de Valencia y mis hermanos Francisco y María Fernanda.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso.

A mi esposa por el apoyo durante el desarrollo del trabajo.

A mis padres y hermanos por el ánimo y la motivación que me expresaron para la culminación de esta investigación.

Al profesor José Luis López por su desinteresada colaboración.

Al profesor Henry Flores por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo.

A los profesores Edilberto Guevara Pérez, José Rafael Córdova, Reinaldo García, Gianfranco Morassutti y José Ignacio Sanabria por sus oportunas ayudas y sabias recomendaciones.

Al Instituto de Mecánica de Fluidos especialmente a Francois Courtel y al profesor Iván Saavedra.

A todas las instituciones del estado por abrir sus puertas en la búsqueda de la información para el progreso de esta investigación.

A todos, gracias.

## INDICE

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Antecedentes .....	2
1.2. Planteamiento del Problema.....	5
1.3. Objetivos y Alcance .....	6
CAPITULO II: REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	9
CAPITULO III: METODOLOGIA .....	19
3.1. INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA .....	21
3.2. ARCGIS .....	22
3.3. INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA.....	23
3.4. HEC HMS .....	23
3.5. HEC RAS .....	24
3.6. FLO 2D .....	25
3.7. MAPAS DE AMENAZA.....	28
3.8. LUGAR DE LA APLICACIÓN DE LOS MODELOS HIDRÁULICOS.....	32
CAPITULO IV: INFORMACION BASICA RECOPIADA .....	34
4.1. Imágenes Satelitales .....	34

4.2. Mapas Topográficos.....	35
4.3. Vegetación y Uso del Suelo .....	36
4.4. Información Pluviométrica .....	37
4.5. Información Hidrométrica.....	37
4.6. Tormentas Históricas Extremas .....	38
4.7. Estudios Anteriores .....	41
CAPITULO V: CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CABRIALES .....	44
5.1. Ubicación Geográfica e Hidrografía .....	44
5.2. Clima y Cobertura Vegetal .....	49
5.3. Uso de la Tierra.....	57
5.4. Geología.....	60
5.5. Geomorfología .....	60
5.6. Obras Hidráulicas.....	61
CAPITULO VI: HIDROLOGIA .....	63
6.1. Período de Retorno de Diseño.....	63
6.2. Descripción de la Hidrografía y Sistema de Modelación Hidrológica .....	65
6.3. Análisis Estadístico Previo de los Datos .....	67
6.4. Análisis de la Variación Espacial y Temporal de la Precipitación .....	68
6.4.1. Análisis de la Variación Espacial.....	68
6.4.2. Análisis de la variación temporal.....	71
6.4.3. Transformación Lluvia - Escorrentía .....	83

6.4.4. Obtención y Tránsito de los Hidrogramas de Crecidas.....	84
6.5. Análisis de los Resultados.....	97
CAPITULO VII: VALIDACION DEL SISTEMA HIDROLOGICO .....	100
7.1. Característica Pluviométrica de la Tormenta del 22-10-2008.....	100
7.2. Característica Pluviométrica de la Tormenta del 12-05-1986.....	101
7.3. Similitud Hidrológica de las Tormentas del 12-05-1986 y 22-10-2008 .....	103
7.4. Estimación de la Tormenta Media Areal del día 22-10-2008.....	103
7.5. Determinación del Período de Retorno de la Tormenta Media Areal del 22-10-2008 .....	107
7.6. Estimación del Hidrograma de la Tormenta del 22-10-2008 en el tramo de la Evaluación.....	109
7.7. Mancha de Inundación Provocada por el Hidrograma de la Tormenta del día 22-10-2008 .....	109
7.8. Análisis de la Influencia de los Puentes en las Manchas de Inundación de la Tormenta del día 22-10-2008 con y sin Puente Galicia.....	110
CAPITULO VIII: SIMULACIONES HIDRAULICAS .....	116
8.1. Simulaciones con HEC RAS.....	119
8.2. Mapas Obtenidos con HEC RAS .....	120
8.3. Simulación con FLO 2D .....	129
8.4. Mapas Obtenidos con FLO 2D .....	129
CAPITULO IX: ANALISIS DE LA AMENAZA HIDROMETEOROLOGICA.....	134

CAPITULO X: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	142
REFERENCIAS.....	148
BIBLIOGRAFIA .....	151
ANEXOS .....	153

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Registros de Precipitación para el evento del 12-05-1986. (MARNR, 1986).....	4
Tabla 1.2. Registros de Precipitación para el evento del 20-10-2008 .....	4
Tabla 2.1. Caudales Máximos del MinAmb. (Prohidra, 1980) .....	11
Tabla 2.2 Río Cabriales en Los Guayabitos. Gasto de Proyecto. (Prohidra, 1980).....	12
Tabla 2.3. Caudales máximos (m <sup>3</sup> /s) en varias cuencas .....	16
Tabla 3.1. Nivel de intensidades de los eventos hidrológicos para evaluar la amenaza.....	29
Tabla 3.2. Definición de los niveles de intensidades de un evento. ....	29
Tabla 4.1. Imágenes satelitales.....	35
Tabla 4.2. Mapas cartográficos en escala 1:25.000.....	35
Tabla 4.3. Mapas cartográficos en escala 1:5.000.....	36
Tabla 4.4. Características de las Estaciones Pluviométricas .....	37
Tabla 4.5. Características de las estaciones hidrométricas .....	38
Tabla 4.6 Valores de la precipitación del día 22-10-2008 en la estación Guaparo .....	40
Tabla 4.7 Valores de la precipitación del día 22-10-2008 en la estación Aeropuerto Arturo Michelena.....	41
Tabla 5.1. Características morfométricas de la cuenca del río Cabriales, tomado de Valencia et al, (2010).....	62
Tabla 6.1. Valores del factor de reducción por área.....	70
Tabla 6.2. Valores de influencia de las estaciones pluviométricas sobre la cuenca del río Cabriales. .....	76
Tabla 6.3. Parámetros de Gumbel para el análisis de frecuencia de la precipitación máxima en la cuenca del río Cabriales. ....	76

Tabla 6.4. Precipitaciones máximas para diferentes duraciones y períodos de retorno para la cuenca del río Cabriales. ....	77
Tabla 6.5. Precipitación de diseño para 1440 minutos y aplicable hasta la confluencia río Retobo y Cabriales del esquema de simulación hidrológica.....	79
Tabla 6.6. Precipitación de diseño para 1440 minutos y aplicable hasta la Av. Valencia del esquema de simulación hidrológica .....	79
Tabla 6.7. Precipitación de diseño para 1440 minutos y aplicable hasta la Av. Salvador Feo La Cruz del esquema de simulación hidrológica.....	79
Tabla 6.8. Precipitación de diseño para 1440 minutos y aplicable hasta el Puente El Trigal del esquema de simulación hidrológica .....	80
Tabla 6.9. Precipitación de diseño para 1440 minutos y aplicable Puente Las Chimeneas del esquema de simulación hidrológica .....	80
Tabla 6.10. Precipitación de diseño para 1440 y aplicable para toda el área de la cuenca. Valores para el modelo HEC – HMS .....	80
Tabla 6.11. Valores del Número de Curva en la Cuenca del Río Cabriales.....	84
Tabla 6.12. Valores del Número de Curva para cada Sub Cuenca del Río Cabriales .....	85
Tabla 6.13. Parámetros de cálculo para el método del hidrograma unitario de Clark.....	86
Tabla 6.14. Parámetros de cálculo para el método del hidrograma unitario del SCS (NRCS).....	86
Tabla 6.15. Parámetros hidráulicos para el río Retobo hasta confluencia con el río Cabriales. Foto en urbanización La Campiña.....	86
Tabla 6.16. Parámetros hidráulicos para el río Cabriales hasta confluencia con el río Retobo. Foto en barrio Gonzáles Plaza.....	87
Tabla 6.17. Parámetros hidráulicos para el río Cabriales entre confluencia y av. Valencia. Foto en puente Los Guayabitos.....	87
Tabla 6.18. Parámetros hidráulicos para el río Cabriales entre av. Valencia y av. Salvador Feo La Cruz. Foto en puente Av. Valencia .....	88
Tabla 6.19. Parámetros hidráulicos para el río Cabriales entre av. Salvador Feo La Cruz y distribuidor El Trigal. Foto a 200 m aguas arriba del distribuidor El Trigal.....	88

Tabla 6.20. Parámetros hidráulicos para el río Cabriales entre av. Puente El Trigal y distribuidor Las Chimeneas. Foto en distribuidor El Trigal .....	89
Tabla 6.21. Parámetros hidráulicos para el río Cabriales entre distribuidor Las Chimeneas y desparramadero El Paito. Foto en puente Boca de Río .....	89
Tabla 6.22. Caudales picos, Tiempos al Pico y Volúmenes Generados para la Tormenta de Tipo Avanzada y Distintos Períodos de Retorno en Confluencia del río Retobo y Cabriales .....	90
Tabla 6.23. Caudales picos, Tiempos al Pico y Volúmenes Generados para la Tormenta de Tipo Avanzada y Distintos Períodos de Retorno en Av. Valencia .....	90
Tabla 6.24. Caudales picos, Tiempos al Pico y Volúmenes Generados para la Tormenta de Tipo Avanzada y Distintos Períodos de Retorno en Av. Salvador Feo La Cruz .....	91
Tabla 6.25. Caudales picos, Tiempos al Pico y Volúmenes Generados para la Tormenta de Tipo Avanzada y Distintos Períodos de Retorno en Distribuidor El Trigal.....	91
Tabla 6.26. Caudales Picos, Tiempos al Pico y Volúmenes Generados para la Tormenta de Tipo Avanzada y Distintos Períodos de Retorno en Distribuidor Las Chimeneas .....	92
Tabla 6.27. Caudales picos, Tiempos al Pico y Volúmenes Generados para la Tormenta de Tipo Avanzada y Distintos Períodos de Retorno en desparramadero El Paito .....	92
Tabla 6.28. Longitud mínima de los registros pluviométricos para estimar inundaciones con un nivel de confianza del 95% .....	98
Tabla 7.1. Alturas totales de precipitación de la tormenta del 12-05-1986 en la cuenca del río Cabriales para una duración de 9 horas.....	102
Tabla 7.2. Curva de mama de la precipitación de la tormenta del 22-10-2008 en la estación Guaparo.....	104
Tabla 7.3. Proporciones de las estaciones índices respecto a la estación Guaparo para la tormenta del 12-05-1986 y precipitaciones totales de las estaciones índices usando la proporción estimada, con respecto a la lluvia del 22-10-2008.....	105
Tabla 7.4. Hietogramas derivados para las estaciones índices y Guaparo .....	106
Tabla 7.5. Hietograma medio areal y acumulado de la tormenta del 22-10-2008 para un área de 93,30 km <sup>2</sup> .....	107
Tabla 7.6. Curvas de masa media para diferencia períodos de retorno .....	108

Tabla 7.7. Curvas de masa media sobre la cuenca para un período de retorno de 20 años .....	108
Cuadro 8.1. Dimensiones de la sección típica.....	119
Cuadro 8.2. Profundidades y velocidades máximas en las condiciones actuales del cauce para diferentes tipos de tormentas, período de retorno de 10 años.....	121
Cuadro 8.3. Profundidades y velocidades máximas en las condiciones actuales del cauce para diferentes tipos de tormentas, período de retorno de 100 años.....	125
Cuadro 8.4. Áreas de inundación de cada modelo para la tormenta avanzada.....	133
Tabla A2.1. Precipitaciones máximas en la estación Bárbula para diferentes duraciones y períodos de retorno .....	155
Tabla A2.2. Precipitaciones máximas en la estación San Diego para diferentes duraciones y períodos de retorno.....	155
Tabla A2.3. Precipitaciones máximas en la estación Valencia GFV para diferentes duraciones y períodos de retorno.....	156
Tabla A2.4. Precipitaciones máximas en la estación La Entrada para diferentes duraciones y períodos de retorno.....	156
Tabla A2.5. Precipitaciones máximas en la estación Guataparo El Café para diferentes duraciones y períodos de retorno.....	156
Tabla A2.6. Precipitaciones máximas en la estación Compañía Inglesa para diferentes duraciones y períodos de retorno.....	157
Tabla A2.7. Precipitaciones máximas en la estación Valencia San Luis para diferentes duraciones y períodos de retorno.....	157

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Enfoque integral para las medidas de prevención contra aludes torrenciales. López (2005).....	10
Figura 2.2. Gastos Probables en Diversos Puntos del Río Cabriales para una Lluvia Uniforme Sobre Toda la Cuenca. (Morassutti, 2001).....	13
Figura 2.3. Posibilidades de utilización conjunta de modelos y SIG, bien de forma separada (superior) o integrada (inferior). Adaptado de Estrella (1994). (Diez Herrero, 2002) .....	15
Figura 2.4. Valor de las intensidades en función del tipo de flujo .....	17
Figura 2.5. Determinación del nivel de amenaza a partir de los niveles de intensidad y de probabilidad del evento .....	18
Figura 3.1. Esquema conceptual para la obtención de los datos para la creación de los mapas de inundación propuesto por Rodríguez et al 2007.....	19
Figura 3.2. Esquema conceptual de la metodología usada en esta investigación.....	20
Figura 3.3. Determinación del nivel de amenaza a partir de los niveles de intensidad y de probabilidad del evento .....	30
Figura 3.4. Determinación del nivel de amenaza a partir de los niveles de intensidad y de probabilidad del evento de 10 y 100 años solamente .....	32
Figura 4.1. Isoyetas para la tormenta del 12 de mayo de 1986 en la región de Valencia con análisis de la precipitación entre la 1:00 am y las 10:00 pm. ....	39
Figura 4.2 Ubicación de las estaciones Guaparo y Aeropuerto Arturo Michelena .....	40
Figura 5.1. Localización nacional cuenca río Cabriales. Tomado de Valencia, et al (2010).....	45
Figura 5.2. Localización satelital regional, estado Carabobo. Tomado de Valencia et al (2010)...	46
Figura 5.3. Ubicación satelital local y cauce principal cuenca del río Cabriales.....	47
Figura 5.4. Cauce principal cuenca del río Cabriales .....	48
Figura 5.5. Sub-Cuencas río Cabriales. Tomado de Valencia et al (2010).....	49

Figura 5.7. Río Cabriales en el sector Mañongo – Las Clavellinas, municipio Naguanagua con estabilidad. Foto Cortesía del Ing. Morassutti.....	50
Figura 5.8. Río Cabriales en Universidad de Carabobo con estabilidad morfológica.....	51
Figura 5.9. Precipitación promedio anual en la cuenca del río Cabriales.....	52
Figura 5.10. Régimen pluviométrico de la cuenca de la cuenca del río Cabriales .....	52
Figura 5.11. Variación del régimen mensual de la temperatura en la región central de Venezuela. Tomado de García et al, (2008).....	53
Figura 5.12. Modelo Digital de Elevaciones (MDE).....	53
Figura 5.13. Variación de pendientes en la cuenca del río Cabriales .....	55
Figura 5.14. Herbazal Arbolado. Tomado de Cornejo (2001).....	56
Figura 5.15. Bosque de Vaguada. Tomado de Cornejo (2001) .....	56
Figura 6.1. Esquema de simulación hidrológica para la cuenca del río Cabriales.....	66
Figura 6.2. Ubicación de las estaciones pluviométricas .....	67
Figura 6.3. Isoyetas de la tormenta del 12 de mayo de 1986. Duración: 9 horas .....	69
Figura 6.4. Curva de reducción por área para 9 horas de duración para la tormenta del 12 de mayo de 1986.....	69
Figura 6.5. Variación espacial de la precipitación para la cuenca del río Cabriales.....	71
Figura 6.6. Polígonos de thiessen en la cuenca del río Cabriales .....	72
Figura 6.7. Estación Bárbula .....	73
Figura 6.8. Estación San Diego .....	73
Figura 6.10. Estación La Entrada .....	74
Figura 6.11. Estación Guataparo El Café .....	74
Figura 6.12. Estación Guataparo Compañía Inglesa .....	75
Figura 6.13. Estación Valencia San Luis .....	75

Figura 6.14. Curva Intensidad Duración Frecuencia para la cuenca del río Cabriales .....	78
Figura 6.15. Precipitaciones de diseño para 1440 minutos y aplicable hasta la confluencia del río Retobo con Cabriales del esquema de simulación hidrológica .....	81
Figura 6.16. Precipitaciones de diseño para 1440 minutos y aplicable en Av. Valencia del esquema de simulación hidrológica .....	81
Figura 6.17. Precipitaciones de diseño para 1440 minutos y aplicable en la Av. Salvador Feo La Cruz del esquema de simulación hidrológica.....	82
Figura 6.18. Precipitaciones de diseño para 1440 minutos y aplicable en Puente El Trigal del esquema de simulación hidrológica .....	82
Figura 6.19. Precipitaciones de diseño para 1440 minutos y aplicable en Distribuidor Las Chimeneas del esquema de simulación hidrológica.....	83
Figura 6.20. Precipitaciones de diseño para 1440 minutos y aplicable para toda el área de la cuenca .....	83
Figura 6.21. Caudales Picos en Función del Período de Retorno para la tormenta de tipo avanzada .....	93
Figura 6.22. Volúmenes Máximos en Función del Período de Retorno para la tormenta de tipo avanzada.....	93
Figura 6.23. Caudales Picos en Función del Área de Drenaje para la tormenta de tipo avanzada ..	94
Figura 6.24. Volúmenes Máximos en Función del Área de Drenaje.....	94
Figura 6.25. Hidrogramas de Crecidas para Distintos Períodos de Retorno en Confluencia del río Retobo y Cabriales .....	95
Figura 6.26. Hidrogramas de Crecidas para Distintos Períodos de Retorno en Av. Valencia.....	95
Figura 6.27. Hidrogramas de Crecidas para Distintos Períodos de Retorno en Av. Salvador Feo La Cruz.....	96
Figura 6.28. Hidrogramas de Crecidas para Distintos Períodos de Retorno en Distribuidor El Trigal.....	96
Figura 6.29. Hidrogramas de Crecidas para Distintos Períodos de Retorno en Distribuidor Las Chimeneas.....	97

Figura 6.30. Hidrogramas de Crecidas para Distintos Períodos de Retorno en Desparramadero El Paito .....	97
Figura 7.1. Hietograma de la tormenta del 22-10-2008 registrada en la estación Guaparo.....	101
Figura 7.2. Mancha de Inundación producto de la tormenta del 12-05-1986 en la cuenca del río Cabriales. (Rivero, 1986) .....	102
Figura 7.3. Hietograma de la tormenta del 22-10-2008 registrada en la estación Guaparo para 6 horas de duración .....	104
Figura 7.4. Curva de masa de la tormenta del 22-10-2008 registrada en la estación Guaparo para 6 horas de duración .....	105
Figura 7.5. Curva de masa de la tormenta del 22-10-2008 y las curvas de masa de las estaciones índices en función del valor de la precipitación total del día 12-05-1986 .....	106
Figura 7.6. Hidrograma estimado para la tormenta del día 22-10-2008.....	109
Figura 7.7. Mancha de inundación de la tormenta del día 22-10-2008 obtenida con el HEC RAS .....	112
Figura 7.8. Mancha de inundación de la tormenta del día 22-10-2008 obtenida con el HEC RAS considerando el nuevo puente Galicia.....	113
Figura 7.9. Mancha de inundación de la tormenta del día 22-10-2008 obtenida con el FLO 2D..	114
Figura 7.10. Vista frontal desde aguas abajo del nuevo puente Galicia .....	115
Figura 8.1. Curvas de nivel y calles en el tramo avenida Salvador Feo La Cruz – avenida San José de Tarbes .....	118
Figura 8.2. Sección típica en el tramo de estudio.....	119
Figura 8.3. Mapa de profundidad para un período de retorno de 10 años y una tormenta de tipo avanzada obtenido con HEC RAS.....	122
Figura 8.4. Mapa de profundidad para un período de retorno de 10 años y una tormenta de tipo simétrica obtenido con HEC RAS.....	123
Figura 8.5. Mapa de profundidad para un período de retorno de 10 años y una tormenta de tipo retardada obtenido con HEC RAS.....	124

Figura 8.6. Mapa de profundidades para un período de retorno de 100 años y una tormenta de tipo avanzada obtenido con HEC RAS.....	126
Figura 8.7. Mapa de profundidad para un período de retorno de 100 años y una tormenta de tipo simétrica obtenido con HEC RAS.....	127
Figura 8.8. Mapa de profundidad para un período de retorno de 100 años y una tormenta de tipo retardada obtenido con HEC RAS.....	128
Figura 8.11. Mapa de profundidad para un período de retorno de 10 años y una tormenta de tipo avanzada obtenido con FLO 2D.....	131
Figura 8.12. Mapa de profundidad para un período de retorno de 100 años y una tormenta de tipo avanzada obtenido con FLO 2D.....	132
Figura 9.1. Mapa de Amenaza obtenido con el programa FLO 2D en el tramo Av. Salvador Feo La Cruz hasta Pte. El Trigal .....	135
Figura 9.2. Mapa de Amenaza Transparente obtenido con el programa FLO 2D en el tramo Av. Salvador Feo La Cruz hasta Pte. El Trigal .....	136
Figura 9.3. Mapa de Amenaza en el tramo Av. Salvador Feo La Cruz hasta Pte. El Trigal con Foto Satelital.....	137
Figura 9.4. Mapa de Amenaza Transparente en el tramo Av. Salvador Feo La Cruz hasta Pte. El Trigal con Foto Satelital.....	138
Figura A1.1 Banda Pluviométrica en estación Guaparo correspondiente a la tormenta de día 20 de Octubre de 2008 .....	153
Figura A1.2 Banda Pluviométrica en estación Aeropuerto Arturo Michelena correspondiente a la tormenta de día 20 de Octubre de 2008.....	154
Figura A3.1. Hidrogramas de Crecidas de Tormenta Simétrica para Distintos Períodos de Retorno en Confluencia del río Retobo y Cabriales.....	158
Figura A3.2. Hidrogramas de Crecidas de Tormenta Simétrica para Distintos Períodos de Retorno en Av. Valencia.....	159
Figura A3.3. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Simétrica para Distintos Períodos de Retorno en Av. Salvador Feo La Cruz .....	159

Figura A3.4. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Simétrica para Distintos Períodos de Retorno en Distribuidor El Trigal .....	160
Figura A3.5. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Simétrica para Distintos Períodos de Retorno en Distribuidor Las Chimeneas .....	160
Figura A3.6. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Simétrica para Distintos Períodos de Retorno en desparramadero El Paito.....	161
Figura A3.7. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Retardada para Distintos Períodos de Retorno en Confluencia del río Retobo y Cabriales .....	161
Figura A3.8. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Retardada para Distintos Períodos de Retorno en Av. Valencia .....	162
Figura A3.9. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Retardada para Distintos Períodos de Retorno en Av. Salvador Feo La Cruz .....	162
Figura A3.10. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Retardada para Distintos Períodos de Retorno en Distribuidor El Trigal .....	163
Figura A3.11. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Retardada para Distintos Períodos de Retorno en Distribuidor Las Chimeneas .....	163
Figura A3.12. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Retardada para Distintos Períodos de Retorno en desparramadero El Paito .....	164

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

Los eventos meteorológicos extraordinarios como aquellos que ocasionaron las crecidas y aludes torrenciales en las cuencas que drenan la Cordillera de la Costa en su vertiente litoral, en el Estado Vargas en 1999, acarrean diferentes problemas, tales como la deposición de sedimentos y escombros, los cuales producen una reducción en las secciones de los cauces con el consiguiente desbordamiento lateral. Cuando estos eventos suceden en lugares no montañosos de pendiente baja, la capacidad hidráulica del cauce puede ser rápidamente superada y provocar también que el flujo salga de su lugar de drenaje natural. Estos problemas constituyen un riesgo ambiental sobre todo en áreas que por sus características geomorfológicas y geotécnicas son vulnerables a los mencionados eventos.

El problema se incrementa cuando los fenómenos se presentan en lugares urbanizados, debido a que estos desbordamientos laterales, se convierten en inundaciones de sitios residenciales, comerciales, entre otros, provocando grandes pérdidas de bienes materiales y hasta de vidas humanas.

El impacto del continuo crecimiento de la población y el desarrollo industrial y urbanístico en las diferentes ciudades ocasiona cambios en la hidrología, aumentando los espacios impermeables, reduciendo los tiempos de concentración, disminuyendo las pérdidas por infiltración e incrementando la escorrentía superficial para cada evento meteorológico. Un ejemplo de ello es la ciudad de Valencia, ubicada dentro de la cuenca del río Cabriales, en la cual, al producirse

precipitaciones como las ocurridas en el Estado Vargas en 1999, constituyen un riesgo de amenaza y pudieran incidir de manera negativa en las zonas urbanizadas dentro de dicha cuenca, trayendo como consecuencia mayores inundaciones que las ocurridas hasta el presente en las riberas del mencionado río.

Sobre la base de lo expuesto, se deriva entonces la interrogante sobre cómo sería afectada la ciudad de Valencia por la ocurrencia de este tipo de acontecimientos; qué altura y espacio ocuparía el flujo resultante y cuál sería el área de inundación para períodos de retorno mayores a los ocurridos. Es por ello que en este trabajo se intentan conocer las características de posibles inundaciones, su distribución espacial y las velocidades del flujo y plantear los mapas de amenaza por inundación para desarrollar y planificar acciones tanto preventivas como correctivas para el sistema de drenajes, para satisfacer la función básica establecida. Todo esto dentro del marco de la gestión integral del riesgo en cuencas urbanas y la legislación correspondiente que rige la conservación y aprovechamiento sustentable de las aguas superficiales y subterráneas, así como también del control y prevención de los efectos negativos de las aguas sobre la poblaciones y sus bienes materiales.

En el trabajo se aplica una metodología para elaborar los mapas de amenaza combinada en el tramo que se inicia en la Avenida Salvador Feo La Cruz hasta la Avenida San José de Tarbes, lugar donde está el Distribuidor El Trigal.

## 1.1 Antecedentes

En general, el recorrido o curso del cauce de un río no es fijo como el de un canal trazado por el hombre, sino que puede cambiar drásticamente debido a la ocurrencia de eventos hidrológicos extraordinarios, o de manera más lenta y gradual a lo largo del tiempo para regímenes hídricos regulares. En los cambios, el río hace uso de un grado de libertad relativo a la planta, buscando un cierto

acomodo (o equilibrio) que siempre se concreta en una u otra sinuosidad, no en alineamientos rectos y curvas circulares, como son proyectados y trazados los canales (Martín, 2002). El río Cabriales no escapa a esta situación general, que a pesar de tener en algunos lugares obras de protecciones en las márgenes, en otros sitios se produce una dinámica fluvial intensa con libre movimiento. Si bien este proceso para este caso puede ser muy lento, se produce enmarcado dentro de un contexto urbano de alta intensidad de población, donde los caudales ocasionados por las elevadas precipitaciones, favorecidos por los cambios en las características geométricas del cauce pudieran originar desbordamientos, produciendo pérdidas materiales y hasta pérdida de vidas humanas.

En el pasado se han presentado desbordamientos del río Cabriales; siendo los más importantes los que se describen a continuación:

- El 12 de mayo de 1986 ocurrió una crecida del río Cabriales inundando diferentes partes de la capital del Estado Carabobo, entre otras el centro de Valencia, los Guayabitos, avenida Bolívar. Esto trajo como consecuencias aumento del nivel de las aguas que llegó en algunos sitios hasta 2 m y produjo la pérdida de 3 vidas humanas. En la Tabla 1.1 se presentan las precipitaciones registradas por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales entre la 01:00 am y las 8:00 am de la fecha indicada.
- El 06 de octubre de 2004, las precipitaciones causaron daños en 19 sectores produciendo dos personas fallecidas y 895 afectados. Entre los sectores afectados se encontró el Municipio Valencia, en las zonas aledañas al río Cabriales, específicamente los barrios 5 de Julio y Mañonguito. En esta zona, 38 familias perdieron sus enseres al penetrar con fuerza las aguas en sus casas.

- El 20 de octubre de 2008 se produjeron lluvias de gran intensidad, trayendo como consecuencia una inundación en la urbanización Las Quintas de Naguanagua, barrio Mañonguito, urbanización El Recreo, World Trade Center y la zona Sur de Valencia. Las precipitaciones registradas de ese día entre las 8:30 p.m. y las 00:30 a.m., se presentan a continuación descritas en la Tabla 1.2.

Tabla 1.1. Registros de Precipitación para el evento del 12-05-1986. (MARNR, 1986)

Estaciones Pluviométricas	Serial de la Estación	Precipitación (mm)
Agua Blanca	0489	35,70
Bárbula	1309	125,50
Cachinche	2318	61,20
Guacara	0452	67,90
Las Dos Bocas	0491	94,20
Los Aguacates	1395	70,40
Rancho Grande	0426	55,30
Santa Rita	0430	44,10
San Diego	0451	102,70
Valencia Ferrocarril	0461	40,40
Valencia San Luis	1387	62,40

Tabla 1.2. Registros de Precipitación para el evento del 20-10-2008

Estaciones Pluviométricas	Serial de la Estación	Precipitación (mm)
Guaparo Oficina	0461	64,20
A. I. Arturo Michelena	S/N	50,80

## 1.2. Planteamiento del Problema

Desde la época en la que el hombre transformó su vida hacia el sedentarismo, ha ocupado los lugares con disponibilidad de recursos para su subsistencia, tales como agua, comida, refugio, entre otros. Las zonas cercanas a los ríos en muchos casos fueron aptas para satisfacer sus necesidades de agua y en algunos casos de comida también.

Con la evolución del hombre, surgieron comunidades que con el paso del tiempo llegaron a constituirse en las grandes urbes que hoy conocemos, ocupando los mismos sitios, es decir alrededor de los ríos. Así las principales y más antiguas civilizaciones que registra la historia han nacido a orillas de grandes ríos. El crecimiento sin planificación en algunos casos, ha permitido que estas comunidades sigan poblando las planicies de inundación sin tomar en cuenta el riesgo ni la vulnerabilidad de dichas zonas.

Por otro lado, el cambio de los parámetros del ciclo hidrológico a consecuencia del urbanismo, tales como aumento de las superficies impermeables disminución de la infiltración, incrementa la posibilidad de tener caudales mayores para la misma intensidad de lluvia, surgiendo amenazas de inundación. El cambio climático también ha sido un factor importante en la ocurrencia de estos grandes caudales al incrementar la probabilidad de ocurrencia de estos eventos extremos.

Los desbordes de ríos son circunstancias donde el flujo puede desarrollar gran fuerza, su poder de destrucción trae como consecuencia factibles pérdidas de vida, pérdidas materiales, entre otros. Por ello, el estudio de estos fenómenos, contribuye, en una primera fase, al entendimiento del fenómeno local, su comportamiento, peligrosidad (amenaza) y a la elaboración de mapas de riesgos; y en una segunda fase, al diseño de obras de protección y control y a la planificación urbana.

Los mapas de amenaza se han venido confeccionando para las principales cuencas hidrográficas del país con el propósito de que sirvan como una herramienta para la formulación de políticas y estrategias que permitan reducir la vulnerabilidad y el nivel de riesgo por las inundaciones, ayudando al ordenamiento territorial y a la planificación del uso de las áreas vulnerables.

### 1.3. Objetivos y Alcance

El objetivo general de esta investigación es determinar los mapas de amenaza de un tramo del río Cabriales, entre la Avenida Salvador Feo La Cruz y el Distribuidor El Trigal, producto de los desbordamientos bajo condiciones y patrones meteorológicos específicos como base para el proceso de planificación y gestión del riesgo en dicha cuenca.

Para desarrollar el objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar la cuenca del río Cabriales desde el punto de vista geomorfológico, cobertura vegetal, pendiente e hidrográfica.
- Determinar los parámetros de entrada para la simulación hidrológica usando los sistemas de información geográficos.
- Determinar el comportamiento pluviométrico temporal y espacial para tormentas en la cuenca del río Cabriales.
- Determinar el régimen de los caudales en la cuenca del río Cabriales usando el programa de simulación hidrológica HEC HMS.
- Calibrar las variables del sistema hidrológico del río Cabriales.

- Determinar los perfiles de agua y la velocidad del flujo en la dirección del movimiento en el tramo de estudio en régimen no permanente usando el modelo de simulación unidimensional HEC RAS.
- Determinar las velocidades de flujo en diferentes direcciones y las profundidades del agua en el tramo de estudio en régimen no permanente usando el modelo de simulación bidimensional FLO 2D.
- Crear los mapas de amenaza de inundaciones en el tramo de estudio con el modelo FLO 2D.

#### 1.4. Aportes de la Investigación

Durante el desarrollo del trabajo y el cumplimiento progresivo de los objetivos específicos, aparecen de manera consecuente los aportes realizados en la cuenca en estudio y que pueden ser exportados a otras cuencas y estudios similares. A continuación se enumeran las contribuciones realizadas en la investigación:

- Modelización integral y sistemática de la hidrológica en la cuenca del río Cabriales. La cuenca se divide en sub-cuencas que siguen un patrón hidrográfico que permite estimar hidrogramas en varios puntos del recorrido del cauce principal.
- Certificación en la aplicación de las metodologías para la transformación de la lluvia en escorrentía (Número de Curva CN) y para estimación de los hidrogramas de crecidas (Hidrograma Unitario de Clark e Hidrograma Unitario SCS (NRCS)) como modelos que proporcionan resultados acordes con el comportamiento de las tormentas que se presentan en la cuenca, tanto sobre superficies urbanizadas como semi-urbanizadas, tal como se presenta en la validación del sistema.
- El mapa de amenaza combinado por inundación como una herramienta para el conocimiento del grado de exposición de una ciudad a esta amenaza, así como elemento importante en la planificación de ciudades.

- El IMPAI (Índice Municipal Ponderado de Amenaza por Inundación), un instrumento que refleja el valor cualitativo integral del grado de amenaza presente en un municipio, el cual puede usarse para comparar la amenaza entre municipios.

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

Noya (2002) en su trabajo —Análisis de la Amenaza por Aludes Torrenciales en la Cuenca del río San José de Galipán” desarrolla una metodología para la elaboración de Mapas de Amenaza por Aludes Torrenciales. En estos mapas se representan las zonas con amenaza alta, media, baja o inexistente a ser afectados por aludes torrenciales. Para ello se analizaron las causas y consecuencias del evento de diciembre de 1999, sobre la cuenca del río San José de Galipán y más específicamente sobre el área de estudio en la población de Macuto. Se aplicó la metodología en la cuenca del río San José de Galipán en el área de Macuto. Se estudiaron las características hidráulicas, topográficas e hidrológicas de la zona, con el propósito de la caracterización de la cuenca. Se recabó información acerca del fenómeno hidrometeorológico ocurrido en diciembre 1999. Se aplicaron varios modelos matemáticos como herramientas fundamentales para este estudio, entre ellos destacan el HEC HMS y el FLO2D.

López (2005) en el estudio —Estrategias de Mitigación y Control de Inundaciones y Aludes Torrenciales en el Estado Vargas y en el Valle de Caracas: Situación Actual y Perspectivas Futuras” analiza las diferentes estrategias de mitigación contra aludes torrenciales, estableciendo la distinción entre las medidas estructurales y no estructurales. Se revisan las medidas que se están implementando en el Estado Vargas y en el valle de Caracas, y se recomiendan acciones para orientar los esfuerzos que se están realizando a fin de mitigar los efectos por ocurrencia de nuevos aludes torrenciales. El autor propone un enfoque integral para las medidas de prevención contra aludes torrenciales, el cual se muestran Figura 2.1.

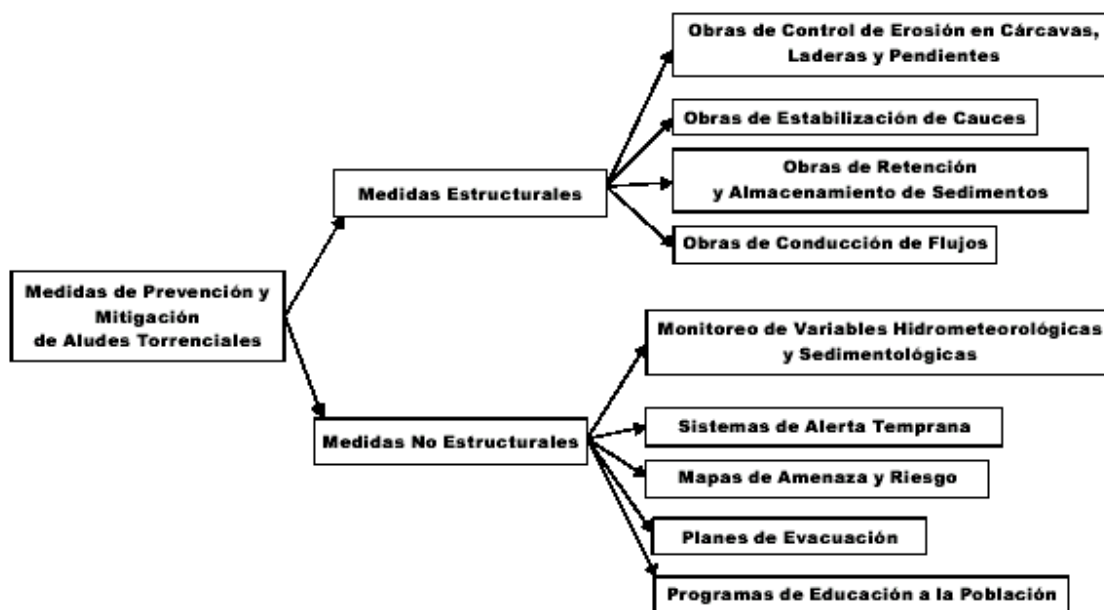


Figura 2.1. Enfoque integral para las medidas de prevención contra aludes torrenciales. López (2005)

SALGADO (2005). En su investigación “Análisis Integral del Riesgo a Deslizamientos e Inundaciones en la Microcuenca del Río Gila, Copán, Honduras”, determina el grado de riesgo a la cual está expuesta las poblaciones de la cuenca del Río Gila en Honduras, a través de la estimación de los mapas de inundación y del conocimiento de la vulnerabilidad tanto para deslizamientos como para inundaciones. En el caso de las inundaciones, las amenazas son estimadas mediante simulación hidrológica e hidráulica utilizando los programas HEC HMS y HEC RAS, y la vulnerabilidad es evaluada mediante la realización del mapeo comunitario y cruzada con la información del sistema de información geográfico. El autor analiza los resultados y los plantea en forma de mapas para diferentes períodos de retorno. En el análisis de la vulnerabilidad para inundaciones se toman en cuenta la física, social, ecológica, económica, política, técnica, ideológica, cultura, educativa, institucional.

PROHIDRA (1980) realiza un trabajo denominado “Estudio Hidráulico del Río Cabriales en la Urbanización Los Guayabitos Valencia, Edo. Carabobo” donde

realiza una evaluación de la hidráulica de del río Cabriales en la urbanización Los Guayabitos para verificar la posibilidad de inundaciones y problemas de descarga de drenajes. El estudio realizado en el año 1980 comprende cuatro grandes subtítulos: hidrología, delimitación de la planicie inundable, verificación de las descargas de drenaje y las conclusiones y recomendaciones. Los valores de entrada para la evaluación hidráulica de cualquier río es la hidrología de la cuenca en estudio. Para la época se disponía de dos estudios del antiguo Ministerio del Ambiente de los Recursos Natural Renovables: —Estudio hidrológico del Río Cabriales, 1970” y —Estudio hidrológico del Río Cabriales, 1974 (Actualización)”, el cual presentaban valores muy distantes para la misma frecuencia tal como se presenta en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Caudales Máximos del MinAmb. (Prohidra, 1980)

Año	Q <sub>10</sub>	Q <sub>25</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>2,33</sub>
Estudio 1970	162	203	238	308	62
Estudio 1974	30	39	43	53	11

Debido a esta situación, se decidió elaborar una curva regional de gastos tomando como base los registros de algunos ríos de la zona, y otros estudios efectuados por Prohidra s.c. en Guacara, Valencia y Tinaquillo. En base al análisis regional para 2,33 años de frecuencia en función del área de drenaje, de la relación del caudal máximo con caudal medio en función de la frecuencia, y del área de drenaje (70 km<sup>2</sup>) se determinaron los caudales de diseño. En la Tabla 2.2 se muestran los valores obtenidos. Las planicies inundables se calcularon para 50 años y 100 años de período de retorno. Dentro de las conclusiones adoptadas en este estudio, se tiene que para un período de retorno de 50 años no se prevé ningún tipo de desborde. Para la frecuencia de 100 años de período de retorno se esperan desbordamientos en las zonas verdes adyacentes al río.

Tabla 2.2 Río Cabaiales en Los Guayabitos. Gasto de Proyecto. (Prohidra, 1980)

Período de Retorno (años)	Gasto de Proyecto (m <sup>3</sup> /s)
2,33	21
10	55
25	74
550	87
100	101

GFM Ingeniería (2001) trabaja en el “Estudio Hidrológico del Río Cabaiales, Valencia, Estado Carabobo” donde se estimaron los caudales máximos de diseño en diferentes puntos de la cuenca de río Cabaiales con diferentes situaciones de tormentas, es decir, precipitando solamente en un sector dentro de la cuenca. En este sentido se tomaron 4 posibilidades, precipitaciones en el sector norte, sector centro, sector sur y en toda la cuenca. Las estimaciones de los caudales se realizaron mediante el método de área efectiva. Se elaboró un mapa cartográfico con las subcuencas, se utilizaron cuatro estaciones pluviométricas: Bárbula, Valencia Ferrocarril, Valencia Oficina y Valencia San Luis y se elaboraron curvas IDF desde 5 min hasta 60 min utilizando la metodología del profesor Humberto Cartaya para transformar la lluvia a partir de 1 hora de duración. En Figura 2.2 se muestran los caudales para diferente período de retorno y diferentes puntos del río Cabaiales con una precipitación uniforme en toda la cuenca.

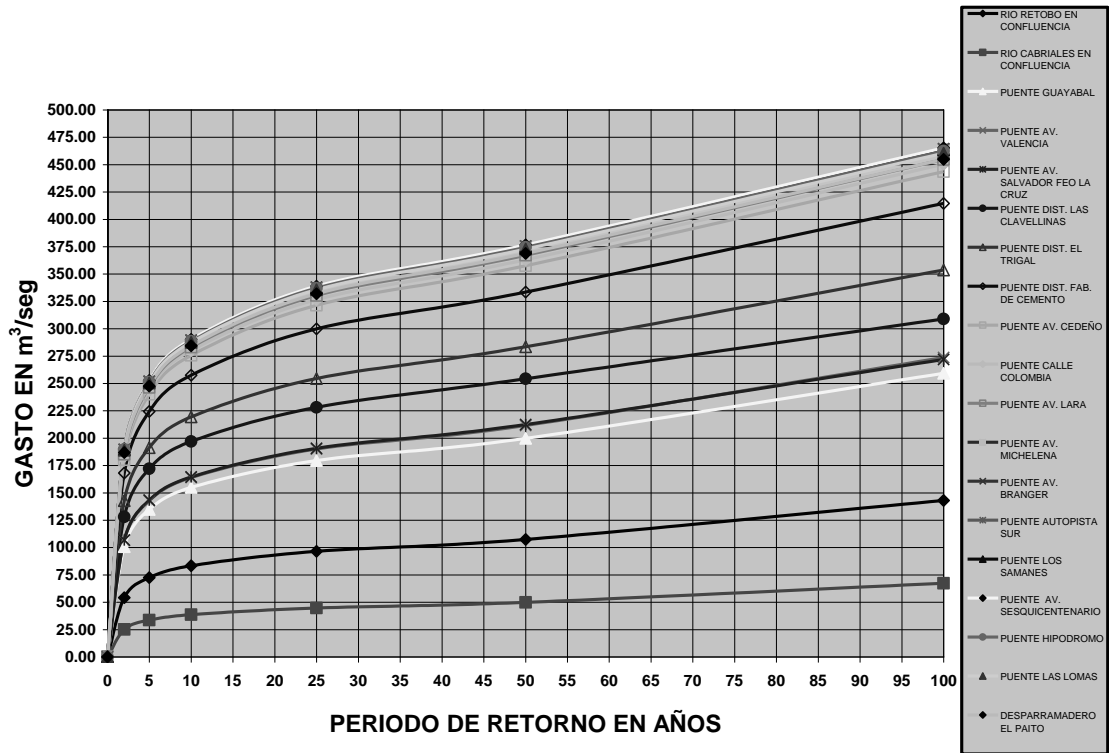


Figura 2.2. Gastos Probables en Diversos Puntos del Río Cabriales para una Lluvia Uniforme Sobre Toda la Cuenca. (Morassutti, 2001)

Se aprecia que el valor del caudal para un período de retorno de 100 años y en distintas partes de la cuenca está representado por la curva envolvente, por ejemplo, para toda la cuenca el valor es de  $451 \text{ m}^3/\text{s}$  aproximadamente.

Rodríguez Sandoval et al (1997) presenta un trabajo denominado —Propuesta Metodológica para la Generación de Mapas de Inundación y Clasificación de Zonas de Amenaza. Caso de Estudio en la Parte Baja del Río Las Ceibas (Neiva-Huila)”— donde realiza una propuesta metodológica para la generación de mapas de inundaciones y clasificación de zonas de amenaza, utilizando de forma acoplada las herramientas de modelación hidrológica HEC-GeoHMs y HEC HMS, y las herramientas de modelación hidráulica HEC-GeoRas y HEC RAS, del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos. Se presenta la aplicación de la metodología propuesta utilizando como caso de estudio la cuenca del río La Ceiba, con un área de aproximadamente  $297 \text{ Km}^2$ . Para la calibración del modelo hidrológico HEC HMS se utilizan tormentas registradas, y tormentas sintéticas para la generación

de eventos torrenciales, que son analizados hidráulicamente utilizando la aplicación de flujo no permanente del modelo HEC RAS. Los resultados obtenidos permiten concluir que el uso adecuado, sistemático y responsable de herramientas de procesamiento de información geográfica, combinadas con la aplicación de modelos hidrológicos e hidráulicos, correctamente calibrados y validados, brinda a los tomadores de decisiones información valiosa y oportuna para la implementación de medidas que tiendan a reducir el impacto de eventos torrenciales y catastróficos sobre la población.

Diez Herrero (2002) en su trabajo —Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica al Análisis del Riesgo de Inundaciones Fluviales”, utiliza los sistemas de información geográfica para la estructuración y generación de mapas de riesgo para una zona determinada. Se plantea una metodología para el análisis de la peligrosidad (amenaza) de inundación así como también un esquema de los métodos hidrometeorológicos empleados en el análisis de la peligrosidad de inundaciones. Haciendo referencia al primero, se destacan métodos históricos, métodos hidrológicos y métodos geomorfológicos, donde los históricos pertenecen a los métodos cualitativos y los hidrológicos y geomorfológicos a los métodos cuantitativos. Cualquiera de los métodos establecidos pueden ser representadas por los SIG, es decir, pueden intervenir en las modelaciones hidrológicas e hidráulicas de dos formas: preparando datos de entrada o representando datos de salida de los modelos clásicos (físicos o matemáticos), o integrando dentro del SIG los propios modelos (matemáticos). Los SIG en la práctica se utilizan para la regionalización de datos de precipitación (MDT, isoyetas, polígonos de Thiessen), obtención de parámetros morfométricos de interés hidrológico desde el MDE tales como divisorias, pendientes, entre otras, discretización de parámetros hidrológicos, interpolación de alturas de lámina de agua en modelos hidráulicos entre otras.

El autor propone un esquema donde se presenta la utilización conjunta de modelos y SIG, bien de forma separada o integrada, tal como visualiza en la Figura 2.3.

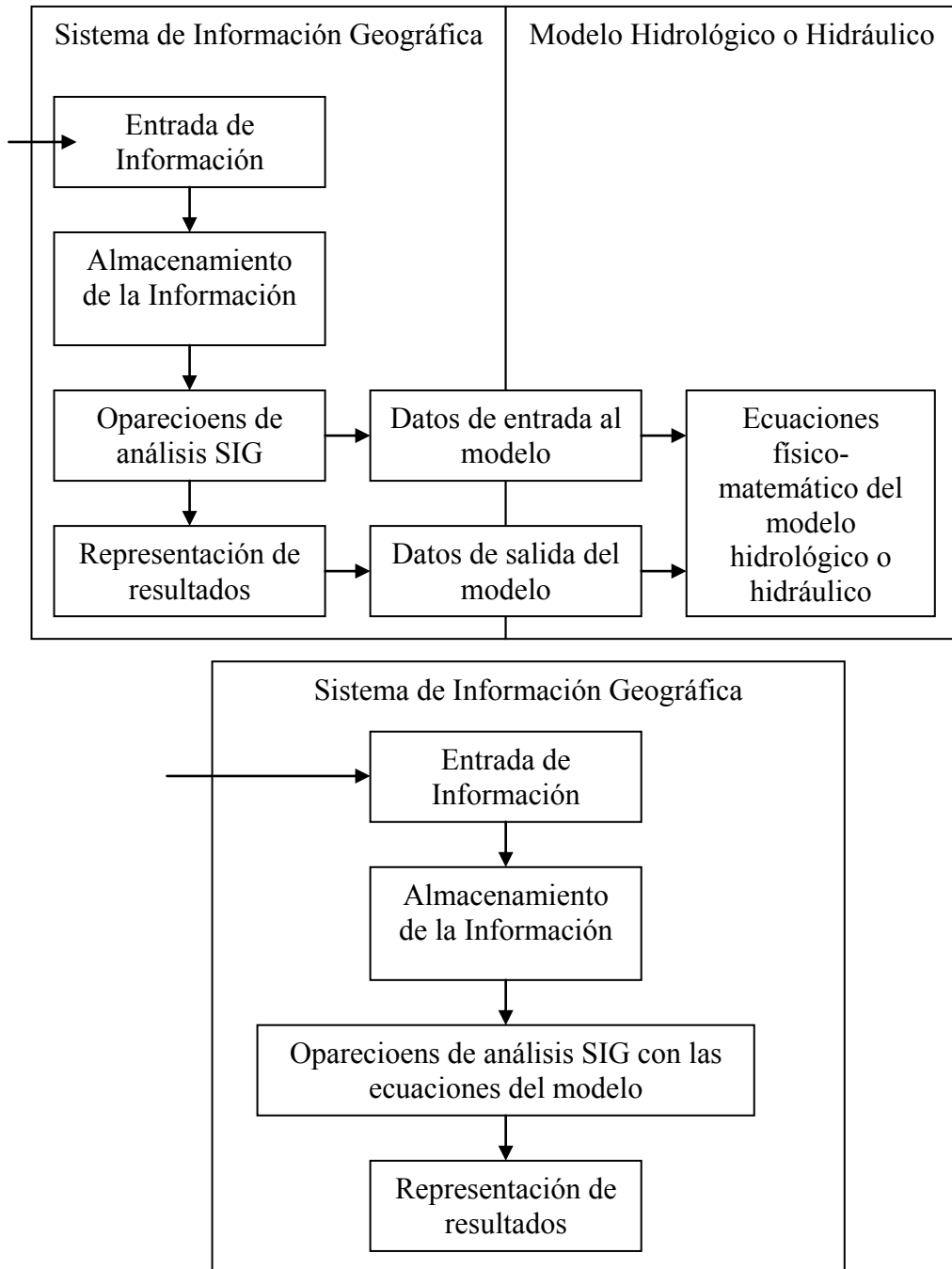


Figura 2.3. Posibilidades de utilización conjunta de modelos y SIG, bien de forma separada (superior) o integrada (inferior). Adaptado de Estrella (1994). (Diez Herrero, 2002)

Cordova (2002) en su trabajo “Estimación de caudales máximos en las cuencas tributarias a los sitios de cruce de la línea ferroviaria La Encrucijada (Cagua) – Puerto Cabello” realiza una estimación de caudales para cuencas de tamaños superiores a los 15 km<sup>2</sup> y períodos de retorno de 100 y 200 años. Estos valores se

usan para el diseño de las diferentes obras de drenaje que integran las obras del ferrocarril en el mencionado tramo. Para esta estimación se usa un modelo de eventos extremos, tipo lluvia-escorrentía, desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS), Bureau of Reclamation (1978), el cual forma parte del modelo HEC HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System), que fue el modelo hidrológico para la simulación integral de las cuencas. En el análisis identifican dos tipos de escenario (I y II) en función del número de curva adoptado, para tomar en cuenta los posibles cambios de tipo antrópico en las cuencas. En la Tabla 2.3 se presentan los valores de caudales máximos para el escenario I, es decir, con menor intervención antrópica.

Tabla 2.3. Caudales máximos (m<sup>3</sup>/s) en varias cuencas

Cuenca	Área km <sup>2</sup>	Período de Retorno (años)	
		100	200
Sanchón	82.7	607	747
Aguas Calientes	59.9	330	408
Agua Linda	30.7	194	225
Cabriales	26.2	278	333
Cúpira	18.2	202	247
San Diego	23.6	260	312
Guayos	93.5	541	649
Guacara	96.0	449	535
Erigue	31.5	282	339
Cura	24.1	225	275
Mariara	15.7	244	289
Cuanarito	28.8	327	362
Tapatapa	65.6	607	721
Blanco	75.9	686	801
Guey	24.8	314	366
Caño Colorado	43.9	385	447
Turmero	202.0	795	975
Aragua	304.3	748	931

Courtell et al (2010) en su trabajo de investigación —Mapa de Amenazas por Inundaciones y Aludes Torrenciales: Aplicación en el estado Vargas y en el Valle de Caracas” realiza una explicación detallada sobre la metodología desarrollada y aplicada por el Instituto de Mecánica de Fluidos de la Universidad Central de Venezuela al estudio de la amenaza en las cuencas del litoral central y valle de

Caracas, la cual puede ser utilizada tanto para el caso de un flujo convencional como para el caso de aludes torrenciales, donde la concentración de sedimento (relación de volumen del sedimento con respecto a volumen de agua) es mayor al 20%. La metodología se origina en normas suizas y austriacas y se adapta para calcular la amenaza a partir de tres eventos hipotéticos asociados a precipitaciones de 10, 100 y 500 años de período de retorno respectivamente para luego combinarlas y llegar a la amenaza combinada. Se utiliza el modelo bidimensional FLO 2D para estimar numéricamente las velocidades y profundidades máximas en cada una de las celdas creadas para la simulación. La amenaza resulta de establecer una ponderación de la intensidad de cada evento simulado por su probabilidad de ocurrencia. El valor de la intensidad, el cual resulta de multiplicar a profundidad máxima por la velocidad máxima en cada celda, tiene tres clasificaciones: alta, media y baja según se esté simulando flujo convencional como flujo torrencial, tal como se aprecia en la Figura 2.4.

#### FLUJO DE AGUA

Intensidad alta	$h > 1,5 \text{ m}$	o	$v h > 1,5 \text{ m}^2/\text{s}$
Intensidad media	$0,5 \text{ m} < h \leq 1,5 \text{ m}$	o	$0,5 \text{ m}^2/\text{s} < v h \leq 1,5 \text{ m}^2/\text{s}$
Intensidad baja	$0,1 \text{ m} < h \leq 0,5 \text{ m}$	y	$0,1 \text{ m}^2/\text{s} < v h \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$

#### ALUD TORRENCIAL

Intensidad alta	$h > 1,0 \text{ m}$	o	$v h > 1,0 \text{ m}^2/\text{s}$
Intensidad media	$0,2 < h \leq 1,0 \text{ m}$	y	$0,2 \text{ m}^2/\text{s} < v h \leq 1,0 \text{ m}^2/\text{s}$
Intensidad baja	$0,2 < h \leq 1,0 \text{ m}$	y	$v h \leq 0,2 \text{ m}^2/\text{s}$

Figura 2.4. Valor de las intensidades en función del tipo de flujo

La determinación del nivel de amenaza se puede realizar por medio de la Figura 2.5 se puede apreciar que para el caso de una simulación de 10 años de período de retorno e intensidad media, la peligrosidad aumenta de medio a alta, debido a que

estamos en presencia de eventos más frecuentes. De este mismo modo y en función de la probabilidad de ocurrencia en cuestión, es posible que haya algún cambio en la peligrosidad determinada para cada caso simulado. En definitiva, la amenaza combinada resulta de la peligrosidad más preponderante de los tres casos.

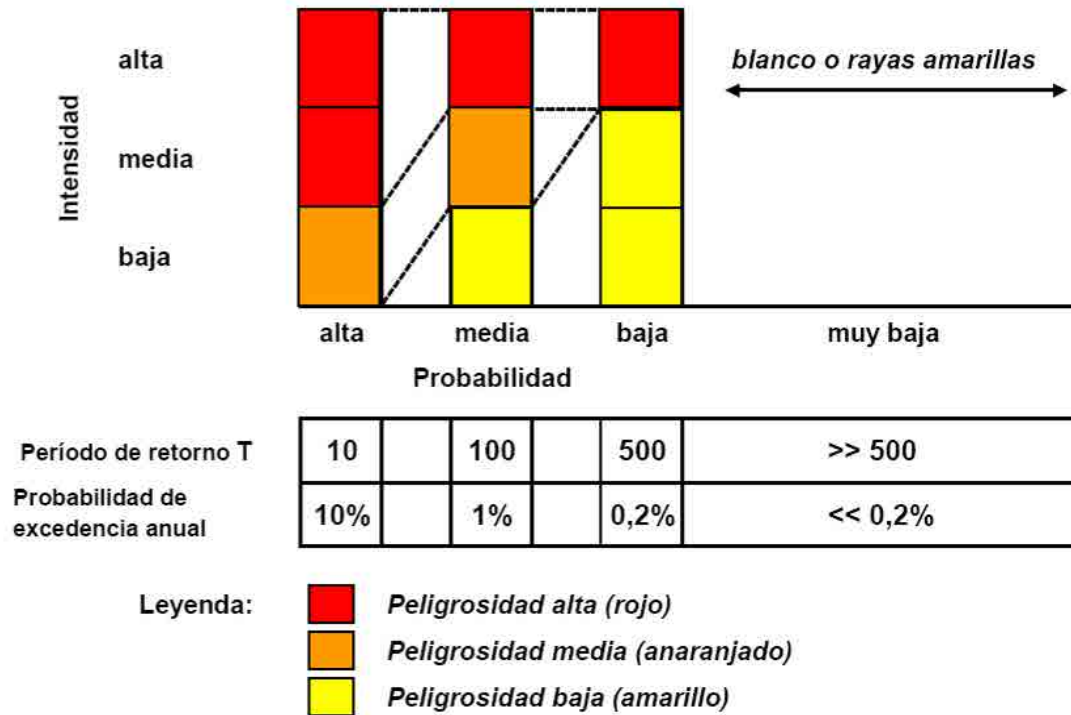


Figura 2.5. Determinación del nivel de amenaza a partir de los niveles de intensidad y de probabilidad del evento

### CAPITULO III

### METODOLOGIA

El trabajo se enmarca dentro del concepto de análisis cuantitativo para la obtención de los caudales de diseño, a fin de poder evaluar la amenaza hidrometeorológica (Diez A, 2002). En tal sentido, esta investigación utiliza por un lado, una propuesta de Rodríguez et al (2007) para la obtención de los datos hidráulicos como caudales de diseño, velocidades, profundidades y volúmenes de crecida; tal como se aprecia en la Figura 3.1, y por otro lado en la metodología del Instituto de Mecánica de Fluidos (IMF) de la Universidad Central de Venezuela para la creación de los mapa de amenaza por inundación en el sector urbano del río Cabriales. El esquema conceptual de la metodología se muestra en la Figura 3.2.

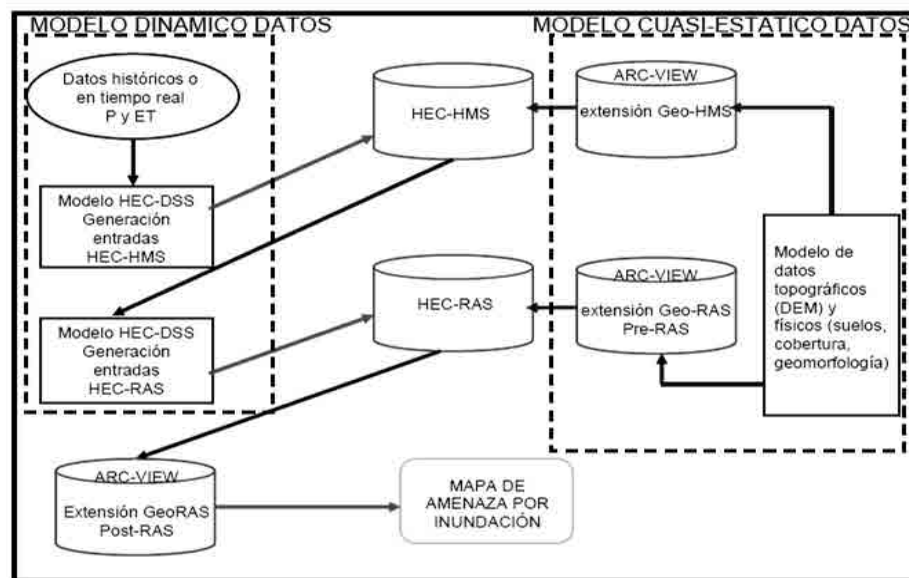


Figura 3.1. Esquema conceptual para la obtención de los datos para la creación de los mapas de inundación propuesto por Rodríguez et al 2007.

El desarrollo del trabajo se basa en un modelo cuasi-estático de datos, donde las variables involucradas pueden sufrir cambios dependiendo de la adecuación de las mismas a la situación real, pero que permanecen constantes a lo largo de la modelación. En este estudio, se incluye el programa FLO 2D para el modelaje hidráulico bidimensional, como un complemento de la aplicación del modelo HEC RAS.

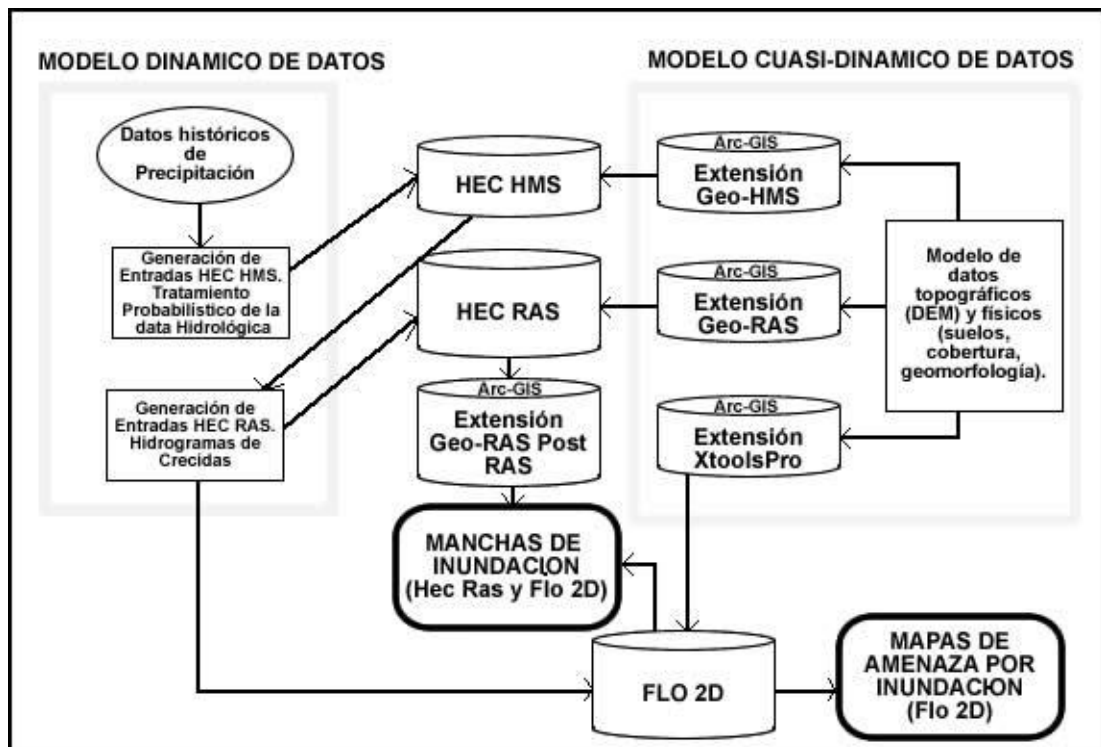


Figura 3.2. Esquema conceptual de la metodología usada en esta investigación.

La metodología para la determinación de los niveles de amenaza y sus respectivos mapas es la utilizada por el Instituto de Mecánica de Fluidos tanto para el caso de aludes torrenciales como de flujos convencionales, la cual se basa en normas suizas y austriacas, homologado por el IGVSB y aplicada en Vargas, en el proyecto PREVENE y PREDERES donde los niveles de amenaza se analizan tomando en cuenta varias probabilidades de ocurrencia: 10, 100 y 500 años de período de retorno, a diferencia de las utilizadas en esta investigación, las cuales son: 10 y 100 años.

En el estudio se usan varias herramientas de modelación, tanto para crear el modelo digital del terreno (DEM), como para la parte hidrológica e hidráulica. Utilizando el programa ArcGis se crean los mapas topológicos, que representan la entrada para el modelo hidrológico formulado en el paquete HEC HMS y para el hidráulico del modelo HEC RAS, así como también para el modelo FLO 2D.

Los mapas de profundidad y velocidad se visualizan tanto en el HEC RAS de manera unidimensional, como en el FLO 2D de manera bidimensional. Los resultados se presentan en el ArcGis de manera más precisa, involucrando las demás características de la cuenca tales como: cartografía, uso de la tierra, entre otras.

A continuación se describen brevemente las herramientas utilizadas en la investigación y el procesamiento de los datos:

### 3.1. Información Topográfica

Para poder desarrollar el estudio se necesitó la información de la variación espacial del terreno, representada en curvas de nivel. Para esto, se utilizaron los mapas cartográficos en escala 1:5.000 y 1:25.000 del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar de tipo imagen georeferenciado. La oficina GFM Ingeniería facilitó planos de planta del río Cabriales en escala 1:500 que se incorporaron a los planos 1:5.000 para reforzar la información.

Las condiciones de borde de la cuenca y las características geomorfológicas fueron tomadas de Valencia et al, 2010. La zona de estudio de este trabajo se delimitó, tomando en cuenta la información histórica de inundaciones ocurridas en los últimos años, y que han ocasionado daños materiales y pérdidas humanas.

La información cartográfica recolectada fue sectorizada y agrupada en un mismo archivo CAD, obteniéndose el DEM (Digital Elevation Model) que representa una de las entradas para los programas de simulación hidráulica.

### 3.2. ArcGis

Es el nombre de un conjunto de programas producidos por la empresa ESRI: ArcReader, ArcView y ArcEditor. Cada uno de ellos con cualidades distintas según el requerimiento del operador. Es un software GIS para visualizar, crear, manipular y gestionar información geográfica, que corresponden a lugares, direcciones, posiciones de terrenos, áreas urbanas y rurales. Esta información se trabaja de manera sistémica, lo que representa una diferencia sustancial a lo relacionado al trabajo con planos y mapas, que permiten explorar, ver y analizar los datos según parámetros y relaciones que presentan adecuadamente la información, teniendo como resultado nuevas capas de información, mapas y nuevas bases de datos.

Con el programa se pueden construir mapas dinámicos que permiten visualizar patrones y singularidades en los datos. Permiten además levantar mapas, secciones transversales, exportar y ubicar en otros documentos o usos, y así editarlos rápidamente.

La extensión 3D Análisis proporciona las herramientas para la visualización tridimensional, el análisis y la generación de superficies tridimensionales.

La superficie tridimensional o modelo de elevación digital es necesario para evaluar el comportamiento de posibles flujos de desborde. Los datos de entrada se encuentran en formato Cad, dispuestos en curvas de nivel o puntos con coordenadas, que son importados al ArcGis para la generación del DEM, mediante las herramientas de interpolación del 3D Análisis. Los métodos de interpolación disponibles son, entre otros, Spline, Spline Tensionado, IDW (Inverse Distance Weighted), TIN (Triangulated Irregular Network) y Kriging, tanto el ordinario como el universal. En esta investigación se utilizó el método de TIN, Spline Tensionado para interpolar y obtener información de distintas variables tales como características geográficas y precipitaciones entre otras.

### 3.3. Información Pluviométrica

Para generar los hidrogramas de crecidas para la cuenca del río Cabriales, es necesario contar con precipitaciones observadas o tormentas de diseño. En este trabajo se producen los hietogramas de lluvia para diferentes períodos de retorno en función de los siguientes pasos: a) selección de las estaciones que influyen meteorológicamente en la cuenca en estudio según el método de Thiessen; b) análisis previo de los datos, el cual incluyen los criterios estadísticos: aleatoriedad, independencia, homogeneidad y estacionalidad (Campos, 2006), así como también la ubicación de datos dudosos mediante la aplicación del método del Water Resources Council; c) análisis de la variación espacial y temporal de la precipitación y; d) análisis de frecuencia de las lluvias máximas a través de la función de distribución para eventos extremos Gumbel o Tipo I.

### 3.4. HEC HMS

Es el programa de computación del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos. El Hydrologic Modeling System (HEC HMS) está diseñado para simular los procesos de lluvia-escorrentía de una cuenca cuyo sistema de drenaje sea dendrítico. Está diseñado para ser aplicado en un rango muy amplio de áreas geográficas para resolver una cantidad muy grande de problemas. Los hidrogramas producidos por el programa son usados directamente o conjuntamente con otros programas para estudios como disponibilidad de agua, drenaje urbano, impacto en urbanizaciones futuras, predicción de flujos, regulación de planicies y sistemas de operación. (U.S. Army Corps of Engineers, 2006).

En este caso, las lluvias de diseño se basan en las curvas de profundidad – duración – frecuencia, el cual es procesado por el programa de simulación mediante la metodología de los bloques alternos para producir los hietogramas de diseño en intervalos de tiempo deseados. En este trabajo, se procesan lluvias de 24 horas con un intervalo computacional de cálculo de 5 minutos considerando las

tormentas con un coeficiente de avance del 25%, 50% y 75%. Los hidrogramas de crecidas son estimados en función de la separación de la lluvia total en efectiva mediante el método del número de curva CN; donde los valores se obtienen del United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS), Conservation Engineering Division. (1986) y la transformación de la lluvia en escorrentía; mediante el método del hidrograma unitario de Clark en los casos con predominante presencia de coberturas naturales y del hidrograma unitario SCS para los casos con importante desarrollo urbano. Por último el tránsito de los mismos por el cauce se realiza mediante el método de la onda difusiva de Muskingum-Cunge.

### 3.5. HEC RAS

Es el programa de computación altamente distribuido y usado del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estado Unidos. El River Analysis System (HEC RAS) está diseñado para ejecutar cálculos hidráulicos en canales naturales o alterados con flujo unidimensional permanente o no permanente, transporte de sedimentos y análisis de la temperatura del agua (U.S. Army Corps of Engineers, 2008). Contiene cuatro componentes para el análisis: a) perfiles de superficie de agua para flujo permanente, b) simulación de flujo no permanente, c) flujo de transporte de sedimento de fondo móvil y d) análisis de la calidad del agua. Estos cuatro componentes usan datos de representación geométrica para calcular los perfiles de agua.

La extensión Hec-GeoRas del ArcGis permite la preparación de los datos geométricos para importarlos hacia HEC RAS y procesar el resultado de la simulación exportando los datos desde HEC RAS. Para poder importar el archivo, se debe contar con un modelo digital de elevaciones (MDE) o sus siglas en inglés (DEM), del río en formato TIN. Adicionalmente para exportar y desarrollar los mapas de las planicies inundables, es necesario tener las secciones transversales geo-referenciados.

La información topográfica procesada y analizada tanto en CAD como en ArcGis, los hidrograma estimados con el HEC HMS y las características hidráulicas de los tramos del cauce, son los datos de entrada para la simulación hidráulica. El análisis es realizado bajo el esquema de flujo no permanente unidimensional superficial sin entrada o salida de flujo lateral entre tramos y la salida es representada por los perfiles de agua en cada sección transversal del río.

Los productos relacionados con este paquete computacional para cada nivel de ocurrencia son: velocidades máximas en el cauce y las márgenes, profundidades máximas y machas de inundación.

### 3.6. FLO 2D

Es el programa de computación aplicado al modelaje distribuido dinámico de inundación que simula flujo en canales, flujo superficial sin confinamiento y flujo en calles. Simula un flujo sobre una topografía compleja y urbanizada mientras reporta el volumen de conservación, clave para mantener de manera precisa una distribución de la inundación. Es un modelo combinado hidrológico e hidráulico, por lo que no es necesario separar el proceso lluvia-escorrentía del tránsito por un cauce. Simula procesos de inundación sobre las márgenes de un río, flujo no confinado aluvial, flujo de calle en urbanismos con obstrucciones y pérdida por almacenamiento, flujo de barro y escombros, y proceso lluvia-escorrentía en una cuenca.

El FLO 2D transita la lluvia-escorrentía y los hidrogramas sobre superficies no confinadas o en canales usando una aproximación de la onda dinámica de la ecuación de momentum (O'Brien, J.S., 2007). Utiliza diferencias finitas centrales con ocho combinaciones potenciales de dirección del flujo para predecir el progreso de un hidrograma sobre el sistema conformado por grillas cuadradas.

El FLO 2D requiere dos tipos de datos para cualquier simulación, un modelo digital del terreno (MDT) y un hidrograma de entrada o un evento de lluvia

discretizada. La superficie se representa por un sistema de grillas cuadradas, donde cada una de ellas tiene un valor de elevación, generado por el programa pre—procesador GDS (Gris Developer System) y un valor de la rugosidad. Dentro de la topografía, el modelo necesita de archivos de datos donde se incluyan los procesos físicos tales como el flujo en el canal, flujo bajo puentes, flujo en alcantarillas, infiltración entre otros (Noya, 2002). El hidrograma de entrada puede ser diseñado para aplicarse a un canal o a un nodo o nodos dentro de la planicie.

El progreso de la mancha de inundación sobre la superficie puede ser visualizada mientras es ejecutado el modelo y se pueden utilizar programas periféricos para interpretar los resultados y graficarlos.

El modelo toma en cuenta las diversas características de la zona en estudio tales como, canales naturales o artificiales, obras hidráulicas como puentes, alcantarillas, pontones, así como edificaciones tradicionales como viviendas, entre otros. Entre las limitaciones se tiene que en cada grilla o celda, el modelo durante la simulación considera un único valor para la elevación y para la rugosidad de Manning. Estos pueden ser cambiados de manera manual para una mejor calibración del mismo.

Las relaciones generales del movimiento de los fluidos se presentan en la ecuación 1 o continuidad y en la ecuación 2 o momentum:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h V_x}{\partial x} = i \quad (1)$$

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t} \quad (2)$$

Dónde:

h: profundidad del flujo

$V_x$ : componente de la velocidad media para la profundidad  $h$

$g$ : aceleración de la gravedad

$S_{fx}$ : pendiente de fricción

$S_{ox}$ : Pendiente de fondo

$i$ : intensidad del exceso de precipitación

El modelo trabaja con la forma diferencial de las ecuaciones de continuidad y de momentum, donde son aplicadas con el esquema numérico de diferencias finitas centrales. El algoritmo resuelve la ecuación de momentum para la velocidad del flujo para cada celda. La solución de la forma diferencial de la ecuación de momentum se realiza a través de la discretización de la ecuación cuando es aplicada a cada celda. Hay ocho direcciones potenciales del flujo, las cuatro direcciones geográficas (Norte, Sur, Este y Oeste) y las cuatro direcciones diagonales (noreste, noroeste, sureste y suroeste). Cada cálculo de la velocidad es esencialmente realizado en una dimensión e independiente de las otras siete direcciones. La estabilidad de este esquema numérico explícito está basado en el control computacional de la variable: tiempo de cálculo.

El resultado del FLO 2D incluye las profundidades y velocidades máximas del flujo, la variación temporal de las profundidades, la energía específica y las fuerzas dinámicas y estáticas. Todas estas características pueden ser representadas gráficamente mediante el programa de post-procesamiento MAPPER. Por lo tanto, en esta investigación se determinará automáticamente la mancha de amenaza por inundación, conformando contornos de diferentes colores que pueden ser vistos como archivos de tipo shape file.

De la misma manera que en la simulación hidráulica unidimensional, en este caso, también se utiliza la información topográfica procesada y analizada tanto en CAD como en ArcGis, los hidrografa estimados con el HEC HMS, las características hidráulicas de los tramos del cauce, y adicionalmente se configura la superficie para resolver las ecuaciones de flujo en dos dimensiones.

### 3.7. Mapas de Amenaza

La metodología adoptada por el IMF para la elaboración de los mapas de amenaza a través del modelo FLO 2D se basa en incluir simulaciones para 10 años, 100 años y 500 años, tal como fue utilizada para el caso del proyecto en la ciudad de Caracas y en el estado Vargas (Courtel et al, 2010). El estudio se desarrolla en la ciudad de Valencia, estado Carabobo, con datos pluviométricos que permiten confeccionar tormentas de diseño de 10 años y 100 años pero que impiden; por sus características probabilísticas, la simulación de una tormenta de diseño de 500 años, razón por la cual en esta investigación se usa solamente 10 años y 100 años. A partir de la información hidráulica y topográfica, la secuencia en elaboración de los mapas de amenaza es la siguiente:

- Elaboración de los mapas de profundidad y velocidad del flujo para 10 años y 100 años.
- Elaboración de los mapas de intensidad de los eventos simulados.
- Elaboración de un mapa de amenaza combinado.

La elaboración de los mapas de profundidades y velocidades máximas son proporcionados como salida del programa FLO 2D para cada evento simulado y se representan en el plano topográfico actual en función de la configuración de las celdas del modelo.

Los mapas de intensidades se elaboran también para cada simulación del evento hidrológico, donde en cada uno de ellos, un nivel de intensidad se estima para cada celda del área reflejando el efecto potencial de dicho evento sobre personas y edificaciones. Los niveles de intensidades se determinan a partir de los valores de las profundidades y las velocidades máximas reportadas por la simulación, bien sea para un flujo de agua o de un alud torrencial. En este caso, el estudio se realiza para un flujo de agua, los niveles de intensidad se presentan en la Tabla 3.1, donde  $h$  es profundidad máxima y  $v \cdot h$  es velocidad máxima:

Cada nivel de intensidad representa un nivel potencial de daños a bienes y personas, el cual se definen como una posibilidad de daños, tal como se presenta en la Tabla 3.2

Tabla 3.1. Nivel de intensidades de los eventos hidrológicos para evaluar la amenaza

Tipo de Intensidad	Altura del Flujo (m)	Parámetro $v \cdot h$ ( $m^2/s$ )
Intensidad alta	$h > 1,50$	$v \cdot h > 1,50$
Intensidad media	$0,50 < h < 1,50$	$0,50 < v \cdot h < 1,50$
Intensidad baja	$0,10 < h < 0,50$	$0,10 < v \cdot h < 0,50$

Tabla 3.2. Definición de los niveles de intensidades de un evento.

(1) Destrucción repentina. (2) Salvo excepciones.

Intensidad	Daños a Personas		Daños a Edificaciones	
	Fuera de la Edificación	Dentro de la Edificación	Leves	Severos
Alta	Si	Si	Si	Si <sub>(1)</sub>
Media	Si	No <sub>(2)</sub>	Si	No <sub>(2)</sub>
Baja	No <sub>(2)</sub>	No	Si	No

Los mapas de intensidad resultantes pueden ser utilizados para planificar las acciones de protección y auxilio a tomar en caso que ocurriera un evento similar al que se simuló y permiten también delimitar las áreas involucradas en el futuro Sistema de Alerta Temprana para una precipitación determinada. (Courtel et al, 2010)

El mapa de amenaza de un área estudiada intenta sintetizar los peligros de daños evaluados separadamente por los eventos asociados tales como 10 años, 100 años y 500 años para convertirlos en cada lugar en un solo indicador, la amenaza combinada. Esto es posible, ponderando la intensidad de cada evento por su

probabilidad, otorgando más peso al evento de mayor probabilidad (10 años) y menor peso al menos probable (500 años), obteniendo tres niveles de amenaza tal como se indica en la Figura 3.3.

Se pueden definir en consecuencia, tres clases de amenaza que representan los distintos niveles de daños a personas y estructuras (Noya, 2002):

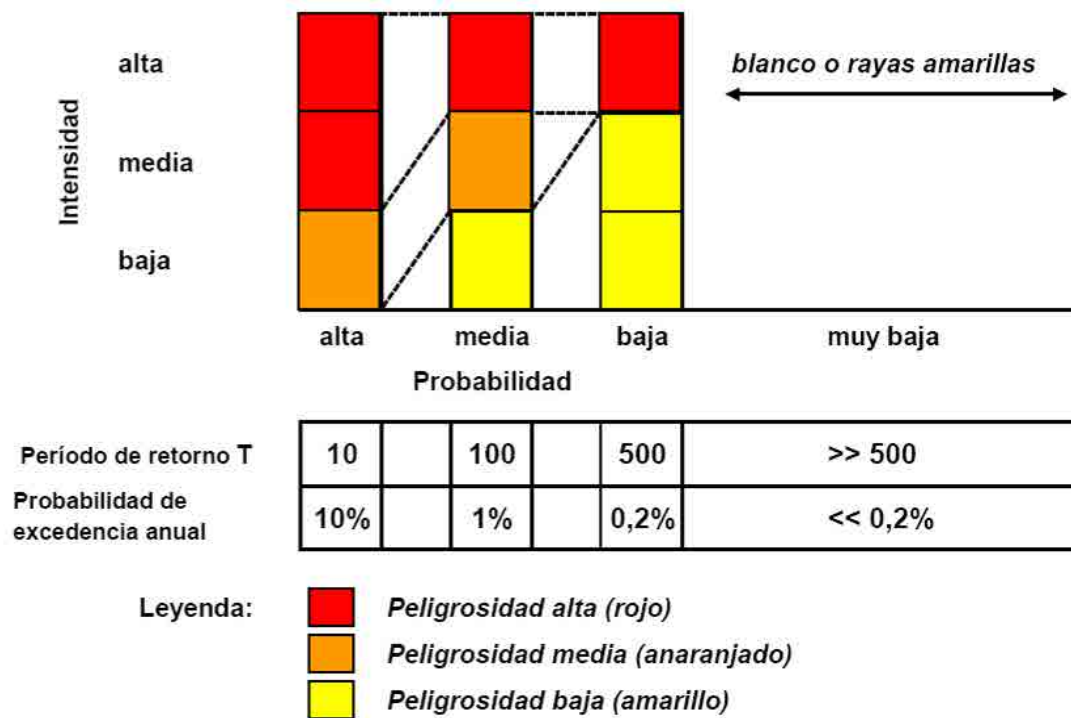


Figura 3.3. Determinación del nivel de amenaza a partir de los niveles de intensidad y de probabilidad del evento

Amenaza Alta: es identificado en el mapa de amenazas como el área de color rojo y puede ser afectado por eventos de alta y media intensidad donde las personas están en peligro tanto dentro como fuera de las edificaciones y existe peligro de destrucción de las mismas o por eventos de intensidad débil pero con alta probabilidad de ocurrencia, donde las personas están amenazadas en el exterior de las edificaciones.

Amenaza Media: es identificado en el mapa de amenazas como el área de color naranja donde puede ser afectado por eventos de mediana y alta intensidad con probabilidad de ocurrencia media. Las personas están en peligro afuera de las edificaciones, adentro de las mismas en menor magnitud. Las estructuras según la calidad de la construcción pueden sufrir daños pero no destrucción repentina. Los daños en esta zona se pueden disminuir con medidas de protección adecuadas.

Amenaza Baja: es identificado en el mapa de amenazas como el área de color amarillo. Esta área se ve afectada por eventos con probabilidad de ocurrencia baja e intensidad media. El peligro para las personas es débil o inexistente, las estructuras pueden sufrir daños leves en el exterior y fuertes daños en el interior de las mismas.

El tratamiento probabilístico de los datos de precipitación y la configuración urbana del trazado del río Cabrales, conlleva a excluir tormentas poco probables como la de 500 años de período de retorno. En este sentido el análisis de la amenaza se realiza con tormentas de 10 y 100 años.

Por lo tanto, se elaboran dos mapas de intensidad y partir de estos se genera el mapa de amenaza combinado. La ponderación de la amenaza es definida como el valor de la mayor intensidad que resulte de la comparación de las probabilidades de ocurrencia para los diferentes períodos de retorno. En la Figura 3.4 se presenta los valores de intensidad y probabilidad adaptados para esta investigación y que estima de igual manera la amenaza combinada.

En definitiva, los resultados se presentan en mapas de profundidades máximas; para los períodos de retorno seleccionados, desarrollados con el HEC RAS y FLO 2D. También se presentan el mapa de velocidades máximas, intensidades máximas y el mapa de amenazas combinado, desarrollados con los programas de modelación hidráulica. El mapa de amenaza se presenta en planos con la misma escala espacial que la expuesta en la topografía, es decir: 1:5.000.

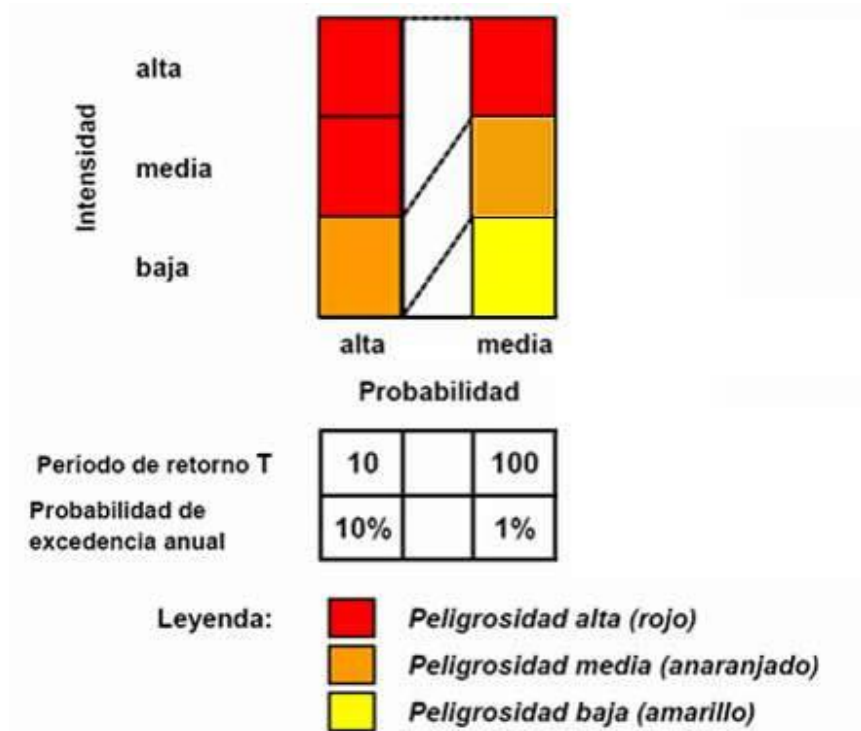


Figura 3.4. Determinación del nivel de amenaza a partir de los niveles de intensidad y de probabilidad del evento de 10 y 100 años solamente

### 3.8. Lugar de la Aplicación de los Modelos Hidráulicos

El modelo HEC RAS se basa en la solución de las ecuaciones de conservación de la masa y de la energía para flujos unidimensionales, y en función de ello se puede simular grandes longitudes de canales naturales o artificiales. En este trabajo se aplica este modelo para todo el cauce del río Cabriales y generar las manchas por inundación para diferentes períodos de retorno.

El modelo FLO 2D se basa en la solución por diferencias finitas en el cual, el tiempo computacional depende del área de estudio y de la configuración de las grillas. Se recomienda una grilla mínima de 3 m x 3 m, pero últimamente ha dado buenos resultados para el modelaje para manchas de inundación con grillas entre 15 m x 15 m y 25 m x 25 m. Teóricamente no hay límites para el número de grillas en el sistema de grillas del FLO 2D (O'Brien, J.S., 2007), debido a esto y la zona donde se llevará a cabo esta investigación, se ha propuesto una zona

delimitada de 1,50 km x 3,00 km, es -decir 4,50 km<sup>2</sup>. Esto creará un espacio computacional con grillas de 30 m x 30 m de aproximadamente 5.000 grillas en total. El lugar de estudio contempla desde la avenida Salvador Feo la Cruz, Municipio Naguanagua, pasando por el sector “Mañonguito”, Municipio Valencia hasta llegar a la antigua estación limnimétrica del norte del Parque Negra Hipólita, también del Municipio Valencia. El cauce del río Cabriales se encuentra dentro de estas zonas, delimitadas por las siguientes coordenadas: N1131550 y N1129000, E604500 y E611400. En la Figura 5.5 se presenta la delimitación de la zona de aplicación del modelo.



Figura 3.5. Zona de aplicación del modelo FLO 2D

## CAPITULO IV

### INFORMACION BASICA RECOPIADA

La cuenca del río Cabriales está ubicada en la vertiente sur de la serranía de la Costa. Su nacimiento tiene lugar en el Parque Nacional San Esteban a unos 1630 msnm y termina en el desparramadero El Paito, a unos 434 msnm aproximadamente. Limita al norte con la cuenca del río San Esteban y el río Goaigoaza, al sur con la cuenca del río Pao, al este con la cuenca del río Los Guayos y al oeste con la cuenca del río Tocuyito.

La información básica recopilada para el estudio de la amenaza hidrometeorológica en la cuenca del río Cabriales, incluye informes realizados por diferentes autores, información bibliográfica, trabajos científicos e información de campo. Para un mejor ordenamiento del mismo se puede dividir en varios renglones, tal como se indica a continuación.

#### 4.1. Imágenes Satelitales

Las imágenes satelitales fueron obtenidas por una parte del Laboratorio de Procesamiento Avanzado de Imágenes Satelitales de la Fundación Instituto de Ingeniería para Investigación y Desarrollo Tecnológico, adscrito al Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología e Industrias Intermedias y por otra del programa informático Google Earth disponible en la web, que permite visualizar imágenes de cualquier sector y a cualquier altura del planeta.

En la Tabla 4.1 se presentan las imágenes usadas para la ubicación y reconocimiento de la cuenca.

Tabla 4.1. Imágenes satelitales

Descripción	Año	Satélite
Lpais	2.009	-
Google Earth	2.009	-

#### 4.2. Mapas Topográficos

Los mapas topográficos reflejan la planimetría y altimetría de un lugar determinado, y en nuestro caso se usaron las cartas impresas del antiguo Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Cartografía Nacional en escala 1:25.000 y del antiguo Ministerio de Desarrollo Urbano, Dirección General Sectorial de Desarrollo Urbanístico, Dirección de Planeamiento Urbano en escala 1:5.000. Con estas cartas se pudieron conocer el área, perímetro y otros elementos morfométricos de la cuenca del río Cabriales. En la Tabla 4.2. y 4.3 se aprecian las cartas que fueron utilizadas en el estudio.

Tabla 4.2. Mapas cartográficos en escala 1:25.000

Descripción	Carta	Fecha Misión
Mapa Topográfico en escala 1:25.000	6546-I-NE	1.975
	6547-II-SE	1.977
	6647-III-SO	1.978
	6646-IV-NO	1.978
	6646-IV-SO	1.978
	6546-I-SE	1.975
	6546-II-NE	1.975
	6646-III-NO	1.978

Tabla 4.3. Mapas cartográficos en escala 1:5.000

Descripción	Carta	Fecha Misión
Mapa Topográfico en escala 1:5.000	M-14	1.983
	N-14	1.983
	Ñ-14	1.983
	O-14	1.983
	RR-14	1.983
	M-13	1.983
	N-13	1.983

Adicionalmente se contó con mapas topográficos digitalizados en formato CAD y en escala 1:5.000 que realizó el Biólogo Luis Cornejo, donde se abarca la zona de los mapas Ñ-13 y O-13, al oeste de la cuenca. Asimismo la sala SIG de Corpocentro facilitó curvas de nivel en formato GIS a escala 1:100.000.

#### 4.3. Vegetación y Uso del Suelo

La Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas de la Secretaría de Ordenación del Territorio, Ambiente y Recursos Naturales de la Gobernación de Carabobo entregó los mapas de hidrografía, curvas de nivel a escala 1:100.000, formación vegetal y uso actual de la tierra del Estado Carabobo en formato digital GIS y también de manera física. Los mapas están actualizados hasta el año 2006, por lo que pudiera haber algunas modificaciones en los mismos, debido a los cambios sufridos dentro de la cuenca debido a la construcción de los nuevos desarrollos urbanísticos y comerciales.

#### 4.4. Información Pluviométrica

Se recopiló toda la información disponible de los registros pluviométricos disponibles del estado Carabobo que pueden influir sobre el régimen climático de la cuenca. El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) adscrito al Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, facilitó datos de lluvias mensuales, lluvias diarias, e intensidades para 5 min, 10 min, 15 min, 30 min, 60 min, 180 min, 360 min, 720 min, y 1440 min en diferentes estaciones. En la Tabla 4.4 se muestran las características de las estaciones recopiladas.

Tabla 4.4. Características de las Estaciones Pluviométricas

Nombre Estación	Elevación (msnm)	Fecha Inicio	Latitud	Longitud	Serial	Tipo
Bárbula	565	Nov-68	10°17'42"	68°00'18"	1309	PR
San Diego	488	Dic-59	10°17'19"	67°56'29"	451	PR
Valencia - GFV	480	Ene-01	10°11'27"	67°59'46"	461	PR
La Entrada	630	Oct-69	10°18'27"	68°03'55"	409	PR
Guataparo -El Café	1195	Nov-68	10°16'06"	68°03'21"	1310	PR
Guataparo Cia Inglesa	545	Sep-40	10°13'27"	68°04'04"	1358	PR
El Cambur	95	Oct-64	10°23'29"	68°05'54"	406	PR
Chirgua-Cabeceras	770	Abr-65	10°17'40"	68°10'24"	1318	PR
Vigirima	557	Ago-51	10°20'03"	67°52'40"	423	PR
Borburata	250	Ene-37	10°24'00"	67°58'28"	411	PR
Agua Blanca	515	Dic-50	10°02'46"	67°50'16"	489	PR
Los Aguacates	467	Mar-62	10°00'51"	68°02'18"	1395	PR
Valencia San Luis	470	Jul-41	10°08'21"	68°03'04"	1387	PR

#### 4.5. Información Hidrométrica

Del mismo modo el INAMEH suministró datos hidrométricos del río Cabriales en parque Negra Hipólita y río Los Guayos en puente Los Guayos. En la Tabla 4.5 se presentan las características de estas estaciones.

Tabla 4.5. Características de las estaciones hidrométricas

Nombre Estación	Elevación (msnm)	Latitud	Longitud	Serial
Cabriales en Negra Hipólita	473	10°11'34"	67°59°48"	0655
Los Guayos en puente Los Guayos	435	10°11'43"	67°56°04"	0235

#### 4.6. Tormentas Históricas Extremas

El Ingeniero Porfirio Rivero facilito información de la tormenta acaecida el día 12 de mayo de 1986 en valencia que inundó gran parte de la ciudad en diferentes puntos a lo largo del cauce del río Cabriales, trayendo como consecuencia la pérdida de 3 vidas humanas y grandes pérdidas materiales. Esta precipitación tuvo una duración aproximada de 9 horas (540 minutos) pudiendo registrarse valores de lluvia en diferentes estaciones de medición que pertenecían a la antigua Dirección de Hidrología del extinto Ministerio de Recursos Naturales Renovables.

En la Figura 4.1 se aprecia la distribución espacial de la tormenta en conjunto con las estaciones correspondientes.

También se tiene registros de la última tormenta que causó inundaciones en el municipio Valencia y Naguanagua, el cual se pueden apreciar en la Tabla 4.6. Así mismo en la Tabla 4.7 se muestran los valores de la misma tormenta en la estación Aeropuerto Arturo Michelena de Valencia, el cual está ubicado a mil metros al este de la parte sur de la cuenca. En este caso no hubo pérdidas humanas pero si cuantiosos daños materiales. Los lugares de inundaciones de este caso son similares a los sucedidos en el episodio de 1986, pero la duración de dicha tormenta fue de solamente 3 horas (180 minutos). En el Anexo 1 se exhiben las bandas pluviográficas de la tormenta del 22-10-2008 de dos estaciones.

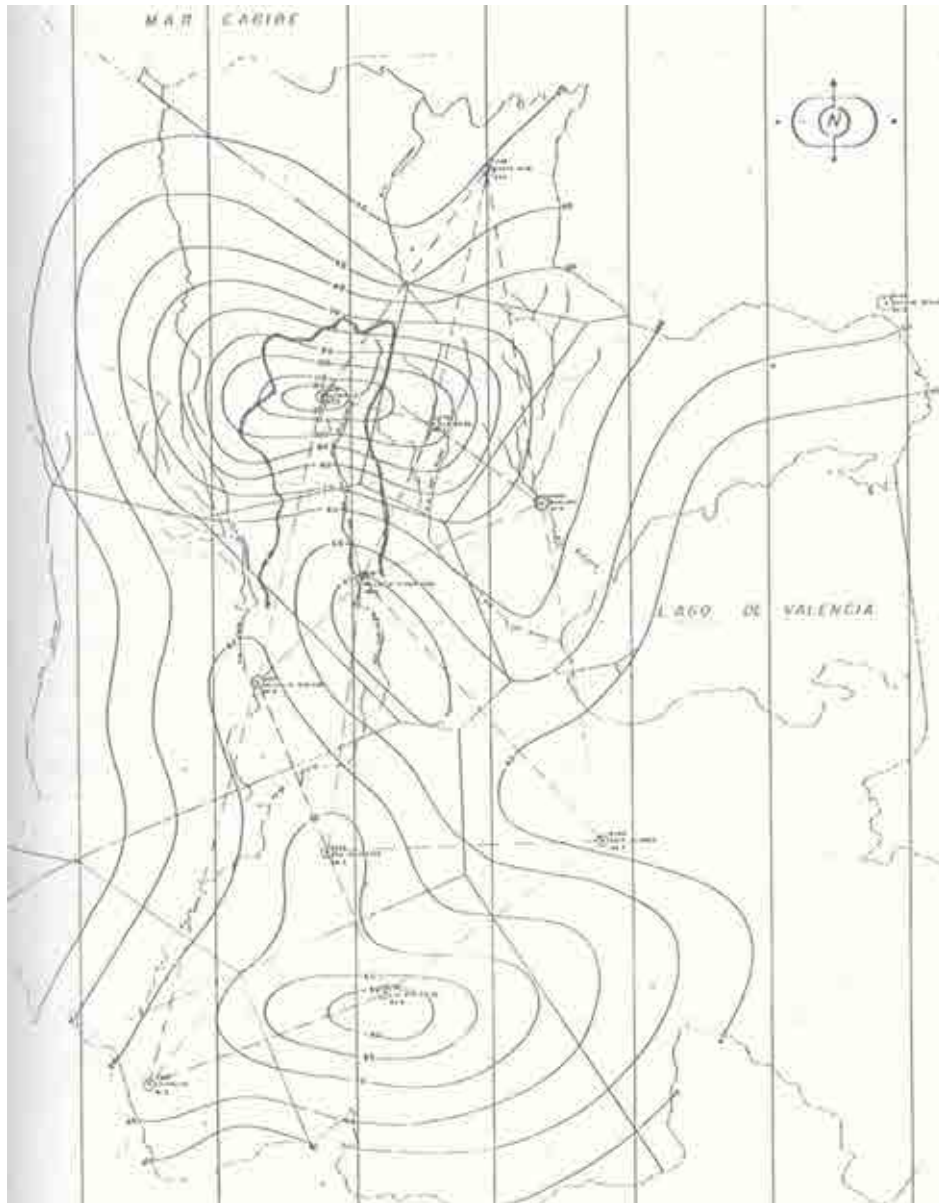


Figura 4.1. Isoyetas para la tormenta del 12 de mayo de 1986 en la región de Valencia con análisis de la precipitación entre la 1:00 am y las 10:00 pm.

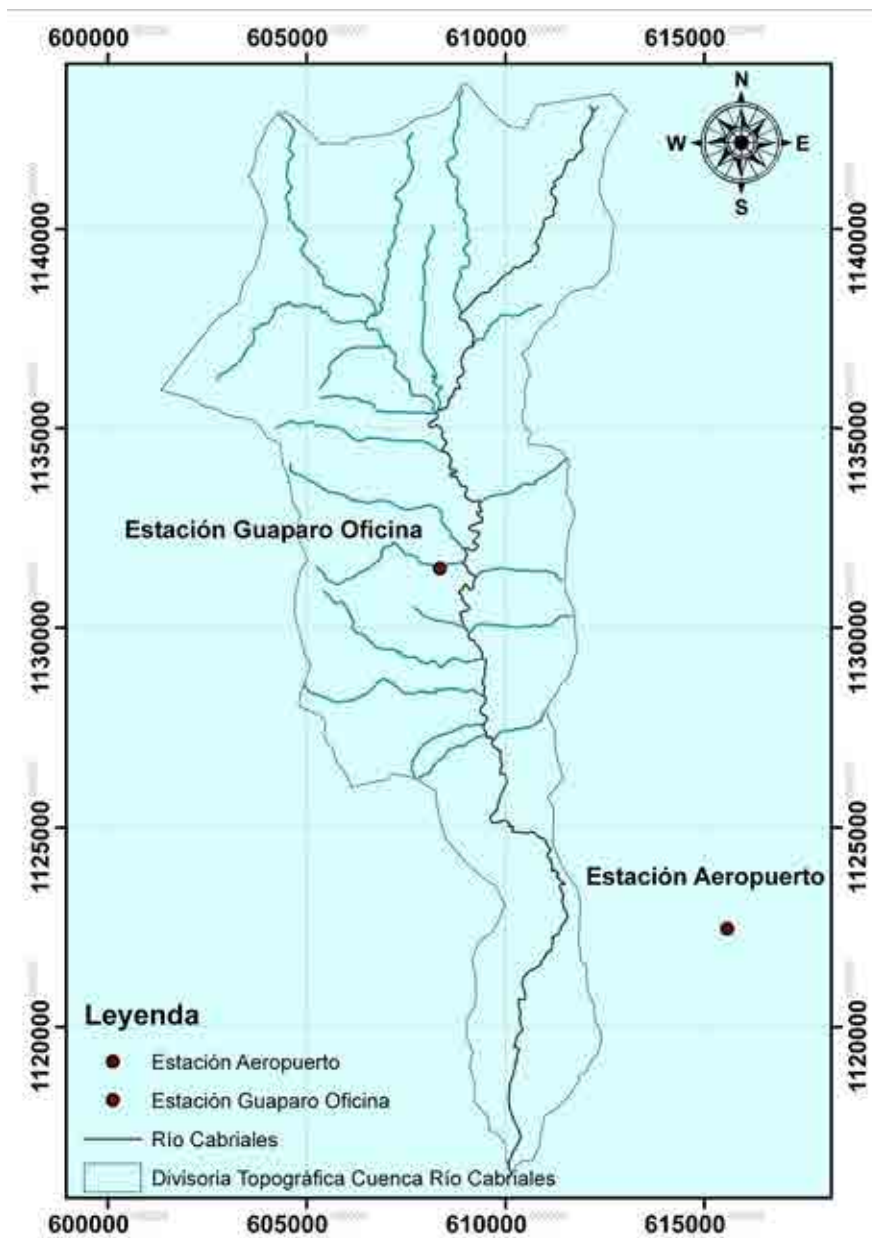


Figura 4.2 Ubicación de las estaciones Guaparo y Aeropuerto Arturo Michelena

Tabla 4.6 Valores de la precipitación del día 22-10-2008 en la estación Guaparo

Hora (pm)	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00
P(mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45,50	2,80	1,20

Tabla 4.7 Valores de la precipitación del día 22-10-2008 en la estación Aeropuerto Arturo Michelena

Hora (pm)	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00
P(mm)	2,00	0,00	0,50	28,00	25,20	7,70	0,40	0,40

#### 4.7. Estudios Anteriores

Muchos son los proyectos que se han realizado para el río Cabriales, desde anteproyectos, estudios hidrológicos, planes rectores de drenajes, hasta proyectos de ingeniería de detalles para rectificación y canalización. El período de estudio abarca desde 1970 hasta 2004, donde diferentes expertos e instituciones han dejado varias propuestas para inundaciones sobre este río el cual se señalan a continuación:

- Estudio hidrológico del Río Cabriales del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables en 1970.
- Estudio hidrológico del Río Cabriales (Actualización) del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables en 1974.
- Plan rector básico de drenaje urbano para la ciudad de Valencia se realizado por parte del Instituto Nacional de Obras Sanitarias en 1981.
- Proyecto de Drenajes Primarios de la Zona Sur – Oeste de Valencia, Sistema Cabriales – Caño Central por parte del Instituto Nacional de Obras Sanitarias en 1983.

- Plan de Acciones Inmediatas sobre el Río Cabriales por parte del Ministerio de Recursos Naturales Renovables a través de los ingenieros Luis Franceschi, José Bolinaga y José Ignacio Sanabria en 1986.
- Anteproyecto de Canalización y Mejoras del Río Cabriales, Valencia, Estado Carabobo por parte del Ministerio de Recursos Naturales Renovables a través del ingeniero Luis Franceschi en 1988.
- Asesoría Técnica a la Construcción de la Canalización del Río Cabriales por parte del Ministerio de Recursos Naturales Renovables a través del ingeniero Gian Franco Morassutti en 1989.
- Estudio de Alternativas Hidráulicas y Económicas para la Construcción de la Canalización del Río Cabriales en el Sector Centro - Sur de la Ciudad de Valencia, Estado Carabobo por parte del Fondo Social de Venezuela a través del ingeniero Gian Franco Morassutti en 1991.
- Proyecto de Canalización Definitiva del Río Cabriales en el Sector Centro - Sur de la Ciudad de Valencia, Estado Carabobo por parte de la Gobernación del Estado Carabobo través del ingeniero Gian Franco Morassutti en 1992.
- Estudio de Protección de Márgenes del Río Cabriales a consecuencia de la Construcción del Paseo Cabriales en el tramo desde el Puente Fábrica de Cemento hasta el Puente El Trigal, Valencia Estado Carabobo por parte de la Gobernación del Estado Carabobo través del ingeniero Gian Franco Morassutti en 1993.
- Proyecto de Estabilización Geomorfológica del Río Cabriales en el Sector Norte de la Ciudad de Valencia, Estado Carabobo por parte de la Gobernación del Estado Carabobo través del ingeniero Gian Franco Morassutti en 1993.

- Proyecto de Estabilización del Río Cabaiales en el Tramo desde el Puente El Trigal hasta el Puente Las Clavellinas de la Ciudad de Valencia, Estado Carabobo por parte de la Gobernación del Estado Carabobo través del ingeniero Gian Franco Morassutti en 1994.
- Proyecto de Canalización y Mejoras del Río Cabaiales, Tramo Puente Avenida Lara – Puente Avenida Cedeño, Valencia, Estado Carabobo por parte de la Gobernación del Estado Carabobo través del ingeniero Gian Franco Morassutti en 2003.
- —Proyecto de Canalización y Mejoras del Río Cabaiales, Tramo Puente Avenida San José de Tarbes – Puente Avenida Hispanidad, Valencia, Estado Carabobo por parte de la Gobernación del Estado Carabobo través del ingeniero Gian Franco Morassutti en 2004.

## CAPITULO V

### CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CABRIALES

#### 5.1. Ubicación Geográfica e Hidrografía

El río Cabriales se encuentra dentro de la cuenca de su mismo nombre, en el Estado Carabobo, su nacimiento se tiene en la vertiente sur de la serranía del litoral (Briceño et al, 1999), en el Parque Nacional San Esteban a una cota aproximada de 1.650 msnm entre los cerros Agua Linda y El Novillo, recorre de norte a sur pasando por los siguiente municipios: Naguanagua y Valencia donde desemboca en el desparramadero El Paito. La delimitación geográfica de la cuenca del río Cabriales es como sigue: por el norte la cordillera de la costa con coordenadas:  $10^{\circ} 20' 33.42''$ , por el sur con la cuenca del río Pao cuyas coordenadas son:  $10^{\circ} 5' 44.02''$ , por el este con la cuenca del río Los Guayos (municipio San Diego) cuyas coordenadas son:  $67^{\circ} 58; 21.70''$  y por el oeste con la cuenca del río Guataparo y Tocuyito con coordenadas:  $68^{\circ} 4' 31.58''$ . En la Figura 5.1 se presenta la ubicación nacional, en la Figura 5.2 la ubicación regional y en la Figura 5.3 la ubicación local de la cuenca.

La cuenca del río Cabriales se caracteriza por tener ríos de tipo efímero y perenne. Los de tipo efímero se presentan en la parte alta de las formaciones orográficas, específicamente al norte, este y oeste de la cuenca. Dentro de los del tipo perenne podemos mencionar al río Retobo, quebrada La Florida, quebrada Unión, que son los principales afluentes del Cabriales. El río Retobo tiene una longitud de 8,99 km con área de drenaje de  $30,24 \text{ km}^2$ . La pendiente promedio del cauce es de 9,51 %, nace en la cota 1360 msnm y se une al río Cabriales en la cota 504 msnm. La quebrada La Florida tiene una longitud de 6,35 km con área de drenaje de  $8,59 \text{ km}^2$ . La pendiente promedio del cauce es de 14.20 %, nace en la cota 1520 msnm

y se une al río Cabriales en la cota 535 msnm. La quebrada Unión tiene una longitud de 3.0 km con un área de drenaje de 3.00 km<sup>2</sup>. La pendiente promedio del cauce es de 9.20 %, nace en la cota 780 msnm y se incorpora al río Cabriales en la cota 504 msnm. En la Figura 5.4 se presenta el cauce principal de la cuenca del río Cabriales.



Figura 5.1. Localización nacional cuenca río Cabriales. Tomado de Valencia, et al (2010)

El río Cabriales fluye hacia el sur de la cuenca, apreciándose una cantidad importante de meandros y puentes, donde discurre por diversas zonas urbanas, sirviendo como uno de los drenajes primarios de la ciudad, hasta descargar en forma natural en el desparramadero El Paito al sur de la ciudad desde donde se desbordan hacia la cuenca del río Pao (Morassutti, 2005). El río Pao es una subcuenca del río Orinoco y alimenta los embalses Pao-Cachinche y Pao-Las Balsas.

El patrón de la red de drenaje de la cuenca, sigue un modelo de tipo dentrítico bien definido, hasta la progresiva 24+000 km, donde el continua como una sola

corriente sin afluentes. En la Figura 5.5 se muestra las subcuencas y en la Figura 5.6 se muestra la estructura de la red de drenajes.

La clasificación morfológica de los ríos se puede realizar desde varios puntos de vista (Maza et al, 1997), y en este caso se va a proceder en primer lugar por su condición de estabilidad y en segundo lugar por su geometría. Sin embargo conviene tener en cuenta que en la naturaleza se puede presentar cualquier condición intermedia entre las definidas en una clasificación (Maza et al, 1997), más aún cuando éste se realiza en lugares planos con baja pendiente, como es el caso de este río.



Figura 5.2. Localización satelital regional, estado Carabobo. Tomado de Valencia et al (2010)

Existen cuatro tipos de clasificación morfológica por condición de estabilidad: estática, dinámica, inestabilidad dinámica y morfológica. Cada uno de ellos

definido por la capacidad de arrastrar sedimentos, arrastrar o mover partículas de las orillas, modificar pendientes, fluir por un solo cauce o formar islas y presentar movimientos laterales generando meandros. El río Cabriales se puede incluir dentro de un cauce estático y de inestabilidad dinámica. Cauce estático porque en algunos lugares se han realizados recubrimientos marginales y traviesas para el control lateral el primero y para control de pendiente el segundo. Inestabilidad dinámica por que existe en la actualidad tramos sin ningún tipo de control artificial, por lo que el agua escurre por un solo cauce, pero presenta movimientos laterales de los meandros debido a la actividad de arrastre de sedimentos tanto lateral como de fondo. En la Figura 5.7 y 5.8 se muestran el río en la actualidad donde se evidencia las características comentadas.



Figura 5.3. Ubicación satelital local y cauce principal cuenca del río Cabriales

En la clasificación por geometría, los ríos pueden ser rectos, sinuosos, con meandros, trezados, con islas, en estuario, en pantano y en delta (Maza et al, 1997). El río Cabriales se puede incluir dentro de ríos sinuosos o con meandros, destacando que la diferencia entre estos dos tipos de corrientes radica solamente en valores, pero físicamente son cauces que presentan curvas alternadas unidas por tramos rectos y cortos, donde normalmente la pendiente es baja. Estas características se evidencian a partir de la progresiva 6+000 hasta el final del cauce en la progresiva 36+000.

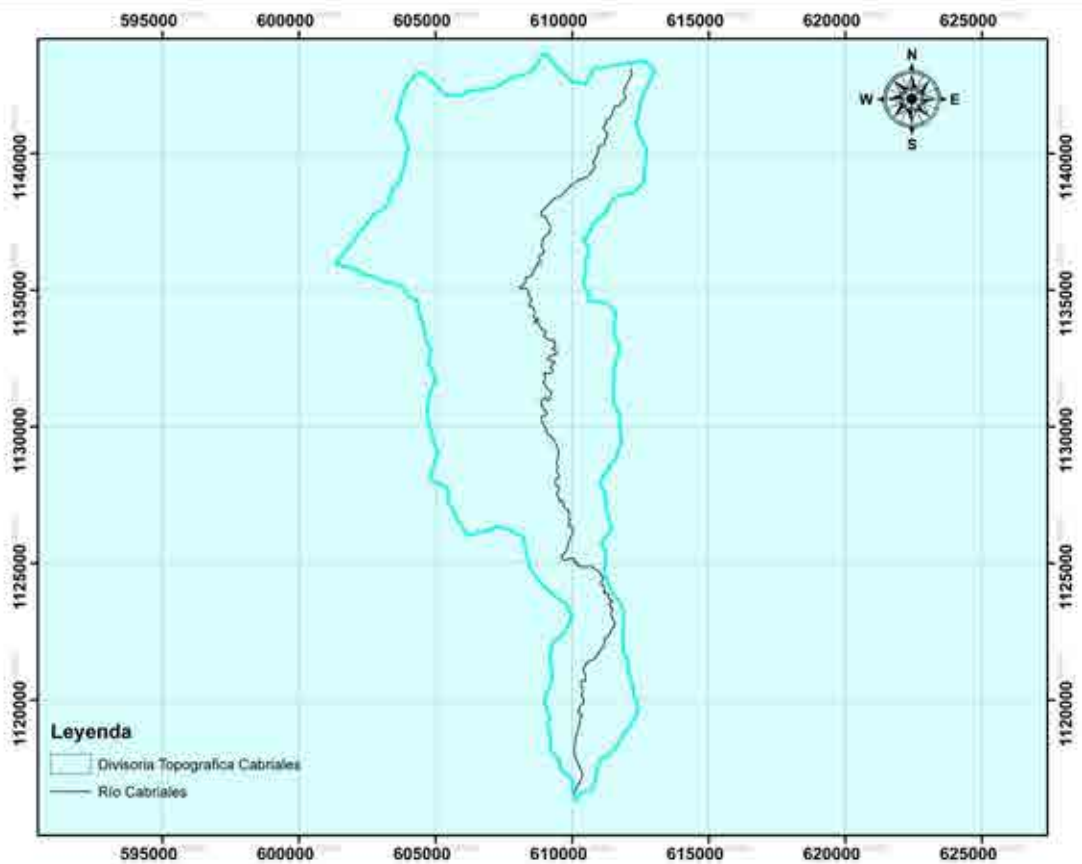


Figura 5.4. Cauce principal cuenca del río Cabriales

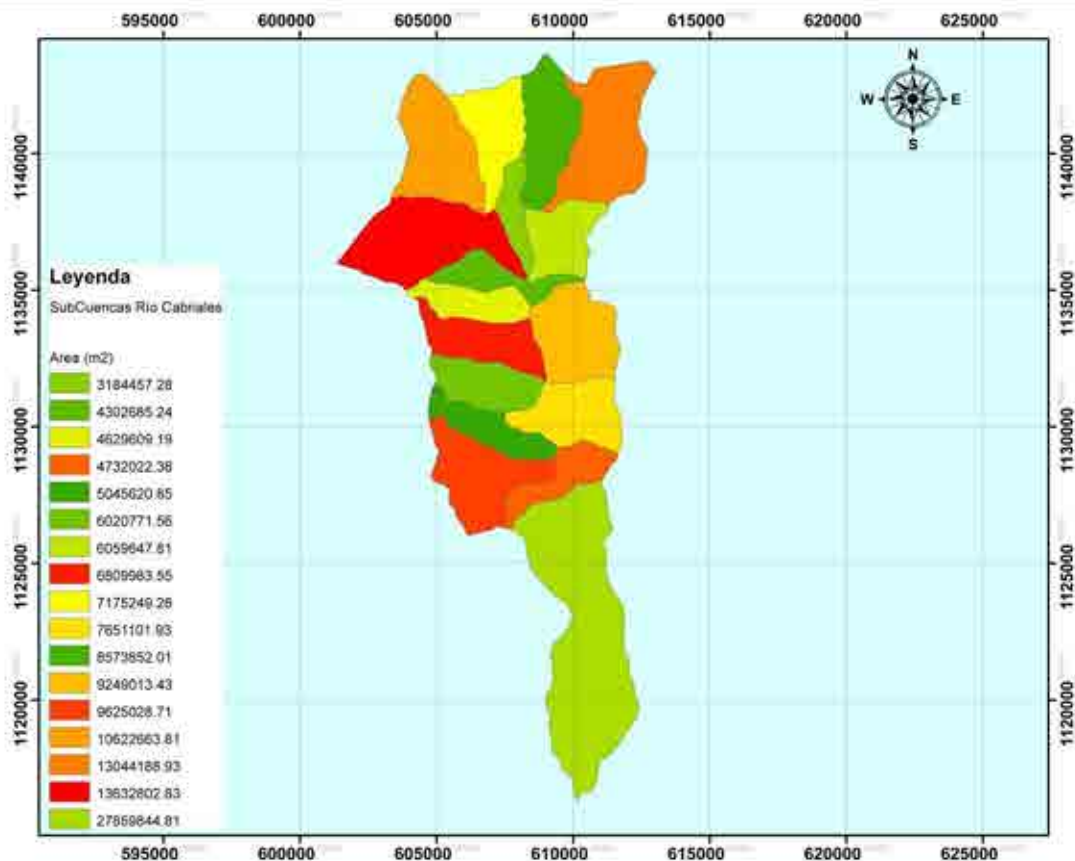


Figura 5.5. Sub-Cuecas río Cabriales. Tomado de Valencia et al (2010)

## 5.2. Clima y Cobertura Vegetal

Las condiciones climáticas son de clima estacional donde se caracteriza por tener bien definidos dos estaciones o períodos: seco, donde hay ausencia predominante de precipitaciones, esto entre los meses de Octubre y Marzo, y húmedo, donde ocurren un gran número de precipitaciones, esto entre los meses de Marzo a Octubre. La temperatura es uniforme durante casi todo el año, con una media de 24,5°C. Las precipitaciones anuales alcanzan los 1.500 mm en las áreas de montañas, en los sectores costeros de Morón-Puerto Cabello, presenta un promedio anual de 900 mm, hacia la depresión del Lago de Valencia oscila entre 900 y 1.300 mm y en la cuenca del río Cabriales entre 1050 mm y 1400 mm tal como se muestra en la Figura 5.9. La variación mensual de la precipitación se

observa en la Figura 5.10 donde se destacan los meses húmedos y secos. En la Figura 5.11 la variación anual de la temperatura.

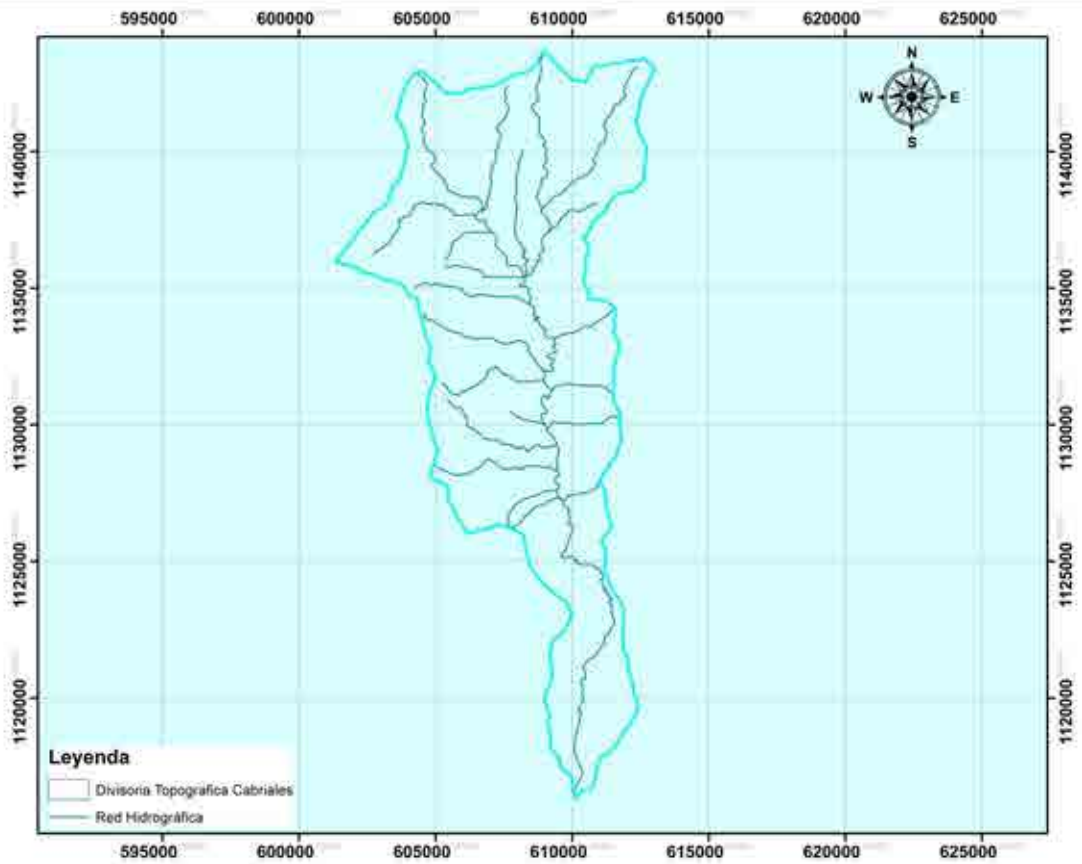


Figura 5.6. Red hidrográfica cuenca del río Cabriales



Figura 5.7. Río Cabriales en el sector Mañongo – Las Clavellinas, municipio Naguanagua con estabilidad. Foto Cortesía del Ing.. Morassutti.



Figura 5.8. Río Cabriales en Universidad de Carabobo con estabilidad morfológica

Desde el punto de vista pluviométrico, las tormentas se comportan con una variación temporal, donde el 57% de las tormentas son del tipo avanzado con coeficiente de 0.283 y desviación estándar de 0.0453. El 26 % de las tormentas son del tipo retardado, con coeficiente medio de 0.736 y desviación estándar de 0.086. El 17% restante de tormentas son de tipo simétrico, con coeficiente de retardo 0.50 (Guevara, 2003).

El clima es cuasi-uniforme en toda la cuenca, con temperaturas más bajas en las zonas más altas como La Entrada en Bárbula. Según la clasificación climática de Koepen, la cuenca es del tipo AW (Clima tropical de Sabana), mientras que según Holdridge el clima corresponde a un Bosque Seco Tropical (Walter et al, 1971). Estas diferencias se puede deber al hecho de que la cuenca se encuentra dentro de varios niveles hipsométricos.

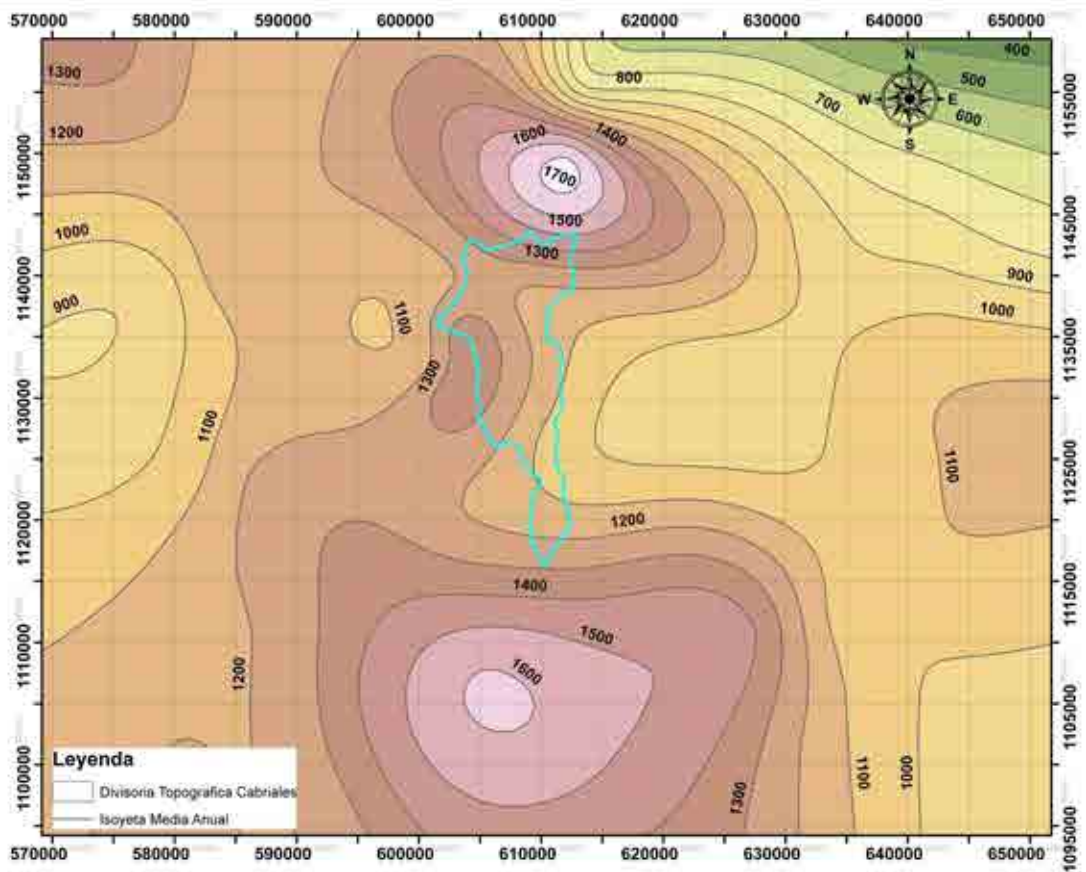


Figura 5.9. Precipitación promedio anual en la cuenca del río Cabrales

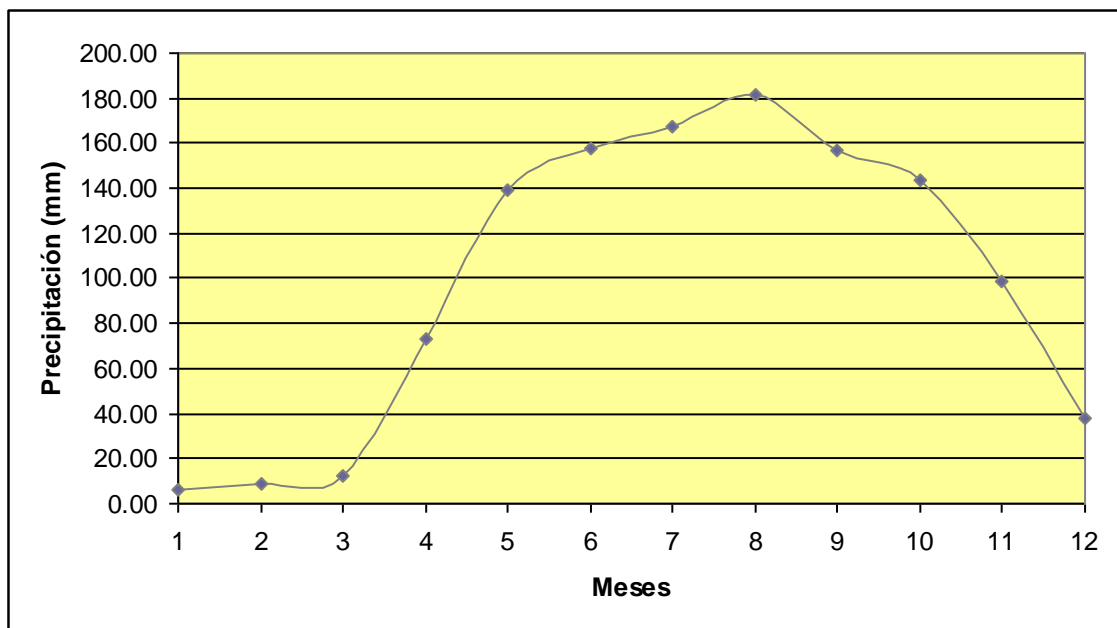


Figura 5.10. Régimen pluviométrico de la cuenca de la cuenca del río Cabrales

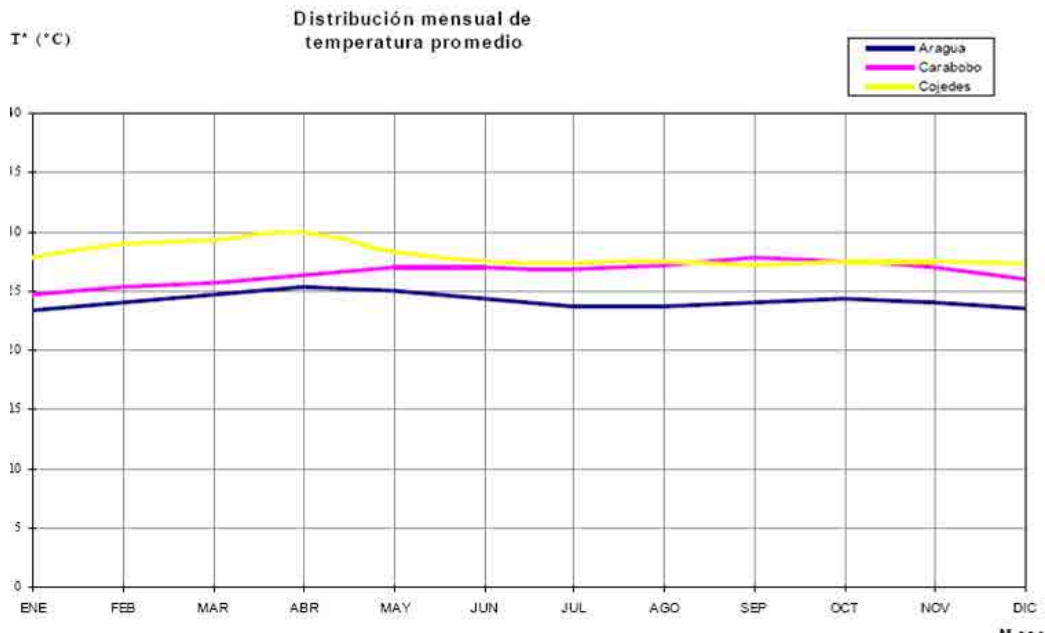


Figura 5.11. Variación del régimen mensual de la temperatura en la región central de Venezuela.  
Tomado de García et al, (2008)

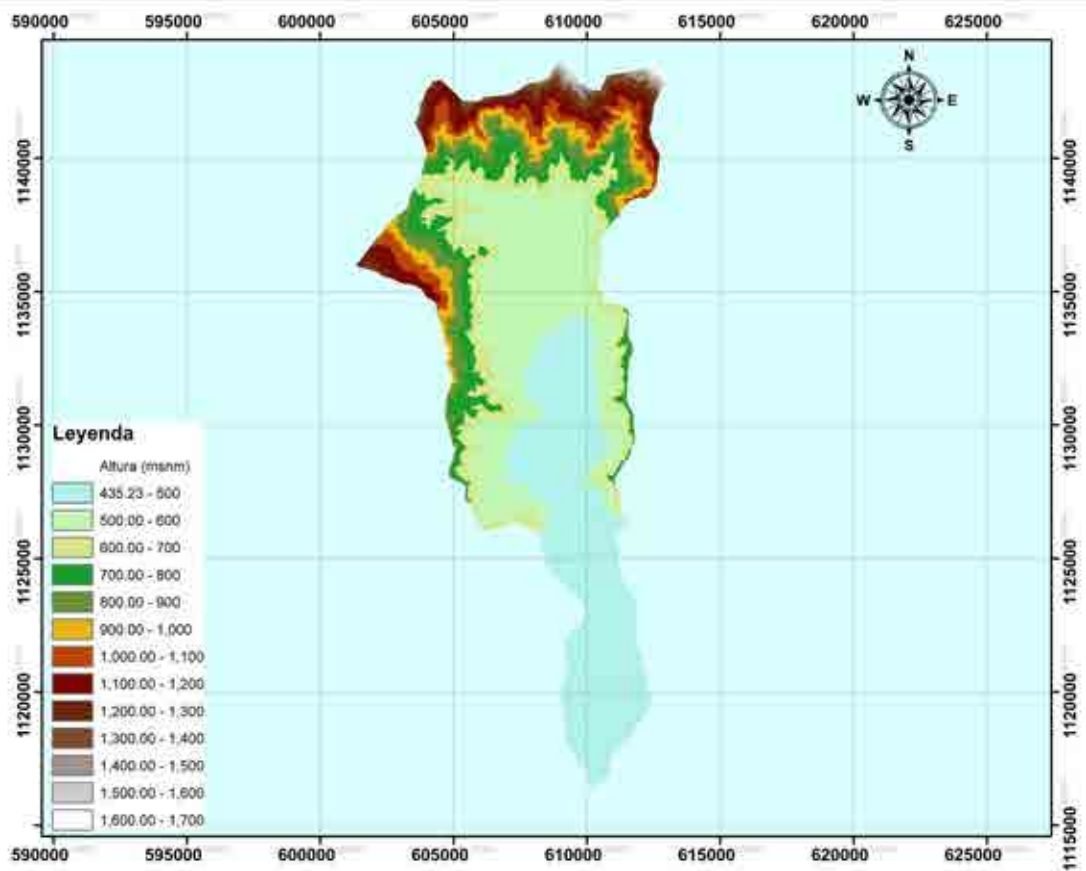


Figura 5.12. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

El relieve está compuesto por dos grandes zonas, una montañosa y otra plana. La parte montañosa representa un 38% del área total de la cuenca y se caracteriza por presentar entalles profundos y cuevas elevadas, donde domina una topografía accidentada con pendientes entre 20 % y 35 %, y que en muy pocos casos son superiores al 60%. En tanto, en la depresión se tiene un relieve plano que representa el 62% restante del área total de la cuenca, con pendientes inferiores al 1%, los cuales aumentan ligeramente hasta un 5% en la altiplanicie de Tocuyito, donde descarga naturalmente en el desparramadero El Paito. En la Figura 5.12 se observa la variación orográfica de la cuenca y en la Figura 5.13 la variación de las pendientes.

En la cuenca se destacan varios tipos de zonas de vegetación: la selva nublada, herbazales secundarios, bosques de vaguada y bosques estacionales (Cornejo, 2001). La selva nublada se encuentra mayormente en las cotas más altas que se ubican en el Norte de la cuenca, específicamente en el sector La Entrada, debido a la convergencia de corrientes húmedas de origen marino que condensan con las corrientes provenientes del Lago de Valencia y la vegetación presente es de tipo arbolado. Los herbazales secundarios se encuentran en las laderas de la zona montañosa, donde predominan hierbas o herbazal y arbustos o sabana arbolada representando un 27.90% del área de la cuenca. Dentro de esta misma clasificación y en la parte media de la cuenca se observan árboles de pequeño porte (Chaparros) denominado como sabanas con Chaparros el cual representa un 1.45% del área de la misma. Los bosques de vaguada están presentes en partes medias y bajas donde concurre el escurrimiento de las aguas formando esta vegetación que permanece durante todo el año, estos conforman un 2.71% del total. Los bosques estacionales están ubicados entre las selvas de vaguada y los herbazales secundarios y representan un 4.06% del área total de la cuenca. Los bosques de galería tienen una ocupación del 6.19 % y están ubicados distribuidos en diversos lugares en la cuenca. El resto del área que representa un 40.84%, está destinado a otro uso de la tierra tal como el urbano.

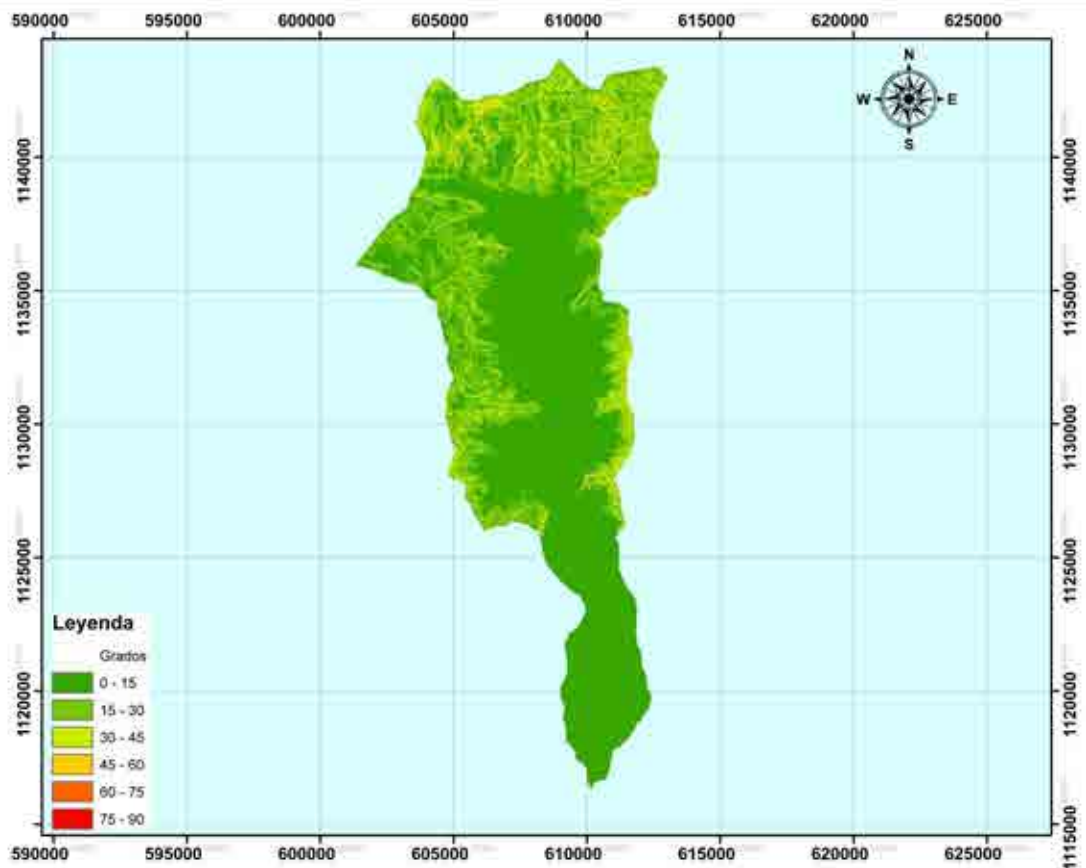


Figura 5.13. Variación de pendientes en la cuenca del río Cabriales

En la zona plana, la ocupación del ser humano es cerca del 80%, con zonas impermeables. En algunos casos y en las adyacencias del río Cabriales se aprecian bosques densos producto de la humedad del sitio. Cabe destacar que el río Cabriales atraviesa toda es parte desde el extremo norte hasta el extremo sur.

En la Figura 5.14 se presenta los herbazales arbolados, en la Figura 5.15 el bosque de vaguada y en la Figura 5.16 arbustos en el bosque estaciones.

El patrón climático bimodal presente en la cuenca del río Cabriales influye sobre el paisaje; en la época de sequía, el déficit hídrico merma el caudal de las quebradas; una gran parte de la vegetación herbácea se deshidrata irreversiblemente, quedando a merced de los incendios forestales que todos los años devoran la vegetación. En el período de lluvias, las quebradas recuperan su caudal, y las montañas se visten de verde.



Figura 5.14. Herbazal Arbolado. Tomado de Cornejo (2001)



Figura 5.15. Bosque de Vaguada. Tomado de Cornejo (2001)

### 5.3. Uso de la Tierra

#### Agrícola y Pecuario

En los últimos años y debido a la evolución y crecimiento urbano en la cuenca, las zonas agrícolas y pecuarias que antes existían, han venido desapareciendo encontrándose ahora nuevos urbanismo y desarrollos comerciales. Este cambio del uso de la tierra representa un 0,40% del total.

#### Minero

De manera similar al del caso anterior, la minería que existía en la cuenca ha migrado hacia otros sectores del estado Carabobo. Esta zona ahora forma parte de los nuevos desarrollos, y representa un aporte de 0,40 del área total de la cuenca.



Figura 5.16. Arbustos en el Bosque estacional. Tomado de Cornejo (2001)

#### Áreas Urbanas

Las áreas urbanas abarcan unos 60 km<sup>2</sup> (6.000 ha), representan un 40,84 % del área total de la cuenca. Todos estos sitios poblados se encuentran en las

adyacencias del cauce principal del río Cabriales. Las áreas urbanas se dividen en la siguiente proporción:

### Zonas Residenciales

Las zonas residenciales están conformadas por sistemas de viviendas unifamiliares, bifamiliares y multifamiliares. Estas representan 48 km<sup>2</sup> (4800 ha) del total de la cuenca, es decir un 32,50%.

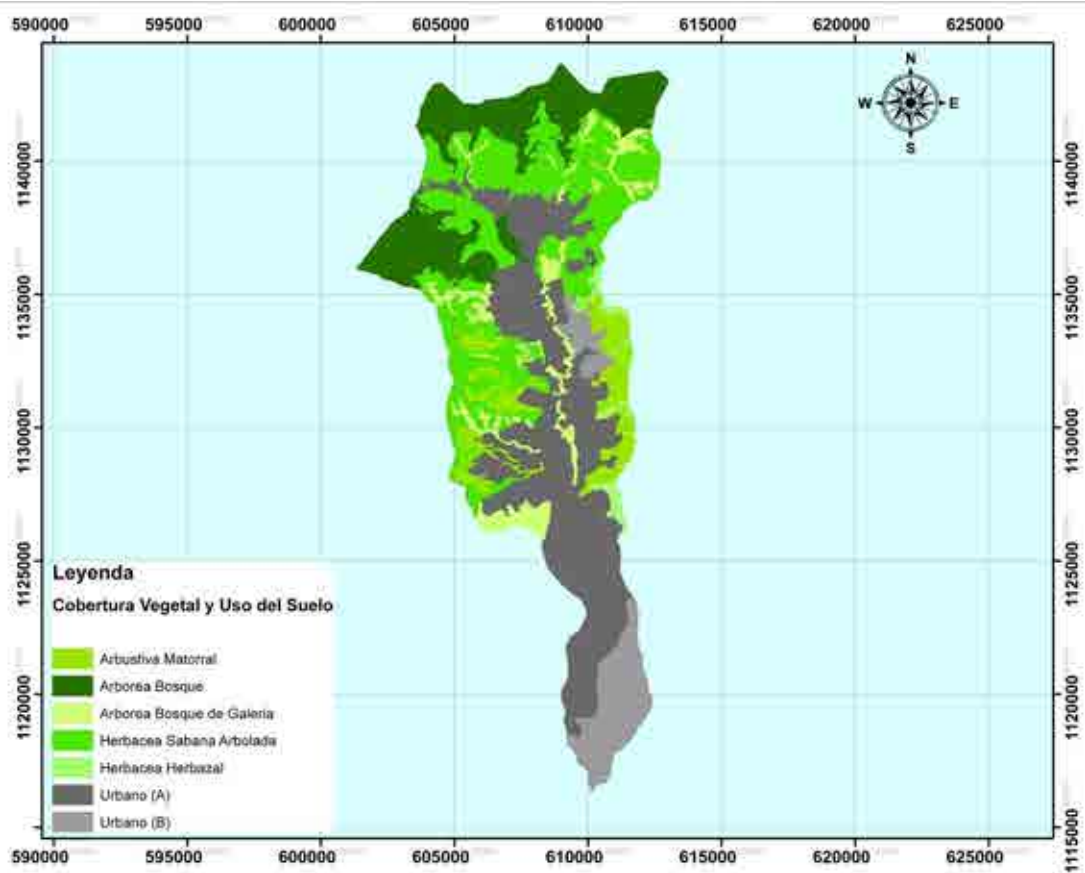


Figura 5.17. Variación de la cobertura vegetal y uso de la tierra en la cuenca del río Cabriales

## Zonas Educativas

Las zonas educativas están conformadas por varias instituciones de educación media y superior, entre las que se destaca la Universidad de Carabobo, ocupando un área de 3,45 km<sup>2</sup> (345 ha), es decir 2,31% del espacio total de la cuenca.

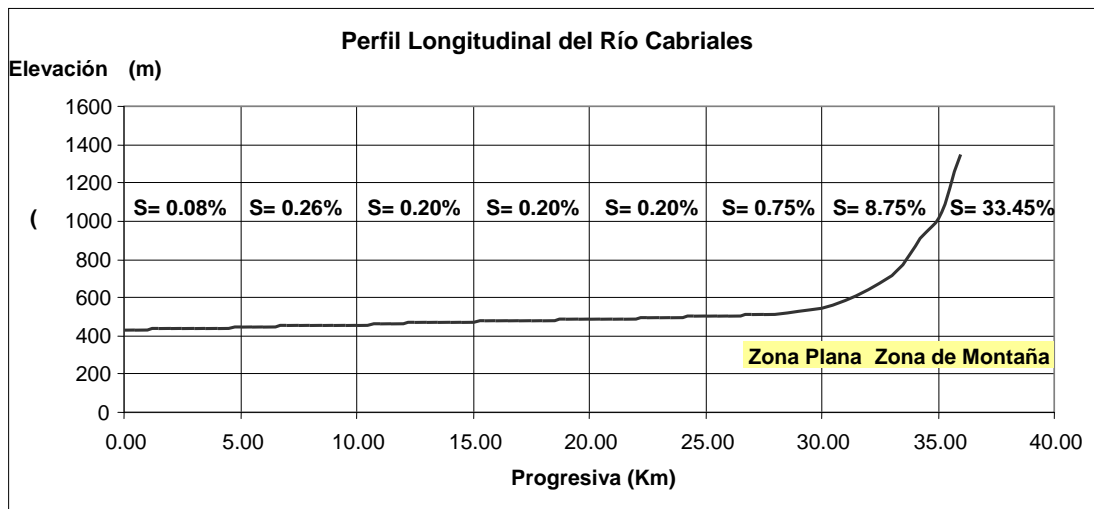


Figura 5.18. Perfil longitudinal del río Cabriales. Tomado de Valencia et al (2010)

## Zonas Recreacionales

Se encuentran varias zonas recreacionales en la cuenca del río Cabriales, representando un total de 6,1 km<sup>2</sup> (610 ha), es decir 4,10% del área total de la cuenca. Entre los parques se encuentran: el Parque Nacional San Estaban es la principal referencia, ubicado en la parte alta, en las nacientes del río. También se destaca el Parque Negra Hipólita 0,03 km<sup>2</sup> (3 ha), el Parque Fernando Peñalver 0,07 km<sup>2</sup> (7 ha) y el Parque Recreacional Sur 6 km<sup>2</sup> (600 ha) aproximadamente.

En la Figura 5.17 se puede visualizar la variación del uso de la tierra en la cuenca del río Cabriales.

#### 5.4. Geología

Desde el punto de vista geológico, la cuenca se enmarca dentro de dos grandes bloques montañosos, localizados de norte a sur en dirección oeste-este, los cuales corresponden respectivamente a las serranías de litoral y del interior.

Las serranías del litoral y del interior presentan generalmente un alto y bajo grado de metamorfismo, respectivamente caracterizada su estructura geológica por la presencia de: anticlinales, sinclinales, diaclasas, fracturas y numerosas fallas, destacando la falla de Victoria, localizada al sur de Valencia con dirección Este, muestra la intensa actividad tectónica de la región, que dio lugar a una extensa depresión donde la acción posterior de los ríos han originado una serie de valles premontanos y una extensa planicie de suelos aluviales y lacústicos.

Las rocas aflorantes en el área se dividen en 8 unidades litológicas, tomando en cuenta para ello las características texturales, proporciones en el contenido minealógico y la distribución geográfica; estas unidades se enumeran a continuación: gneises y esquistos cuarzo feldespáticos, esquistos cuarzo micáceos y cuarcitas, esquistos calcáreos y mármoles, esquistos moscovíticos albíticos granatíferos, esquistos cuarzo albítico moscovíticos y serpentinitas, aparte se pueden diferenciar dos aluviones, uno antiguo y uno reciente (Frass, 1981).

El subsuelo en los alrededores del margen del río en la zona llana se caracteriza en general por un predominio de suelos granulares finos con ocasionales estratos arcillosos.

#### 5.5. Geomorfología

El área de drenaje es de 148,21 km<sup>2</sup>, la longitud del cauce principal es de 36 km, cuyas cotas máximas y mínimas varían entre 1.350 msnm y 434 msnm. Los valores de elongación, coeficiente de compacidad y factor de forma son representativos de una cuenca alargada con bajas probabilidades de experimentar

frecuentes crecidas. En la Tabla 4.1 se presentan los valores morfométricos de la cuenca en estudio y en la Figura 4.18 el perfil longitudinal del río Cabriales.

## 5.6. Obras Hidráulicas

### Puentes

El río Cabriales por estar ubicado en una zona urbanizada y en continuo desarrollo y crecimiento habitacional, comercial e industrial, ha tenido que ser atravesado con soluciones viales tal como la construcción de puentes para el paso vehicular de diversos tamaños según el volumen a transportar. Entre ellos tenemos puentes en zonas de recursos bajos, puentes en urbanizaciones de recursos medios y puentes para acceso a la autopista regional del centro. En consecuencia, se ha contabilizado un total de 30 puentes en todo el recorrido. Entre ellos tenemos de distintas variedades, tales como: cajones, en vigas y en arco los más antiguos.

### Obras de Protección

En el río Cabriales, desde la progresiva 7+000, puede observarse la presencia de muros de gaviones en los márgenes del mismo, construidos en los últimos años por el Gobierno de Carabobo quien ha desarrollado un proyecto de rectificación del cauce del río Cabriales para un período de retorno de 50 años.

Los muros de gaviones se presentan de manera intermitente, y en otros casos más continuos. Actualmente algunos de ellos han sufrido el impacto de las últimas crecientes, observándose desprendimiento de los mismos, causando, en algunos casos, obstrucciones en el cauce.

Tabla 5.1. Características morfométricas de la cuenca del río Cabriales, tomado de Valencia et al, (2010)

<b>Parámetros Morfométricos</b>		<b>Características</b>
Forma de la cuenca		Alargada
Área (ha)		14.821,37
Área (Km <sup>2</sup> )		148,21
Superficie (Ha)		17.962.68
Superficie (Km <sup>2</sup> )		179,62
Perímetro (Km)		75,97
Coeficiente de compacidad		1.759
Elevación (msnm):		
	Máxima	1680,00
	Mínima	434,00
	Media	669,608
	Mediana	570,00
	Inicio del cauce principal	1460,00
Amplitud del relieve (m)		1196,00
Pendiente media de la cuenca (%)		25.34
Pendiente media de la cuenca (m/m)		0.2534
Pendiente media del cauce principal (%)		0.93
Pendiente media del cauce principal (m/m)		0.0093
Longitud del cauce principal (m)		36000,00
Longitud de cauces secundarios (m)		340903,51
Longitud total de cauces (m)		459185,03
Desnivel del cauce (m/Km)		28,50
Densidad de drenajes (m/ha)		31,06
Patrón de drenaje		Dentrítico
Distancia al centroide (m)		17760,00
Coeficiente de torrencialidad ( N <sub>1</sub> /Km <sup>2</sup> )		6,67

## CAPITULO VI

### HIDROLOGIA

El análisis hidrológico correspondiente a cualquier estudio hidráulico se basa en el objetivo planteado, ya sea: obras de aprovechamiento de aguas u obras dirigidas para la protección de la acción destructiva del agua. Las inundaciones producidas por un río son un tipo de amenaza hidrometeorológica que puede ser diagnosticada y cuantificada para desarrollar obras hidráulicas de protección así como también preparar a la población en caso de ocurrir.

Los cauces de los ríos principales son utilizados para el drenaje de las aguas pluviales de una ciudad o población, por lo que cumplen con la función básica: Evitar al máximo posible los daños que las aguas de lluvias puedan ocasionar a las personas y a las propiedades en el medio urbano (Bolinaga, 1979). En tal sentido, para el diseño de estas obras y situaciones de amenaza, hay que definir los valores las avenidas que a su vez, están relacionadas con las posibilidades de ocurrencia de las mismas.

El período de retorno por consiguiente, es el parámetro de referencia que indica el grado de impacto promedio que tendrá una tormenta sobre una cuenca hidrográfica con características específicas.

#### 6.1. Período de Retorno de Diseño

Mucho se ha discutido sobre los valores que debe tomar el período de retorno para los estudios hidráulicos. Bien es cierto que este valor aumenta o disminuye el impacto en una cuenca urbanizada, el cual está relacionado con la respuesta de la misma y pudiera incidir directamente sobre vidas humanas. Haciendo abstracción

de los daños a personas, el método apropiado para determinar el período de retorno sería evaluar la relación beneficio-costos para diferentes alternativas de protección y elegir la de mayor relación (Bolinaga, 1979). A pesar que este método es el camino correcto, no es menos cierto que es costoso, y en función de ello, de la existente limitación de información básica y de la situación explosiva de crecimiento en diferentes ciudades del país, Bolinaga recomienda utilizar para este objetivo, el valor de la función básica, una protección correspondiente a una frecuencia de 100 años.

Las Normas sobre la Regulación y el Control del Aprovechamiento de los Recursos Hídricos y de las Cuencas Hidrográficas, en el punto 3 del artículo 61, expresa:

—3. En áreas urbanas, la localización de instalaciones de primera importancia para el funcionamiento de la ciudad deberá orientarse a aquellas áreas donde el período de retorno de ocurrencia de inundación sea superior a 100 años.”

Esto conduce también a establecer un patrón de cálculo para el cual, las edificaciones estratégicas tales como las de seguridad nacional y de uso militar, las de generación y transmisión de energía eléctrica, las plantas de tratamiento de aguas, las estaciones centrales de comunicación, los hospitales, las estaciones de bomberos, y otras necesarias para el vital funcionamiento de la ciudad, estarán protegidas y tendrán un porcentaje de inundación probable del 1% en promedio.

Por otro lado, debido al crecimiento vertiginoso de las ciudades y comunidades que atraviesa el río, el establecimiento de edificaciones estratégicas cerca del cauce, la gran densidad habitacional actual, la clasificación socio-económica presente en los últimos 15 kilómetros del recorrido del río Cabriales, genera la necesidad de trabajar con un valor que advierta posibles inundaciones de

magnitud considerable y para esto se recomienda 100 años como período de recurrencia promedio que alimentará los modelos computacionales utilizados.

Por último, debido al objetivo planteado en este trabajo, el cual es de generar un mapa de amenaza combinado de varios períodos de retorno: 10 años y 100 años, es necesario contar con un análisis hidrológico que abarque hasta esta última probabilidad baja de ocurrencia.

El hecho de conocer las manchas de inundación para éste valor de período de retorno, no determina necesariamente que las estructuras protectoras deban plantearse y diseñarse para este mismo período. Resulta más útil y económico tener una plan mixto con medidas preventivas (no estructurales) y construcción de obras de arte (estructurales) de menor costo. Para esto, en este trabajo se estiman además las crecidas para período de retorno de 2,33 años, 5 años, 25 años y 50 años.

## 6.2. Descripción de la Hidrografía y Sistema de Modelación Hidrológica

En la cuenca en estudio se distinguen varios tributarios bien definidos entre los que se encuentran la quebrada Bárbula, río Retobo, quebrada Camoruco, entre otras. Estas corrientes conforman unidades de almacenaje y escurrimientos que se conectan entre sí por cauces o tramos de ríos, que a su vez alimentan al cauce principal de manera progresiva; reflejando la característica sub-dendrítica de la cuenca, hasta llegar al final en el desparramadero El Paito. En virtud de eso, la cuenca del río Cabriales se divide en subcuencas, tal como se describió en el capítulo 5, y de esa manera se propone un esquema para la simulación.

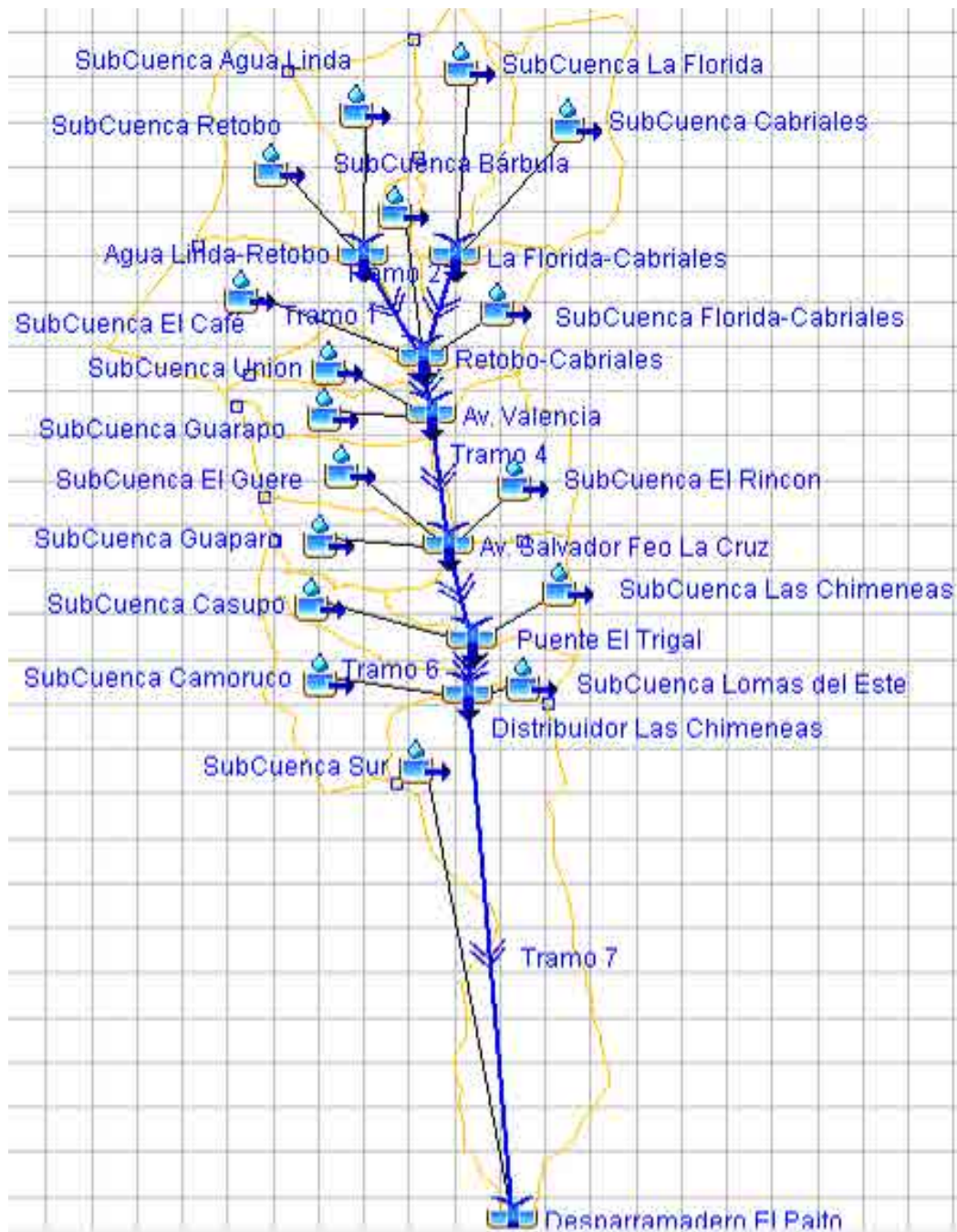


Figura 6.1. Esquema de simulación hidrológica para la cuenca del río Cabriales

Se utiliza el modelo HEC HMS 3.1.0, conectando los siguientes elementos: subcuencas, tramo y confluencia. Cada uno de estos elementos es identificado en la Figura 6.1., se presenta el esquema de simulación para la cuenca.

### 6.3. Análisis Estadístico Previo de los Datos

Las estaciones seleccionadas para el análisis son las siguientes: Bárbula (1309), San Diego (451), Valencia GFV (461), La Entrada (409), Guataparo-El Café (1310), Guataparo Cia Inglesa (1358), El Cambur (406), Chirgua-Cabeceras (1318), Vagirima (423), Borburata (411), Agua Blanca (489), Los Aguacates (1395) y Valencia San Luis (1387). En la Figura 6.2 se muestran la localización de las mismas.

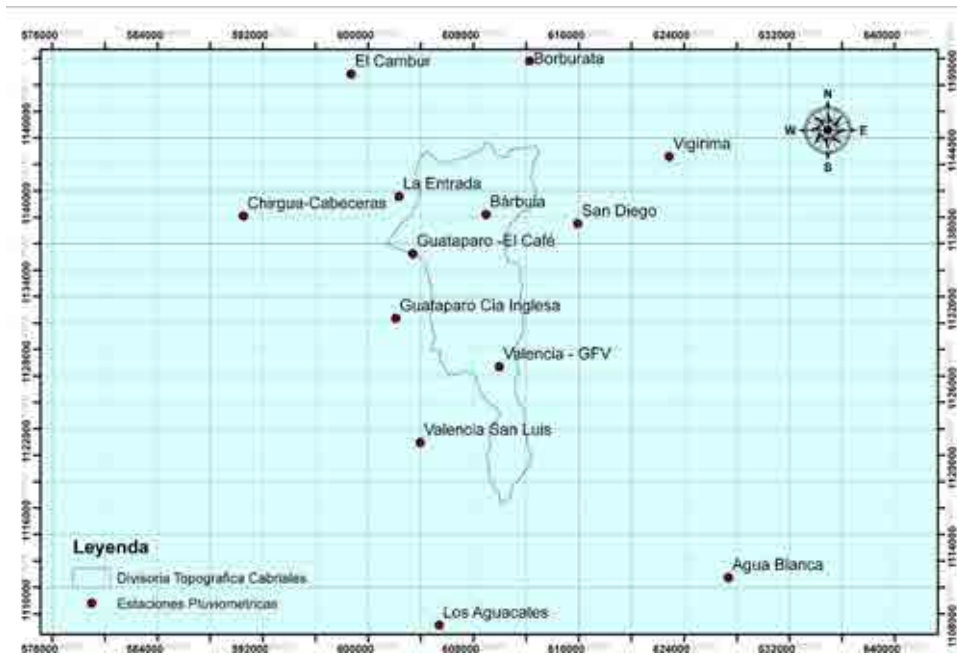


Figura 6.2. Ubicación de las estaciones pluviométricas

Debido a que las fluctuaciones de los datos de lluvia son originados por causas naturales, es decir; cada uno de los datos no son influenciados a partir de otros porque las tormentas tienen un tiempo de separación entre ellas, que las muestras provienen de una misma población y que las propiedades estadísticas de los datos no cambian en el tiempo sustancialmente en virtud de que las características de la cuenca no se han modificado de manera intempestiva, los datos cumplen con los criterios de aleatoriedad, independencia, homogeneidad y estacionalidad.

Seguidamente se aplica la metodología de datos dudosos, donde no se hallaron valores que estén afuera del rango máximo permitido por lo que siguen la tendencia de la muestra y en consecuencia toda la muestra fue utilizada sin ninguna reducción.

#### 6.4. Análisis de la Variación Espacial y Temporal de la Precipitación

##### 6.4.1. Análisis de la Variación Espacial

Para predecir el caudal de diseño es necesario estimar la distribución espacial de la lluvia sobre el área de estudio, asumiendo un valor medio de precipitación sobre la cuenca en base a los registros puntuales, cuya representatividad espacial resulta limitada (Zamanillo et al, 2008).

Las relaciones profundidad-duración-área representan una alternativa acertada para conocer la envolvente de la máxima precipitación para un tiempo determinado de la misma, sobre diferentes áreas precipitadas. En base a esto, se toma como referencia la precipitación histórica del 12 de mayo de 1986 acaecida en la ciudad de Valencia para elaborar una gráfica de reducción por área, la cual tuvo una duración de 9 horas. En la Figura 6.3 se muestran las isoyetas usando el método de IDW (Inverse Distance Weight) y en la Figura 6.4, la curva de reducción por área correspondiente.

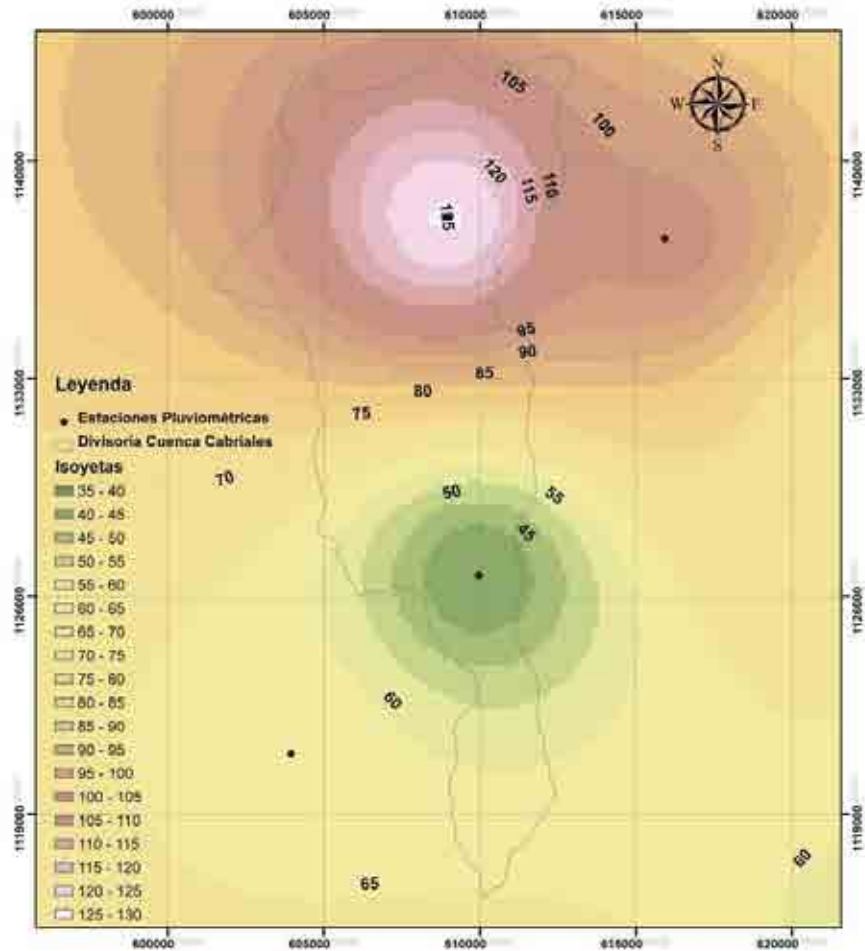


Figura 6.3. Isoyetas de la tormenta del 12 de mayo de 1986. Duración: 9 horas

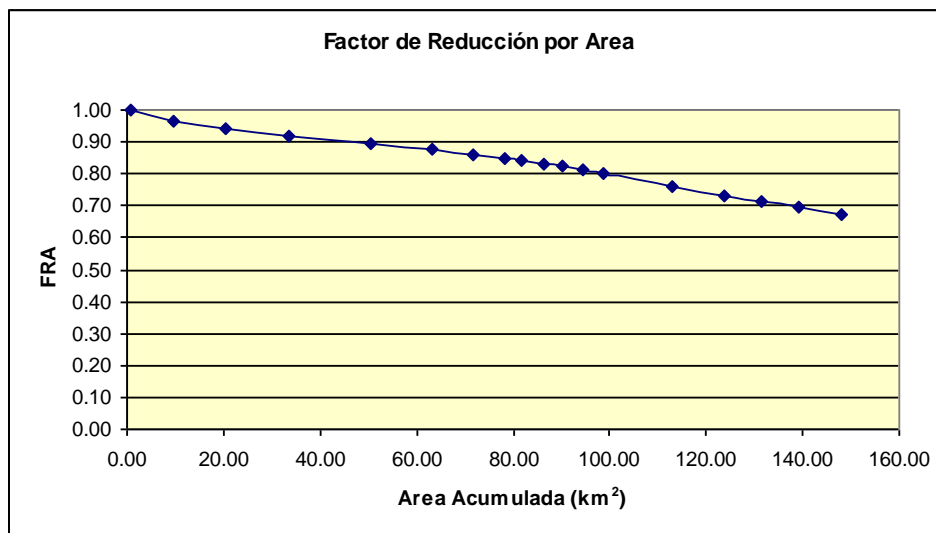


Figura 6.4. Curva de reducción por área para 9 horas de duración para la tormenta del 12 de mayo de 1986

La Figura 6.4 representa la relación entre una precipitación sobre un área específica dentro de la cuenca con respecto a la máxima precipitación puntual dentro de la misma, en función del área en consideración. La longitud de la duración para la curva en este caso es de 9 horas. Se observa como la profundidad promedio de la lluvia decae con el área que cubre la tormenta, signo de la variación espacial de la misma.

En la cuenca del Lago de Valencia distintos autores han desarrollado análisis de la variación espaciales de la precipitación. El antiguo Ministerio del Ambiente de los Recursos Naturales Renovables (MARNR) realiza un análisis en 1964 sobre una tormenta extrema de 9 horas de duración acaecida en la cuenca del Lago de Valencia, Guevara (2003) efectúa su análisis tomando 47 tormentas extremas en la región central del país y la Organización Mundial de Meteorología genera unas curvas para diferentes duraciones. En la Figura 6.5 se muestran las diferentes curvas creadas de los análisis realizados.

Las curvas de reducción por área dependen de la duración de la tormenta, en consecuencia se utiliza el modelo MARNR (1964) con una duración de 9 horas para el desarrollo hidrológico y para la validación hidrológica el modelo desarrollado en este trabajo mostrado en la Figura 6.4. En la Tabla 6.1 se presenta en forma tabular los valores de los modelos referidos.

Tabla 6.1. Valores del factor de reducción por área

Área (km <sup>2</sup> )	62,29	71,22	93,30	106,00	117,43	148,21
FRA MARNR (D=9 h)	0,968	0,962	0,940	0,924	0,910	0,879
FRA Valencia (D=9 h)	0,890	0,880	0,828	0,795	0,760	0,675

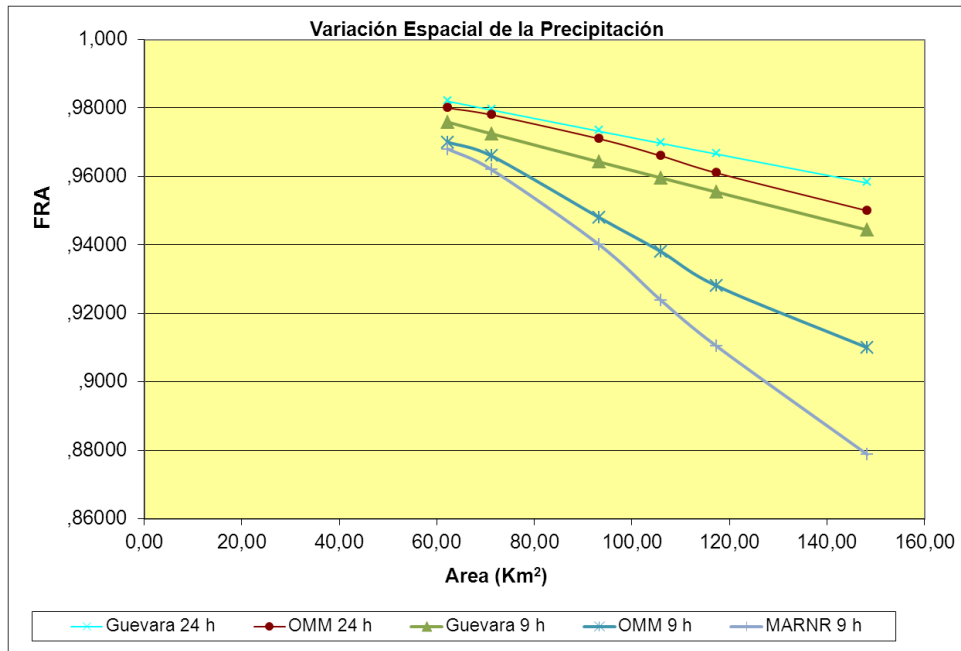


Figura 6.5. Variación espacial de la precipitación para la cuenca del río Cabrales.

## 6.4.2. Análisis de la variación temporal

### 6.4.2.1. Selección de las Estaciones Pluviométricas

En los proyectos de planes rectores de drenajes, gestiones integrales de cuenca y obras hidráulicas de envergadura, es necesario conocer las variables que dependen del valor de la precipitación, es decir: duración y período de retorno de diseño. Para poder analizar su variabilidad en tiempo, es indispensable relacionarlas entre sí. Además, los eventos extremos conllevan a ubicar las estaciones pluviométricas con registros continuos de datos para diferentes duraciones.

Las estaciones que se toman para el estudio, se ubican en función del grado de influencia que tenga sobre la cuenca, desde el punto de vista climatológico. En este sentido se aplica el método de los polígonos de Thiessen para tal fin. En la Figura 6.6 se aprecia dicha aplicación.

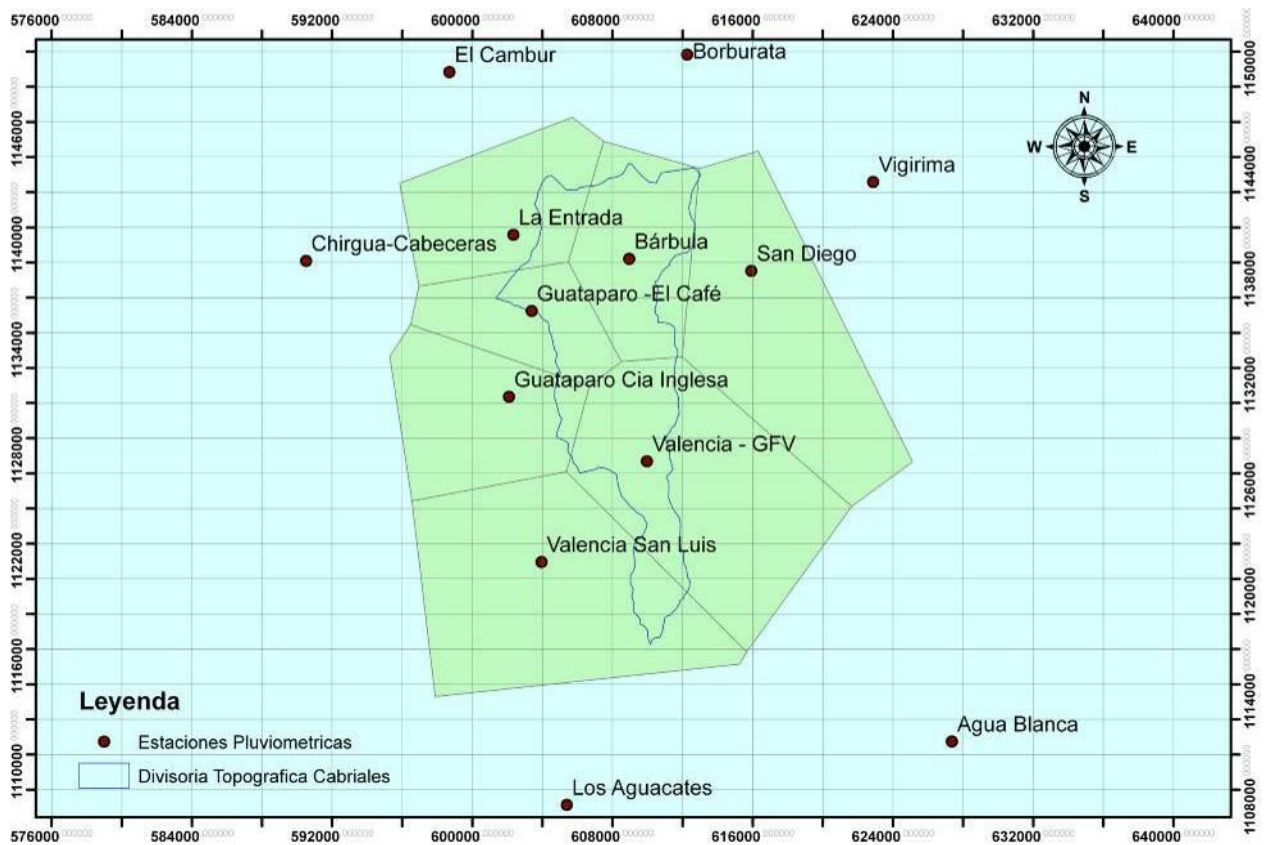


Figura 6.6. Polígonos de thiesen en la cuenca del río Cabrales

Los polígonos de thiesen muestran que las estaciones influyentes que caracterizan el régimen pluviométrico sobre la cuenca son: Bárbula (1309), San Diego (451), Valencia GFV (461), La Entrada (409), Guataparo-El Café (1310), Guataparo Cia Inglesa (1358) y Valencia San Luis (1387). Esto es cierto, sabiendo que las estaciones El Cambur (406) y Borburata (411) son representativas de las precipitaciones del sotavento, puesto que se localizan detrás del sistema orográfico de la Cordillera de la Costa. Con respecto a la estación Chirgua-Cabeceras (1318) y Vigirima (423), estas representan las características de otra cuenca. Por último las estaciones Agua Blanca (489) y Los Aguacates (1395) están ubicadas al sur de la cuenca, donde el recorrido del flujo superficial es precisamente hacia el sur, por lo tanto no afectaría al aporte dentro de la cuenca.

## 6.4.2.2. Análisis de Frecuencia de la Lluvias Máximas

### 6.4.2.2.1. Análisis Estadístico de las Estaciones

Las muestras de las estaciones seleccionadas se ajustaron a una función de distribución de probabilidades extremos Tipo I o Gumbel tal como fue descrito en el capítulo 3. Los resultados de los ajustes para 24 horas se presentan en el en forma gráfica desde la Figura 6.7 hasta la Figura 6.13 y en el Anexo 2 para distintas duraciones.

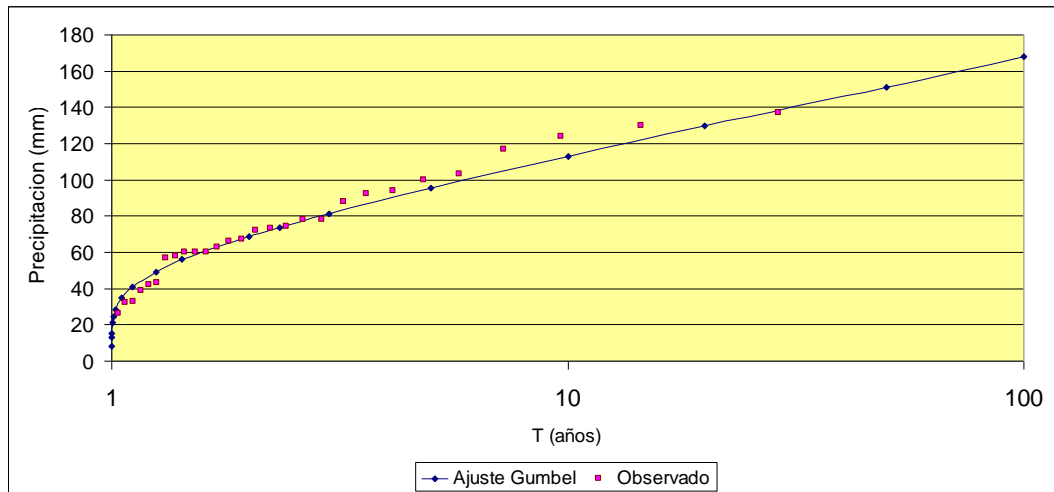


Figura 6.7. Estación Bárbula

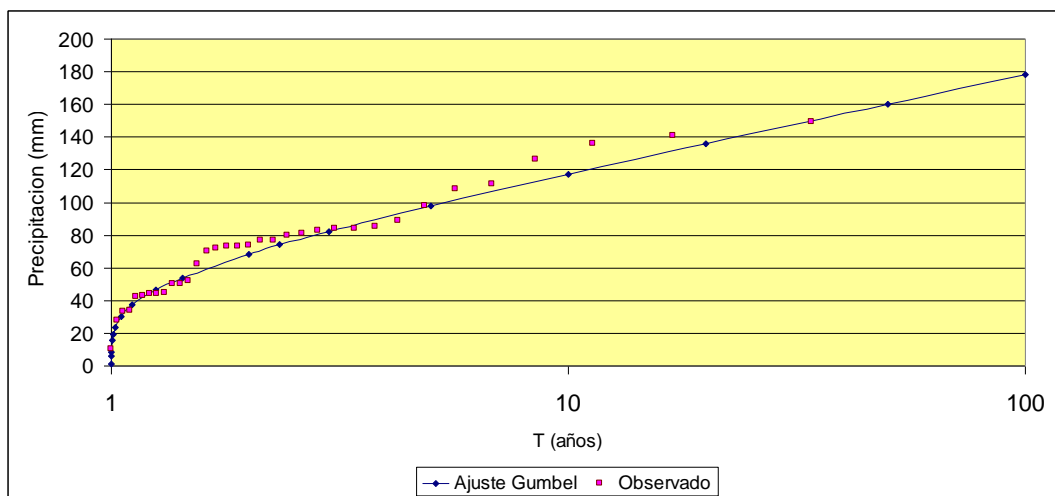


Figura 6.8. Estación San Diego

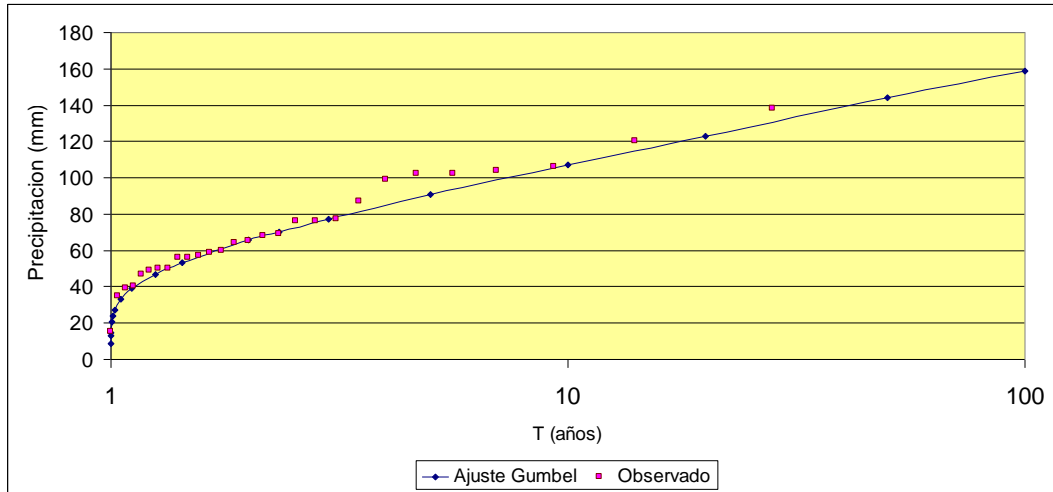


Figura 6.9. Estación Valencia GFV

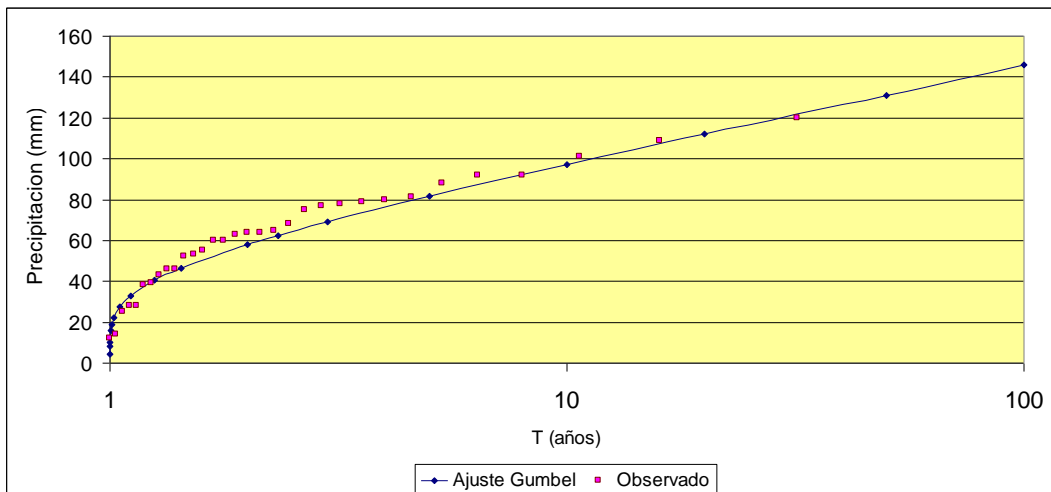


Figura 6.10. Estación La Entrada

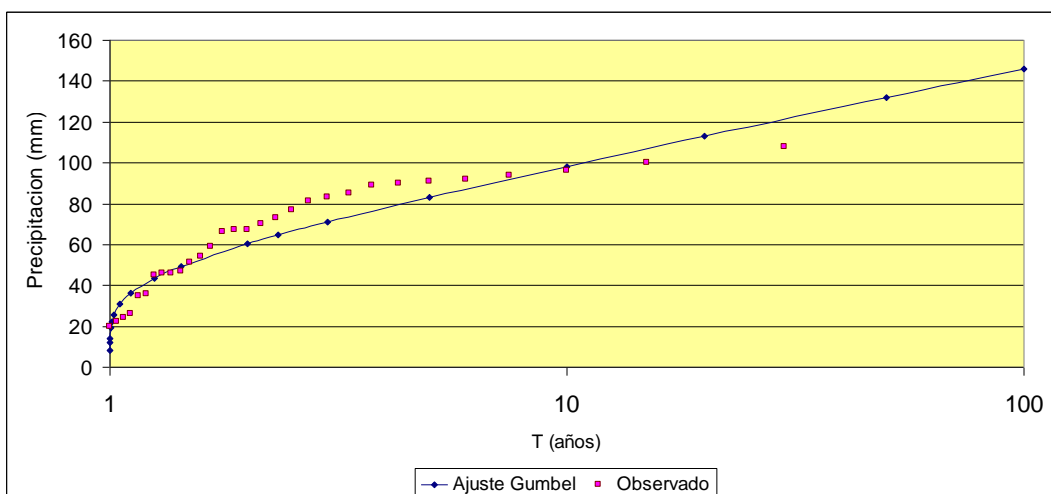


Figura 6.11. Estación Guataparo El Café

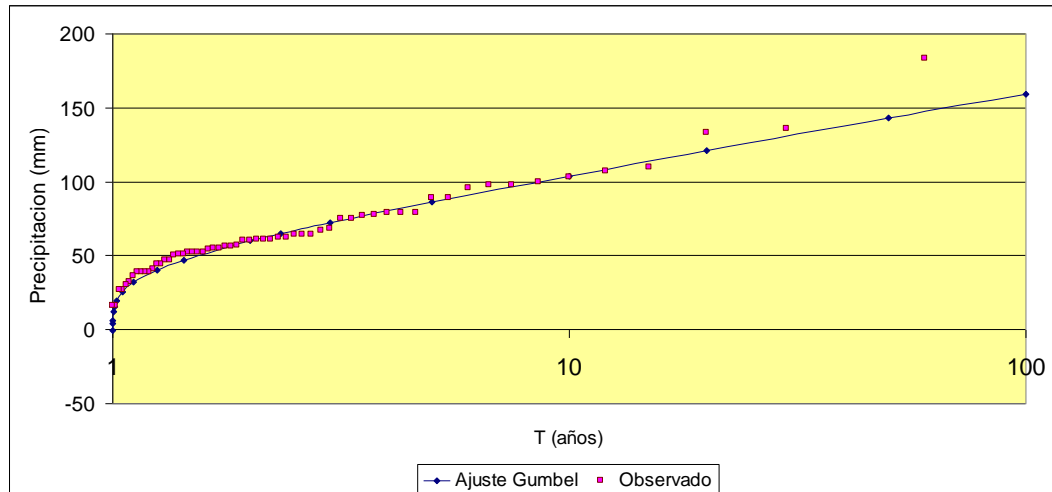


Figura 6.12. Estación Guataparo Compañía Inglesa

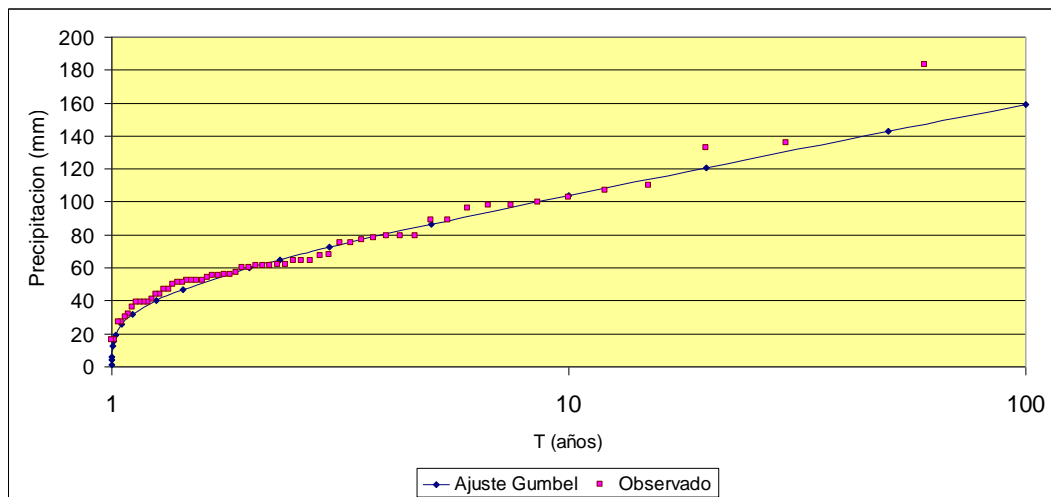


Figura 6.13. Estación Valencia San Luis

La precipitación media sobre el área de la cuenca, se calcula considerando el factor de reducción por área estimado previamente y conociendo el centro de precipitación de la cuenca. En la Tabla 6.2. se presentan los valores de influencia de las estaciones pluviométricas sobre la cuenca, destacando la estación Bárbula como la de mayor influencia y donde también se ubica el centro de precipitaciones. Los parámetros estadísticos de la función de distribución Tipo I o Gumbel se presenta en la Tabla 6.3 y la precipitación máxima para la estación Bárbula en la Tabla 6.4.

Tabla 6.2. Valores de influencia de las estaciones pluviométricas sobre la cuenca del río Cabriales.

Estación	Influencia (%)
Bárbula	36,07
San Diego	0,06
Valencia GFV	30,60
La Entrada	7,55
Guataparo El Café	15,76
Guataparo Cia Inglesa	3,48
Valencia San Luis	6,47

Tabla 6.3. Parámetros de Gumbel para el análisis de frecuencia de la precipitación máxima en la cuenca del río Cabriales.

Parámetro	Duración (minutos)								
	15	30	60	120	180	360	540	720	1440
Media	23,62	35,85	48,07	57,60	60,54	64,00	65,64	67,14	73,79
Desviación	5,64	17,55	20,08	26,44	26,04	24,89	26,52	26,80	29,97
$\alpha$	4,39	13,68	15,65	20,61	20,30	19,40	20,67	20,89	23,36
$\beta$	21,08	27,94	39,03	45,69	48,81	52,79	53,7	55,08	60,29

#### 6.4.2.2.2. Curvas Intensidad Duración Frecuencia

Las precipitaciones máximas sobre el área de la cuenca del río Cabriales derivadas para cada período de retorno, se graficaron para obtener las curvas IDF, y así estimar intensidades de lluvia para cualquier duración deseada hasta 1440 minutos. En la Figura 6.14 se muestran las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia.

Tabla 6.4. Precipitaciones máximas para diferentes duraciones y períodos de retorno para la cuenca del río Cabriales.

Precipitaciones Máximas (mm)									
Tr (años)	Duración (minutos)								
	15	30	60	120	180	360	540	720	1440
2,33	28,91	40,94	48,10	57,60	60,60	64,00	65,70	67,20	73,80
5	34,17	48,39	62,50	76,60	79,30	81,90	84,70	86,40	95,30
10	39,77	56,32	74,30	92,10	94,50	96,50	100,00	102,00	113,00
25	48,60	68,82	89,10	112,00	114,00	115,00	120,00	122,00	135,00
50	56,56	80,10	100,00	126,00	128,00	129,00	134,00	137,00	151,00
100	65,82	93,22	111,00	141,00	142,00	142,00	149,00	151,00	168,00

La representación de las curvas IDF como relaciones matemáticas, se realiza con el modelo de Sherman tal y como se señaló en el capítulo 3. En virtud de esto, se presenta en la ecuación 3 el resultado del análisis.

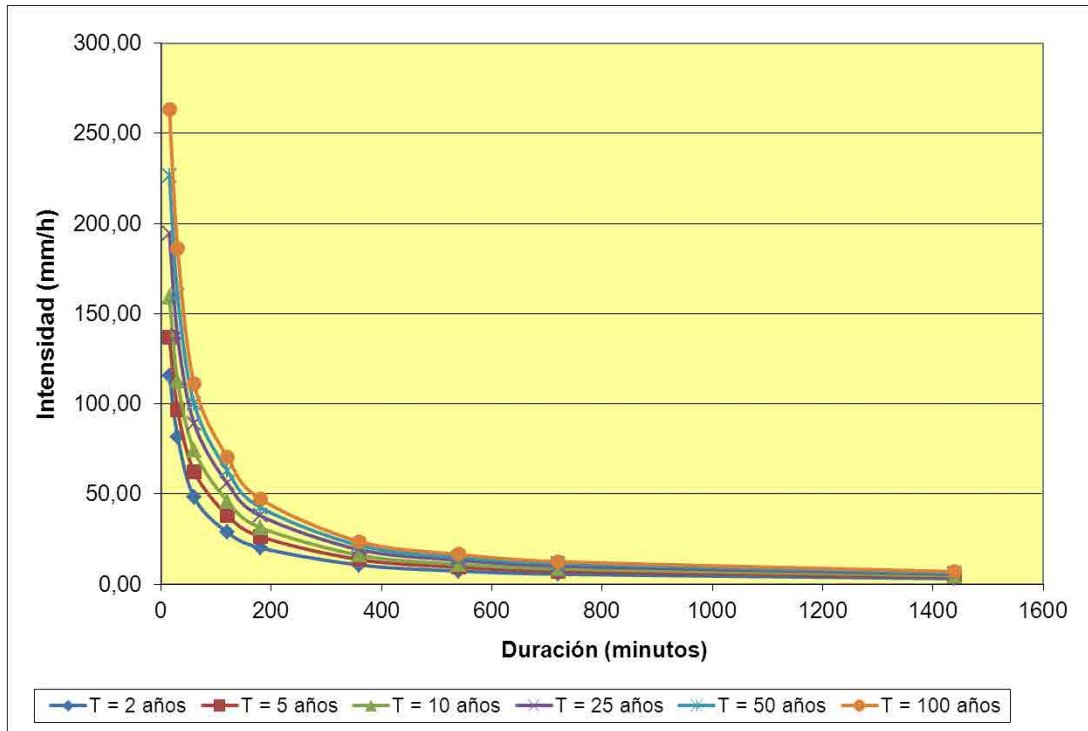


Figura 6.14. Curva Intensidad Duración Frecuencia para la cuenca del río Cabriales

$$I = \frac{2999,34T^{0,219}}{(D + 20)^{0,968}} \quad (3)$$

Donde;

$I$  = Intensidad de la lluvia, mm/h

$T$  = Período de retorno, años

$D$  = Duración de la lluvia de diseño, minutos

#### 6.4.2.3.- Determinación de las Lluvias de Diseño

El hietograma de la lluvia de diseño para cada una de las probabilidades de retorno, la duración de la lluvia y del área de drenaje que se considere para los cálculos de los hidrogramas, es calculado internamente por el programa HEC

HMS, según la metodología de los bloques alternos en función de las láminas máximas acumuladas de lluvia para cada duración y del tipo de tormenta: avanzada, simétrica y retardada. En las Tablas 6.5 al 6.10 se presentan los valores de las Profundidad – Duración – Frecuencia y en forma gráfica se muestran en las Figuras 6.15 al 6.20.

Tabla 6.5. Precipitación de diseño para 1440 minutos y aplicable hasta la confluencia río Retobo y Cabrales del esquema de simulación hidrológica

T (años)	Duración (minutos)							
	5	15	60	120	180	360	720	1440
2.33	13,11	28,58	47,55	56,95	59,91	63,27	66,44	72,96
5	15,49	33,78	61,79	75,73	78,40	80,97	85,42	94,22
10	18,03	39,31	73,46	91,05	93,43	95,40	100,84	111,72
25	22,03	48,04	88,09	110,73	112,70	113,69	120,61	133,47
50	25,64	55,92	98,86	124,57	126,55	127,53	135,44	149,28
100	29,84	65,08	109,74	139,40	140,39	140,39	149,28	166,09

Tabla 6.6. Precipitación de diseño para 1440 minutos y aplicable hasta la Av. Valencia del esquema de simulación hidrológica

T (años)	Duración (minutos)							
	5	15	60	120	180	360	720	1440
2.33	13.07	28.13	46.80	56.05	58.97	62.27	65.39	71.81
5	15.44	33.25	60.81	74.53	77.16	79.69	84.07	92.73
10	17.97	38.69	72.30	89.62	91.95	93.90	99.25	109.95
25	21.96	47.29	86.70	108.98	110.93	111.90	118.71	131.36
50	25.56	55.03	97.30	122.60	124.55	125.52	133.30	146.93
100	29.75	64.05	108.01	137.20	138.17	138.17	146.93	163.47

Tabla 6.7. Precipitación de diseño para 1440 minutos y aplicable hasta la Av. Salvador Feo La Cruz del esquema de simulación hidrológica

T (años)	Duración (minutos)							
	5	15	60	120	180	360	720	1440
2.33	12.99	27.18	45.22	54.15	56.97	60.16	63.17	69.38
5	15.35	32.12	58.75	72.01	74.55	76.99	81.22	89.59
10	17.86	37.38	69.85	86.58	88.83	90.71	95.88	106.22
25	21.83	45.68	83.76	105.28	107.17	108.11	114.69	126.91
50	25.40	53.17	94.00	118.45	120.33	121.27	128.79	141.95
100	29.57	61.88	104.34	132.55	133.49	133.49	141.95	157.93

Tabla 6.8. Precipitación de diseño para 1440 minutos y aplicable hasta el Puente El Trigo del esquema de simulación hidrológica

T (años)	Duración (minutos)							
	5	15	60	120	180	360	720	1440
2.33	12.95	26.71	44.43	53.21	55.98	59.12	62.08	68.17
5	15.30	31.56	57.73	70.76	73.25	75.66	79.81	88.03
10	17.81	36.73	68.63	85.08	87.29	89.14	94.22	104.38
25	21.76	44.89	82.31	103.46	105.31	106.23	112.70	124.71
50	25.33	52.25	92.38	116.39	118.24	119.16	126.55	139.49
100	29.48	60.81	102.54	130.25	131.17	131.17	139.49	155.19

Tabla 6.9. Precipitación de diseño para 1440 minutos y aplicable Puente Las Chimeneas del esquema de simulación hidrológica

T (años)	Duración (minutos)							
	5	15	60	120	180	360	720	1440
2.33	12.91	26.32	43.79	52.44	55.17	58.26	61.18	67.18
5	15.25	31.11	56.90	69.73	72.19	74.56	78.65	86.76
10	17.75	36.20	67.64	83.84	86.03	87.85	92.86	102.87
25	21.69	44.24	81.11	101.96	103.78	104.69	111.06	122.90
50	25.25	51.49	91.04	114.70	116.53	117.44	124.72	137.46
100	29.38	59.92	101.05	128.36	129.27	129.27	137.46	152.94

Tabla 6.10. Precipitación de diseño para 1440 y aplicable para toda el área de la cuenca. Valores para el modelo HEC – HMS

T (años)	Duración (minutos)							
	5	15	60	120	180	360	720	1440
2.33	11.73	25.41	42.27	50.62	53.26	56.24	59.06	64.86
5	13.86	30.03	54.93	67.32	69.69	71.97	75.93	83.75
10	16.13	34.95	65.30	80.94	83.05	84.81	89.64	99.31
25	19.72	42.71	78.30	98.43	100.18	101.06	107.21	118.64
50	22.95	49.70	87.88	110.73	112.49	113.37	120.40	132.70
100	26.70	57.85	97.55	123.91	124.79	124.79	132.70	147.64

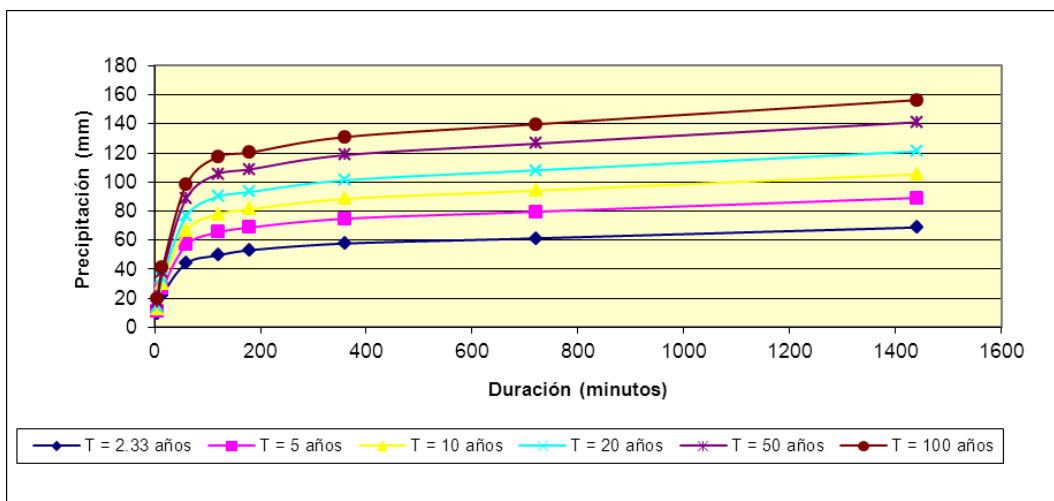


Figura 6.15. Precipitaciones de diseño para 1440 minutos y aplicable hasta la confluencia del río Retobo con Cabriales del esquema de simulación hidrológica

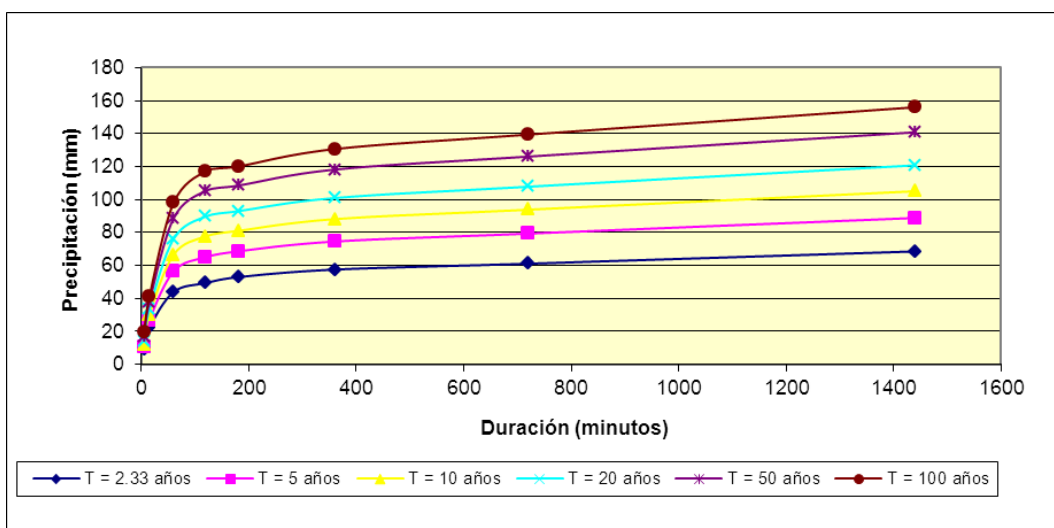


Figura 6.16. Precipitaciones de diseño para 1440 minutos y aplicable en Av. Valencia del esquema de simulación hidrológica

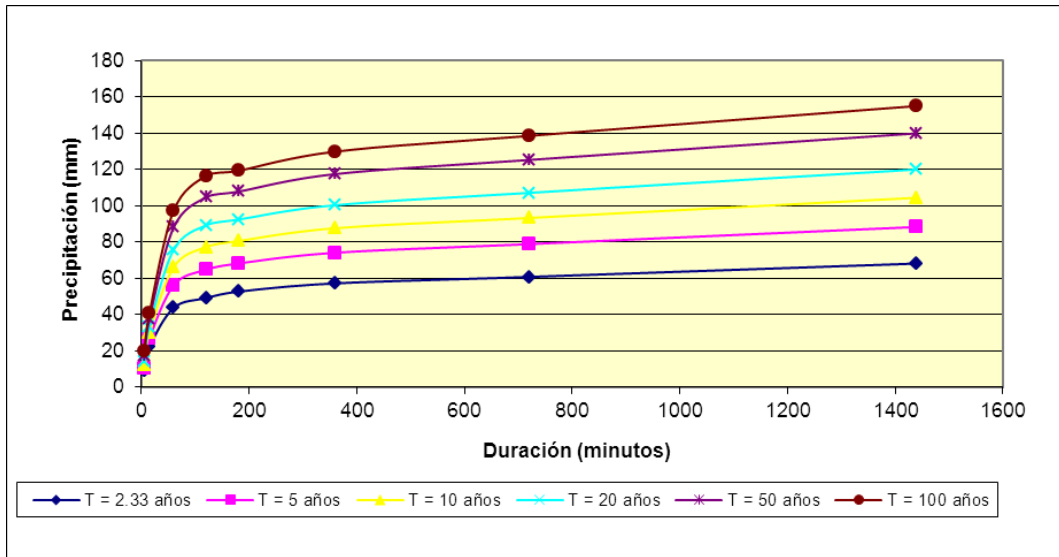


Figura 6.17. Precipitaciones de diseño para 1440 minutos y aplicable en la Av. Salvador Feo La Cruz del esquema de simulación hidrológica

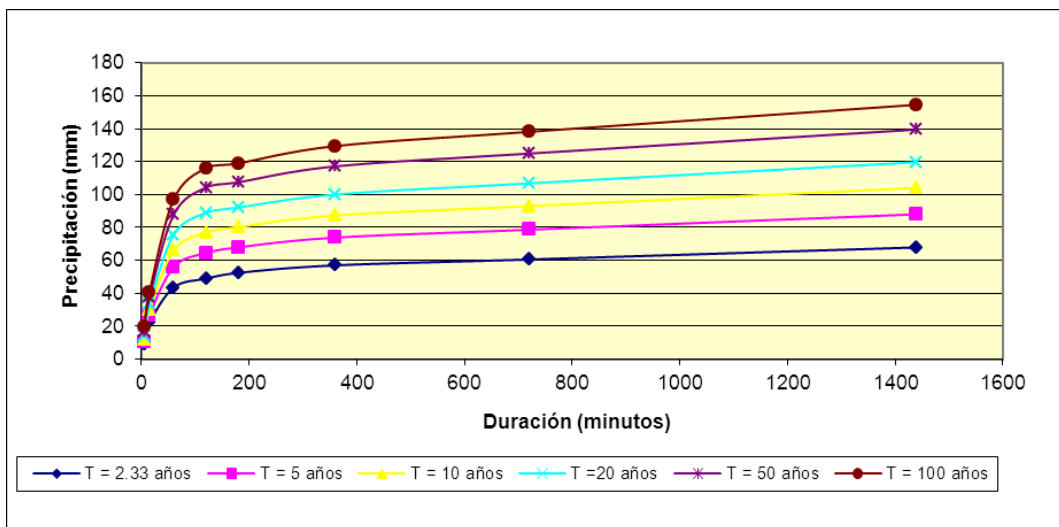


Figura 6.18. Precipitaciones de diseño para 1440 minutos y aplicable en Puente El Trigoal del esquema de simulación hidrológica

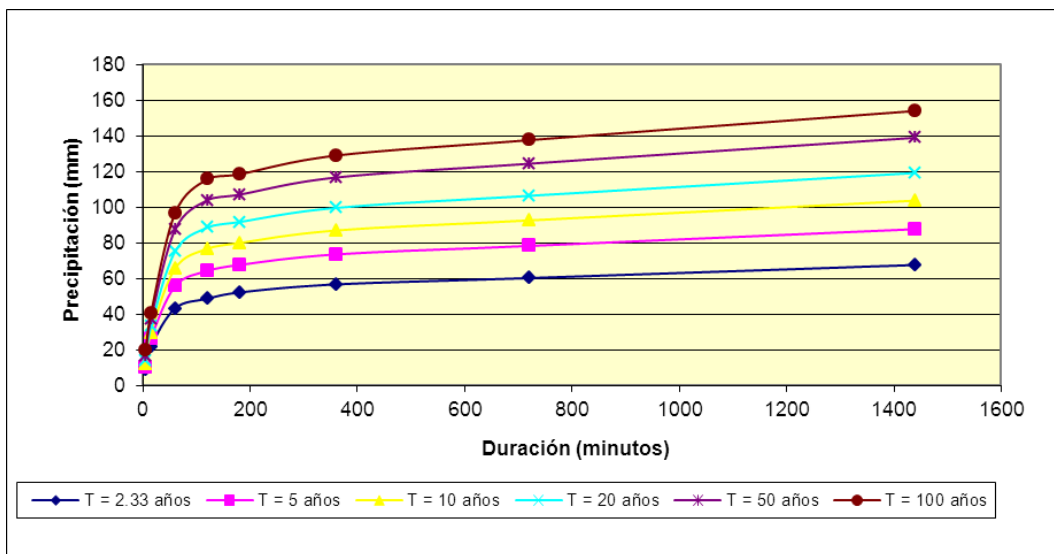


Figura 6.19. Precipitaciones de diseño para 1440 minutos y aplicable en Distribuidor Las Chimeneas del esquema de simulación hidrológica

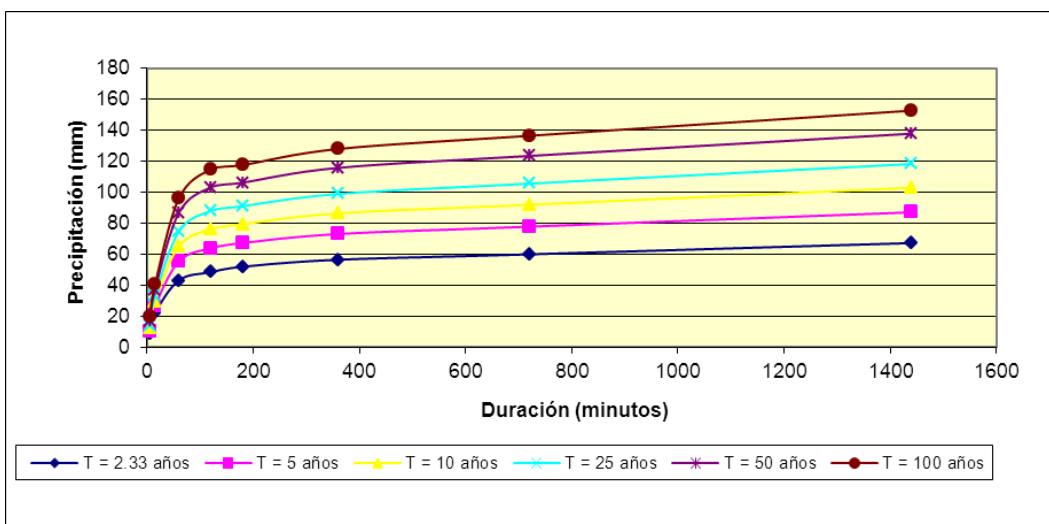


Figura 6.20. Precipitaciones de diseño para 1440 minutos y aplicable para toda el área de la cuenca

#### 6.4.3. Transformación Lluvia - Escorrentía

Con los valores de las lluvias de diseño para varias duraciones, períodos de retorno y del factor de reducción por área, se procedió a convertir las mismas en lluvias efectivas o escorrentías que aportan al cauce del río Cabriales y estimar los

histogramas efectivos para los períodos de retorno seleccionados. La conversión se realizó con el método del Soil Conservation Service (SCS), el cual forma parte del programa de simulación hidrológica HEC – HMS. Los valores del número de curva en función del tipo de uso de la tierra para toda la cuenca se presentan en la Tabla 6.11 y en la Tabla 6.12 se presentan los valores ponderados para cada subcuenca.

Tabla 6.11. Valores del Número de Curva en la Cuenca del Río Cabriales

Uso de la Tierra	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (%)	Tabla TR-55	CN
Arbórea Bosque	27,16	18,31	2.2c	55
Arbórea Bosque de Galería	9,18	6,19	2.2c	65
Arbustiva (Matorral)	10,03	6,77	2.2c	58
Herbácea Sabana Arbolada	38,85	26,18	2.2c	69
Herbácea Herbazal	2,54	1,72	2.2d	71
Urbano tipo A	51,32	34,59	2.2a	77
Urbano tipo B	9,27	6,25	2.2a	72

#### 6.4.4. Obtención y Tránsito de los Hidrogramas de Crecidas

La obtención de los hidrogramas de crecidas fue realizada utilizando el método del hidrograma unitario de Clark y del hidrograma unitario SCS según sea el caso, tal como se relató en el capítulo 3. En la Tabla 6.13 se presentan los parámetros de cálculo para el primer método y en la Tabla 6.14 para el segundo método. El tránsito por el cauce de los hidrogramas de crecidas calculados para los períodos de retorno estipulados, se realizó con el método de Muskingum-Cunge de la onda difusiva. La escogencia del valor n de Manning se realizó por visualización en

función de los valores del Roughness Characteristics of Natural Channels (1987) y Chow V.T. (1994), el cual se hizo para todos los tramos previstos en el modelo de simulación hidrológica y cuyos parámetros se muestran en la Tabla 6.15 al 6.21. Los valores del caudal pico, el tiempo al pico y el volumen escurrido para la tormenta de tipo avanzado se presentan en forma tabular desde la Tabla 6.22 al 6.27 y en forma gráfica desde la Figura 6.21 al 6.24, mientras que los hidrogramas resultantes correspondientes desde la Figura 6.25 al 6.30. En el Anexo 3 se presentan los hidrogramas de crecida para las tormentas de tipo simétrico y retardado.

Tabla 6.12. Valores del Número de Curva para cada Sub Cuenca del Río Cabriales

Sub Cuenca	Nombre	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (%)	CN
1	El Café	13,62	9,20	60,29
2	Guarapo	4,62	3,12	72,17
3	Unión	4,30	2,90	69,27
4	El Rincón	9,24	6,24	67,49
5	Casupo	5,04	3,40	72,22
6	Guaparo	6,02	4,06	66,07
7	Camoruco	9,61	6,49	70,59
8	Las Chimeneas	7,65	5,16	71,53
9	Lomas del Este	4,73	3,19	70,57
10	Cabriales	13,04	8,80	63,79
11	La Florida	8,57	5,78	63,46
12	Bárbula	3,18	2,15	73,23
13	La Florida-Cabriales	6,05	4,09	71,23
14	Retobo	10,62	7,17	65,01
15	Agua Linda	7,17	4,84	61,04
16	Sur	27,85	18,80	74,77
17	Güere	6,80	4,61	69,64

Tabla 6.13. Parámetros de cálculo para el método del hidrograma unitario de Clark

Hidrograma Unitario Clark							
Cuenca	1	4	6	10	11	14	15
T <sub>c</sub> (horas)	0,92	0,83	0,57	0,70	0,65	0,70	0,87
K (horas)	0,83	0,75	0,58	0,67	0,63	0,67	0,78

Tabla 6.14. Parámetros de cálculo para el método del hidrograma unitario del SCS (NRCS)

Hidrograma Unitario SCS (NRCS)										
Cuenca	2	3	5	7	8	9	12	13	16	17
T <sub>lag</sub> (min)	18,70	24,39	26,79	23,77	27,84	18,74	23,60	28,21	124,18	25,17

Tabla 6.15. Parámetros hidráulicos para el río Retobo hasta confluencia con el río Cabriales. Foto en urbanización La Campiña

Foto Sección Transversal	Parámetro	Valor
	L(m):	3674,54
	S(m/m):	0,0068
	n:	0,030
	Forma	Trapezoidal
	B(m):	12
	Pendiente de la Margen	1:3

Tabla 6.16. Parámetros hidráulicos para el río Cabriales hasta confluencia con el río Retobo. Foto en barrio Gonzáles Plaza


Foto Sección Transversal	Parámetro	Valor
	L(m):	3245,63
	S(m/m):	0,0077
	n:	0,043
	Forma	Trapezoidal
	B(m):	6
	Pendiente de la Margen	1:3

Tabla 6.17. Parámetros hidráulicos para el río Cabriales entre confluencia y av. Valencia. Foto en puente Los Guayabitos


Foto Sección Transversal	Parámetro	Valor
	L(m):	1526,79
	S(m/m):	0,0033
	n:	0,043
	Forma	Trapezoidal
	B(m):	8
	Pendiente de la Margen	1:3

Tabla 6.18. Parámetros hidráulicos para el río Cabriales entre av. Valencia y av. Salvador Feo La Cruz. Foto en puente Av. Valencia


Foto Sección Transversal	Parámetro	Valor
	L(m):	4705,25
	S(m/m):	0,0053
	n:	0,043
	Forma	Trapezoidal
	B(m):	12
	Pendiente de la Margen	1:3

Tabla 6.19. Parámetros hidráulicos para el río Cabriales entre av. Salvador Feo La Cruz y distribuidor El Trigal. Foto a 200 m aguas arriba del distribuidor El Trigal

Foto Sección Transversal	Parámetro	Valor
	L(m):	3480,87
	S(m/m):	0,0029
	n:	0,043
	Forma	Trapezoidal
	B(m):	12
	Pendiente de la Margen	1:4

Tabla 6.20. Parámetros hidráulicos para el río Cabriales entre av. Puente El Trigo y distribuidor Las Chimeneas. Foto en distribuidor El Trigo


Foto Sección Transversal	Parámetro	Valor
	L(m):	1025,00
	S(m/m):	0,0018
	n:	0,040
	Forma	Trapezoidal
	B(m):	12
	Pendiente de la Margen	1:4

Tabla 6.21. Parámetros hidráulicos para el río Cabriales entre distribuidor Las Chimeneas y desparramadero El Paito. Foto en puente Boca de Río


Foto Sección Transversal	Parámetro	Valor
	L(m):	15083,00
	S(m/m):	0,0021
	n:	0,040
	Forma	Trapezoidal
	B(m):	12
	Pendiente de la Margen	1:4

Tabla 6.22. Caudales picos, Tiempos al Pico y Volúmenes Generados para la Tormenta de Tipo Avanzada y Distintos Períodos de Retorno en Confluencia del río Retobo y Cabriales

T (años)	Tp (h)	Caudal (m3/s)	Volumen (MM3)
2,33	7,17	42,00	510,00
5	7,08	95,30	948,20
10	7,00	177,10	1580,10
25	7,00	272,00	2352,70
50	6,92	361,40	2951,90
100	6,92	450,30	3601,20

Tabla 6.23. Caudales picos, Tiempos al Pico y Volúmenes Generados para la Tormenta de Tipo Avanzada y Distintos Períodos de Retorno en Av. Valencia

T (años)	Tp (h)	Caudal (m3/s)	Volumen (MM3)
2,33	7,17	48,60	638,00
5	7,08	109,60	1157,80
10	7,00	198,00	1857,60
25	7,00	313,80	2803,20
50	6,92	413,50	3496,90
100	6,92	514,30	4250,40

Tabla 6.24. Caudales picos, Tiempos al Pico y Volúmenes Generados para la Tormenta de Tipo Avanzada y Distintos Periodos de Retorno en Av. Salvador Feo La Cruz

T (años)	Tp (h)	Caudal (m3/s)	Volumen (MM3)
2,33	7,17	71,50	911,40
5	7,25	143,10	1600,00
10	7,17	252,30	2538,30
25	7,17	399,20	3792,60
50	7,17	528,00	4712,80
100	7,08	647,50	5698,00

Tabla 6.25. Caudales picos, Tiempos al Pico y Volúmenes Generados para la Tormenta de Tipo Avanzada y Distintos Periodos de Retorno en Distribuidor El Trigal

T (años)	Tp (h)	Caudal (m3/s)	Volumen (MM3)
2,33	76,10	76,10	1084,00
5	157,10	157,10	1906,50
10	275,10	275,10	2991,20
25	435,10	435,10	4434,20
50	563,80	563,80	5479,30
100	699,10	699,00	6602,90

Tabla 6.26. Caudales Picos, Tiempos al Pico y Volúmenes Generados para la Tormenta de Tipo Avanzada y Distintos Periodos de Retorno en Distribuidor Las Chimeneas

T (años)	Tp (h)	Caudal (m3/s)	Volumen (MM3)
2,33	7,58	80,60	1236,80
5	7,42	167,10	2160,30
10	7,33	291,30	3373,00
25	7,33	466,20	4985,10
50	7,17	603,40	6154,80
100	7,17	750,00	7397,90

Tabla 6.27. Caudales picos, Tiempos al Pico y Volúmenes Generados para la Tormenta de Tipo Avanzada y Distintos Periodos de Retorno en desparramadero El Paito

T (años)	Tp (h)	Caudal (m3/s)	Volumen (MM3)
2,33	111,70	111,70	1926,50
5	226,70	226,70	3198,00
10	375,50	375,80	4821,00
25	571,10	571,10	6390,40
50	722,70	722,70	8446,60
100	876,80	876,80	10013,50

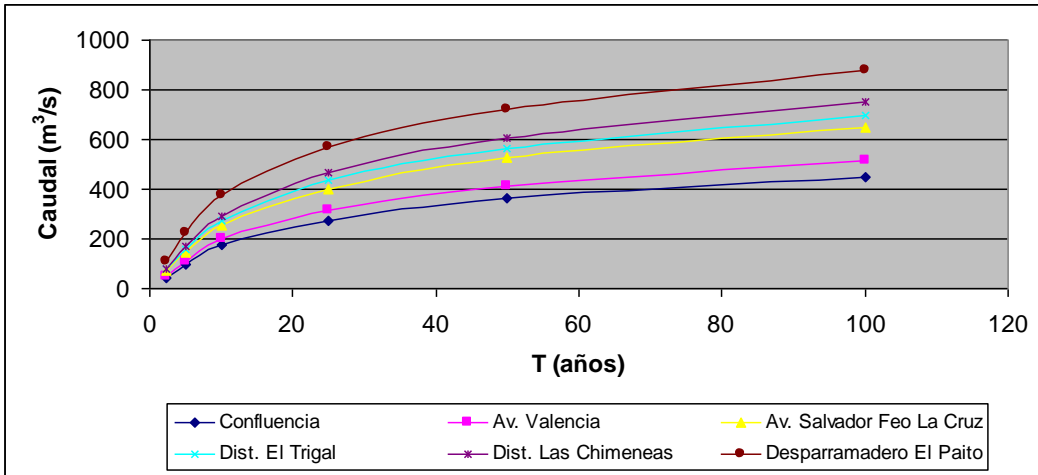


Figura 6.21. Caudales Picos en Función del Período de Retorno para la tormenta de tipo avanzada

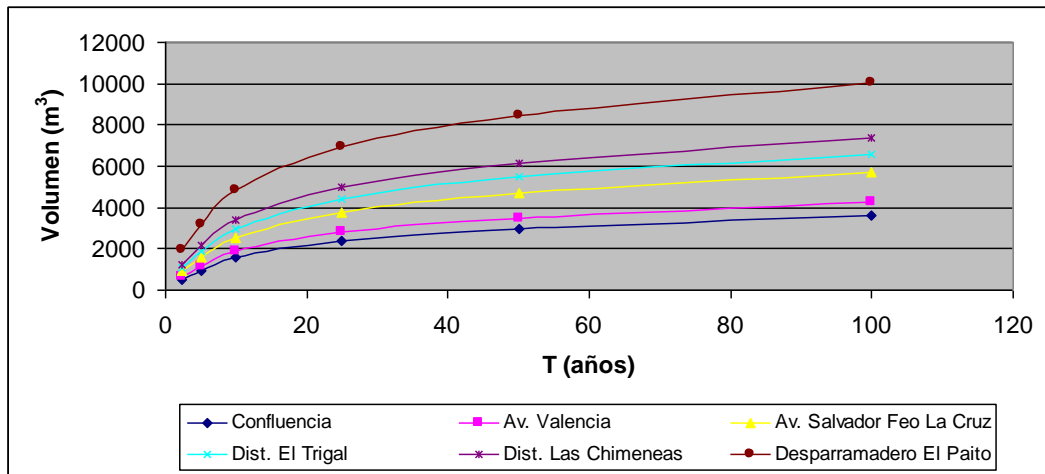


Figura 6.22. Volúmenes Máximos en Función del Período de Retorno para la tormenta de tipo avanzada

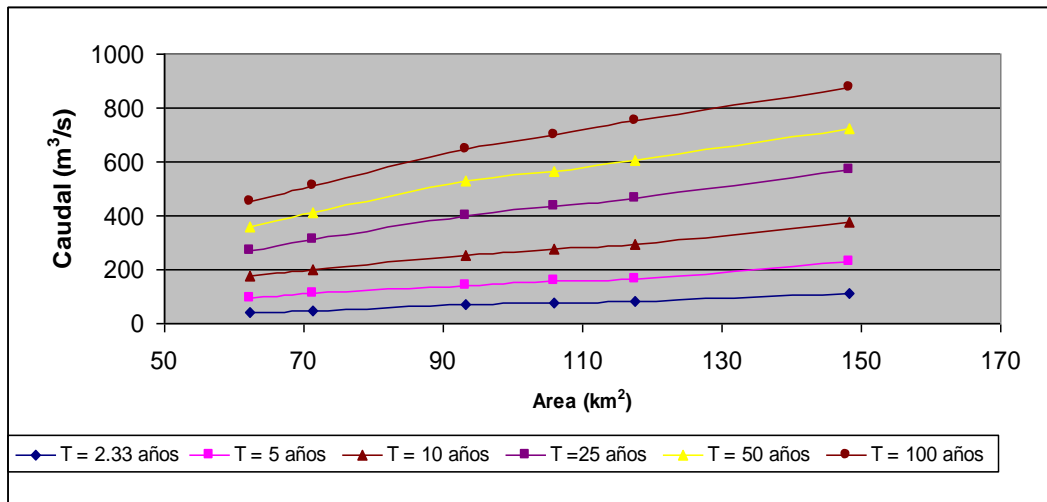


Figura 6.23. Caudales Picos en Función del Área de Drenaje para la tormenta de tipo avanzada

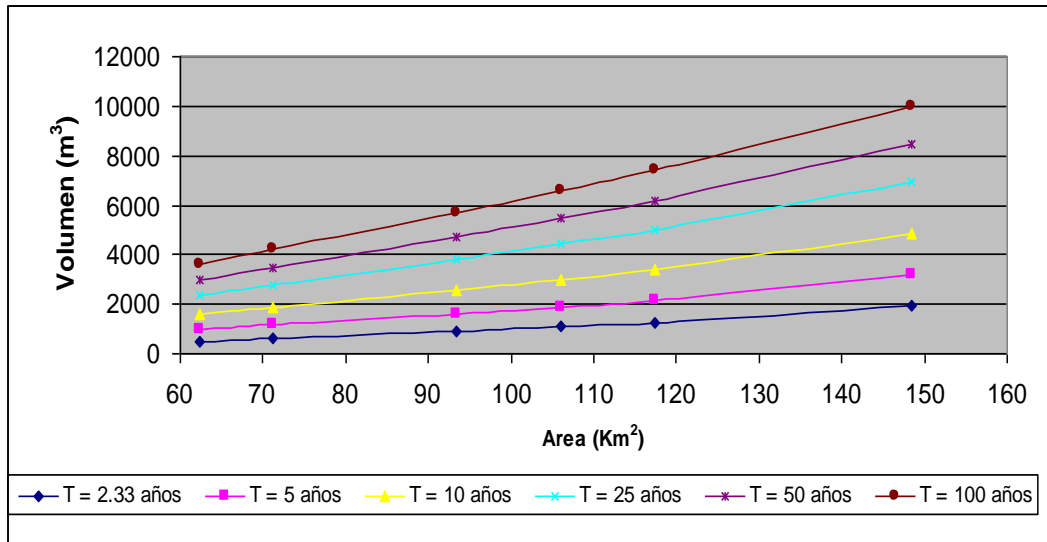


Figura 6.24. Volúmenes Máximos en Función del Área de Drenaje

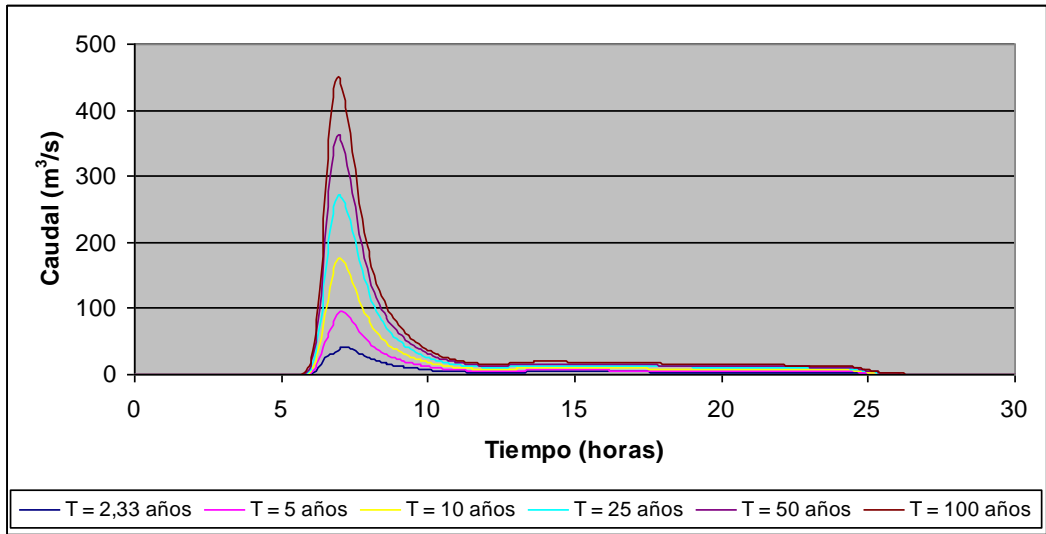


Figura 6.25. Hidrogramas de Crecidas para Distintos Períodos de Retorno en Confluencia del río Retobo y Cabrales

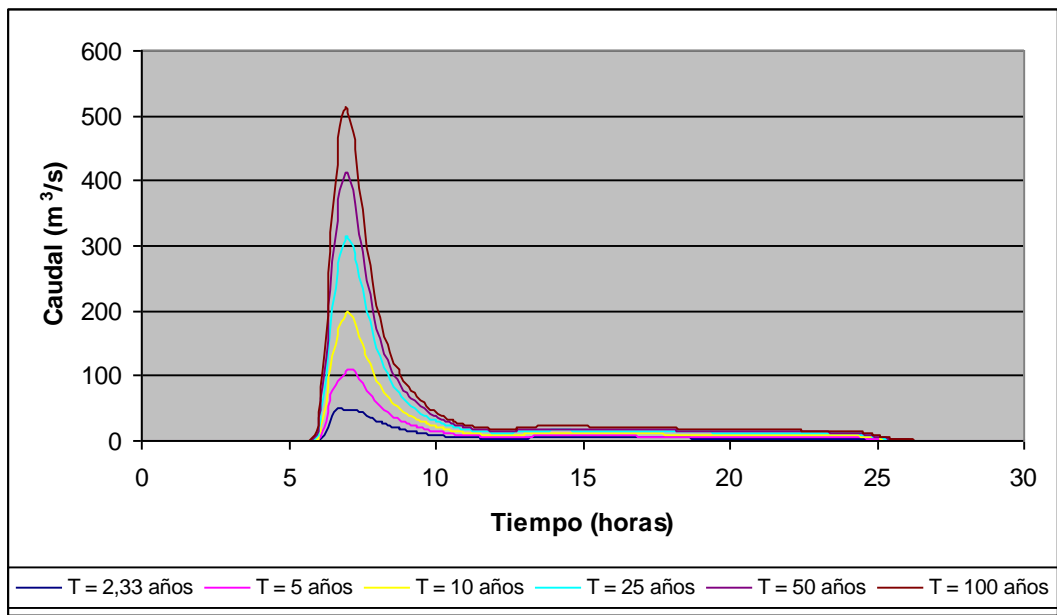


Figura 6.26. Hidrogramas de Crecidas para Distintos Períodos de Retorno en Av. Valencia

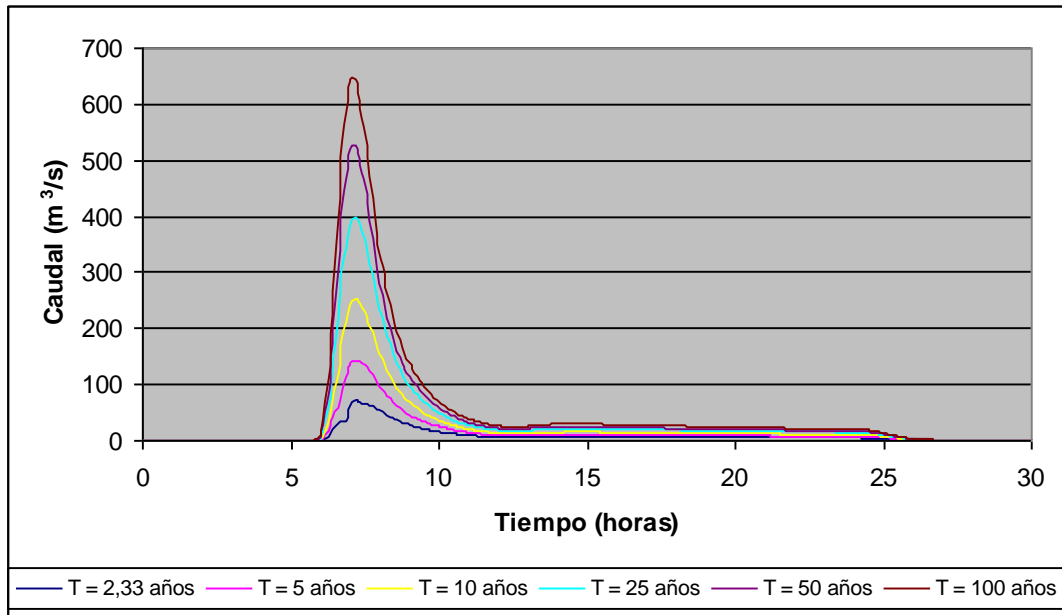


Figura 6.27. Hidrogramas de Crecidas para Distintos Períodos de Retorno en Av. Salvador Feo La Cruz

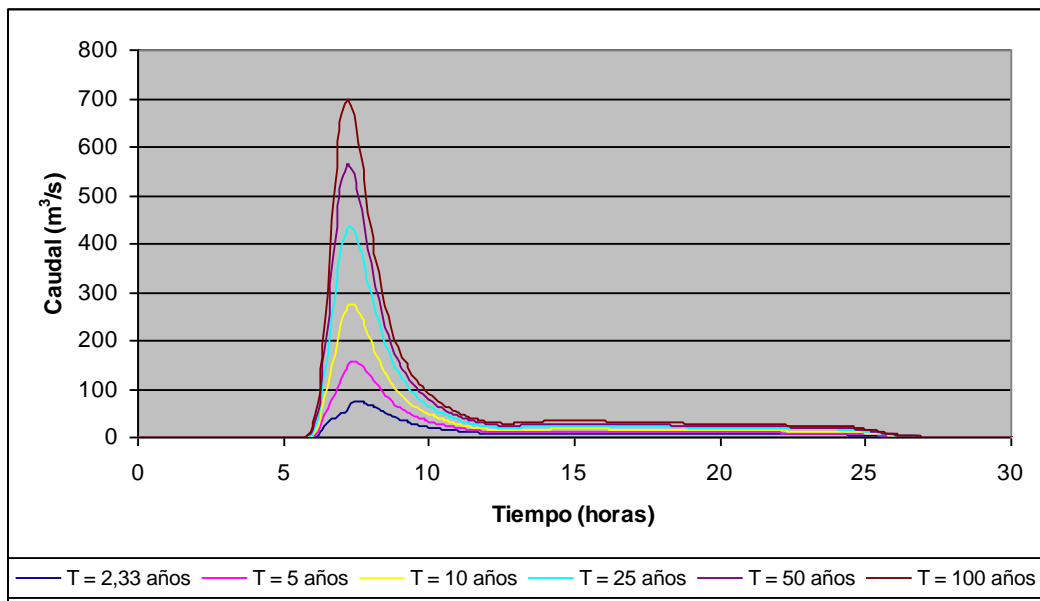


Figura 6.28. Hidrogramas de Crecidas para Distintos Períodos de Retorno en Distribuidor El Trigal

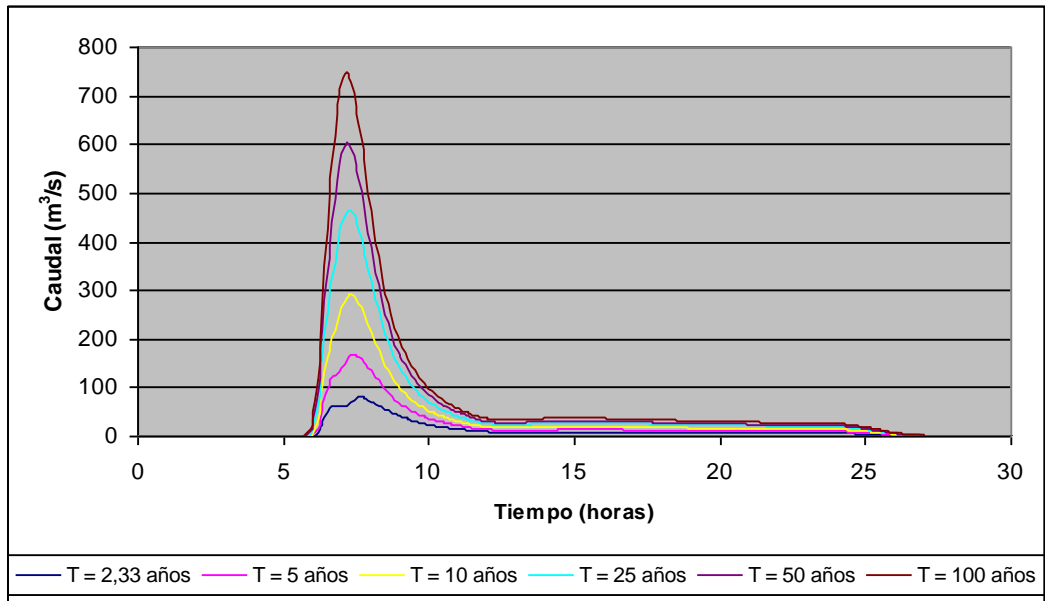


Figura 6.29. Hidrogramas de Crecidas para Distintos Períodos de Retorno en Distribuidor Las Chimeneas

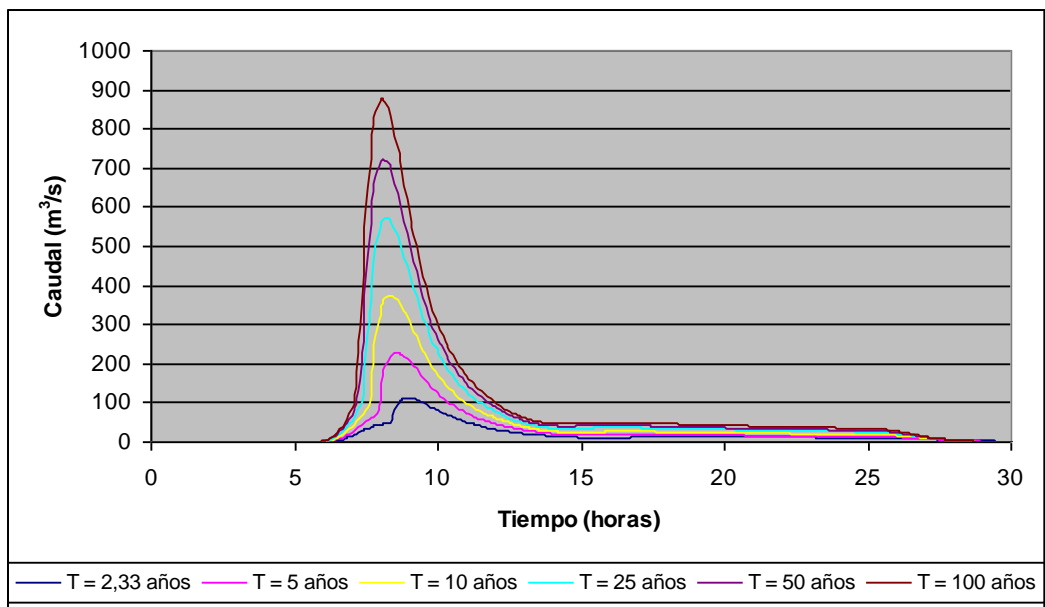


Figura 6.30. Hidrogramas de Crecidas para Distintos Períodos de Retorno en Desparramadero El Paito

### 6.5. Análisis de los Resultados

La cantidad de data de la precipitación máxima anual para diferentes estaciones pluviométricas está en un rango de 20 a 60 valores por cada duración. La longitud

mínima de los registros requeridos para estimar inundaciones se presenta en la Tabla 6.28, según Linsley, et al (1975).

Tabla 6.28. Longitud mínima de los registros pluviométricos para estimar inundaciones con un nivel de confianza del 95%

Probabilidad de Diseño	Error Aceptable	
	10%	25%
0,10	90	18
0,02	110	39
0,01	115	48

En función de la Tabla 6.28 se tuvo que proceder a eliminar del análisis la probabilidad de 500 años de período de retorno, pues las extrapolaciones más allá de 100 años de período de retorno son muy riesgosas.

Los parámetros morfométricos presentados en el capítulo 5, dan a conocer una tendencia sobre la respuesta de la cuenca a tormentas que en ella se registran. Estas características se ven reflejadas en los caudales máximos estimados en esta investigación, lo cual, se mantienen con una diferencia de 40 % para el caso de  $T = 2$  años, y de 20 % para los demás períodos de retorno, ente los caudales máximos desde la confluencia del río Retobo y río Cabriales hasta el desparramadero El Paito. Como referencia, la progresiva del cauce del río Cabriales hasta la confluencia es de 10,50 Km y desde ese punto hasta el final es de 26,82 Km.

Los resultados de los caudales se corresponden con un tipo de cuenca dendrítica, tal como lo es la del río Cabriales. Los efectos de atenuación se manifiestan sin verse afectado los volúmenes de escurrimiento, que más bien, aumentan a medida que continúa avanzando el flujo por el cauce.

El método de tránsito de la creciente efectuado en esta investigación fue el de Muskingum – Cunge; el cual es una aproximación de la solución de la onda difusiva, que involucra variables geométricas e hidrogramas estimados en pasos previos con métodos de transformación de lluvia en escorrentía. El efecto de este método se ve reflejado sensiblemente en los tramos 5 y 6, en donde el hidrograma es atenuado.

## CAPITULO VII

### VALIDACION DEL SISTEMA HIDROLOGICO

Para validar las variables propuestas del sistema hidrológico, se utilizan los datos de dos tormentas: la primera ocurrida en 1986; y la segunda en el año 2008; para ésta última se genera la mancha de inundación ya que está ampliamente documentada.

La tormenta del año 2008 fue registrada en el pluviógrafo de la estación Guaparo (antigua estación Gran Ferrocarril de Valencia), habiéndose obtenido una lluvia total de 64,20 mm en una duración de 8 horas. Es posible que este valor no sea el máximo, ya que hubo sitios donde los daños fueron mayores, pero no se dispone de registros de esta tormenta en otras estaciones que se ubican dentro de la cuenca.

La tormenta del año 1986 tuvo una duración de 9 horas y la lluvia total fue medida en varias estaciones pluviométricas.

#### 7.1. Característica Pluviométrica de la Tormenta del 22-10-2008

La tormenta ocurrida el día 22-10-2008, fue registrada en la estación pluviográfica Guaparo del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente y en la estación climatológica de la Fuerza Armada Bolivariana ubicada en el aeropuerto Arturo Michelena. La primera ubicada en el centro de la cuenca y la segunda al sur de la cuenca fuera del perímetro de la misma. Adicionalmente, se puede constatar por testimonios de los vecinos y reportes de los organismos públicos que hubo

precipitaciones en la zona norte de la cuenca, tales como Bárbula, La Entrada, y otras. En la Figura 7.1 se muestra el hietograma de la tormenta en la estación Guaparo.

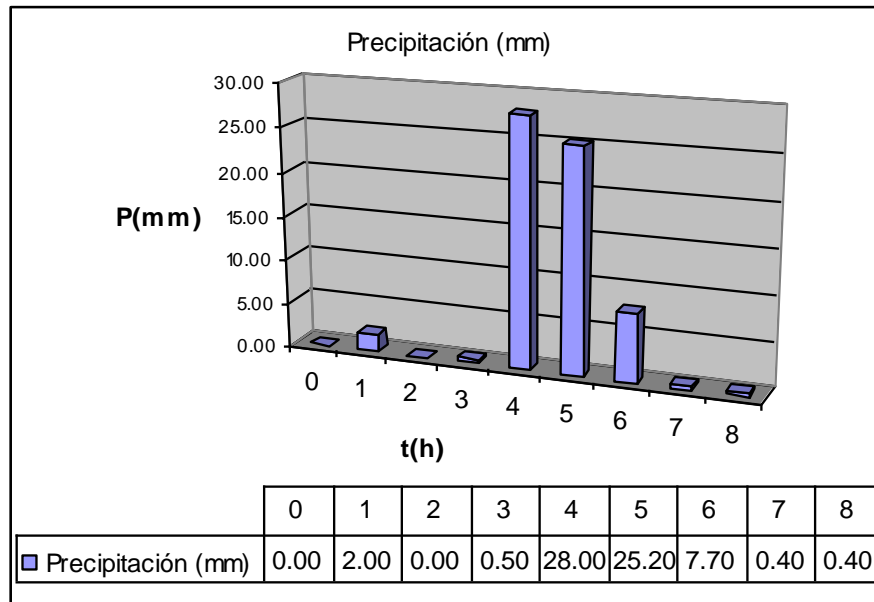


Figura 7.1. Hietograma de la tormenta del 22-10-2008 registrada en la estación Guaparo

## 7.2. Característica Pluviométrica de la Tormenta del 12-05-1986

La tormenta del día 12-05-1986 tuvo una duración de 9 horas y su precipitación total fue medida en varias estaciones del antiguo Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. Causó inundaciones en el Municipio Naguanagua y Valencia. Entre las zonas afectadas están La Entrada, Las Quintas de Naguanagua, Barrio Mañonguito y Centro de Valencia. La tormenta abarcó toda la cuenca, moviéndose desde el sur y teniendo su centro en la estación Bárbula. En la Tabla 7.1 se muestran las alturas totales de precipitación.

En la Figura 7.2 se presenta la mancha de inundación aproximada que generó el mencionado Ministerio para la tormenta del 12-05-1986.

Tabla 7.1. Alturas totales de precipitación de la tormenta del 12-05-1986 en la cuenca del río Cabriales para una duración de 9 horas

Estaciones Pluviométricas	Serial de la Estación	Precipitación (mm)
Agua Blanca	0489	35,70
Bárbula	1309	125,50
Cachinche	2318	61,20
Guacara	0452	67,90
Las Dos Bocas	0491	94,20
Los Aguacates	1395	70,40
Rancho Grande	0426	55,30
Santa Rita	0430	44,10
San Diego	0451	102,70
Valencia Ferrocarril	0461	40,40
Valencia San Luis	1387	62,40

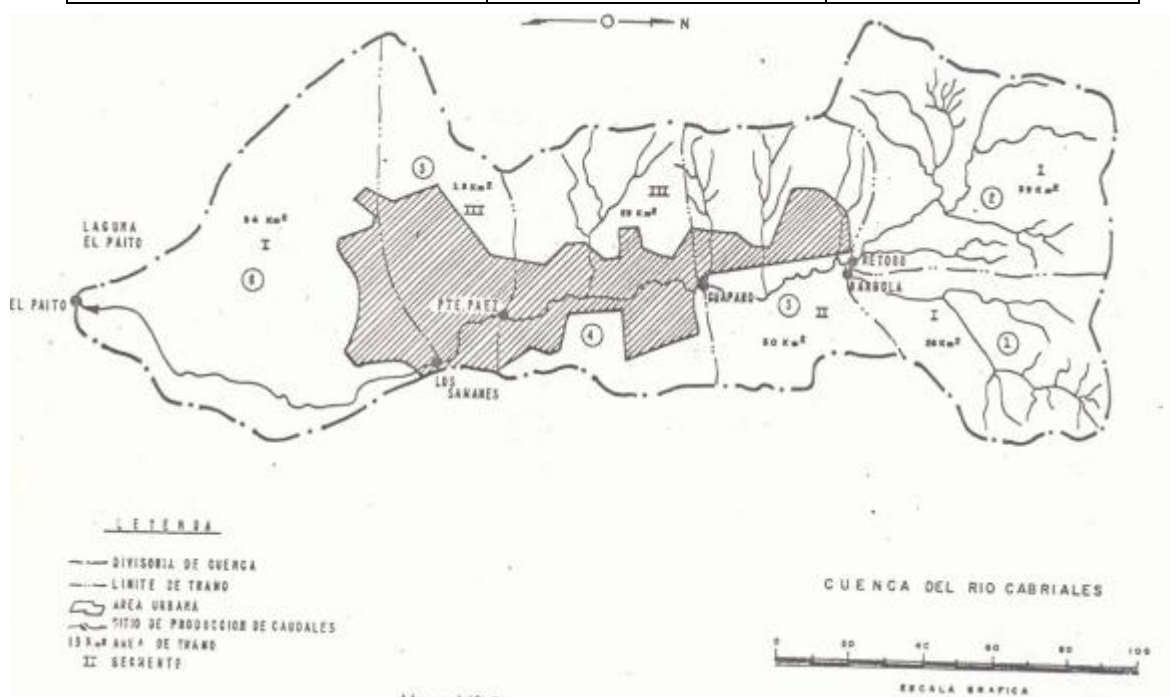


Figura 7.2. Mancha de Inundación producto de la tormenta del 12-05-1986 en la cuenca del río Cabriales. (Rivero, 1986)

### 7.3. Similitud Hidrológica de las Tormentas del 12-05-1986 y 22-10-2008

En cuanto a la distribución espacial, la información disponible hace suponer que ambas tormentas se extendieron en toda la cuenca la cuenca, trasladándose de sur a norte, teniendo el centro en la zona de Bárbula y La Entrada, es decir, en la Serranía del Interior de la Cordillera de la Costa.

En cuanto a la variación temporal, la duración registrada de la tormenta del 12-05-1986 fue de 9 horas, mientras que la del 22-10-2008 fue de 8 horas, tal como se aprecia en el hietograma de la Figura 7.1.

Las zonas inundadas por ambas tormentas y los daños ocasionados, tanto en pérdidas materiales y personas son similares. La altura alcanzada por los desbordamientos de la tormenta del 12-05-1986 en la Urbanización Los Guayabitos fue de 0,85 m, en la Urbanización El Recreo de 1,97 m y en el Barrio Mañonguito de 1,20 m. La altura para la tormenta del 22-10-2008 en la Urbanización Las Quintas fue 0,90 m, en la Urbanización El Recreo de 1,10 m y en el Barrio Mañonguito de 1,00 m.

Sobre la base de esas consideraciones, se infiere que ambas tormentas muestran un comportamiento hidrológico homogéneo y sus características son similares. Por tanto, se pueden utilizar la precipitación total de la tormenta de 1986 para estimar el correspondiente de la tormenta del día 22-10-2008.

### 7.4. Estimación de la Tormenta Media Areal del día 22-10-2008

La estación climatológica del aeropuerto Arturo Michelena está fuera del perímetro de la cuenca, la distribución temporal de la tormenta es similar a la de la estación pluviométrica de Guaparo por lo que en este análisis se toma en cuenta solamente esta última.

Para estimar la tormenta media areal ocurrida el 22 de Octubre del año 2008, se utilizó el siguiente procedimiento:

1. En primer lugar se calculó la curva de masa del hietograma histórico del día 22-10-2008, considerando para el análisis solamente los valores desde la tercera hasta la octava hora. En la Figura 7.3 se presenta el hietograma de dicha lluvia, la curva de masa en la Tabla 7.2 y en forma gráfica en la Figura 7.4.

Tabla 7.2. Curva de mama de la precipitación de la tormenta del 22-10-2008 en la estación Guaparo

t(min)	P(mm)
5	0.00
15	0.00
60	0.50
120	28.50
180	53.70
360	62.20

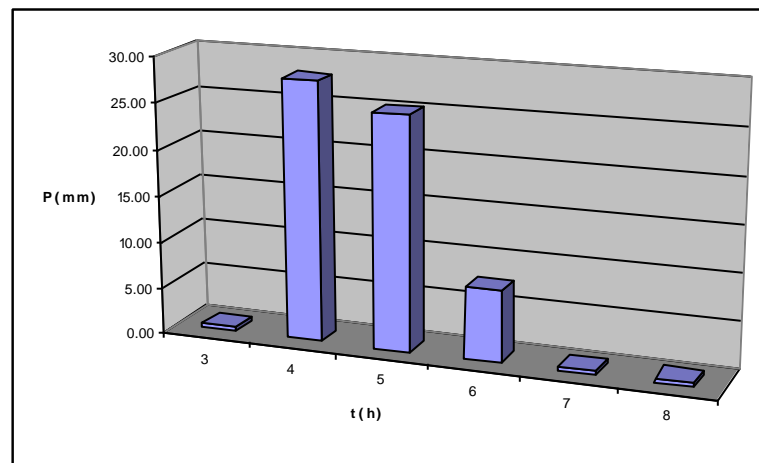


Figura 7.3. Hietograma de la tormenta del 22-10-2008 registrada en la estación Guaparo para 6 horas de duración

2. En segundo lugar, se tomó las observaciones pluviométricas de la tormenta de 1986 para recrear la tormenta en la cuenca. Para esto se calculó la proporción entre la altura total de precipitación de las estaciones índices y

la estación Guaparo para la tormenta del 12-05-1986. Cabe destacar que la estación Guaparo no existía para 1986, en tal sentido su magnitud para esa tormenta fue estimada mediante la metodología del dato faltante en función de la ubicación geográfica de las estaciones índices incluyendo la estación GFV. Las estaciones índices se escogieron en función de la influencia hidrológica en la cuenca según la metodología de los polígonos de Thiessen utilizada en el capítulo Hidrología. Las estaciones índices, sus valores de lluvia total y la proporción se muestran en la Tabla 7.3.

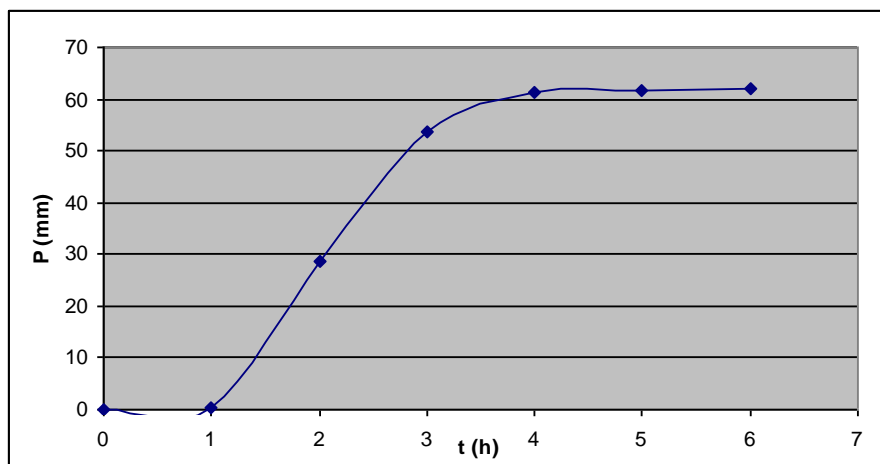


Figura 7.4. Curva de masa de la tormenta del 22-10-2008 registrada en la estación Guaparo para 6 horas de duración

Tabla 7.3. Proporciones de las estaciones índices respecto a la estación Guaparo para la tormenta del 12-05-1986 y precipitaciones totales de las estaciones índices usando la proporción estimada, con respecto a la lluvia del 22-10-2008

Estación	Precipitación (mm)	Proporción	Precipitación (mm)
Bárbula	125,50	1,79	111,37
San Diego	102,70	1,47	91,14
Guaparo	70,09	1,00	62,20
Valencia San Luis	62,40	0,58	35,85

3. En tercer lugar, se graficaron los valores totales de lluvia de la Tabla 7.3 conjuntamente con la curva de masa de la tormenta del 22-10-2008 a fin de estimar las curvas de masa de cada estación y por último los hietogramas de los mismos. En la Figura 7.5 se muestra dichas curvas de masa y en la Tabla 7.4 los hietograma derivados.

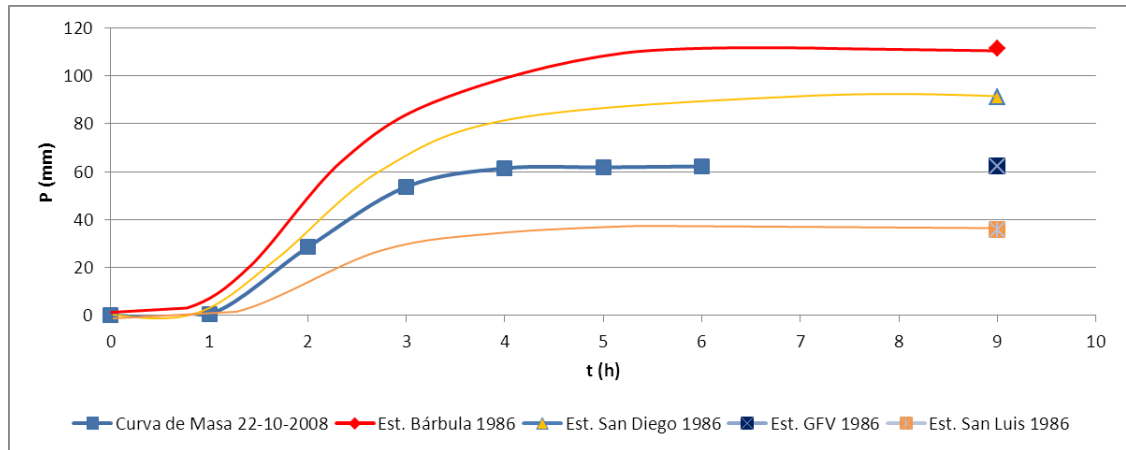


Figura 7.5. Curva de masa de la tormenta del 22-10-2008 y las curvas de masa de las estaciones índices en función del valor de la precipitación total del día 12-05-1986

Tabla 7.4. Hietogramas derivados para las estaciones índices y Guaparo

t(min)	Precipitación Acumuladas (mm)			
	Guaparo	San Diego	San Luis	Bárbula
5	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00
60	0,50	0,73	0,29	0,90
120	28,50	41,76	16,43	51,03
180	53,70	78,68	30,95	96,15
360	61,40	89,97	35,39	109,94

4. Por último se estimó el hietograma de la tormenta del 22-10-2008, escogiendo como centro de precipitación la estación de Bárbula en primer

lugar y en segundo lugar, aplicando el factor de reducción por área extraído de la Figura 6.4, la cual arroja un valor de 0,890 para una lluvia de 9 horas de duración y área de la cuenca de 93,30 km<sup>2</sup>, previamente calculado. En la Tabla 7.5 se muestra el hietograma medio areal estimado del día 22-10-2008.

Tabla 7.5. Hietograma medio areal y acumulado de la tormenta del 22-10-2008 para un área de 93,30 km<sup>2</sup>

t (min)	P(mm)	P. Acumulado (mm)
0	0,00	0,00
15	0,00	0,00
60	0,80	0,80
120	44,62	45,42
180	40,16	85,58
360	12,27	97,85

#### 7.5. Determinación del Período de Retorno de la Tormenta Media Areal del 22-10-2008

El período de retorno de la tormenta se determina usando el análisis de frecuencia de los datos de las estaciones que influyen de manera hidrológica en la cuenca del río Cabriales, analizada en el capítulo anterior para duraciones superiores a 15 minutos. Para calcular los valores de precipitación de 5 minutos se usa el modelo de Sherman igualmente desarrollado en el capítulo 5. En la Tabla 7.6 se muestran los valores de la curva de masa media de la cuenca para diferentes períodos de retorno respectivamente.

Se debe enfatizar que debido a los datos disponibles, la estimación de la tormenta media del día 22-10-2008 se realizó en base a 4 estaciones, a diferencia como se

procedió para los cálculos medios de precipitación sobre la cuenca que fue estimada en base a siete estaciones. Como una manera de visualización de estas estimaciones y como referencia, se muestra en la Tabla 7.7 la precipitación de la tormenta histórica. En consecuencia, podemos señalar que los resultados obtenidos en el desarrollo de este capítulo son válidos y al mismo tiempo inferir que la tormenta del 22-10-2008 tiene un período de retorno de 20 años aproximadamente.

Tabla 7.6. Curvas de masa media para diferencia periodos de retorno

t(min)	Precipitaciones Acumuladas (mm)			
	T = 10	T = 20	T = 25	T = 50
5	17,26	20,08	21,09	24,54
15	37,38	43,50	45,68	53,17
60	69,85	80,37	83,76	94,00
120	86,58	100,58	105,28	118,45
180	88,83	102,46	107,17	120,33
360	90,71	103,40	108,11	121,27

Tabla 7.7. Curvas de masa media sobre la cuenca para un período de retorno de 20 años

t(min)	Precipitaciones Acumuladas (mm)
5	0,00
15	0,00
60	0,80
120	45,42
180	85,58
360	97,85

## 7.6. Estimación del Hidrograma de la Tormenta del 22-10-2008 en el tramo de la Evaluación

La estimación del hidrograma se realizó con la metodología descrita en el capítulo anterior, donde la precipitación de entrada es la correspondiente a la mostrada en la Tabla 7.5. No se modificó ninguna de las variables propuestas en la simulación hidrológica. El hidrograma se muestra en la Figura 7.6.

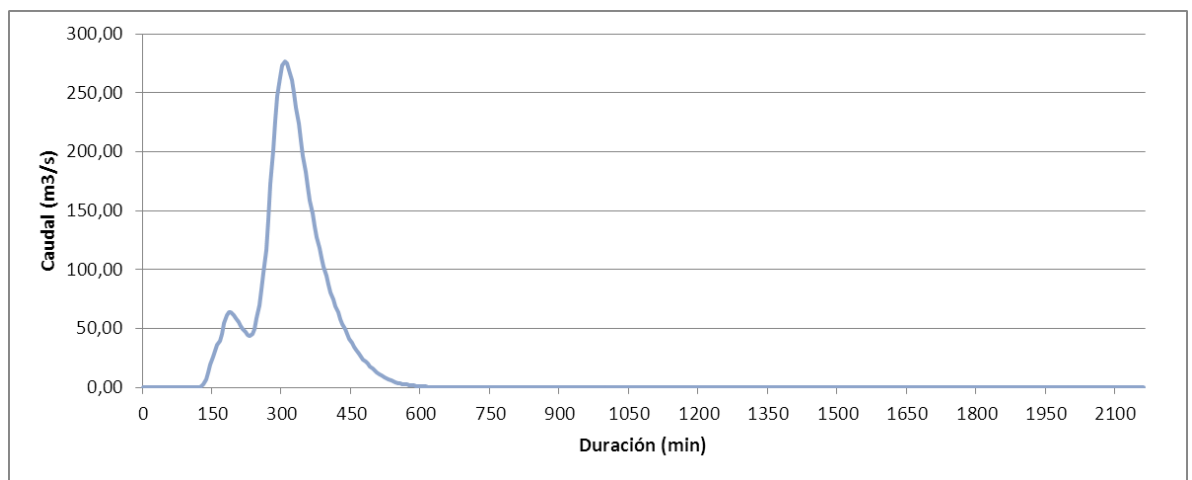


Figura 7.6. Hidrograma estimado para la tormenta del día 22-10-2008

## 7.7. Mancha de Inundación Provocada por el Hidrograma de la Tormenta del día 22-10-2008

La mancha de inundación que provocó la tormenta del año 2008, afectó las zonas adyacentes al desarrollo comercial y de oficinas World Trade Center tales como el parque de diversiones, un colegio, una imprenta, un establecimiento de venta de materiales de la construcción; donde el flujo alcanzó más de 50 centímetros. El club Hogar Hispano fue impactado por los desbordamientos del río Cabriales, sobre todo el área de la piscina y las canchas de tenis. La Urbanización El Recreo y el barrio Mañonguito fueron inundados parcialmente. El club Hermandad Gallega también fue alcanzado por el flujo de desborde del río Cabriales y por último el área detrás del Fórum de Valencia que abarca desde este mismo hasta el

puede de la Avenida San José de Tarbes, que actualmente es un bosque de galería.

La simulación hidráulica contemplando las características de aquella situación se muestra en la Figura 7.7. Se puede apreciar como la mancha de inundación de la tormenta del día 22-10-2008 es muy similar a la obtenida ese día, por lo que se asume que los valores de las variables tomadas para realizar tanto la simulación hidrológica como la hidráulica en el caso unidimensional son adecuados y se toman como válidos para las demás simulaciones dentro de la cuenca. Adicionalmente se utilizó el programa bidimensional FLO 2D para verificar el desbordamiento sucedido con el HEC RAS y también para calibrar el modelo. La diferencia en las manchas de inundación entre los modelos representa menos del 15%, siendo el lugar que marca la diferencia la ubicada en las inmediaciones del Fórum de Valencia. Esto se debe a que en el caso del FLO 2D se pudo incorporar características específicas del flujo. En tal sentido, la mancha obtenida también coincide con lo acontecido el día 22-10-2008 y se presenta en la Figura 7.9.

Cabe destacar que para la fecha de la tormenta en estudio, el puente Galicia no estaba construido. Por tal motivo, se ha creído conveniente realizar la simulación tomando en cuenta dicha obra hidráulica. En la Figura 7.8 se presenta la mancha de inundación considerando el nuevo puente Galicia.

#### 7.8. Análisis de la Influencia de los Puentes en las Manchas de Inundación de la Tormenta del día 22-10-2008 con y sin Puente Galicia.

Los únicos puentes existentes para la fecha en que acaeció la tormenta del 22-10-2008 en el tramo de estudio constituyen elementos que afectan y modifican el desarrollo de la hidráulica fluvial. Las variables a considerar para entender el comportamiento del puente con el flujo de un río son entre otros: la relación entre las fuerzas inerciales y gravitacionales aguas arriba del sitio de puente, el

movimiento o no del material de fondo, la curva de gastos de puente y la arquitectura del puente.

La característica del flujo de aproximación en cada uno de ellos es de tipo subcrítico; con valores del número de Froude de 0.99 en el caso del puente de la Avenida Hispanidad y 0.35 para el Puente El Trigal. En cuanto a la forma de fondo presente, se evidencia que para ambos casos es de tipo Duna, con elementos granulares mayormente arena fina y muy poca grava. La conformación estructural de estos puentes constituye entre otros elementos, de estribos verticales de concreto armado sin pilas, en consecuencia el escurrimiento no tiene obstáculos en el cual puedan producirse socavaciones locales. Por tal sentido, no se presentan una aceleración en el flujo, más bien la altura del tablero de cada puente; la cual se encuentra casi al mismo nivel del terreno, son lo que producen potenciales remansos. Para el caso del puente de la Avenida Hispanidad, este tiene suficiente capacidad para fluir el caudal presente pero y en el caso del Puente El Trigal, este se encuentra ubicado aguas abajo de dos meandros cuya sinuosidad tiene un índice de 1.6 provocando un remanso que posteriormente induce desbordamientos.

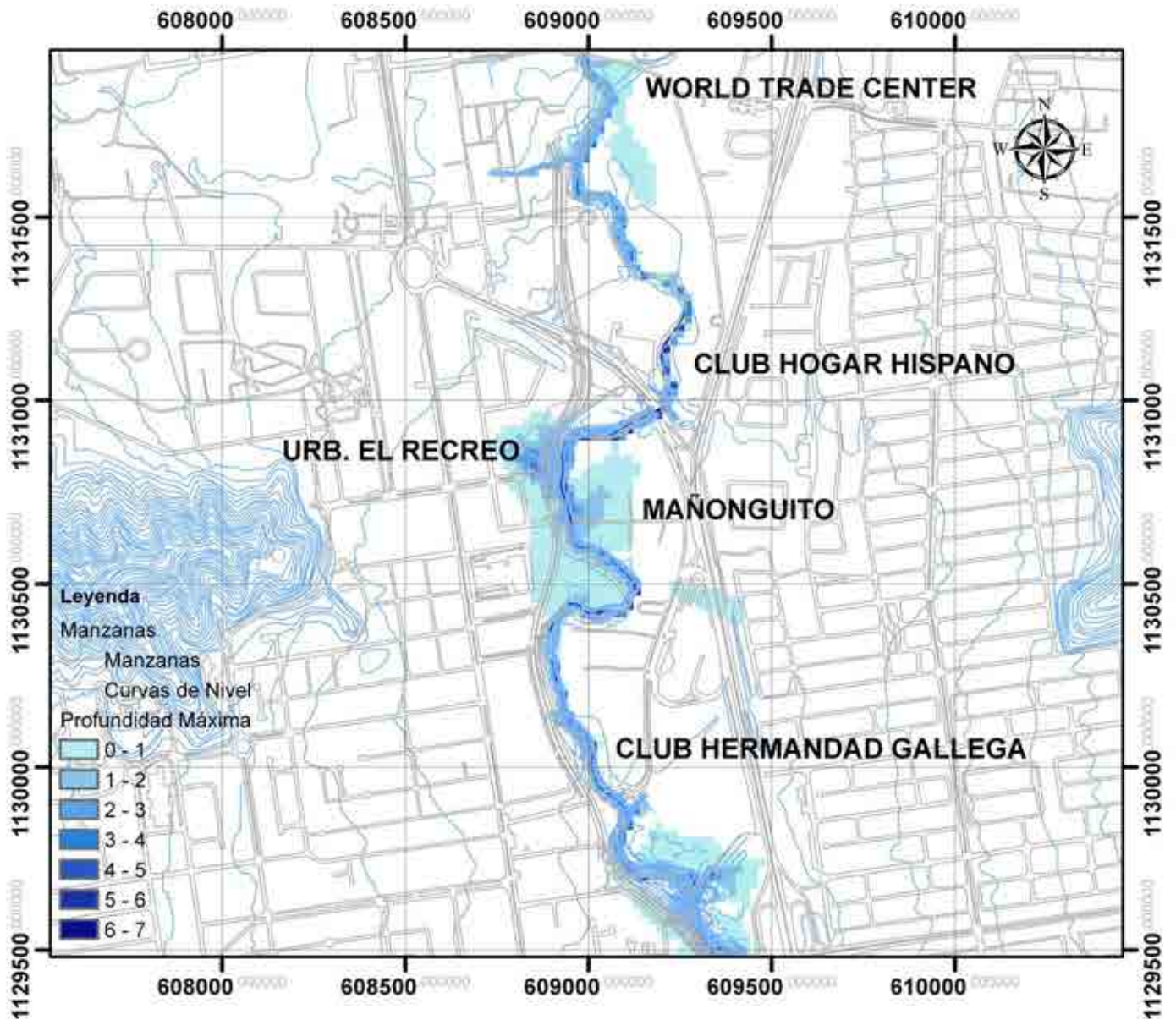


Figura 7.7. Mancha de inundación de la tormenta del día 22-10-2008 obtenida con el HEC RAS

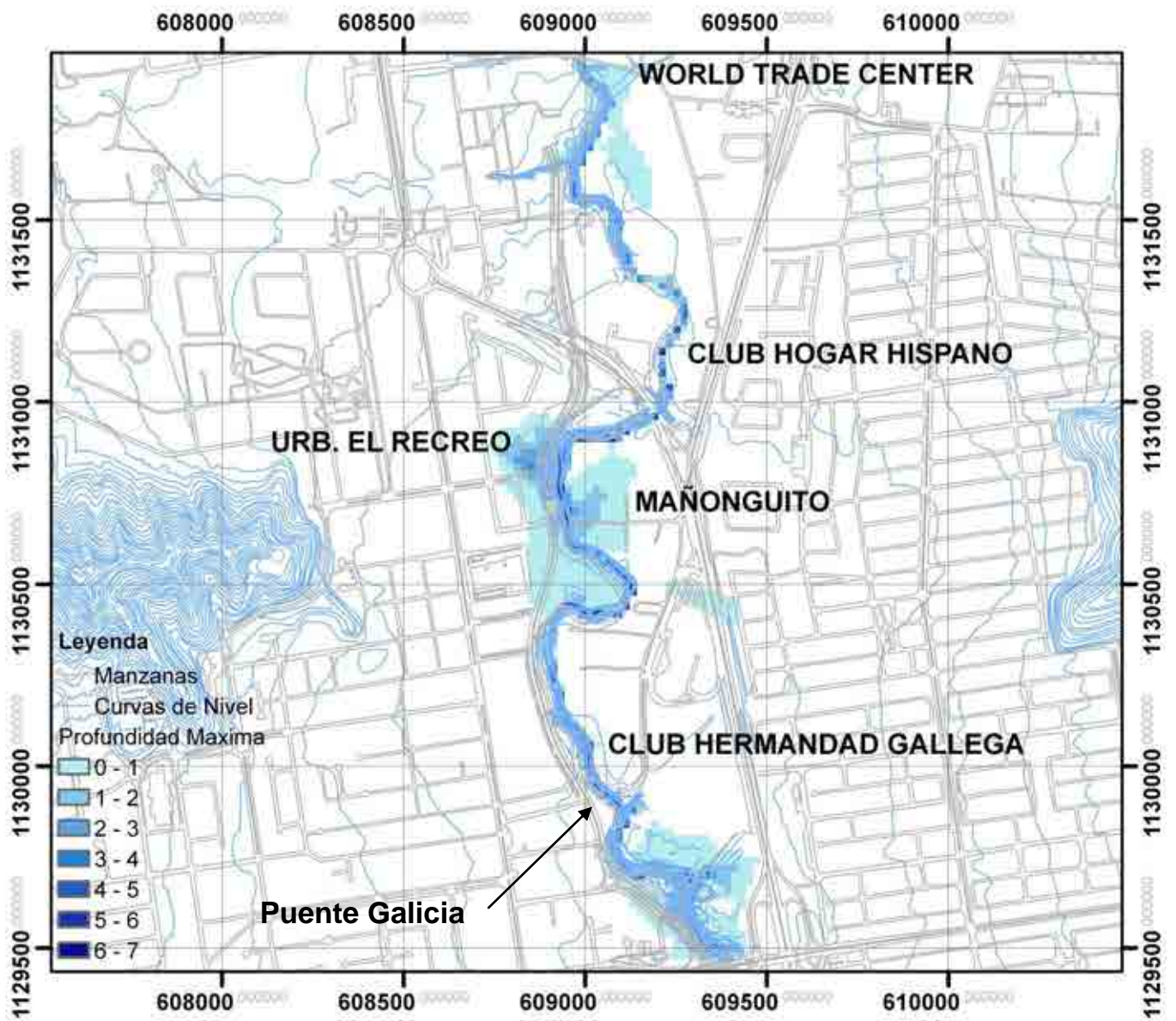


Figura 7.8. Mancha de inundación de la tormenta del día 22-10-2008 obtenida con el HEC RAS considerando el nuevo puente Galicia

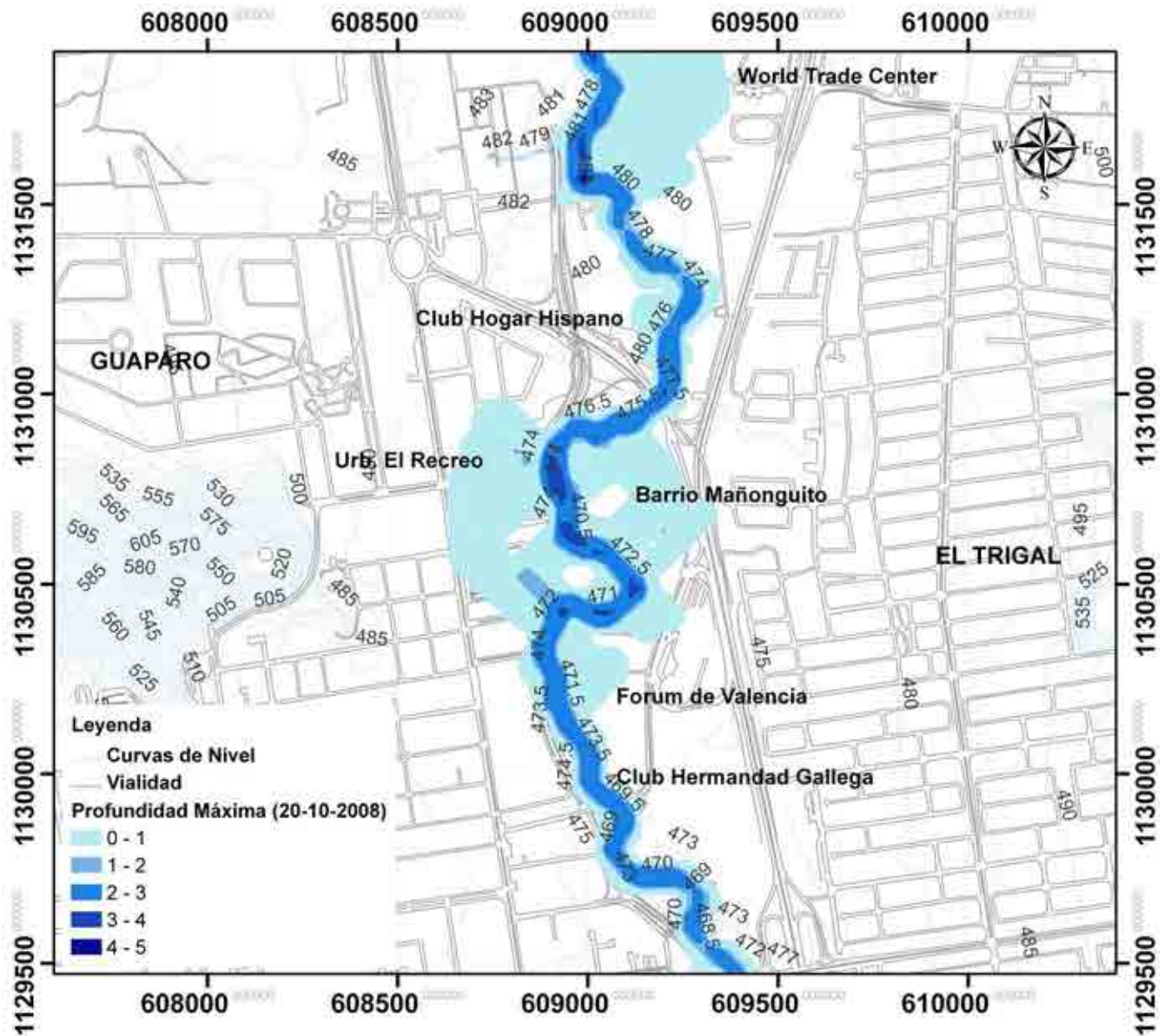


Figura 7.9. Mancha de inundación de la tormenta del día 22-10-2008 obtenida con el FLO 2D

El puente Galicia es una estructura concebida después de la tormenta en análisis, ubicado 750 metros aguas arriba del Puente El Trigal. Estructuralmente consta de estribos de concreto armado sin pilas, similar a los demás puentes del tramo en estudio, pero con un recubrimiento marginal constituido de gaviones, el cual por su propia característica constructiva se incorpora dentro del cauce del río en el fondo del mismo y con rampas de acceso hacia el tablero tal como se muestra en la Figura 7.10. En este tramo, el flujo es subcrítico con movimiento de sedimentos

semejante a los demás puentes. La pendiente longitudinal en este tramo disminuye en un 500%, desacelerándose el flujo, en consecuencia estas características causan un que a pesar que el puente sea geoméricamente similar a los demás, existe un potencial desbordamiento tal como se evidencia en la Figura 7.9.



Figura 7.10. Vista frontal desde aguas abajo del nuevo puente Galicia

## CAPITULO VIII

### SIMULACIONES HIDRAULICAS

El modelaje hidráulico de la creciente de diseño se realizó desde la avenida Salvador Feo La Cruz hasta la avenida San José de Tarbes. Se usan los hidrogramas de crecientes estimados en la hidrología para un período de retorno de 10 años, 100 años así como la topografía digital en escala 1:500 para las curvas de nivel que definen el cauce del río y en escala 1:25.000 para las que definen la planicie inundable. En la Figura 8.1 se muestran tanto las curvas de nivel como la estructura vial actual.

Las comunidades, instituciones, asociaciones civiles, organizaciones sociales, entre otras, que se encuentran aledañas al tramo estudiado del río Cabriales son las siguientes, ubicadas desde aguas arriba hasta aguas abajo: Word Trade Center (Edificio de oficinas y hotel), Colegio Francisco de Miranda, Parque de Diversiones Dunas, Casa Don Bosco, Colegio Los Robles, Club Hogar Hispano, Club Cubano, Urbanización El Recreo, Colegio de Abogados, Barrio Mañonguito, Urbanización Carabobo, Club La Hermandad Gallega, Forum de Valencia, Urbanización La Ceiba, Urbanización el Trigal y Urbanización Chaguaramal.

Las estructuras hidráulicas que se presentan en el recorrido del flujo para el tramo estudiado son: Puente Hispanidad ubicado en la progresiva 1+212, Puente Galicia ubicado en la progresiva 2+812 y por último el Puente Trigal en la 3+500. El primero y el tercero son puentes construidos por el cual la cota de la calzada (tablero) es muy similar a la de la planicie de las márgenes, evitando de esta manera utilizar rampas de acceso y cambios en el alineamiento vertical de la vía. Para el segundo puente, el más reciente y construido en el año 2010, existen dos rampas de acceso hasta el nivel de la calzada del puente, aproximadamente 1,80

metros de diferencia, las cuales pueden constituirse en obstrucciones en el sentido del flujo.

El análisis se conforma con la simulación HEC RAS para generar los mapas de profundidades y luego con el modelo bidimensional FLO 2D para generar tanto mapas de profundidades como el mapa de amenaza descrito anteriormente en la metodología. Adicionalmente se repite el análisis solo para el caso unidimensional con la sección del cauce modificado, tal como fue desarrollado en el proyecto de Canalización y Mejoras del Río Cabriales Tramo: Puente Av. San José de Tarbes – Puente Av. Hispanidad realizado por GFM Ingeniería c.a., donde define una sección transversal del tramo típica canalizada para 50 años de período de retorno, constituido por muro de gaviones en sus márgenes, fondo móvil y barras a lo largo del recorrido. En el Cuadro 8.1 se muestran las dimensiones geométricas de dicha sección y en la Figura 8.1 se presenta la sección transversal en consideración.

En las simulaciones tanto para el caso unidimensional (HEC RAS) como para el caso bidimensional (FLO 2D), el régimen del flujo es gradualmente variado no permanente, lo que introduce en el cálculo la variación de la velocidad con respecto al tiempo. En consecuencia los resultados de los mapas de profundidad (inundación) muestran el caso más desfavorable tanto en la cota de agua como en la velocidad del flujo. Para el caso unidimensional se crean mapas de profundidades máximas y para el caso bidimensional se crea los mapas de profundidades máximas, velocidades máximas, intensidades y la amenaza combinada.

La rugosidad del material se planteó teniendo en cuenta la variación horizontal en cada una de las secciones transversales utilizadas. En el caso del río, se observan dos tipos de superficies bien diferenciadas: el lecho, compuesto de arenas y gravas finas a medias para lo cual se toma un valor de 0.030 y en el caso de las márgenes, cubiertas de vegetación media ( $h < 1,50$  m) para lo cual se tomó un valor promedio de 0.043. Debido que la zona es urbana, las planicies inundables están

constituidas por zonas con baja presencia de vegetación media tipo herbácea, mientras que predominan las estructuras viales y residenciales, por tal motivo se toma un valor del coeficiente de rugosidad de Manning promedio de 0,043 y donde solamente hay presencia de estructuras viales y residenciales el valor promedio es de 0,050. Estas magnitudes se mantienen a lo largo de todas las simulaciones.

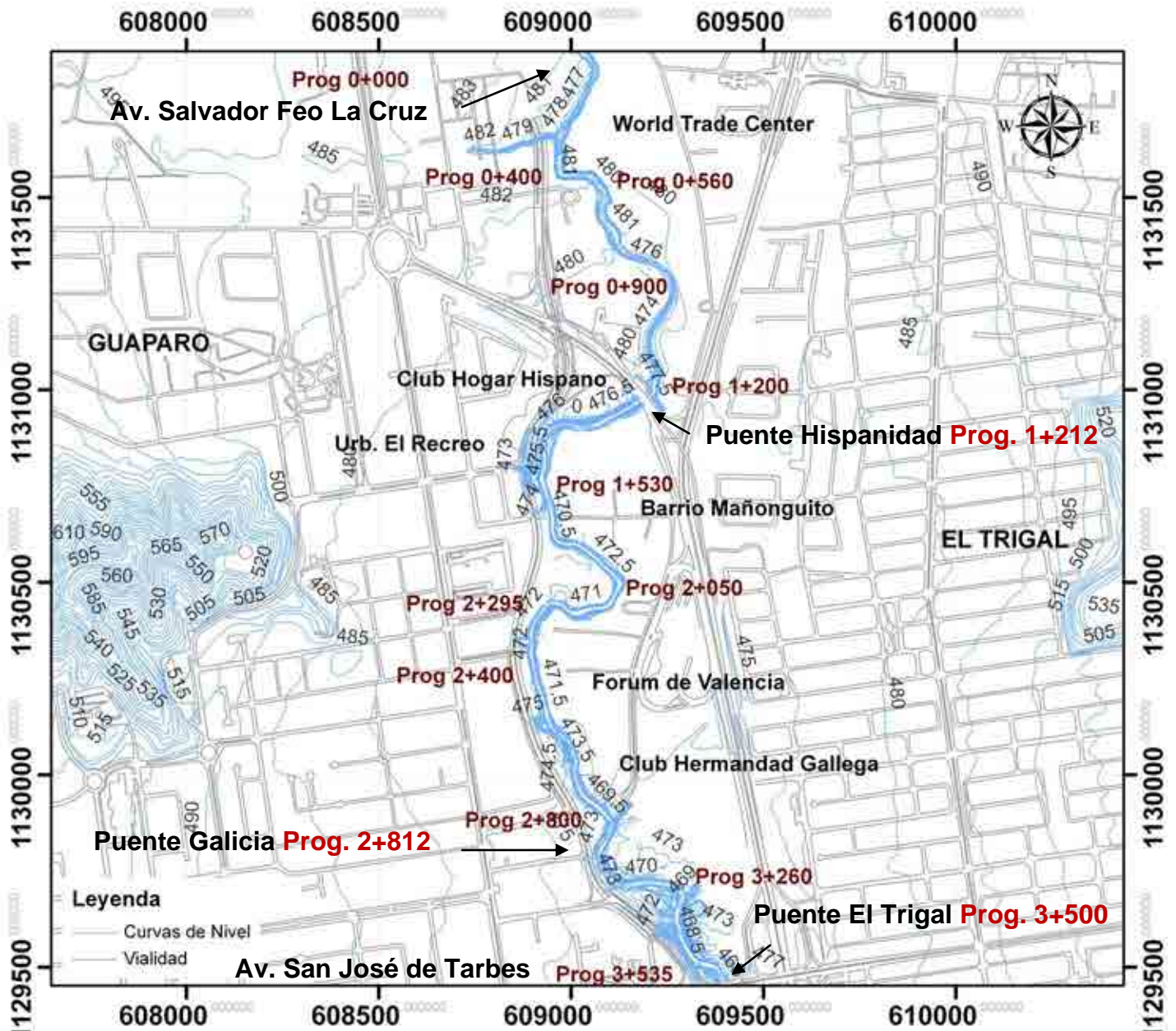


Figura 8.1. Curvas de nivel y calles en el tramo avenida Salvador Feo La Cruz – avenida San José de Tarbes

Cuadro 8.1. Dimensiones de la sección típica

Escalón	1	2	3	4
Altura Escalón	1	1	1	1
Ancho de la Sección	18	19	20	21

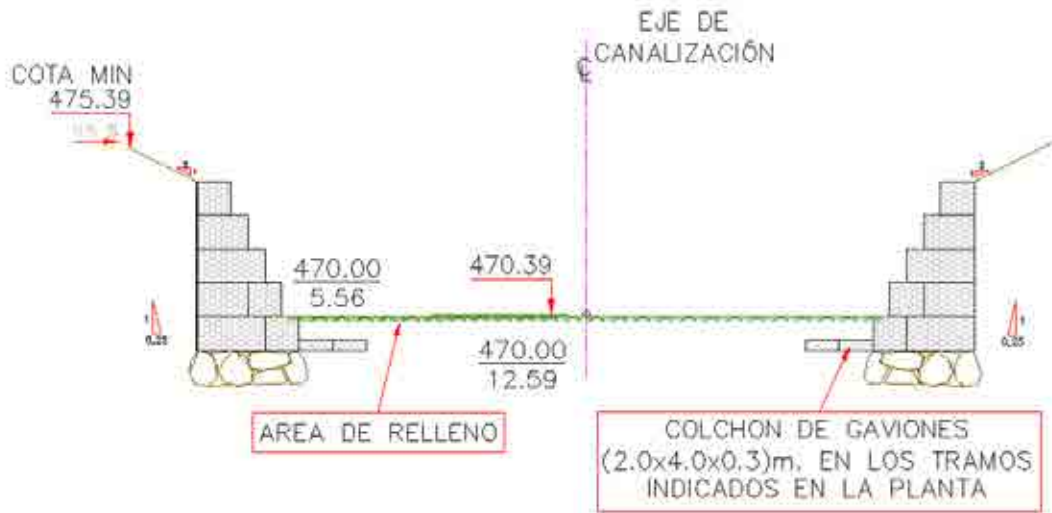


Figura 8.2. Sección típica en el tramo de estudio

### 8.1. Simulaciones con HEC RAS

Las características geométricas para la simulación con el modelo HEC RAS , se basó en originar secciones transversales construidas a intervalos entre 80 metros y 120 metros y utilizar una función dentro del programa para interpolar a cada 20 metros, de esta manera mostrar los cambios del cauce en el tramo seleccionado. Las secciones transversales para el cauce sin modificación fueron tomadas directamente desde el modelo digital de elevaciones tipo TIN y para el cauce modificado fueron ajustadas directamente en el programa. El puente de avenida Hispanidad, el nuevo puente Galicia y el correspondiente a la avenida San José de Tarbes se incorporaron en la simulación. La estructura vial y residencial forma parte integrante dentro de la simulación donde el flujo no tiene restricción para seguir cualquier camino y tomar cualquier lugar. Los bloqueos totales, reducciones por área y ancho son tomadas en cuenta en la simulación con el FLO 2D.

Los coeficientes por contracción y expansión utilizados en la simulación con el HEC RAS son los mismos propuestos por el programa. Estos valores se mantuvieron tanto para el caso de cauce natural como modificado debido que actualmente los gaviones presentan vegetación herbácea.

Las tormentas utilizadas son de tres tipos: avanzada, simétrica y retardada, cada una para un período de retorno de 10 y 100 años, de esta manera se puede establecer un análisis de sensibilidad en función de la ubicación temporal de la máxima intensidad de dicha tormenta. Como es de esperarse en las tormentas de 24 horas de duración y de tipo retardada, el pico ocurre en el momento donde el subsuelo ha tenido suficiente tiempo para incrementar su humedad debido al proceso de infiltración. En consecuencia, la velocidad de penetración del flujo superficial al subsuelo es muy lenta provocando un aumento la cantidad de escorrentía, incrementando el caudal de los cauces y presentándose la posibilidad de desbordamientos.

La influencia del cauce canalizado en los resultados de las simulaciones fueron verificados usando el hidrograma de crecida para un período de retorno de 50 años, el cual fue de la misma frecuencia que el usado en el diseño de la canalización. El análisis arrojó que no existe ninguna diferencia entre el cauce canalizado y el natural, por lo que no se generan los mapas de profundidades a partir del cauce sin canalizar.

## 8.2. Mapas Obtenidos con HEC RAS

Los resultados obtenidos en el programa HEC RAS se trasladaron hacia el programa de información geográfica para visualizar espacialmente la estructura vial, la topografía y los límites de los desbordamientos ocurridos para las condiciones planteadas. Los mapas de profundidad creados en esta sección se basan en las alturas alcanzadas por el flujo unidireccional sobre la zona evaluada y en este sentido, las manchas de agua se dibujan para intervalos de un (1) metro de

profundidad. En las Figuras 8.3 al 8.5 se presentan las manchas de inundación para un período de retorno de 10 años para tormentas de tipo avanzado, simétrico y retardado respectivamente. De la misma manera, en las Figuras 8.6 al 8.8 se visualiza para un período de retorno de 100 años. Los valores de las profundidades y velocidades máximas para cada período de retorno se presentan en los Cuadros 8.2 y 8.3 respectivamente.

Para el caso del período de retorno de 10 años, las inundaciones se presentan en los tres tipos de tormenta, siendo la tormenta retardada la de mayor área de inundación. La diferencia en promedio entre las áreas de inundación es del 28,34 %. Las principales zonas afectadas se ubican entre la progresiva 0+000 a 0+400; encontrándose el World Trade Center y el parque de diversiones Dunas con altura de agua por debajo de 50 cm, 1+525 a 2+200; donde se ubican la urbanización El Recreo y Barrio Mañonguito donde el flujo puede superar los 100 cm (1 m) de altura, y 2+295 a 3+535, donde hay presencia de gran vegetación con la misma altura de agua que la anterior.

Cuadro 8.2. Profundidades y velocidades máximas en las condiciones actuales del cauce para diferentes tipos de tormentas, período de retorno de 10 años

Área Afectada por Inundación	Cota Terreno (msnm)	Cota Máxima (msnm)			Velocidades Máximas (m/s)					
		T.A.(*)	T.S.(*)	T.R.(*)	Sección			Cauce		
					T.A.(*)	T.S.(*)	T.R.(*)	T.A.(*)	T.S.(*)	T.R.(*)
World Trade Center (Adyacencias)	481,00	481,27	481,62	481,89	2,78	2,19	1,85	3,15	2,94	2,80
Club Hogar Hispano	478,50	476,94	477,38	477,88	4,11	3,97	3,67	4,17	4,13	3,94
Urb. El Recreo (Calle Apure y Boyacá)	475,50	476,07	476,26	476,41	1,05	1,02	1,01	1,69	1,74	1,80
Barrio Mañonguito	476,50	476,07	476,26	476,41	1,05	1,02	1,01	1,69	1,74	1,80
Fórum de Valencia (Adyacencias)	475,00	473,89	474,12	474,34	3,13	3,28	3,29	3,51	3,83	3,98
Club Hermanda Gallega	473,50	473,35	473,35	473,60	3,31	3,19	3,75	3,45	3,37	4,09

(\*T.A.: Tormenta Avanzada, (\* T.S.: Tormenta Simétrica, (\* T.R.: Tormenta Retardada

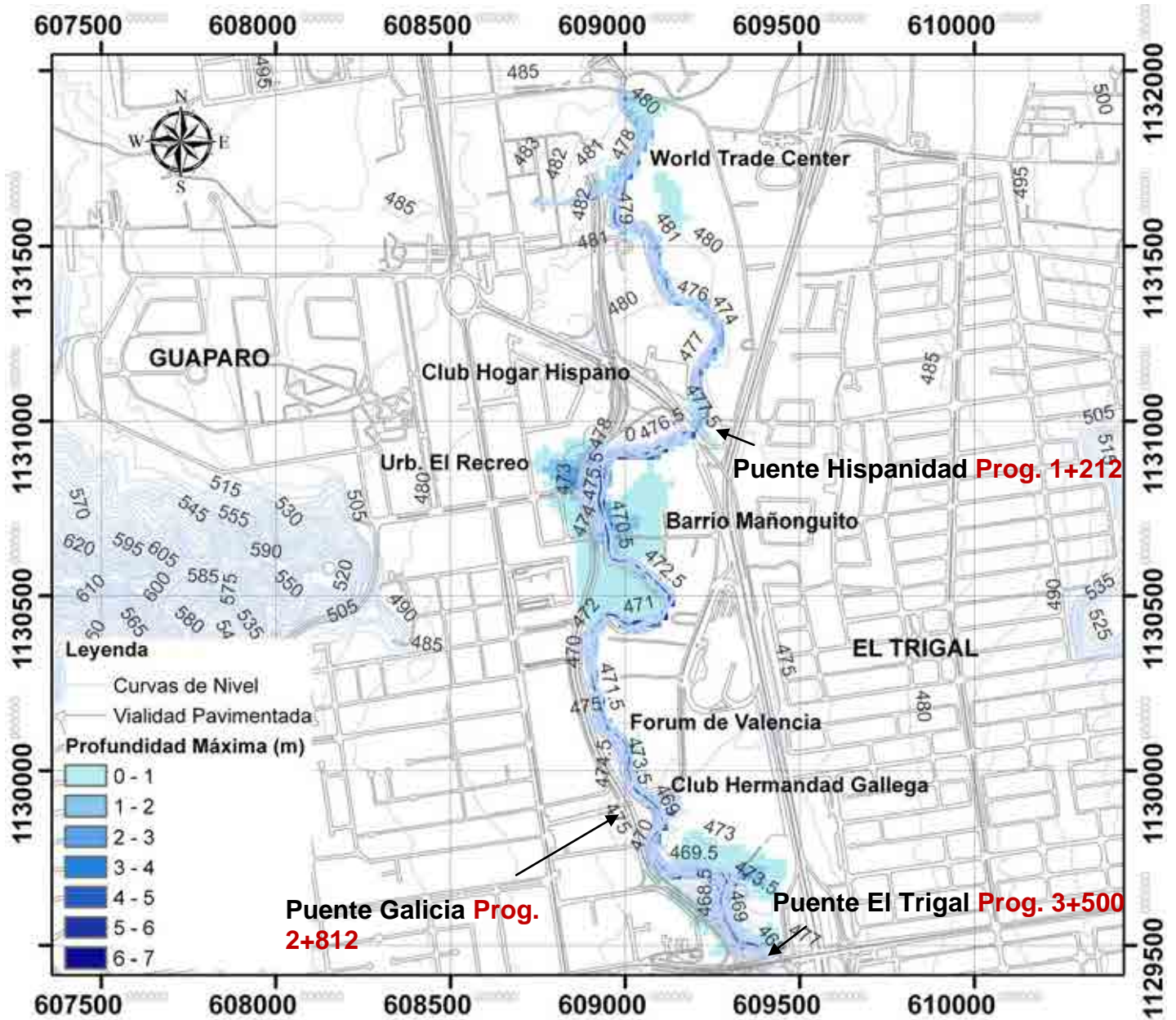


Figura 8.3. Mapa de profundidad para un período de retorno de 10 años y una tormenta de tipo avanzada obtenido con HEC RAS

Las estructuras hidráulicas presentes (puentes) a lo largo del tramo, tienen un gran impacto sobre el desarrollo del flujo. Para el caso más frecuente (10 años) la inundación que se observa en la progresiva 3+500 cerca del último puente (3+535) no se debe precisamente por esta estructura, sino más bien porque se conjugan varios elementos: un afluente que proviene de la urbanización El Trigal ubicado aproximadamente en la progresiva 3+260 y un par de meandros consecutivos en esa misma progresiva.

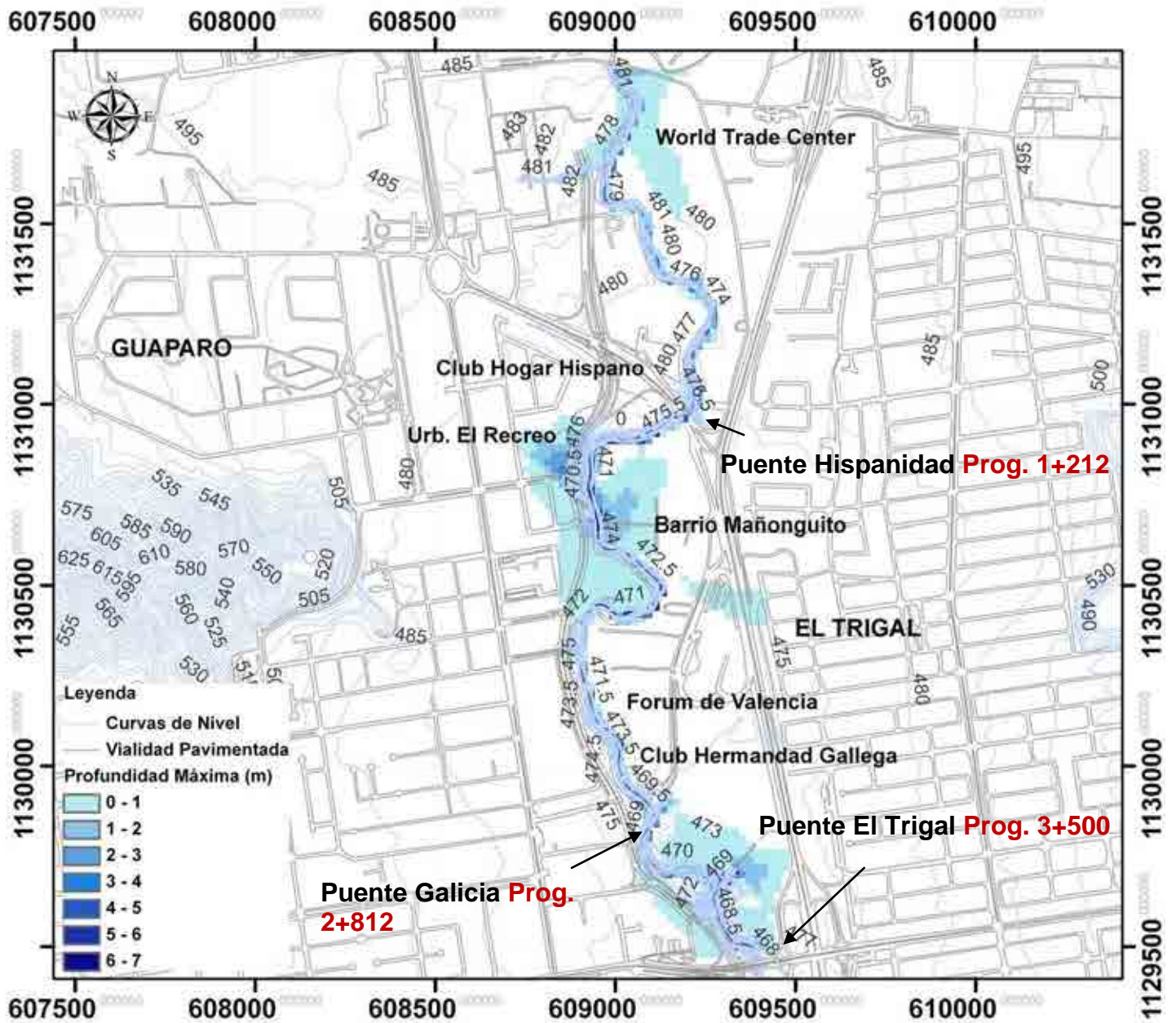


Figura 8.4. Mapa de profundidad para un período de retorno de 10 años y una tormenta de tipo simétrica obtenido con HEC RAS

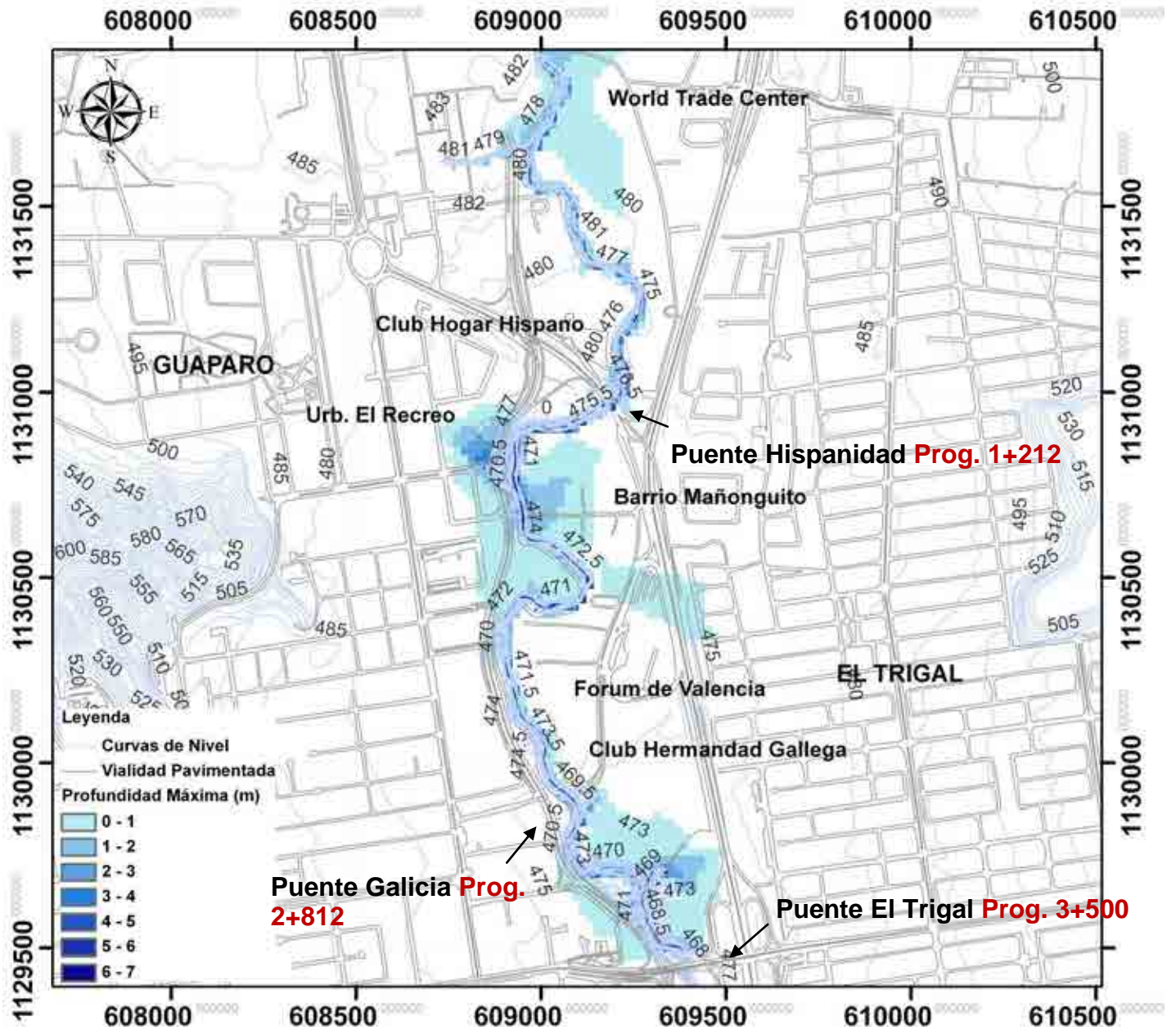


Figura 8.5. Mapa de profundidad para un período de retorno de 10 años y una tormenta de tipo retardada obtenido con HEC RAS

Cuadro 8.3. Profundidades y velocidades máximas en las condiciones actuales del cauce para diferentes tipos de tormentas, período de retorno de 100 años

Área Afectada por Inundación	Cota Terreno (msnm)	Cota Máxima (msnm)			Velocidades Máximas (m/s)					
					Sección			Cauce		
		T.A.(*)	T.S.(*)	T.R.(*)	T.A.(*)	T.S.(*)	T.R.(*)	T.A.(*)	T.S.(*)	T.R.(*)
World Trade Center (Adyacencias)	481,00	482,56	482,67	482,79	1,88	1,87	1,89	3,70	3,59	3,70
Club Hogar Hispano	478,50	479,77	479,78	479,79	1,78	1,72	2,13	3,68	3,54	4,39
Urb. El Recreo (Calle Apure y Boyacá)	475,50	477,08	477,21	477,33	1,16	1,13	0,58	2,43	2,36	1,29
Barrio Mañonguito	476,50	477,08	477,21	477,33	1,16	1,13	0,58	2,43	2,36	1,29
Fórum de Valencia (Adyacencias)	475,00	476,14	476,54	476,90	0,36	0,43	0,24	0,92	1,13	0,60
Club Hermandad Gallega	474,40	476,11	476,52	476,89	0,33	0,38	0,22	0,78	0,92	0,52
(*)T.A.: Tormenta Avanzada, (*) T.S.: Tormenta Simétrica, (*) T.R.: Tormenta Retardada										

Para el caso de 100 años y como era de esperarse, los desbordes alcanzaron una mayor área que la anterior frecuencia. La diferencia promedio entre las áreas de la inundación producida por la tormenta avanzada y la tormenta retardada; donde esta última ocupa un área mayor, es de 11,76 %. A diferencia de las consecuencias producidas por el evento de 10 años, en este caso los lugares afectados se encuentran a todo lo largo del tramo excepto entre la progresiva 1+260 a 1+395.

El ancho promedio de inundación tiene un valor de 400 m, 100 metros en la margen derecha y 300 en la margen izquierda. Este ancho se incrementa entre las progresivas 1+750 y 2+795, donde toma un valor de 600 m, con 500 m hacia la margen izquierda y 100 m hacia la margen derecha. Los lugares afectados son los mismos que el caso anterior y adicionalmente las siguientes: Colegio Los Robles, Club Hogar Hispano, Casa Don Bosco, al final de las calles 144, 145, 151 y 152,

Fórum de Valencia y Club Hermandad Gallega, donde en la mayoría de los casos el agua supera los 100 cm (1 m) de altura.

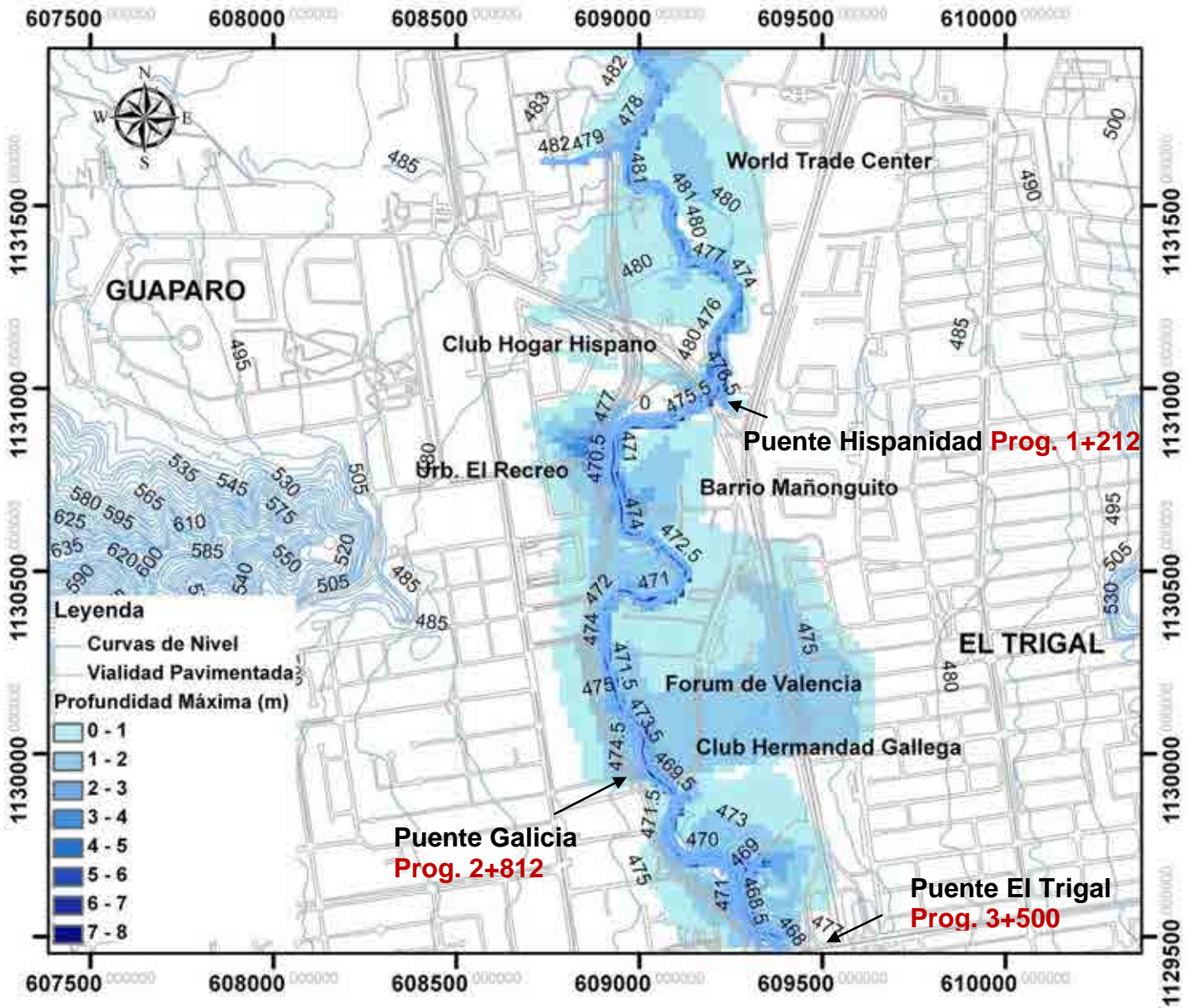


Figura 8.6. Mapa de profundidades para un período de retorno de 100 años y una tormenta de tipo avanzada obtenido con HEC RAS

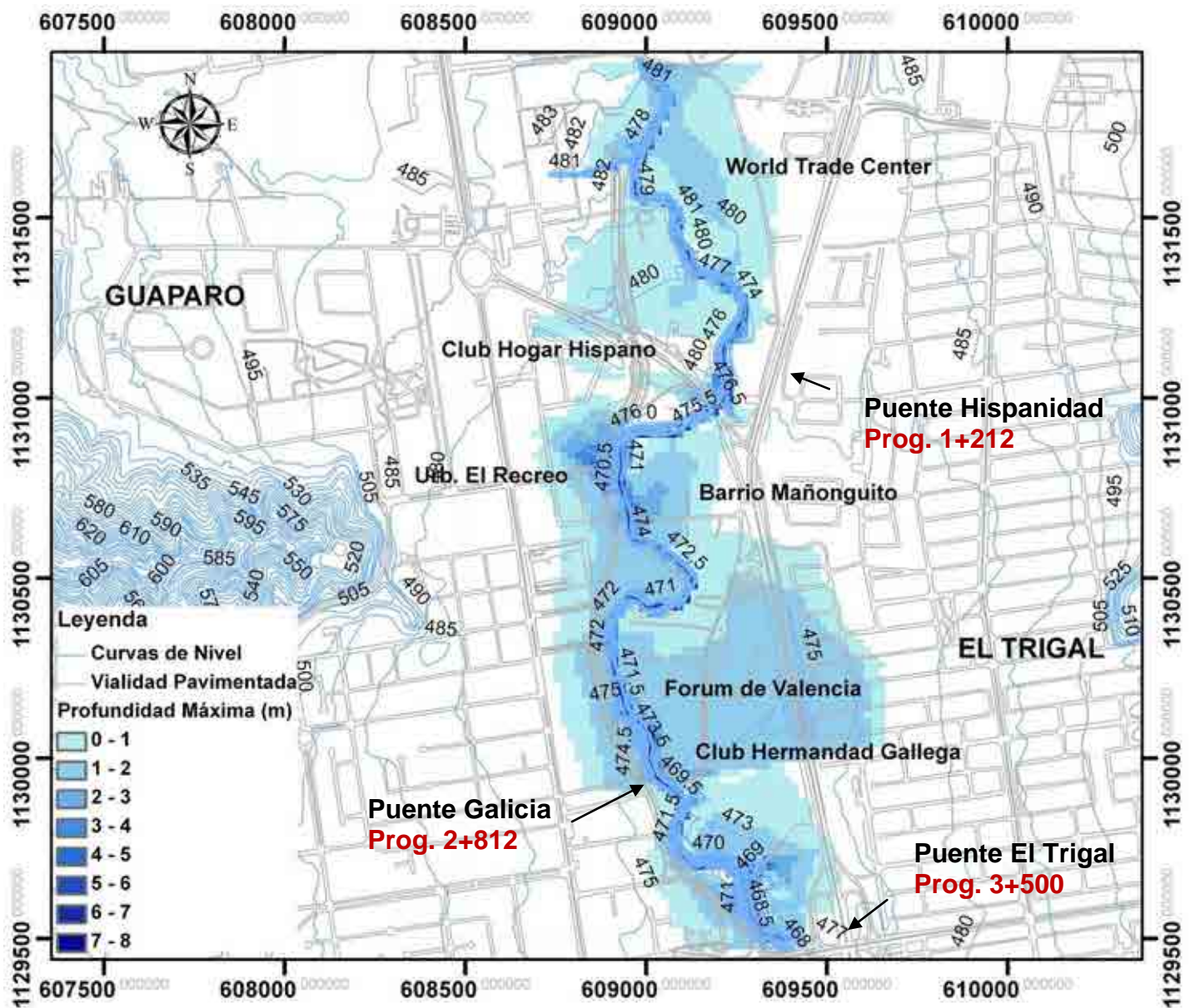


Figura 8.7. Mapa de profundidad para un período de retorno de 100 años y una tormenta de tipo simétrica obtenido con HEC RAS

El Puente Hispanidad produce un efecto remanso sobre el flujo que se encuentra en estado subcrítico y produce los anchos de inundación antes mencionados. Por otro lado el Puente Galicia, que se ubica en la progresiva 2+795, produce el mayor ancho de inundación del tramo confirmándose que representa un obstáculo importante para caudales con esta probabilidad de ocurrencia.

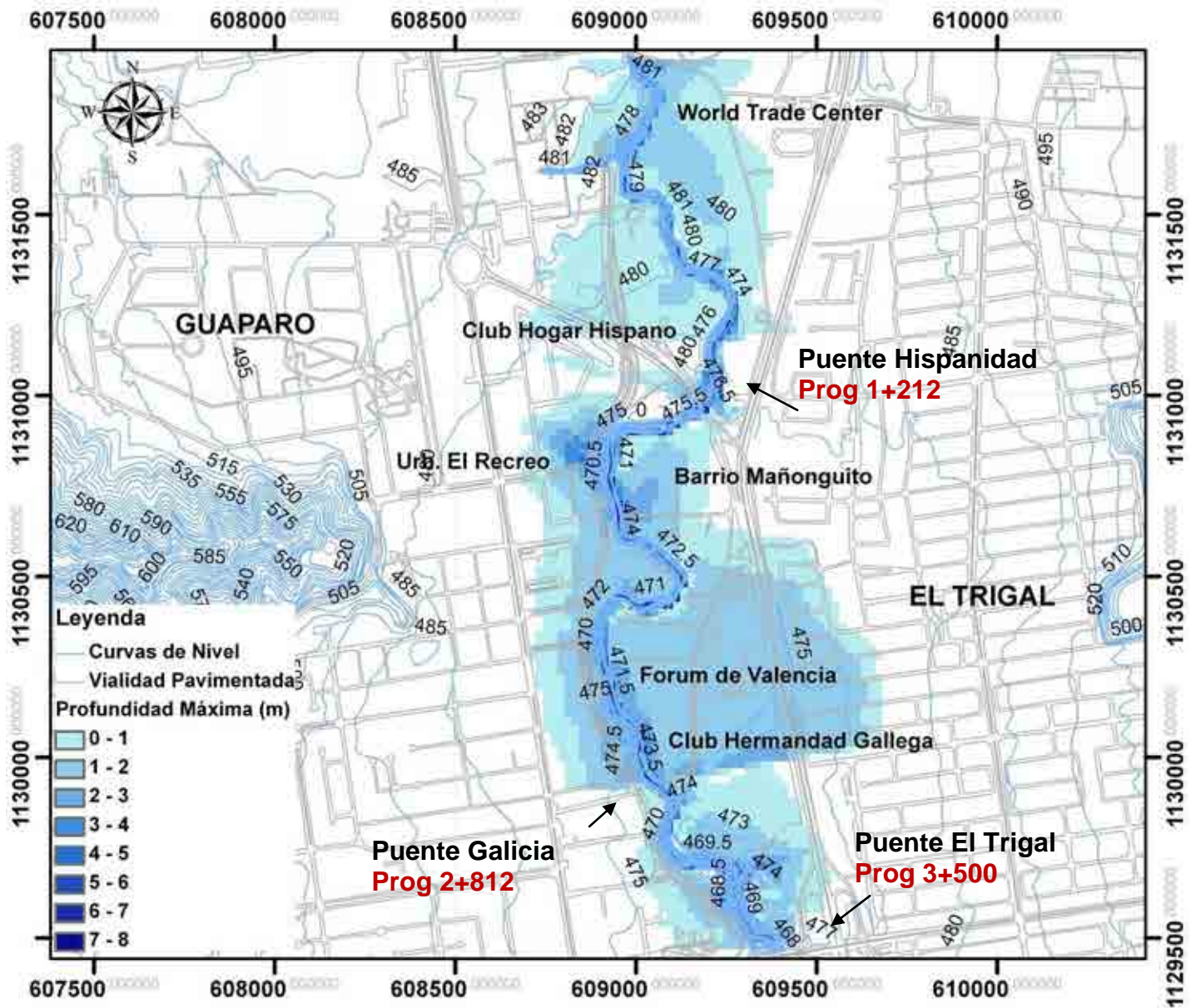


Figura 8.8. Mapa de profundidad para un período de retorno de 100 años y una tormenta de tipo retardada obtenido con HEC RAS

Las zonas afectadas en cada una de los tipos de tormenta para los casos de 10 años y 100 años son las mismas, así como también la profundidad del flujo, cuya área de inundación para el caso de tormenta avanzada es  $294.000 \text{ m}^2$  y  $1.230.800 \text{ m}^2$  respectivamente. Adicionalmente la mayoría de las lluvias que precipitan en la cuenca del río Cbriales son del tipo avanzada, en consecuencia podemos tomar este tipo de tormenta como referencia de cálculo y aplicarse tanto para el análisis

de la planicie inundable (mapas de inundación) como para la creación de los mapas de amenaza.

### 8.3. Simulación con FLO 2D

La simulación con el modelo FLO 2D consistió en introducir y generar de manera apropiada la topografía, luego originar el dominio computacional basado en la inundación con un período de retorno de 100 años obtenida por el paquete unidimensional. Seguidamente, crear las celdas o elementos bidimensionales cuyos tamaños fueron de 30 m de ancho y 30 m de largo para un total 5103 celdas.

Las estructuras hidráulicas presentes fueron agregadas en el cálculo excepto el puente El Trigal puesto que no tiene mayor influencia en esta simulación. En este caso se tomó en cuenta la estructura vial y residencial, los bloqueos totales, reducciones por área y ancho. Debido a la naturaleza del modelo bidimensional, se incluyó una sección trapezoidal del canal cuyas dimensiones fueron, ancho: 10 m, profundidad: 3 m con una relación de las pendientes de las márgenes 1:4. La rugosidad también fue evaluada con el mismo valor que en la simulación unidimensional y así esperar resultados provenientes de iguales características hidráulicas. Los parámetros hidrológicos precipitación e infiltración se introducen en el cálculo como parte de las ventajas del modelaje y para lo cual constituye una aproximación a la realidad del evento simulado por lo que solamente se ejecuta para una tormenta de tipo avanzada.

### 8.4. Mapas Obtenidos con FLO 2D

Los productos logrados con el modelo bidimensional, así como se dispuso con el otro modelo, se llevaron hacia el programa de información geográfica. En este se pudieron plasmar no solo las manchas por inundación para las dos probabilidades

de ocurrencia evaluadas sino también las velocidades máximas alcanzadas en la zona inundada para cada período de retorno.

En vista de que existe una variación en los valores que toman tanto la profundidad como la velocidad, la impresión en plano de estas variables se realizó de modo tal que reflejen estas características. Para ello se tomaron intervalos constantes y cambios de tonos sobre el mismo color, los cuales fueron: 0,50 m/s para ambos casos y en lo que respecta al color se utilizó color verde y color azul respectivamente. En las Figuras 8.9 y 8.10 se presentan los mapas de velocidades y en las Figuras 8.11 y 8.12 las manchas de inundación de 10 y 100 años de período de retorno respectivamente en cada caso.

Se puede distinguir que para el caso de una probabilidad de 10 años el flujo sigue su cauce sin mayores consecuencias en todo su recorrido con parciales desbordamientos afectando desde la progresiva 0+000 hasta la 0+400 donde se ubica el World Trade Center, Dunas y el Colegio Los Robles, así como también el Club Hogar Hispano en la progresiva 1+200 y el Barrio Mañonguito en la 1+530, cuya altura de agua no sobrepasa los 60 cm (0,60 m) de altura. Por otro lado, luego del puente Hispanidad, cerca de la progresiva 1+200, así como también en las progresivas 1+530 y 2+295 el flujo supera los 60 cm (0,60) pero no excede los 100 cm (1 m), perjudicando parte del Colegio de Abogados, parcial inundación en la Urbanización El Recreo y el sector este del Centro Comercial y Profesional Av. Bolívar.

Para el caso de 100 años, las anegaciones se posicionan en una mayor área que la anterior frecuencia. A diferencia de las consecuencias producidas por el evento de 10 años, en este caso los lugares afectados se encuentran a todo lo largo del tramo. Los lugares que no exceden de los 60 cm (0,60) de anegación son: El Fórum de Valencia y parte de la zona de la Av. Bolívar entre las Calles 145 y 154 más próximas a la margen del río Cabriales y hasta la Avenida el Parque entre la Calle Revenga la Calle Gamma de la Urbanización El Trigal Norte, en cambio el World

Trade Center, Parque Dunas, Club Hogar Hispano, Urbanización El Recreo específicamente la Calle 155 y 156, Barrio Mañonguito y Club Hermandad Gallega superan los 100 cm (1 m).

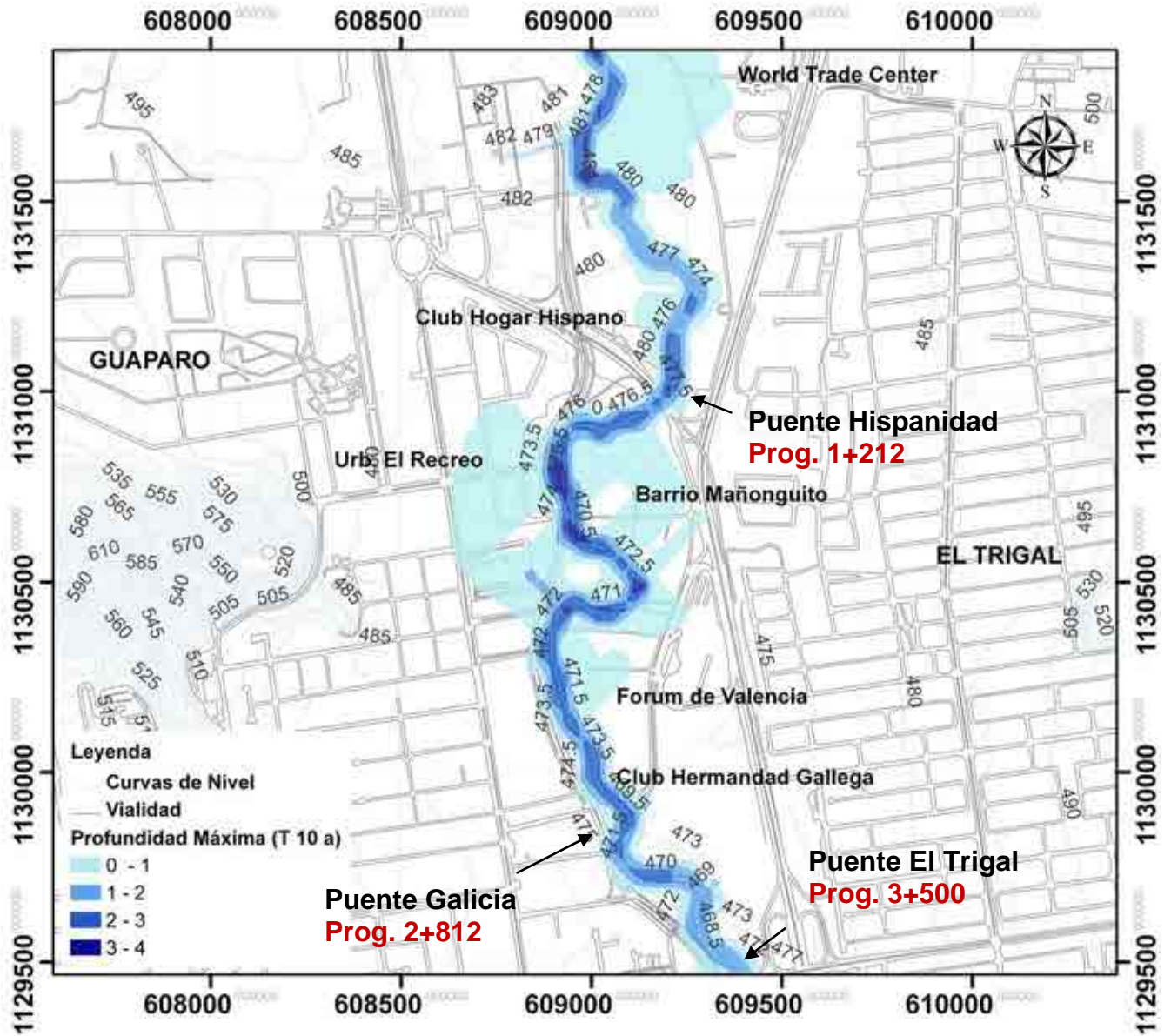


Figura 8.11. Mapa de profundidad para un período de retorno de 10 años y una tormenta de tipo avanzada obtenido con FLO 2D

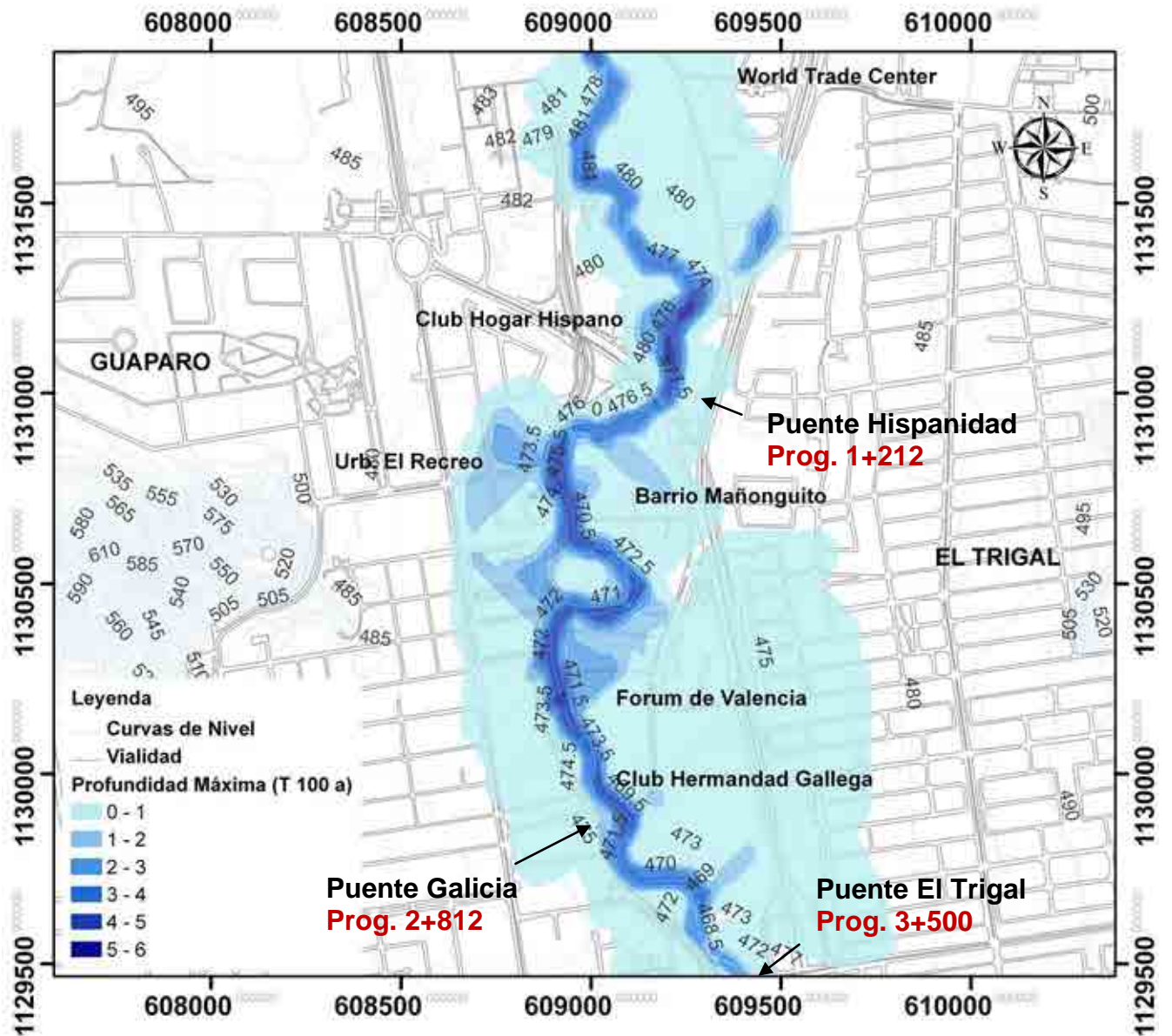


Figura 8.12. Mapa de profundidad para un período de retorno de 100 años y una tormenta de tipo avanzada obtenido con FLO 2D

El ancho promedio de inundación tiene un valor de 600 m, 300 metros a cada lado del cauce. Este ancho se incrementa entre las progresivas 2+050 y 2+795, donde toma un valor de 1000 m, con 700 m hacia la margen izquierda donde alcanza la Urbanización El Trigo Norte en los predios mencionados, y 300 m hacia la margen derecha.

Se pone en evidencia la magnitud de la tormenta que supera la geometría del cauce y la situación empeora con la presencia de los puentes, específicamente con

el Puente Galicia ubicado en la progresiva 2+800, el cual produce un bloqueo por efecto de las rampas de acceso.

Las áreas de inundación que se distinguen para 10 años y 100 años son las siguientes respectivamente: 715.000 m<sup>2</sup> y 1.457.830 m<sup>2</sup>. A pesar de que las diferencias numéricas entre las áreas alcanzadas con cada modelo de simulación, las cuales para un T = 10 años es del 143,20 % y para un T = 100 años es de 18,45%, éste se debe básicamente en los flujos con alturas menores a 50 cm (0,50 m). A modo de comparación se presentan las áreas de inundación en el Cuadro 8.4.

Cuadro 8.4. Áreas de inundación de cada modelo para la tormenta avanzada

Modelo	Área de Inundación (m <sup>2</sup> )	
	T = 10 años	T = 100 años
HEC RAS	44.400	1.222.400
FLO 2D	715.000	1.457.830

## CAPITULO IX

### ANALISIS DE LA AMENAZA HIDROMETEOROLOGICA

La amenaza hidrometeorológica es una medida de la peligrosidad que conlleva posibles desbordamientos de flujos bien sea en montaña o en llanura, producto de lluvias prolongadas, intensas, o una combinación de ambas.

El mapa de amenaza combinada se produce a partir de los datos originados con los períodos de retorno considerados. La peligrosidad se destaca en tres niveles asignando un color a cada uno: en amarillo para la escala más baja, anaranjado para un peligrosidad media y en rojo para la alta. En la Figura 9.1 se puede observar el mapa de amenaza combinado con sus diferentes escalas para el tramo Av. Salvador Feo La Cruz y el Puente El Trigal y en la Figura 9.2 y 9.3 se muestra el mapa de amenazas sobre una foto satelital del tramo estudiado.

El área total de amenaza alcanza un valor de 1.102.095 m<sup>2</sup>, con un área parcial del nivel de peligrosidad bajo, color amarillo, de 249.267,50 m<sup>2</sup> que representa un 22,62%, siguiendo con un área parcial para el nivel de peligrosidad media cuyo color es el anaranjado, de 313.508 m<sup>2</sup> para un 28,45% del total y por último un área para el nivel alto de 539.319,50 m<sup>2</sup> que representa el 48,94 % del total. Por otro lado, cada color o envolvente de peligrosidad constituyen zonas amenazadas bien definidas, las cuales se describen seguidamente.

Peligrosidad Baja (Sensibilización): en esta escala se encuentran la parte oeste del Colegio Camoruco, Fórum de Valencia, La Alambra, Calle 151 y Calle 152 entre Av. Bolívar y río Cabriales.

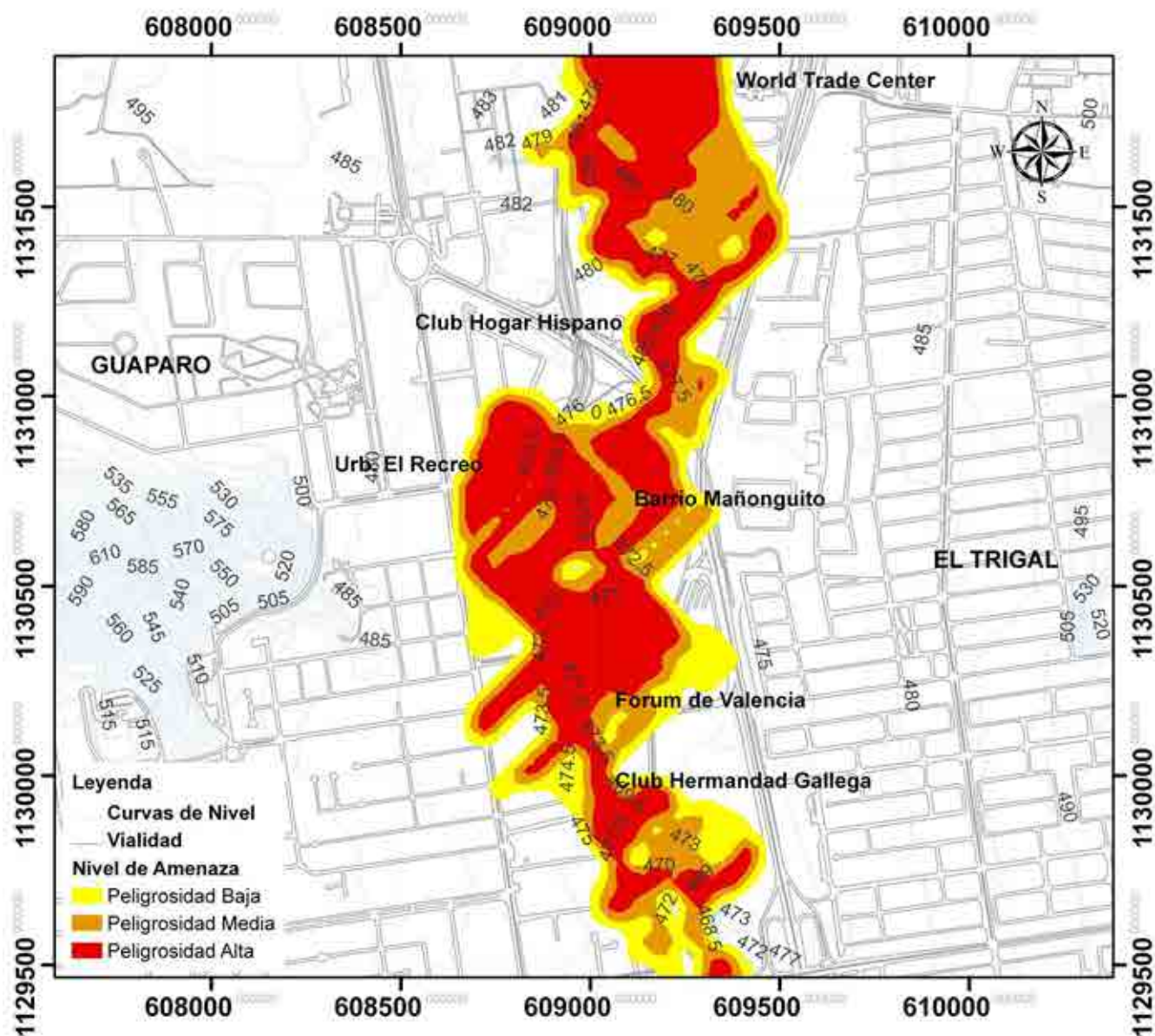


Figura 9.1. Mapa de Amenaza obtenido con el programa FLO 2D en el tramo Av. Salvador Feo La Cruz hasta Pte. El Trigal

Peligrosidad Media (Reglamentación): en este nivel de peligrosidad se ubican tanto comercios como una comunidad y un centro social tales como Multiservicios Don Luis, parte este del Barrio Mañonguito, Hermandad Gallega, Final Calle 144 y 142.

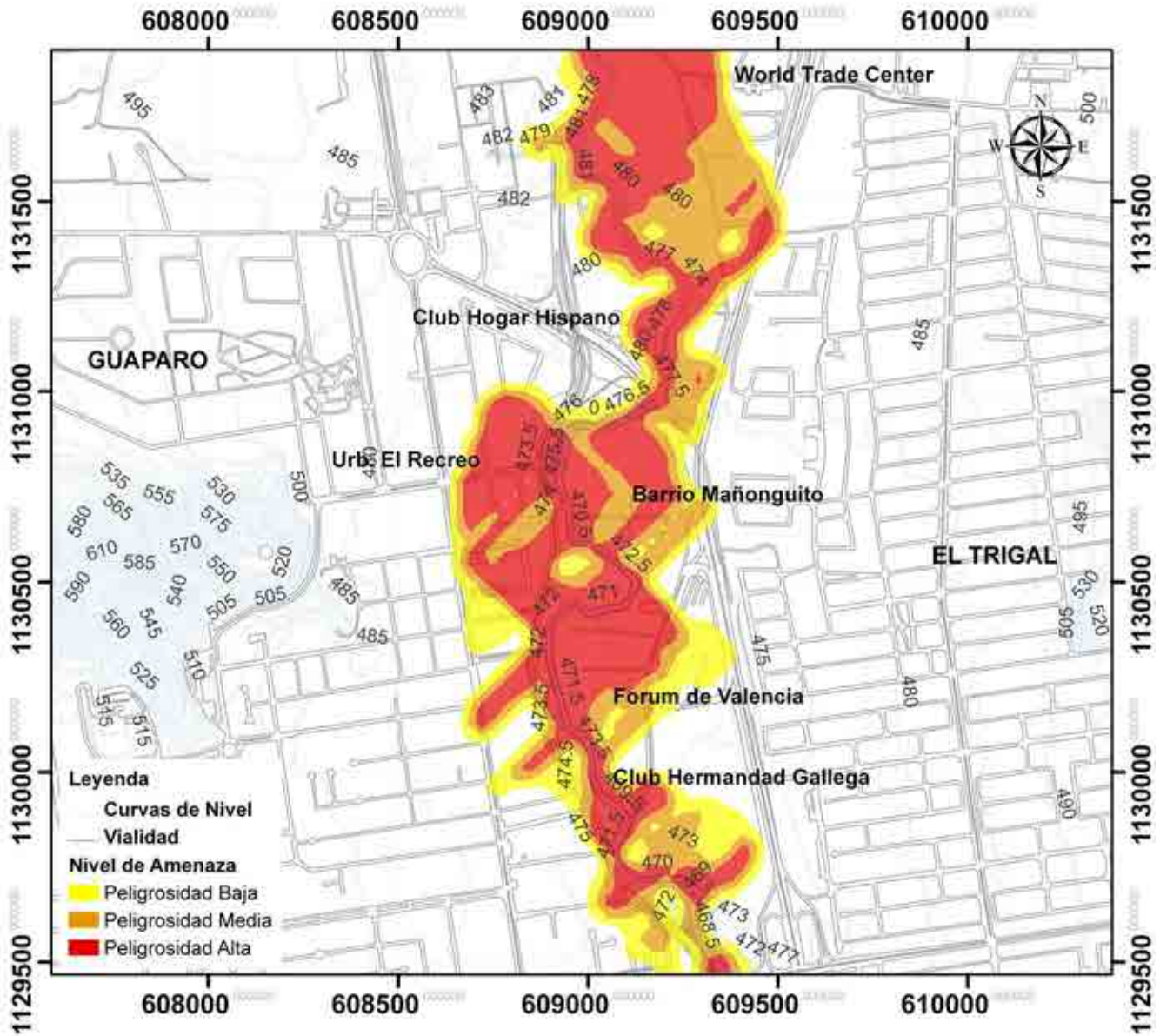


Figura 9.2. Mapa de Amenaza Transparente obtenido con el programa FLO 2D en el tramo Av. Salvador Feo La Cruz hasta Pte. El Trigo

Peligrosidad Alta (Prohibición): World Trade Center, Dunas, Colegio Los Robles, sector este del Club Hogar Hispano, sector oeste del Club Cubano, Club Griego de Valencia, Colegio de Abogados, parte oeste del Barrio Mañonguito, Urbanización El Recreo, Centro Comercial y Profesional Av. Bolívar, Centro Comercial HS Center.

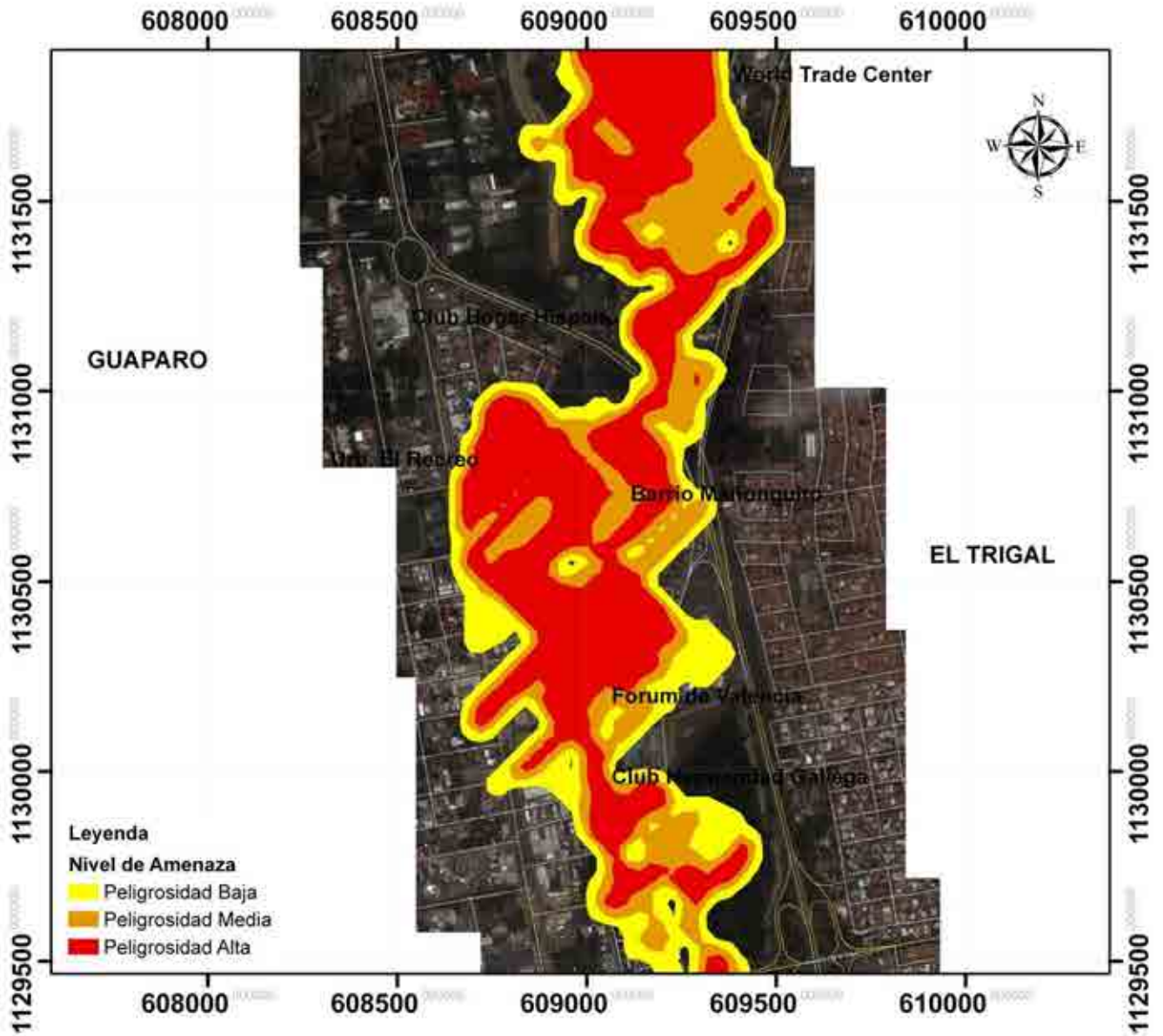


Figura 9.3. Mapa de Amenaza en el tramo Av. Salvador Feo La Cruz hasta Pte. El Trigo con Foto Satelital

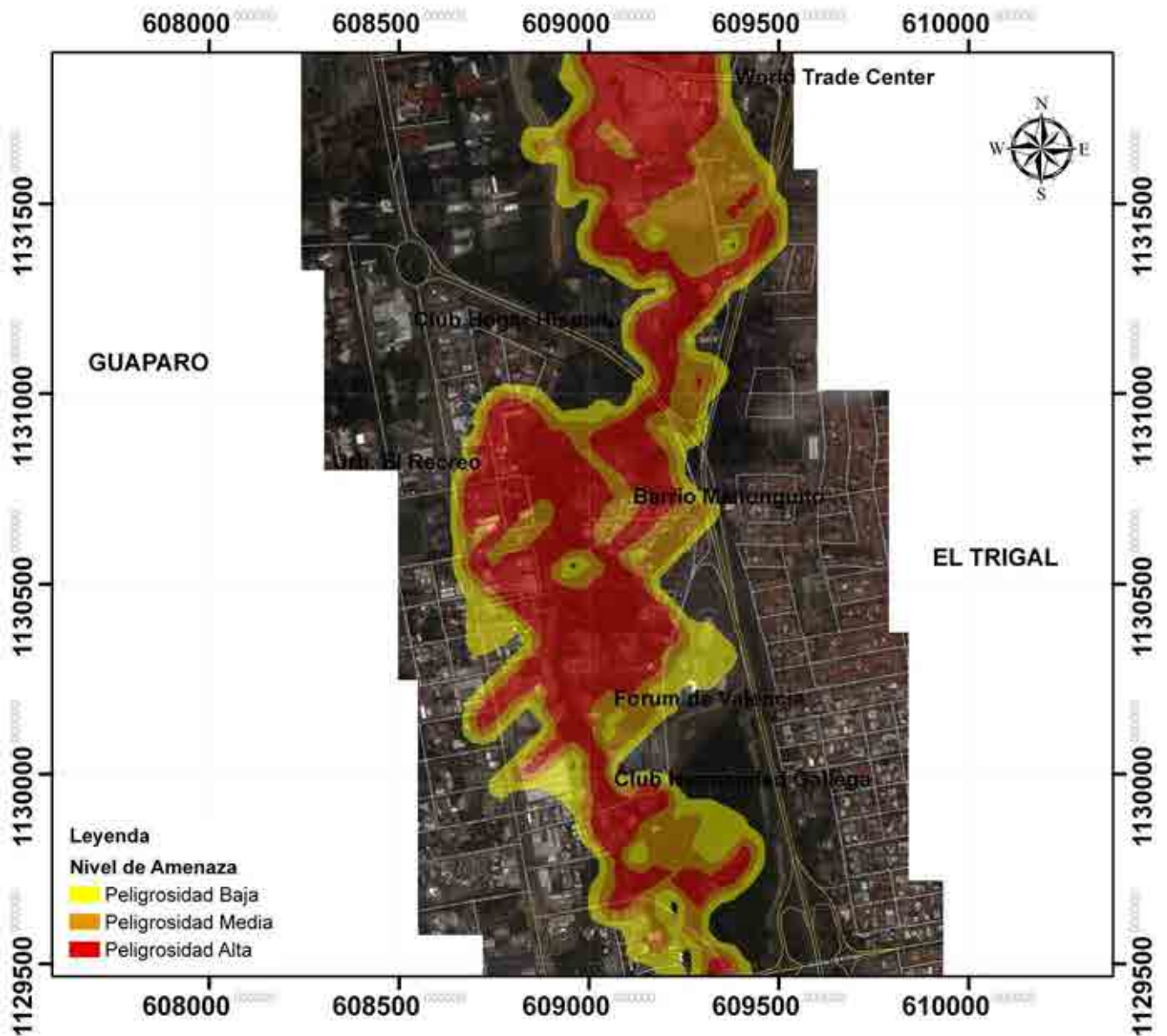


Figura 9.4. Mapa de Amenaza Transparente en el tramo Av. Salvador Feo La Cruz hasta Pte. El Trigal con Foto Satelital.

Se aprecia que dentro de la poligonal de la amenaza existen desarrollos que se dedican a distintas actividades tales como: comerciales, residenciales, educativas, recreacionales, asociaciones profesionales por nombrar algunas, las cuales pueden ser azotados por eventos naturales tal como el hidrometeorológico. La interpretación de los distintos grados de amenaza en concordancia con la metodología aplicada evidencia que los habitantes de los desarrollos dentro de la peligrosidad baja deberían estar informados de la cercanía al río en que se

encuentran y que por lo tanto, posibles desbordamientos pudieran alcanzar sus inmuebles con alturas menores de 50 cm. La peligrosidad media, incorpora la necesidad de establecer medidas claras y precisas tales como: zonas de evacuación vehicular, establecimiento de las nuevas cotas de la topografía modificada para los desarrollos de los inmuebles así como también refugios en lugares seguros. La peligrosidad alta deberían ser lugares prohibidos para cualquier desarrollo, puesto que las velocidades y la altura del flujo que alcanza pudieran ocasionar lesiones graves en los habitantes, daños en las estructuras de los inmuebles así como también pérdidas materiales. En este caso particular, se observa la existencia de clubes deportivos y recreacionales donde se reúnen gran cantidad de personas, localizados en esta zona de alta peligrosidad. Así mismo, un parque de diversiones dedicado a la recreación de niños y adolescentes está ubicado también en esta zona. En definitiva, se evidencia que es posible mejorar la planificación y el desarrollo urbanístico tomando en cuenta esta herramienta (mapa de amenaza) y así evitar construir lugares con alta afluencia de personas en un mismo momento en la zona peligrosa, sino más bien, ubicarla en otro lugar.

Por otro lado, el manejo de amenazas conlleva a una serie de actividades de campo, comunales, entre otras y en diferentes niveles gubernamentales necesarios antes, durante y después de un evento natural con el objeto de reducir el número de fatalidades y la destrucción de propiedades. En este caso, el mapa generado pertenece a un tramo del río y por lo tanto no se representa toda la infraestructura existente a lo largo de todo el cauce y tampoco la amenaza del mismo. Evaluaciones subsiguientes originarían los mapas de amenazas faltantes para concatenar uno con otros y así gestar el mapa de amenaza del río Cabriales. Es evidente que dicho río atraviesa dos municipios: Naguanagua y Valencia, en tal sentido cada municipio puede tener un mapa de amenaza para evaluar a esa escala el nivel de peligrosidad.

El Índice Municipal Ponderado de Amenaza por Inundación (IMPAI) es un valor que se origina de los mapas de amenaza municipal con el fin de establecer una

medida numérica de la peligrosidad y ser usado como referencia al momento de evaluar al municipio en este sentido. El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala, propone la siguiente fórmula para la obtención del IMPAI:

$$IMPAI = \frac{(P_{ic} A_{mi})}{A_{tm}} \quad (4)$$

Dónde:

$P_{ic}$ : probabilidad de inundación de la fracción de la cuenca intersectada con el municipio.

$A_{mi}$ : área inundable del municipio,  $m^2$ .

$A_{tm}$ : área total del municipio,  $m^2$ .

La probabilidad ( $P_{ic}$ ) estimada en la fórmula 4 proviene de tormentas históricas ocurridas en la fracción de la cuenca intersectada con el municipio, sin considerar el grado de amenaza en la misma. Considerando la metodología descrita en este trabajo para la creación del mapa de amenaza, se propone un índice donde incluya el grado de peligrosidad ponderado para su estimación, el cual se presenta en la ecuación 5:

$$IMPAI = \left( \frac{\sum_{i=1}^3 Ap_i Ip_i}{A_a} \right) \left( \frac{A_a}{A_m} \right) \quad (5)$$

Dónde:

$Ap_i$ : área de la amenaza correspondiente,  $m^2$ .

$Ip_i$ : índice de la amenaza correspondiente 1 para baja, 2 para media y 3 para alta.

$A_a$ : área total de amenaza dentro del municipio,  $m^2$ .

$A_m$ : área total del municipio,  $m^2$ .

El primer término del producto denominado índice ponderado de la amenaza, puede tomar un valor entre 1 y 3 puesto que es independiente del área del municipio; el segundo término un valor entre 0 y 1, por lo tanto el valor del índice ponderado de la amenaza municipal puede adoptar un valor entre 0 y 3. Al incluir la relación entre el área de amenaza y el área del municipio en el IMPAI, el resultado es un valor absoluto propio para cada municipio y permite realizar comparaciones directas.

El IMPAI representaría un valor de magnitud a fin de realizar comparación de la amenaza por inundación entre municipios, el cual puede ser usado en la planificación urbana, en los planes de prevención y de mitigación.

La amenaza es un primer paso dentro del diagnóstico para las estrategias de mitigación de amenazas en la planificación del desarrollo y así evitar las medidas de rescate luego que el evento natural se haya convertido en un desastre.

Por otro lado, la Ley de Aguas menciona en su artículo sexto literal 2, la existencia de una franja de dominio público de ochenta metros (80 m) a ambas márgenes de los ríos no navegables, medidos a partir del borde del área ocupada por las crecidas correspondientes a un período de retorno de 2,33 años. La mancha de inundación generada para un período de retorno de 10 años, supera este ancho en más del 50% de los casos en el tramo analizado, el otro porcentaje restante está dentro del límite establecido por dicho artículo. En tal sentido, se justifica el ancho del margen establecido, no solo como elemento de conservación de las fuentes de agua y la biodiversidad en el cauce y sus riveras sino también como elemento de protección preventivo en caso de desbordamientos de estos cauces; más aún cuando sobrevienen en zonas urbanizadas.

## CAPITULO X

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los eventos meteorológicos que se presentan en la zona central del país, recurren años tras año reafirmando su presencia como un suceso cíclico. La influencia de diversos factores adicionales y estacionales tales como frentes fríos de baja presión pueden variar de manera espacial y temporal, impactando directamente en la magnitud de dichos eventos naturales, los cuales pueden tomar valores de baja probabilidad de ocurrencia y alta intensidad. En los últimos años en la ciudad de Valencia se ha presentado este tipo de lluvias tales como los ocurridos en 1986 y 2008 con consecuencias materiales de relevantes características.

En este trabajo se ha efectuado un análisis hidrológico e hidráulico de la cuenca del río Cabriales, el principal drenaje de la ciudad de Valencia, basado en el uso de diferentes modelos matemáticos para la simulación de los flujos en los canales y los procesos de lluvia-escorrentía en la cuenca, para eventos de diferentes probabilidades de ocurrencia. Esto ha permitido generar un mapa de amenaza por inundaciones en el tramo central del río Cabriales, el cual constituye una herramienta fundamental para la planificación del desarrollo de urbanismos, así como también para la implementación de medidas de mitigación de riesgos.

Los resultados y las conclusiones más importantes del estudio se presentan a continuación.

1) Dentro de las consideraciones, se debe referir en primer lugar a la topografía, la cual es una de las variables más importantes tanto para el análisis hidrológico como para el hidráulico y en consecuencia para la generación de los mapas de amenaza hidrometeorológicos. En tal sentido, se reitera la necesidad de utilizar los planos a escala 1:10.000 o en su defecto hasta un máximo de 1:25.000 para el

análisis hidrológico de la cuenca y en escala 1:500 para el análisis hidráulico en los cauces.

2) Se efectuó una evaluación completa y de la hidrología de la cuenca del río Cabriales, tomando la data histórica de datos pluviométricos y características actuales como: cobertura vegetal, uso del suelo y desarrollos urbanísticos. Para esto se dividió la cuenca en varias sub-cuencas, lo que permitió realizar una modelación que arrojara resultados en varios tramos a lo largo del cauce principal del río. La simulación fue llevada a cabo mediante el modelo HEC HMS para una lluvia de 24 horas de duración y varios períodos de retorno. Los hidrogramas de crecida obtenidos como resultados de la simulación hidrológica fueron validados mediante la modelación hidráulica de la tormenta acontecida el día 22 de Octubre del año 2008, la cual arrojó una mancha de inundación similar a la alcanzada ese día. Dicha tormenta fue reproducida mediante el método de la curva de masa en base a los datos de la estación pluviométrica Oficina Guaparo. En tal sentido, se concluye que el método curva de masa representa una alternativa importante para crear hietogramas en caso de ausencia de datos para una tormenta determinada.

3) Se ha puesto en evidencia la utilidad de la aplicación del Factor de Reducción por Área (FRA) en los hietogramas simulados puesto que el comportamiento de la precipitación en la extensión de la cuenca del río Cabriales tiene una variación espacial, tal como se evidenció en la tormenta del 22 de Octubre del año 2008, la cual tuvo una diferencia del 29,70% entre la estación Guaparo y la estación Aeropuerto Arturo Michelena. El centro de precipitaciones para tormentas de este tipo (24 horas) se presenta mayormente hacia el sector Bárbula y también en el sur de la cuenca (municipio Libertador) pero con menor grado de magnitud. Los valores estimados del FRA para la cuenca del río Cabriales en esta investigación, es un recurso importante que puede tomarse en cuenta en futuras simulaciones. En cuanto a la variación temporal, en promedio fue de 111,36% entre la estación Guaparo y la estación Aeropuerto Arturo Michelena, razón por la cual se analizaron tres tipos de tormenta, tomando para el mapa de amenaza la de mayor probabilidad de ocurrencia, la tormenta de tipo avanzada.

4) Se ha comprobado que los métodos utilizados para la creación de los hidrogramas de crecidas; SCS y Clark resultan muy adecuados para este tipo de cuenca, los cuales fueron aplicados para la zona con gran presencia montañosa y la otra de gran ocupación urbanística, respectivamente. Así también el método de Muskingum Cunge, como un método numérico para resolver la onda difusiva en el tránsito de la creciente por el cauce.

5) Las variables usadas en la simulación hidráulica, las cuales fueron adquiridas mediante observación en visitas de campo y análisis de datos recolectados, quedan en gran parte validadas puesto que se pudo simular posteriormente los hidrogramas de crecidas de diferentes períodos de retorno en el tramo considerado, desde la Avenida Salvador Feo La Cruz hasta el Puente El Trigal adquiriéndose respuestas cónsonas con lo ocurrido históricamente. De esta manera tanto el coeficiente de rugosidad de Manning como las variables geométricas de los puentes y las condiciones de contorno quedan admitidos para futuros cálculos.

6) Los programas HEC RAS y FLO 2D se cimientan en métodos numéricos similares para la resolución de las ecuaciones del flujo no permanente, en consecuencia los resultados de las simulaciones realizadas fueron satisfactorios, puesto que reflejaron el comportamiento del flujo tanto en la geometría natural del cauce como de los puentes presentes. Las diferencias existentes, se reflejaron en los espacios inundados entre cada uno, puesto que para un período de retorno de 10 años fue de 143,20 % y para el caso de 100 años de 18,45%, siempre mayor para el área correspondientes a las simuladas en el modelo bidimensional (FLO 2D) y con profundidades que no superan los 20 cm.

7) Los valores de los caudales de diseño obtenidos así como las simulaciones realizadas para los diferentes períodos de retorno, arrojan que el río Cabriales tiene una capacidad máxima aproximada de 275 m<sup>3</sup>/s, produciéndose a partir de este valor posibles desbordamientos. En tal sentido y para el tramo estudiado, el caudal mencionado puede definirse como el umbral de inundación.

8) El mapa de amenaza generado en esta investigación es una representación importante y útil de la peligrosidad por inundación en ese sector del río. Mapas como éste reflejan en un primer grado, el nivel de planificación de una ciudad y en consecuencia es una herramienta útil y pública para los encargados del desarrollo de una localidad. El área total de amenaza alcanza un valor de 1.102.095 m<sup>2</sup>, con un área parcial del nivel de peligrosidad bajo, color amarillo, de 249.267,50 m<sup>2</sup> que representa un 22,62%, siguiendo con un área parcial para el nivel de peligrosidad media cuyo color es el anaranjado, de 313.508 m<sup>2</sup> para un 28,45% del total y por último un área para el nivel alto de 539.319,50 m<sup>2</sup> que representa el 48,94 % del total.

El índice municipal ponderado de la amenaza por inundación es una magnitud que permite conocer y tener una visión de forma sencilla del grado de peligrosidad a que está expuesto un municipio determinado. Puede utilizarse también para realizar comparaciones de manera absoluta entre municipios, listando de manera organizada cuales presentan una mayor o menor amenaza. Desde el punto de vista gubernamental, puede ser útil para establecer prioridades en la conducción del presupuesto nacional hacia municipios en el desarrollo de obras de infraestructura destinadas a prevención y/o mitigación de inundaciones.

Las recomendaciones más relevantes del estudio se enuncian a continuación.

1) Uno de los datos más relevantes tanto para el análisis hidrológico como para las simulaciones hidráulicas, es el conocimiento de la topografía y por tal motivo es necesario mejorar y completar la existente así como desarrollar nuevos levantamientos. Bien sea cualquiera de estos casos, se recomienda realizarlos con una escala espacial de 1:500 en el tramo de río y con un ancho de 1500 m; 750 m a ambos lados.

2) La data pluviométrica e hidrométrica es sin lugar a dudas la de mayor importancia no solo porque es necesario per se, sino porque su calidad y cantidad influirá en la exactitud de los estudios que se hagan en función de ella. Un reflejo

de la planificación y por tanto del desarrollo de un país, se puede apreciar en la densidad de sus estaciones de recolección de datos hidrometeorológicas. Por estas razones, se recomienda restablecer la completa red pluviométrica que existía en años pasados del Ministerio del Ambiente así como también mediciones hidrográficas, para poseer una data amplia con características tanto temporal como espacial para comprobar la validación realizada y mejorar el nivel de detalle de las simulaciones realizadas. La antigua estación pluviográfica de Bárbula y la antigua estación limnimétrica son lugares importantes para este tipo de análisis por lo que se propone como estaciones prioritarias dentro del cronograma de rehabilitación de la red. La Universidad de Carabobo a través del Centro de Investigación Ambientales e Hidrológicos tiene el recurso humano para apoyar tanto en la recolección de datos como en su procesamiento.

3) Se recomienda realizar las simulaciones hidráulicas en el tramo, comenzando por lo menos 500 metros antes del inicio del mismo para verificar el comportamiento de la confluencia de la quebrada El Guere, así como el gran meandro presente en ese sector. De igual forma, a 500 metros después del final para verificar el comportamiento aguas abajo del puente existente.

3) Se recomienda el uso del programa bidimensional FLO 2D para simulaciones en zonas urbanas puesto que no solo refleja una estimación mejor adaptada a lo sucedido tal como lo demostró la validación, sino también es posible generar el mapa de inundación en poco tiempo.

4) En definitiva, el análisis de la amenaza por inundación debería realizarse para el desarrollo de nuevas ciudades (planificación) así como también en lugares habitados por el hombre (reubicación o establecimiento de medidas estructurales). En tal sentido, el estudio completo de dicha amenaza a lo largo del río se hace necesario y se recomienda continuar desarrollando esta evaluación y generar no solo un mapa de amenaza municipal sino también de todo el tramo donde la población convive con el cauce. En el caso del río Cabriales, desde el barrio La

Florida en el municipio Naguanagua hasta el desparramadero El Paito en el municipio Libertador.

5) Se recomienda la implementación de la estimación del IMPAI en aquellos municipios que tengan un mapa de amenaza por inundación para comenzar a captar este tipo de dato y estimular su utilización. Adicionalmente y para futuros trabajos de investigación, es conveniente desarrollar una clasificación del IMPAI según su magnitud el cual tenga asociado escalas tales como: muy baja, baja, media, alta y muy alta, que constituya una forma sencilla de comprender por el público en general.

## REFERENCIAS

1. Briceño, M.; Brito Y. y Taberna, J. (1999) *Estudio del Impacto Urbanístico sobre la Escorrentía y la Calidad del Agua en la Cuenca del Río Cabriales. Facultad de Ingeniería, Escuela de Civil, Universidad de Carabobo. Naguanagua.*
2. Campos, D (1998) *Procesos del Ciclo Hidrológico. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis de Potosí. México.*
3. Cornejo, L. (2001) *Variación Espacio-Temporal en la Cobertura Vegetal de un sector del Área Protectora de Valencia-Venezuela. Parque Municipal Casupo). Universidad Central de Venezuela.*
4. Courtel, F.; López J.L. y García, R (2010) *Mapeo de amenazas por inundaciones y aludes torrenciales: aplicación en el estado Vargas y en el valle de Caracas. Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas. Instituto de Mecánica de Fluidos.*
5. Chow, V.T. (1994) *Hidráulica de Canales Abiertos. McGraw Hills.*
6. Díez, A. (2002) *Los Sistemas de Información Geográfica en la Gestión de los Riesgos Geológicos y el Medio Ambiente. Instituto Geológico y Minero de España.*
7. Frass, M. (1981) *Geología de la Región de Valencia Naguanagua. Universidad Central de Venezuela.*
8. García, E.; Guevara, J. y Guevara, E. (2008) *Régimen Climático y Patrón Espacial de las Lluvias en la Cuenca del Lago de Valencia, Venezuela.*
9. Guevara, E (2003) *Análisis AAD (Altura – Área – Duración) de Tormentas en Venezuela. Revista Ingeniería UC, Venezuela: 001. pp. 47-51.*
10. Guevara, E (2003) *Estimación del Coeficiente de Avance de las tormentas en la región Central de Venezuela. Universidad de Carabobo.*
11. Martín, J.P. (2002) *Ingeniería de Ríos. Ediciones UPC.*

12. Maza, J. y García, J. (1997) *Morfología de Ríos*. Instituto de Ingeniería UNAM.
13. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales no Renovables. (1986) *Estimación de las lluvias máximas registradas en la tormenta del 12 de mayo de 1986*. Maracay: Ing. Porfirio Rivero.
14. Morassutti, G. (2005) Estudios y Proyectos Realizados sobre el Río Cabriales y sus Requerimientos Futuros. *GFM Ingeniería*.
15. Noya, M (2002) Análisis de la Amenaza por Aludes Torrenciales en la Cuenca del Río San José de Galipán. *Facultad de Ingeniería, Instituto de Mecánica de Fluidos, Universidad Central de Venezuela. Caracas*.
16. Linsley, R.; Kohler, M y Paulhus, J. (1975) *Hydrology for Engineers*. McGraw Hills.
17. O'Brien, J.S. (2007) *FLO 2D Version 2007.06*. User's Manual, FLO 2D Software, Inc, Nutrioso, Arizona.
18. Rodríguez, E.; González, R.; Medina, N.; Pardo, Y. y Santos, A. (1997) *Propuesta Metodológica para la Generación de Mapas de Inundación y Clasificación de Zonas de Amenaza. Caso de estudio en la parte baja del río las ceibas (Neiva- Huila)*. Revista Avances en Recursos Hidráulicos. No.16. p 65-78.
19. Salgado M. y Ramón, A. (2005) *Análisis Integral del Riesgo a Deslizamientos e Inundaciones en la Microcuenca del Río Gila, Copán, Honduras*". Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación, Escuela de Postgrado. Turrialba, Costa Rica.
20. United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS), Conservation Engineering Division. (1986) Technical Release 55.
21. U.S. Army Corps of Engineers (2006) *Hydrologic Modeling System HEC HMS*. User's Manual Version 3.1.0.
22. U.S. Army Corps of Engineers (2008) *River Analysis System HEC RAS*. User's Manual Version 4.0.
23. U.S. Geological Survey (1987) *Roughness Characteristics of Natural Channels*.

24. Valencia, F. y Guevara E. (2010) Análisis Geomorfológico de la cuenca del río Cabriales, Valencia. *Trabajo presentado al VII Congreso de Investigación del CDCH-UC. Universidad de Carabobo, Valencia Venezuela.*
25. Water, H y Medina, E. (1971) Caracterización Climática de Venezuela sobre la base de Climadiagramas de Estaciones Particulares. Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales. *Tomo XXIX No. 119-120.*
26. Zamanillo, E (2008) *Tormentas de Diseño para la Provincia de Entre Ríos.* Universidad Tecnológica Nacional.

## BIBLIOGRAFIA

1. Ben Chie, Y (1992) Channel Flow Resistance: Centennial of Manning's Formula. *Highlands Ranch, Colorado, USA. Water Resources Publications, LLC.*
2. Bendent, P. y Wayne H. (1992) Hydrology and Floodplain Analysis. *Second Edition. Addison and Wesley Publishing Company.*
3. Bernes, H (1987) *Roughness Characteristics of Natural Channels*. U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 1849.
4. Bolinaga, J. J. (1979). *Drenaje Urbano*. INOS.
5. Bolinaga, J. J. (1999) *Proyectos de Ingeniería Hidráulica*. Fundación Polar.
6. Castellanos, M.; De Libero, F. y Schuster, G (1983) Estudio Sanitario del Río Cabriales, parte I. *Facultad de Ingeniería, Escuela de Civil, Universidad de Carabobo.*
7. Chow, V.T.; Maidment, D y Mays. L. (1988) Applied Hydrologic. *International Edition. McGraw Hill.*
8. Córdova, J.R. y González, M. (2003) Estimación de Hidrogramas de Crecidas en Cuencas del Litoral Central Luego de los Aludes Torrenciales de Diciembre de 1999. *Acta Científica Venezolana Volumen 54.*
9. Córdova, J (2002) *Estimación de caudales máximos en las cuencas tributarias a los sitios de cruce.*
10. Fetter, C (1994) Applied Hydrogeology. *Third Edition. Prentice Hall. de la línea ferroviaria La Encrucijada (Cagua) – Puerto Cabello.*
11. Franceschi, Luis. 1984. Drenaje Vial. Fundación Juan José Aguerrevere
12. Guevara, E. (2008) Educación para Afrontar los Desastres. *Universidad de Carabobo.*
13. Johnson, L. y Labadie, J. (2009) *Geographic Information Systems in Water Resources Engineering*. Talor & Francis Group.

14. *Martínez, A y Rodríguez, J. (1986) Estudio Sanitario del Río Cabriales, parte II. Facultad de Ingeniería, Escuela de Civil, Universidad de Carabobo.*
15. *Pérez, L. (2006) Gestión de Recursos Hídricos. Universidad Politécnica de Catalunya.*
16. *Rodríguez-Iturbe, I. y Valdés, J. (1980) La Estructura Geomorfológica de la Respuesta Hidrológica de una Cuenca. Informe Técnico No. 80-1. Universidad Simón Bolívar.*
17. *Prohidra s.c. (1980) Estudio hidráulico del Río Cabriales en la Urbanización Los Guayabitos, Valencia, Estado Carabobo. Caracas.*
18. *Prohidra s.c.: (1981) Plan Rector Básico de Drenaje Urbano de Valencia, Estado Carabobo. Anexo A Estudio Hidrológico. Caracas.*
19. *Suárez Villar, L.M. (2002) Estudio hidrológico para la determinación de los caudales de diseño del drenaje transversal de la vía para el proyecto del Ferrocarril tramo La Encrucijada (cagua) – Puerto Cabello. Caracas.*

ANEXOS

ANEXO 1

BANDAS PLUVIOGRAFICAS DE LA TORMENTA DEL 20 DE OCTUBRE  
DE 2008

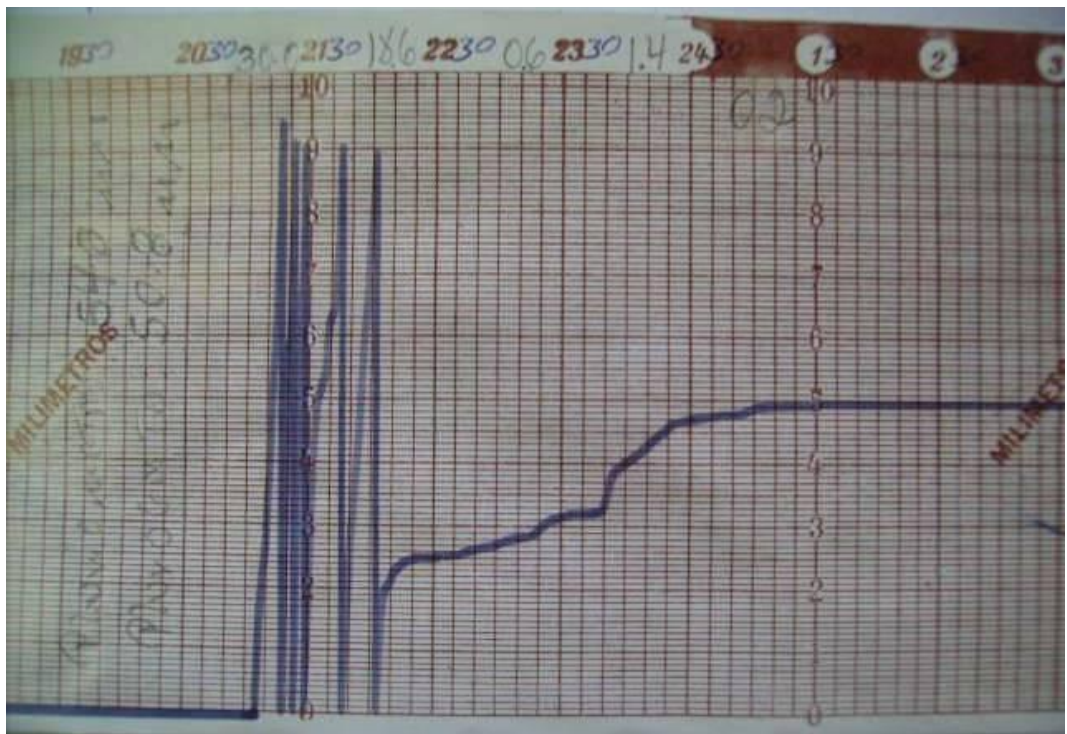


Figura A1.1 Banda Pluviométrica en estación Guaparo correspondiente a la tormenta de día 20 de Octubre de 2008



## ANEXO 2

### RESULTADOS DE LOS AJUSTES A LA FUNCIÓN DE VALORES EXTREMOS TIPO I O GUMBEL PARA LAS ESTACIONES SELECCIONADAS

Tabla A2.1. Precipitaciones máximas en la estación Bárbula para diferentes duraciones y períodos  
de retorno

T (año)	Duraciones (minutos)								
	15	30	60	120	180	360	540	720	1440
200.00	44.40	100.00	122.00	155.00	156.00	156.00	163.00	166.00	184.00
100.00	41.30	90.90	111.00	141.00	142.00	142.00	149.00	151.00	168.00
50.00	38.20	81.40	100.00	126.00	128.00	129.00	134.00	137.00	151.00
20.00	34.10	68.60	85.50	107.00	109.00	110.00	115.00	117.00	130.00
10.00	31.00	58.70	74.30	92.10	94.50	96.50	100.00	102.00	113.00
5.0000	27.70	48.50	62.50	76.60	79.30	81.90	84.70	86.40	95.30
2.3300	23.62	35.84	48.07	57.60	60.53	64.00	65.64	67.14	73.78

Tabla A2.2. Precipitaciones máximas en la estación San Diego para diferentes duraciones y  
períodos de retorno

T (año)	Duraciones (minutos)								
	15	30	60	120	180	360	540	720	1440
200.00	60.20	85.00	111.00	155.00	156.00	161.00	163.00	172.00	196.00
100.00	54.80	77.30	101.00	140.00	142.00	146.00	148.00	156.00	178.00
50.00	49.40	69.60	90.90	126.00	127.00	131.00	133.00	140.00	160.00
20.00	42.10	59.30	77.20	106.00	107.00	112.00	113.00	118.00	136.00
10.00	36.50	51.40	66.70	91.30	92.30	96.40	97.90	102.00	117.00
5.00	30.70	43.10	55.70	75.60	76.60	80.50	81.80	84.40	97.70
2.33	23.97	32.86	43.33	57.55	57.81	62.07	63.18	64.28	74.60

Tabla A2.3. Precipitaciones máximas en la estación Valencia GFV para diferentes duraciones y períodos de retorno

T (año)	Duraciones (minutos)								
	15	30	60	120	180	360	540	720	1440
200.000	44.00	60.50	110.00	113.00	116.00	139.00	148.00	149.00	174.00
100.000	40.90	56.20	101.00	103.00	107.00	127.00	135.00	136.00	159.00
50.000	37.80	51.80	91.30	93.00	96.80	115.00	122.00	123.00	144.00
20.000	33.60	45.90	78.50	79.90	83.80	98.30	104.00	105.00	123.00
10.000	30.40	41.40	68.60	69.80	73.70	85.70	90.70	91.50	107.00
5.0000	27.00	36.70	58.20	59.20	63.20	72.60	76.70	77.30	90.60
2.3300	22.93	30.90	45.55	46.25	50.29	56.43	59.36	59.75	70.21

Tabla A2.4. Precipitaciones máximas en la estación La Entrada para diferentes duraciones y períodos de retorno

T (año)	Duraciones (minutos)								
	15	30	60	120	180	360	540	720	1440
200.000	50.50	68.20	106.00	132.00	143.00	147.00	148.00	149.00	160.00
100.000	46.40	62.60	97.00	120.00	130.00	133.00	134.00	136.00	146.00
50.000	42.20	57.00	87.60	107.00	116.00	120.00	121.00	122.00	131.00
20.000	36.70	49.50	75.10	89.40	98.20	102.00	103.00	104.00	112.00
10.000	32.40	43.70	65.40	76.10	84.30	87.80	88.60	89.80	97.10
5.0000	27.90	37.70	55.30	62.20	69.80	73.30	74.00	75.30	81.50
2.3300	22.45	30.27	42.91	45.17	51.94	55.41	56.13	57.31	62.34

Tabla A2.5. Precipitaciones máximas en la estación Guataparo El Café para diferentes duraciones y períodos de retorno

T (año)	Duraciones (minutos)								
	15	30	60	120	180	360	540	720	1440
200.000	47.50	63.50	94.40	117.00	121.00	132.00	138.00	146.00	160.00
100.000	43.70	58.30	86.40	106.00	110.00	120.00	126.00	133.00	146.00
50.000	39.90	53.20	78.40	95.60	99.70	108.00	114.00	120.00	132.00
20.000	34.90	46.30	67.70	81.60	85.40	92.80	97.70	103.00	113.00
10.000	31.00	41.00	59.40	70.70	74.40	80.80	85.20	89.60	98.30
5.0000	27.00	35.40	50.70	59.30	62.90	68.20	72.20	75.80	83.20
2.3300	22.00	28.59	40.10	45.39	48.70	52.76	56.13	58.73	64.67

Tabla A2.6. Precipitaciones máximas en la estación Compañía Inglesa para diferentes duraciones y períodos de retorno

T (año)	Duraciones (minutos)								
	15	30	60	120	180	360	540	720	1440
200.000	44.70	61.20	95.00	154.00	139.00	149.00	154.00	157.00	175.00
100.000	41.10	56.40	86.70	138.00	126.00	135.00	140.00	143.00	159.00
50.000	37.50	51.60	78.30	122.00	113.00	121.00	125.00	128.00	143.00
20.000	32.70	45.10	67.20	101.00	95.20	102.00	106.00	109.00	121.00
10.000	29.00	40.10	58.60	85.10	81.50	88.10	91.10	93.60	104.00
5.0000	25.20	34.90	49.70	68.10	67.20	73.10	75.70	77.90	86.50
2.3300	20.42	28.53	38.65	47.19	49.67	54.78	56.68	58.57	64.90

Tabla A2.7. Precipitaciones máximas en la estación Valencia San Luis para diferentes duraciones y períodos de retorno

T (año)	Duraciones (minutos)								
	15	30	60	120	180	360	540	720	1440
200.000	47.00	61.40	86.30	111.00	118.00	163.00	164.00	169.00	176.00
100.000	43.70	57.50	80.40	103.00	109.00	149.00	150.00	155.00	161.00
50.000	40.40	53.70	74.40	95.30	101.00	134.00	136.00	140.00	147.00
20.000	36.00	48.60	66.40	84.50	89.00	115.00	117.00	121.00	128.00
10.000	32.60	44.60	60.30	76.10	80.00	101.00	103.00	106.00	113.00
5.0000	29.00	40.50	53.90	67.40	70.60	85.50	87.40	90.70	98.00
2.3300	22.82	32.81	42.56	51.30	54.64	61.72	63.60	66.24	73.24

## HIDROGRAMAS DE CRECIDA PARA TORMENTAS DE TIPO SIMÉTRICO Y REARDADO

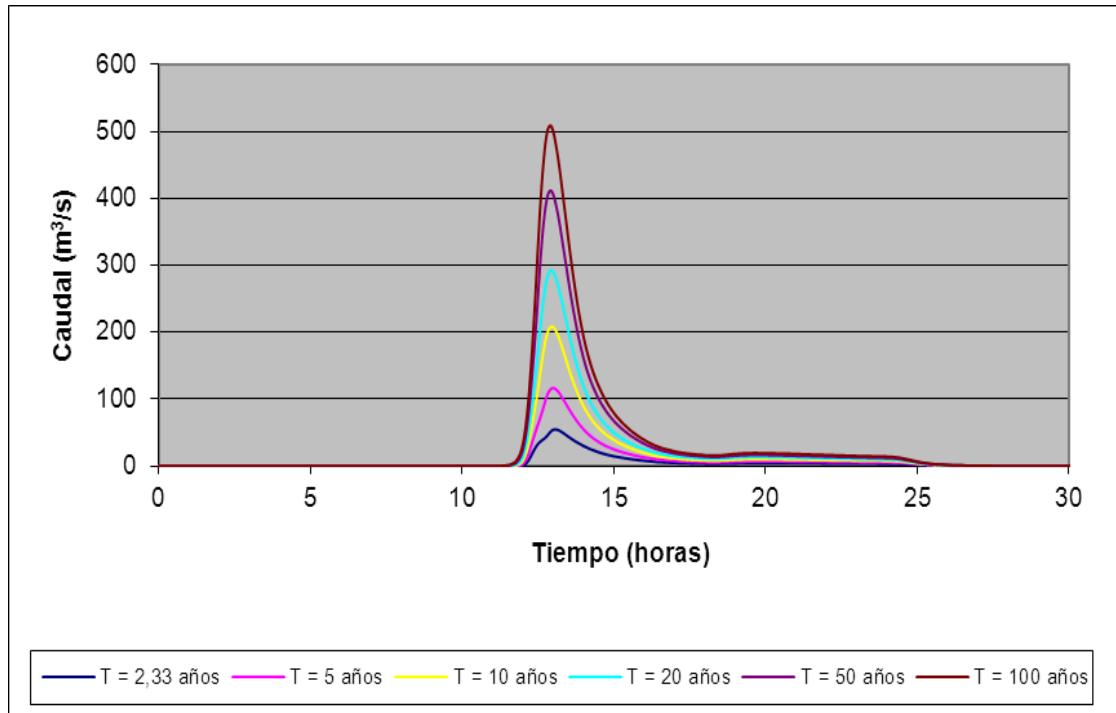


Figura A3.1. Hidrogramas de Crecidas de Tormenta Simétrica para Distintos Períodos de Retorno en Confluencia del río Retobo y Cabriales

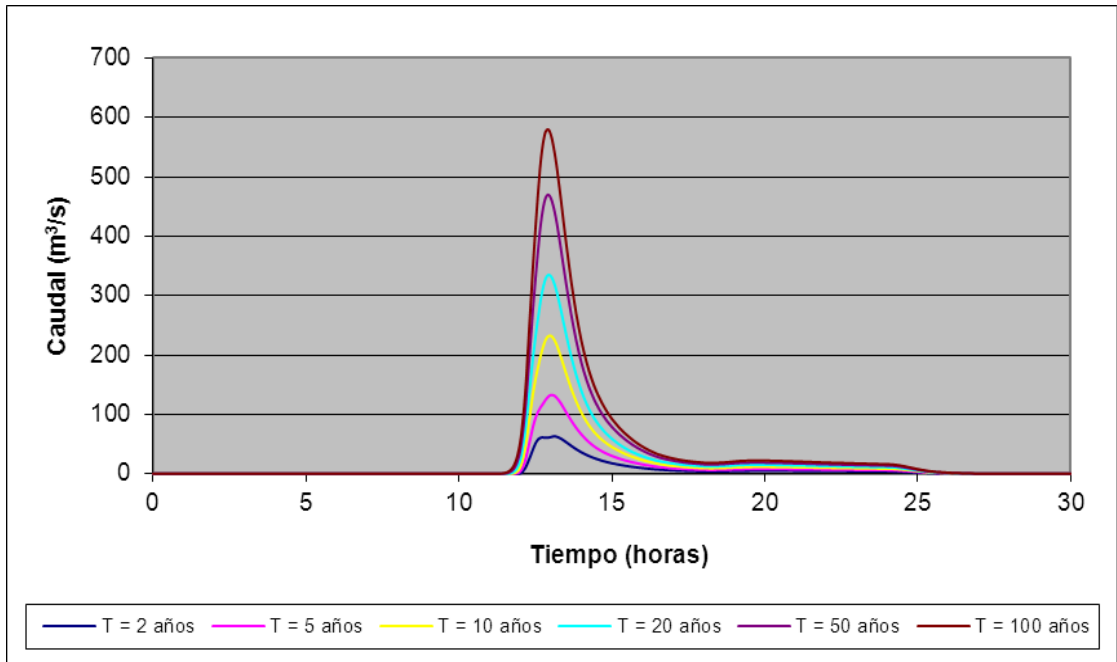


Figura A3.2. Hidrogramas de Crecidas de Tormenta Simétrica para Distintos Períodos de Retorno en Av. Valencia

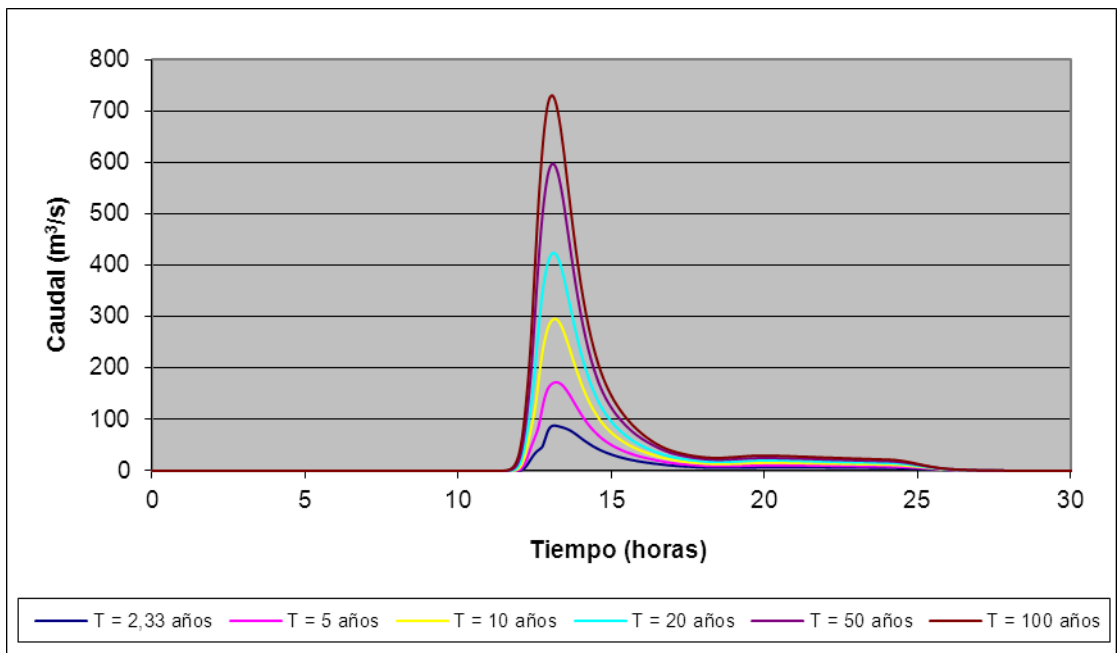


Figura A3.3. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Simétrica para Distintos Períodos de Retorno en Av. Salvador Feo La Cruz

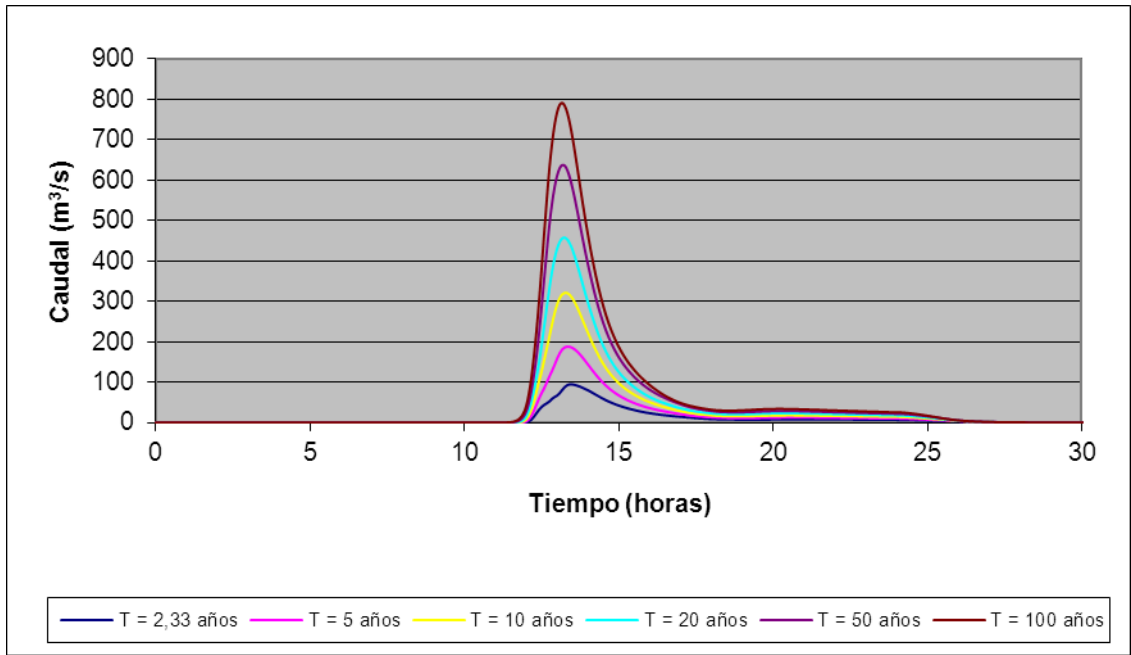


Figura A3.4. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Simétrica para Distintos Periodos de Retorno en Distribuidor El Trigal

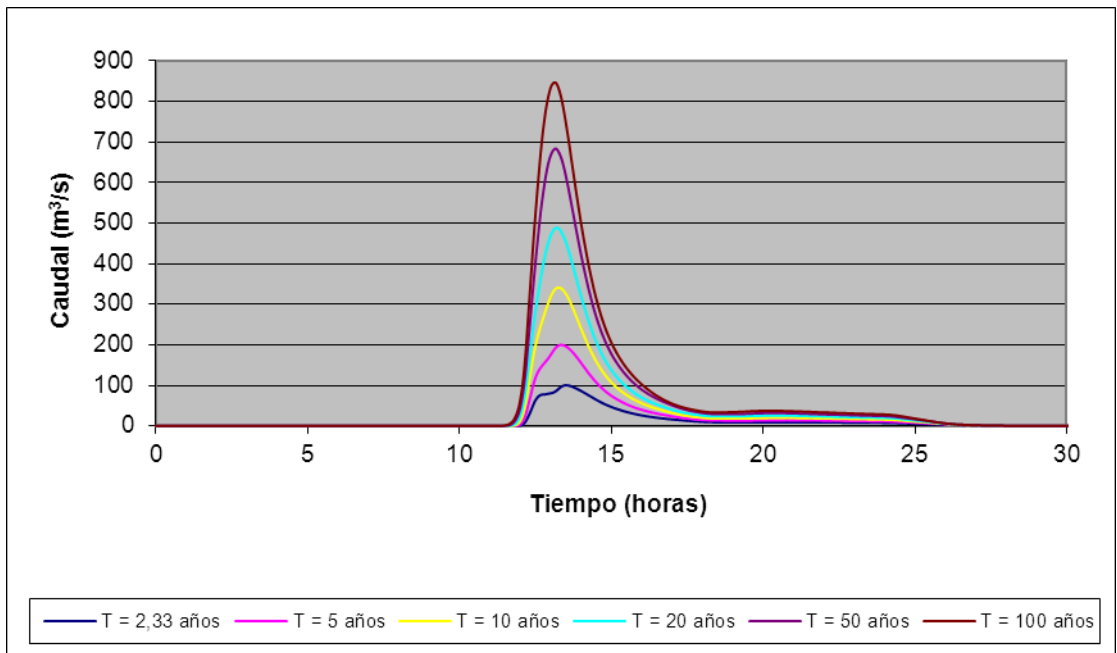


Figura A3.5. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Simétrica para Distintos Periodos de Retorno en Distribuidor Las Chimeneas

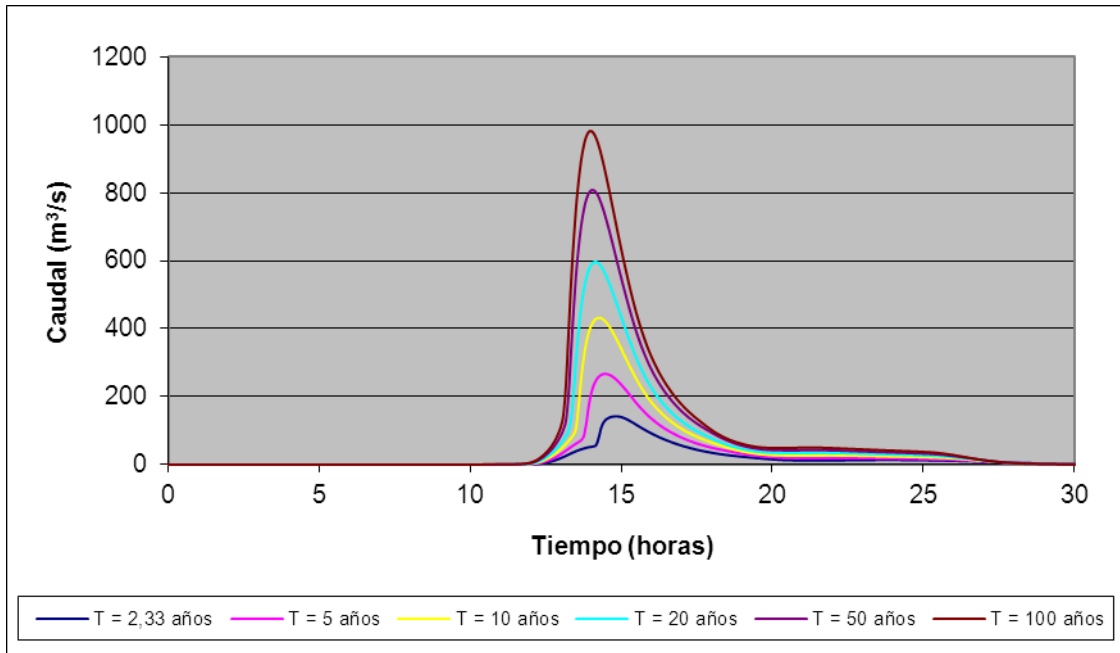


Figura A3.6. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Simétrica para Distintos Periodos de Retorno en desparramadero El Paito

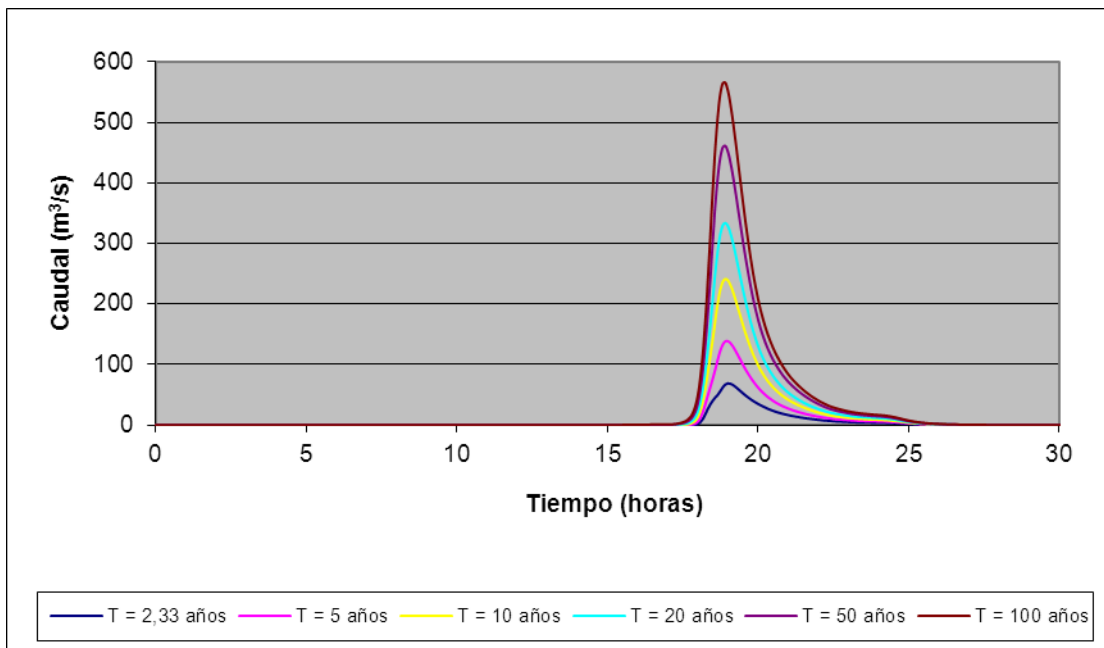


Figura A3.7. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Retardada para Distintos Periodos de Retorno en Confluencia del río Retobo y Cabriales

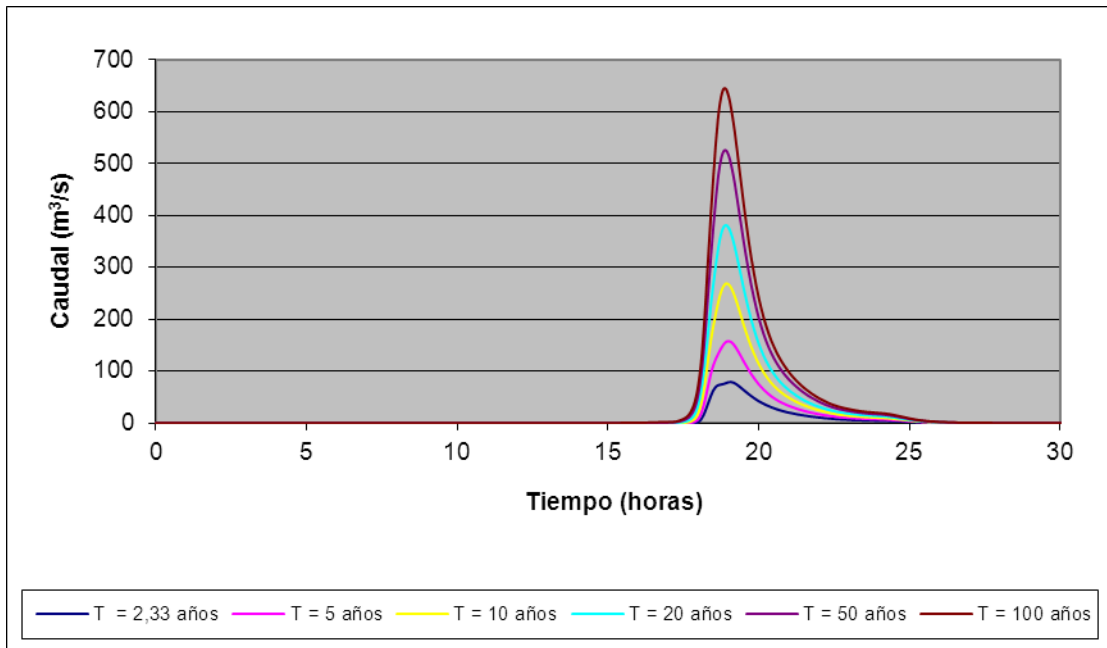


Figura A3.8. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Retardada para Distintos Períodos de Retorno en Av. Valencia

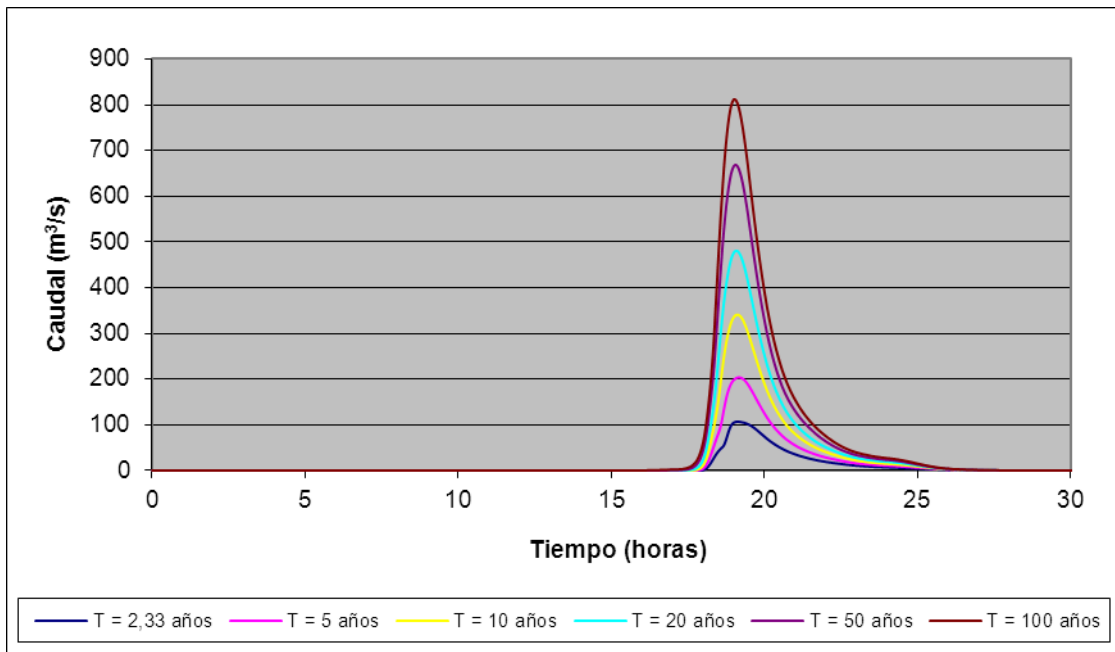


Figura A3.9. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Retardada para Distintos Períodos de Retorno en Av. Salvador Feo La Cruz

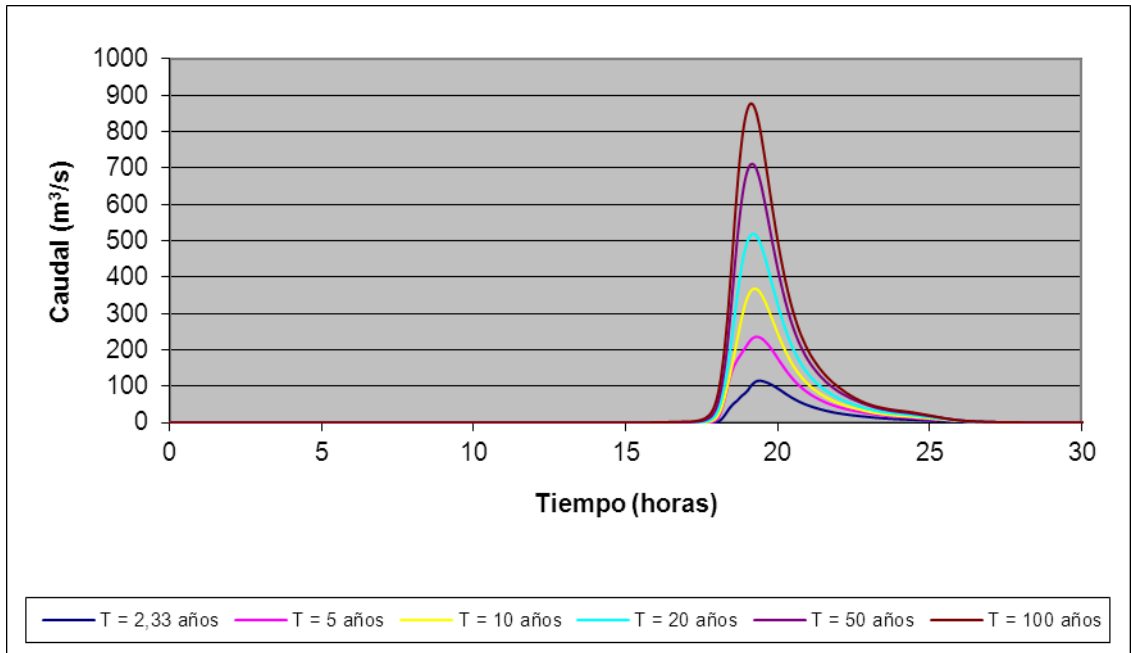


Figura A3.10. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Retardada para Distintos Períodos de Retorno en Distribuidor El Trigal

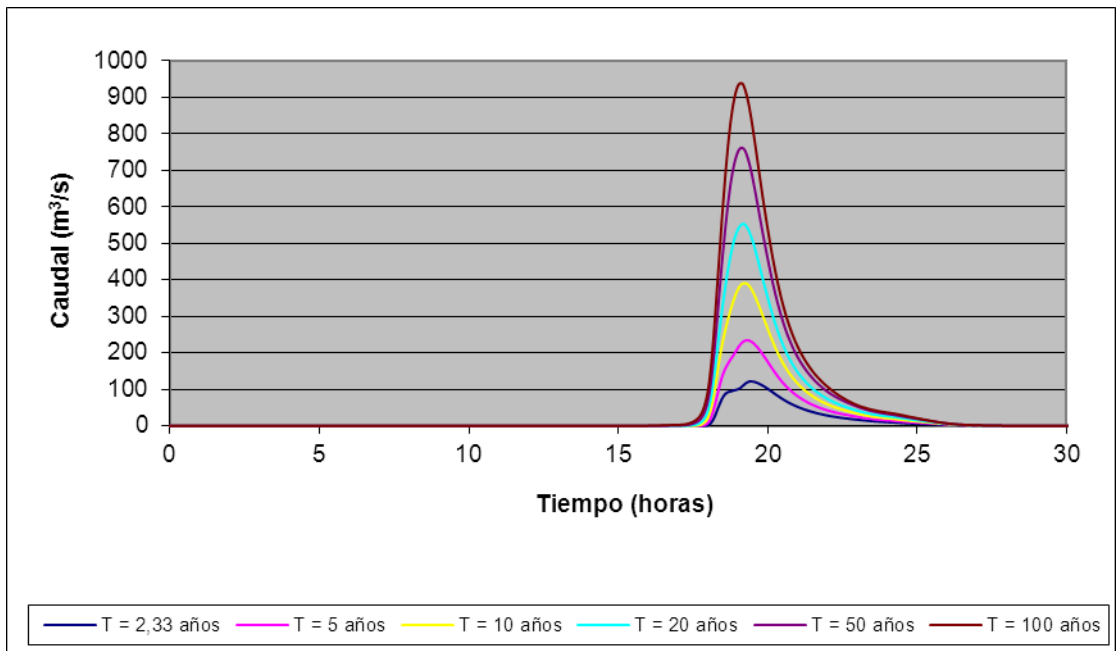


Figura A3.11. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Retardada para Distintos Períodos de Retorno en Distribuidor Las Chimeneas

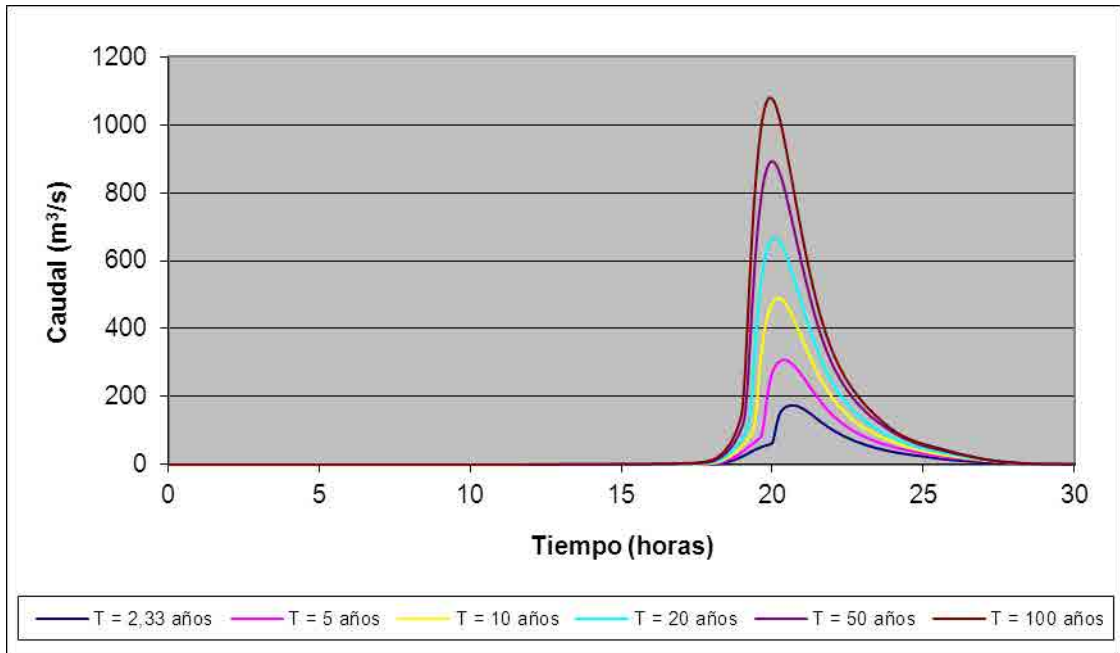


Figura A3.12. Hidrogramas de Crecidas para Tormenta Retardada para Distintos Períodos de Retorno en desparramadero El Paito