

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL  
"FRANCISCO DE MIRANDA"  
AREA DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LA  
PRECIPITACIÓN MÁXIMA SOBRE LA RESPUESTA HIDROLÓGICA DE  
UNA CUENCA HIDROGRÁFICA. CASO DE ESTUDIO: ZONA OESTE DE  
LA CIUDAD DE CORO.**

**AUTORES:**

WILNER D. OVIEDO M.

JOSE C. QUIÑONES D.

**TUTOR:**

ING. ANA B. ORTEGA A.

Santa Ana de Coro, Agosto de 2015

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL  
“FRANCISCO DE MIRANDA”  
AREA DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN  
MÁXIMA SOBRE LA RESPUESTA HIDROLÓGICA DE UNA CUENCA  
HIDROGRÁFICA. CASO DE ESTUDIO: ZONA OESTE DE LA CIUDAD DE  
CORO.**

Trabajo Especial de Grado presentado ante la Ilustre  
Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda  
para optar al Título de Ingeniero Civil.

**AUTORES:**

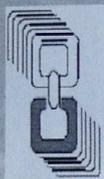
WILNER D. OVIEDO M.

JOSE C. QUIÑONES D.

**TUTOR:**

ING. ANA B. ORTEGA A.

Santa Ana de Coro, Agosto de 2015



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL  
"FRANCISCO DE MIRANDA"  
ÁREA DE TECNOLOGÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

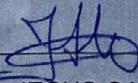
STGPIC- 36-III-2015

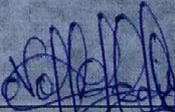
**ACTA DE VEREDICTO**

Nosotros, ING. ANA ORTEGA, TUTOR. ING. JESUS CASTRO, JURADO PRINCIPAL, ING. NOHEMY CALANCHE, JURADO PRINCIPAL, designados como miembros del Jurado Examinador del Trabajo Especial de Grado titulado: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA SOBRE LA RESPUESTA HIDROLÓGICA DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA. CASO DE ESTUDIO: ZONA OESTE DE LA CIUDAD DE CORO, presentado por los Br.(es): OVIEDO MUJICA, WILNER DAVID, C.I 21.402.177 y QUIÑONES DÍAZ, JOSÉ CARLOS, C.I 22.606.881, respectivamente, reunidos para evaluar dicho Trabajo y después de la presentación, defensa e interrogatorio correspondiente, emitimos el siguiente veredicto: APROBADO, con la calificación de VEINTE puntos (20 puntos) Mención \_\_\_\_\_, de acuerdo a las Normas vigentes dictadas por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda para optar al título de Ingeniero Civil.

En fe de lo cual firmamos en la ciudad de Santa Ana de Coro, a los 09 días del mes de octubre del año 2015.

  
\_\_\_\_\_  
ING. ANA ORTEGA  
C.I 14.795.301

  
\_\_\_\_\_  
ING. JESUS CASTRO  
C.I 17350699

  
\_\_\_\_\_  
ING. NOHEMY CALANCHE  
C.I 19171432



## DEDICATORIA

A mis padres **Neris Mujica** y **Ángel Oviedo** les dedico esta meta ¡gracias por ser los mejores papás del mundo! Esta meta nos pertenece por igual. Mamá gracias por enseñarme que nunca se es muy pequeño y se tiene muy poco para lograr grandes metas en la vida ¡Y tú has logrado tres! Papá gracias por tus sabias palabras y consejos que me hicieron mantener la vista en lo que es realmente importante. Sin ustedes no sería posible lograr esta meta. ¡LOS AMO!

A mis hermanos **Ángel E Oviedo** y **Legna Oviedo**. **Ángel E Oviedo** siempre has sido mi ejemplo a seguir, gracias por ser mi segundo padre y enseñarme que hay que luchar y esforzarse para lograr lo que se anhela; **Legna Oviedo**, Manita de mi corazón gracias por todo el apoyo que me brindas y estar siempre cuidando de mí. Doctora, tu sinceridad y deseo por hacer las cosas bien fueron esencial para mí en todo momento.

A **Ángel Santiago Oviedo**. Tus travesuras y ocurrencias es lo único que necesito para olvidar un día difícil ¡TE AMO SANTI! **Paola Martínez**. Cielo, tus palabras de aliento fueron de gran ayuda y principal motivación en los momentos que me sentí decaído, gracias por siempre estar allí en los buenos y malos momentos. **Marlys Devera**, eres la mejor cuñada que se puede tener, gracias por tu apoyo incondicional. **Euderlys Crespo** y **Franco Antonio Cicerelli**, ustedes son los mejores amigos que se puede tener, agradecido por sus consejos y ser mi compañía en todo momento. **Teodocio Mujica**. Paito, sé que desde el cielo estas guiando mis pasos, aunque no estas físicamente siempre te llevo en mi corazón. Sin ti y tus enseñanzas este logro no sería posible.

Wilner David Oviedo Mujica

## DEDICATORIA

Primeramente a **Dios todopoderoso**, porque sin él nada fuese posible, por darme el aplomo en los momentos difíciles a lo largo de este camino, por ser mi guía en cada paso que he dado y por darme la sabiduría para afrontar esta gran carrera.

A mis padres, **Norca Díaz y Luis Quiñones**, por ser los pilares fundamentales en mi vida, por ser mi ejemplo a seguir, por inspirarme en este camino y apoyarme cuando lo necesitaba. Este logro no es solo mío, esto también es de ustedes porque sin ustedes yo no sería la persona que soy hoy.

A mi hermana, **María José**, por ser esa chispa en mi vida, por apoyarme en cada paso que doy, por sacarme una sonrisa hasta en los momentos más complicados, esto también es tuyo nita.

A **Mi Familia**, por apoyarme en todo momento, por ser esa bocanada de oxígeno cuando todo se complicaba. A **Mis Abuelos** por ser esa guía en mi vida, y aunque dos de ellos no estén físicamente sé que desde donde están me guían y bendicen mi camino.

A mis primos hermanos, en especial a **Daniel, Juliana y Héctor Raúl**, por su motivación y apoyo incondicional a lo largo de esta etapa, por estar pendiente y creer en mí, gracias por ser mis hermanos mayores y por darme esa palmada en la espalda para seguir adelante.

A **Mis Amigos**, que más que amigos han sido mi familia a lo largo de estos años. Por apoyarme, por ayudarme a saltar los obstáculos que se atravesaron en nuestro camino, por soportarme de principio a fin en esta etapa y por haber hecho esta una de las mejores etapas en mi vida.

José Carlos Quiñones Díaz

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres **Neris Mujica** y **Ángel Oviedo**, gracias por todas las enseñanzas y valores que han inculcado en mí, por todos los sacrificios que han hecho por mis hermanos y por mí para hacer realidad nuestras metas. A **Ángel E Oviedo, Legna Oviedo** y **Marlys Devera**. Infinitas gracias a ustedes que nunca estaban muy cansados u ocupados cuando de brindarme apoyo y ayuda se trataba.

A la “**Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda**” y los profesores que nos apoyaron en nuestra formación profesional. En especial a **Ing. Ana Ortega** e **Ing. Luis Sánchez** gracias por tener paciencia y creer en nosotros, sin ustedes este proyecto no sería posible.

A los que más que amigos son mi familia, “**José Quiñones, Jesús Ramírez, Génesis Gómez, Daniel Valecillo, Noel Chuello, Verónica Reyes, Alejandro Medina, Neglys Medina, Víctor Prado, Belinda Leen, Luis Centeno, Marian García, Esteban Álvarez, Yannelis Demey** y **Manuel Palacios**” Por brindarme su amistad y haber compartido momentos que son inolvidables y van a perdurar siempre.

A mi hermano y compañero de tesis **José Quiñones**. Gracias por todo el apoyo, te deseo muchos éxitos colega. A la **Sra. Norca Díaz, Sr. Luis Quiñones** y **María José Quiñones**. Eternamente agradecido por todo el apoyo incondicional y hacerme sentir como parte de su familia.

A las **Sras. Norma y Neida Olivera**, Por abrirme las puertas de su hogar y desde el primer día dejarme formar parte de su familia. A **Suisvert Rodríguez** y **Luis Soto** más que compañeros de residencia se convirtieron en mis hermanos, gracias por el apoyo en todo momento.

Wilner David Oviedo Mujica

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por habernos acompañado a lo largo de este camino.

A la **Universidad Nacional Experimental “Francisco de Miranda”**, por abrirnos las puertas para cumplir con este sueño de ser profesionales.

A **Mis padres y familiares**, por confiar en mí y ser mi apoyo en los momentos difíciles. Sus palabras fueron un empuje más para alcanzar esta meta.

A mi compañero de tesis, **Wilner** por ayudarme cuando más lo necesitaba, por confiar en mí para afrontar este trabajo. Hermano, lo logramos. Que este sea el comienzo de muchos más éxitos.

A mis amigos, **Daniel Valecillo, Génesis Gómez, Víctor Prado, Alejandro Medina, Belinda Leen, Verónica Reyes, Esteban Álvarez, Marian García, Yennelys Demey, Jesús Ramírez, Luis Centeno**. Gracias por brindarme su amistad, han hecho de esta experiencia algo inolvidable, la mejor de todas. A tres personas que se convirtieron en más que simples conocidas o amigas, **Andreina Reyes, Paola Zarraga y Neglys Medina**, gracias por cada palabra de aliento, gracias por estar en las buenas y en las malas, se ganaron un espacio en mi corazón. A todos, los quiero un mundo y sepan que más que amigos son mi familia.

A los profesores, **Ana Ortega y Luis Sánchez**, gracias por su compromiso, por su apoyo, por su dedicación, gracias por compartir con nosotros sus conocimientos y experiencia a lo largo de este camino.

Y a todas aquellas personas que no las nombro aquí pero que me apoyaron, ayudaron y pasaron por mi vida para cumplir este objetivo, gracias.

José Carlos Quiñones Díaz

## ÍNDICE GENERAL

	PAG.
VEREDICTO	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	v
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE ILUSTRACIONES	x
LISTA DE FOTOGRAFÍAS	xii
LISTA DE GRÁFICOS	xiii
LISTA DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xvi
INTRODUCCIÓN	1
<b>CAPÍTULOS</b>	
<b>I. EL PROBLEMA</b>	
Planteamiento del Problema	4
Novedades del Trabajo	6
Formulación del Problema	6
Objetivo General	7
Objetivos Específicos	7
Justificación e Importancia	8
Delimitación de la Investigación	9
Alcance	11
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	
Antecedentes del Problema	13
Bases Teóricas	17

Software Utilizados	34
Bases Legales	45
Definición de Términos	46
<b>III. MARCO METODOLÓGICO</b>	
Diseño de la Investigación	49
Tipo de Investigación	50
Población y Muestra	50
Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	51
Fases de la Investigación	53
Fase I. Recolección y Procesamiento de Información Base.	53
Fase II. Caracterización Espacial de la Precipitación.	62
Fase III. Construcción del Modelo Conceptual de la Cuenca.	72
Fase IV. Obtención y Análisis de los Parámetros del Sistema de Drenaje Pluvial de la Zona Oeste de la Ciudad de Coro.	84
<b>IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b>	
Resultados y Análisis	88
<b>CONCLUSIONES</b>	144
<b>RECOMENDACIONES</b>	147
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	149
<b>ANEXOS</b>	155

## LISTA DE TABLAS

<b>N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pág.</b>
III.1	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	52
III.2	Cálculo de la precipitación media por Isoyetas	66
III.3	Valores de Curva Número (CN) sugeridos por la SCS	73
III.4	Valores de Curva Número (CN) sugeridos para tierras agrícolas, suburbana y urbana	74
III.5	Valores de Porcentaje Impermeable (% Impermeable)	75
III.6	Valores de Coeficiente de Manning	78
III.7	Valores típicos para almacenamiento en depresiones	78
IV.1	Estaciones pluviométricas seleccionadas	92
IV.2	Datos Diarios de la Estación Coro-Aeropuerto para el año 1973	93
IV.3	Eventos registrados año 1973	94
IV.4	Secciones típicas del drenaje mayor de la cuenca	96
IV.5	Muestra del cálculo de la precipitación media por Isoyetas para el evento del 03 de Noviembre de 1973	98
IV.6	Valores de los parámetros A y B	101
IV.7	Promedio de los parámetros y desviación estándar	102
IV.8	Eventos analizados para los dos escenarios de lluvia	117
IV.9	Elementos creados en el modelo conceptual de la cuenca oeste de la ciudad Santa Ana de Coro	118
IV.10	Total de elementos del drenaje pluvial de la cuenca sur-oeste y oeste de la ciudad de Coro	119
IV.11	Gastos máximos simulados en el nodo final de cada Quebrada	121
IV.12	Tirantes y Velocidades Máximas en canales principales, para los dos escenarios de distribución espacial de la lluvia	124
IV.13	Gastos máximos simulados para el evento de 100 años de periodo de retorno	126

IV.14	Tirantes y Velocidades Máximas en canales principales, para los dos escenarios de distribución espacial de la lluvia para el evento con periodo de retorno de 100 años y duración de 3 horas	128
IV.15	Gastos máximos simulados en el nodo final de cada quebrada evento registrado año 2011	130
IV.16	Tirantes y Velocidades Máximas en canales principales, para los dos escenarios de distribución espacial de la lluvia para el evento registrado en el año 2011	132
IV.17	Caudales obtenidos para los puntos de vertido del drenaje mayor de la cuenca para el evento registrado en el año 2012	134
IV.18	Tirantes y Velocidades Máximas en canales principales, para los dos escenarios de distribución espacial de la lluvia para el evento registrado en el año 2012	136
IV.19	Caudales obtenidos para los puntos de vertido del drenaje mayor para el evento de 2014	138
IV.20	Tirantes y Velocidades Máximas en canales principales, para los dos escenarios de distribución espacial de la lluvia para el evento registrado en el año 2014	140

## LISTA DE FIGURAS

<b>N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pág.</b>
III.1	Esquema metodológico de las fases para el abordaje de la investigación.	53
III.2	Esquema de las diferentes tablas de configuración del modelo con sus nombres y características	83

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pág.</b>
I.1	Imagen satelital de la delimitación de la cuenca	10
II.1	Discretización de las capas temáticas para análisis multicriterios complejos	18
II.2	Distintas formas de representar una capa con información altitudinal	23
II.3	Celdas de una malla ráster con sus valores asociados	24
II.4	Primitivas geométricas en el modelo de representación vectorial y ejemplos particulares de cada una de ellas con atributos asociados	25
II.5	Mapa de pendientes a partir de un MDE	27
II.6	Logo del software GvSIG	35
II.7	Vista de mapa utilizando el software Global Mapper	36
II.8	Vista del procesador de texto (Writer) de LibreOffice	37
II.9	Ventana de funcionamiento del SWMM v.5	40
II.10	Ejemplo de los Componente Físicos empleados en el modelo de un sistema de drenaje	42
III.1	Visualización de los diferentes puntos de vertido para la cuenca oeste de la ciudad de Coro	77
III.2	Estimación de la longitud entre vértices para cada subcuenca	80
III.3	Vista de la ubicación de la extensión INPcom en el software GvSIG	85
IV.1	Delimitación de la cuenca oeste de la ciudad de Santa Ana de Coro	90
IV.2	Delimitación de la cuenca para la caracterización de la lluvia y modelación de los eventos	91
IV.3	Ubicación de las estaciones pluviométricas	92
IV.4	Ubicación del drenaje mayor de la Cuenca Oeste	95
IV.5	Vista del mapa de Isoyetas en la zona norte de la cuenca para el evento del 03 de Noviembre de 1973	97
IV.6	Relación entre el inverso de la precipitación y el área	101

IV.7	Modelo regional de factores de reducción por área para una duración de 24 horas en la cuenca de estudio	102
IV.8	Ráster MDE de la cuenca Oeste de la ciudad Santa Ana de Coro	104
IV.9	Mapa Ráster de pendiente de la cuenca oeste de la ciudad Santa Ana de Coro	105
IV.10	Mapa vectorial con el parámetro Curva Número para cada una de las subcuencas	106
IV.11	Mapa Ráster del parámetro hidrológico Curva Número de la cuenca oeste de la ciudad Santa Ana de Coro	107
IV.12	Mapa vectorial con el parámetro hidrológico de porcentaje impermeable	108
IV.13	Mapa Ráster de porcentaje impermeable de la cuenca oeste de la ciudad Santa Ana de Coro	109
IV.14	Nodos de conexión de la cuenca oeste de la ciudad Santa Ana de Coro	111
IV.15	Subcuencas creadas mediante los polígonos de Thiessen en la cuenca oeste de la ciudad Santa Ana de Coro	112
IV.16	Patrones de flujo en las calles y en los canales. Nodos de descarga en la Quebrada de Chabe y Quebrada de Coro	113
IV.17	Visualización del modelo conceptual del drenaje	120
IV.18	Mapa colorimétrico de los caudales que transitan por los diferentes canales para el escenario uno (izquierda) y para el escenario dos (derecha)	122
IV.19	Mapa colorimétrico de los caudales en los diferentes canales para el escenario uno (izquierda) y para el escenario dos (derecha) del evento con periodo de retorno de 100 años	127
IV.20	Mapa colorimétrico de los caudales en los diferentes canales para el escenario uno (izquierda) y para el escenario dos (derecha) del evento registrado en 2011	130
IV.21	Mapa colorimétrico de los caudales en los diferentes canales para el escenario uno (izquierda) y para el escenario dos (derecha) del evento registrado en 2012	135
IV.22	Mapa colorimétrico de los caudales en los diferentes canales para el escenario uno (izquierda) y para el escenario dos (derecha) del evento registrado en 2014	139

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

<b>N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pág.</b>
III.1	Fotografías tomadas sentido aguas arriba-aguas abajo (izquierda) y sentido aguas abajo-aguas arriba (derecha) del canal “Quebrada de Chabe”	60
III.2	Vista en sentido aguas arriba-aguas abajo del canal “Quebrada de Coro”	60
III.3	Vista del punto de vertido del canal “Quebrada de Coro” en sentido aguas arriba-aguas abajo	61
III.4	Fotografías tomadas sentido aguas arriba-aguas abajo (izquierda) y sentido aguas abajo-aguas arriba (derecha) del canal “Quebrada Cruz Verde”	61

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pág.</b>
IV.1	Curva AAD para el evento de duración 24 horas, ocurrido el 03 de Noviembre de 1973	99
IV.2	Curva de Factor de Reducción por Área para el evento de 24 horas ocurrido el 03 de Noviembre de 1973	100
IV.3	Valores de Factores de Reducción para las diferentes áreas	103
IV.4	Hietogramas de precipitación para los eventos sintéticos de duración 3 horas para los dos escenarios de lluvia analizados	115
IV.5	Hietogramas de precipitación para los eventos registrados en campo para los dos escenarios de lluvia analizados	116

## LISTA DE ANEXOS

N°	Descripción	Pág.
1	Muestra del archivo SUBCATCH con los parámetros para cada subcuenca	155
2	Muestra del archivo TIMESERIES_REL con los hietograma de lluvia	156
3	Muestra del archivo CONDUIT_NO, contiene los conductos con sus características	157
4	Muestra del archivo JUNCTION, contiene los nodos de conexión con sus características	158
5	Archivo OUTFALL_NM, contiene los nodos de vertido con sus características	159
6	Muestra del archivo INFILTRACION_NC contiene el parámetro Curva Numero para cada subcuenca	160
7	Archivo RGAGE_TS contiene las características del pluviómetro	161
8	Archivo OPTIONS contiene la configuración general del programa	162
9	Archivo PROJECT_ID contiene la información básica del proyecto	163
10	Gastos Máximos simulados, 25 años de tiempo de retorno y 3 horas (escenario 1)	164
11	Gastos Máximos simulados, 25 años de tiempo de retorno y 3 horas (escenario 2)	165
12	Gastos Máximos simulados, 100 años de tiempo de retorno y 3 horas (escenario 1)	166
13	Gastos Máximos simulados, 100 años de tiempo de retorno y 3 horas (escenario 2)	167
14	Gastos Máximos simulados, evento registrado en el año 2011 (escenario 1)	168
15	Gastos Máximos simulados, evento registrado en el año 2011 (escenario 2)	169
16	Gastos Máximos simulados, evento registrado en el año 2012 (escenario 1)	170

17	Gastos Máximos simulados, evento registrado año 2012 (escenario 2)	171
18	Gastos Máximos simulados, evento registrado en el año 2014 (escenario 1)	172
19	Gastos Máximos simulados, evento registrado en el año 2014 (escenario 2)	173

**OVIEDO M. WILNER D., QUIÑONES D. JOSÉ C., ORTEGA A. ANA B. (2015). EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA SOBRE LA RESPUESTA HIDROLÓGICA DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA. CASO DE ESTUDIO: ZONA OESTE DE LA CIUDAD DE CORO.**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL. SANTA ANA DE CORO. UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL “FRANCISCO DE MIRANDA”.

## **RESUMEN**

La zona oeste de la cuenca urbana de Coro, en el estado Falcón, ha sido objeto de un conjunto de estudios para estimar la vulnerabilidad de las zonas más expuestas a las inundaciones pluviales, mediante la modelación de los sistemas de drenaje y quebradas existentes donde mediante el método de los polígonos de Thiessen, una sola estación influye en el comportamiento espacial de la lluvia sobre toda la cuenca urbana. Sin embargo, en cuencas pequeñas esta representatividad puede alterar los resultados de la modelación. En la presente investigación se propone determinar la influencia de la distribución espacial de la precipitación sobre los caudales generados a la salida del sistema de drenaje en la cuenca ubicada en la zona oeste de la ciudad de Coro. En este sentido, se evaluarán dos escenarios de distribución espacial de la precipitación considerando la estación influyente y distribuyendo espacialmente la lluvia mediante el método de factor de reducción por área. Para ello fue necesario la recopilación y procesamiento de la información básica, referida a información pluviográfica y topográfica de la cuenca y de las características de los elementos del sistema de drenaje. Con base a la información pluviográfica se caracterizó espacialmente la variable mediante la construcción de las relaciones altura-área-duración y la obtención de un modelo regionalizado para estimar el factor de reducción por área para la cuenca oeste con base en la fundamentación matemática propuesta por Guevara (2003). Se construyó el modelo conceptual de la cuenca y del sistema de drenaje de la zona oeste por medio del software Storm Water Management Model (SWMM) y se realizó la simulación para diferentes eventos de precipitación y los escenarios indicados. Se obtuvo como resultado que el factor de reducción para el área de la cuenca de 12.20 Km<sup>2</sup> es de 0,73 y para los casos analizados, se demostró que existe una variación importante en los caudales generados a la salida de la cuenca. Además se demuestra que la confluencia entre la Quebrada Llano Grande, la Quebrada Barrio Cruz Verde y el canal paralelo a la Variante Falcón-Zulia es un punto crítico en el sistema de drenaje de la ciudad de Coro generando inundaciones en las zonas adyacentes.

**Palabras Claves:** Drenaje, Precipitación, Variación.

## INTRODUCCIÓN

Las obras destinadas a conducir cursos superficiales de agua son dimensionadas en función de la magnitud de un evento máximo. Este evento conocido como crecida de diseño, debe estimarse sobre la base del análisis de datos históricos de caudales máximos, sin embargo es común que la disponibilidad de esta información sea limitada, siendo habitual que la estimación de tales caudales se realice mediante modelos de simulación del proceso lluvia-escorrentía donde la principal variable de entrada es la precipitación, caracterizada por la magnitud, duración, frecuencia, distribución espacial y temporal.

Para la obtención de la distribución espacial de la precipitación existen diferentes metodologías con distintas fundamentaciones teóricas. Algunas asumen una distribución uniforme de la lluvia en el área que consideran y otras consideran que esta distribución es no uniforme en función de las características de la cuenca. La aplicación de una u otra metodología, está condicionada a la disponibilidad de registros históricos de la variable en las diferentes estaciones meteorológicas a considerar en el estudio.

Para el caso particular del diseño y/o evaluación de un sistema de drenaje en cuencas urbanas en muchas ocasiones estos se realizan bajo el supuesto de que la precipitación es constante en tiempo y espacio, sin embargo existen varios reportes en la literatura que muestran la variabilidad espacio-temporal de la precipitación a esta escala. La extrapolación del registro de un solo pluviómetro a toda el área de la cuenca puede no ser representativa de todo el conjunto, por lo que esto puede alterar el resultado final.

En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la influencia del comportamiento y distribución espacial de la lluvia en los caudales generados a la salida del sistema de drenaje de la cuenca oeste de la ciudad de Coro que se encuentra ubicada en el estado Falcón-Venezuela, considerando la información de un solo pluviógrafo y la distribución espacial de la lluvia basada en la reducción de valores puntuales a través de factores de reducción de área. Así mismo, para la evaluación de dicho sistema de drenaje se utiliza la modelación integrada, con el fin de contrastar y analizar los gastos máximos para los distintos escenarios de precipitación a analizar.

El desarrollo del presente trabajo de investigación está estructurado en cuatro capítulos:

En el capítulo I se presenta el planteamiento del problema, los objetivos, tanto general como específicos, la justificación e importancia de la investigación.

El capítulo II comprende los antecedentes de la investigación, los fundamentos teóricos, la base legal y la definición de los términos básicos empleados en el desarrollo del trabajo.

El capítulo III se refiere al marco metodológico que comprende el tipo de investigación según el diseño y según el nivel de conocimiento. Asimismo, incluye las diferentes fases en las cuales se desarrolla la investigación para la obtención de los resultados y el logro de los objetivos propuestos.

El capítulo IV se refiere al análisis e interpretación de los resultados de la investigación. Seguidamente se presentan las conclusiones y recomendaciones.



---

*CAPÍTULO I:  
EL PROBLEMA*

---

## CAPÍTULO I

### Planteamiento del Problema

Es habitual que en países en vía de desarrollo, y como tal en Venezuela, exista una disponibilidad reducida de datos hidrométricos históricos que permitan el diseño de las obras hidráulicas con un cierto grado de confiabilidad. Es por ello que para el diseño de estas obras por lo general, se recurre a la aplicación de metodologías que conllevan la modelación del proceso lluvia – escurrimiento donde la principal variable de entrada lo constituye la precipitación de diseño, caracterizada en cuanto a magnitud, recurrencia y distribución espacial y temporal sobre la zona de estudio.

En el caso del diseño de obras hidráulicas en cuencas urbanas y en específico de las obras de drenaje, es común que el diseño se efectúe suponiendo para la precipitación de diseño, que una estación pluviométrica es representativa del comportamiento espacial y temporal de tal evento, sin embargo esto no describe la realidad de la distribución del fenómeno, el cual posee una importante variación en función del tiempo y el espacio (Butyaert y otros. 2006, Segond y otros. 2006, Vaes y otros. 2005) citado por Rodríguez y otros.(2008)

Gómez y otros (2009) citado por Sánchez y Méndez (2012), afirman que la forma más económica y rápida de abordar el diseño de las obras de drenaje es con ayuda de un modelo numérico de simulación de la realidad de la cuenca urbana y su red de drenaje, en donde la principal variable de entrada es la precipitación, la cual debe estar distribuida espacialmente en el área de la cuenca. Patrick & Stephenson (1990) citado por Ceballos (2009) afirman, que para pequeñas cuencas la distribución espacial es uniforme en toda su área y es dada por los registros de un solo pluviómetro. No obstante, estudios más recientes han demostrado que en ocasiones el registro de un solo pluviómetro

no es representativo de toda la cuenca, y que la variabilidad espacial de la precipitación es un factor que puede alterar el resultado final en un balance hídrico (Goodrich et al, 1995) citado por Ceballos (2009).

En este sentido, para la caracterización de la distribución espacial se recurren a distintas metodologías las cuales permiten extrapolar la información puntual de una estación meteorológica a un espacio más extenso, con el fin de obtener la precipitación de aquella superficie (Pizarro y otros, 2003) y cuya aplicación de una u otra varía dependiendo de la distribución y densidad de estaciones y de la morfología del terreno.

Para la presente investigación se tiene como caso de estudio la zona oeste de la cuenca urbana de Coro, en el estado Falcón, en la cual se han desarrollado un conjunto de estudios cuyo objetivo ha sido estimar la vulnerabilidad de las zonas más expuestas a las inundaciones pluviales así como también, la modelación de los sistemas de drenaje y quebradas existentes generando mapas de peligrosidad pluvial, entre otros, donde por medio de los polígonos de Thiessen una sola estación es representativa del comportamiento espacial de la lluvia sobre toda la cuenca urbana.

Tomando en cuenta lo antes expuesto, en el presente estudio se pretende analizar cómo varía la respuesta hidrológica de la cuenca considerando que la precipitación de un solo pluviógrafo es representativa para toda el área de estudio, así como también considerando la distribución espacial de la precipitación empleando el método del Factor de Reducción por Área; todo esto con el propósito de determinar la influencia de la representación espacial de esta variable sobre la escurrimiento de la cuenca para el diseño y evaluación del sistema de drenaje.

Es importante además resaltar que la presente investigación, se encuentra enmarcada dentro de las líneas de investigación “Gestión de la Información

Hidrometeorológica en cuencas hidrográficas” y “Control de Inundaciones de origen pluvial” que desarrolla el Centro de Investigación de Recursos Hídricos del Instituto Integral de Agua, Energía Renovable y Soberanía Alimentaria (IAERSA) de la UNEFM.

### **Novedades del Trabajo**

- Estimación y aplicación de los Factores de Reducción por Área (FRA) para la distribución espacial de la precipitación de diseño, en la cuenca urbana de Coro.
- Utilización de un modelo integrado de los canales que drenan al norte y al sur de la variante Falcón-Zulia con el uso de suelo actualizado.
- Integración a la base de datos SIGPDU-Coro un total de 9 tormentas, 5 sintéticas y 4 medidas en campo.
- Contraste de los caudales generados en la cuenca oeste de la ciudad de Coro, con la utilización de un solo pluviómetro y aplicando el Factor de Reducción por Área (FRA) para la precipitación de diseño.

### **Formulación del Problema**

Para cumplir con los objetivos planteados es preciso dar respuesta a las siguientes interrogantes:

1. ¿Qué metodologías de distribución espacial se aplican hoy en día?

2. ¿Qué efectos produce sobre los escurrimientos el empleo de diferentes metodologías de distribución espacial de la precipitación en el diseño de obras de drenaje?
3. ¿Qué metodología de distribución espacial de la precipitación sería la más apropiada para representar el comportamiento real de esta variable?

### **Objetivo General**

Evaluar el comportamiento espacial de la precipitación máxima sobre la respuesta hidrológica de la zona oeste de la ciudad de Coro, Estado Falcón.

### **Objetivos Específicos**

- Analizar el comportamiento espacial de la precipitación máxima en la zona oeste de la ciudad de Coro.
- Modelar el sistema de drenaje pluvial en la zona oeste de la ciudad de Coro, considerando diferentes metodologías de distribución espacial de la precipitación de diseño.
- Contrastar los gastos máximos en los diferentes puntos de vertido, a partir de los resultados obtenidos en la modelación.

## **Justificación e Importancia**

Según la UNESCO (1982) citado por Ortega (2013), la precipitación es un evento climatológico que no puede ser estimado con exactitud, ya que su estimación se ve alterada por el error en la medida puntual generada por la medición en la estación y por el error en la distribución espacial sobre una superficie, a partir de valores puntuales.

En la cuenca urbana de Coro ubicada en la ciudad de Santa Ana de Coro, estado Falcón, donde se circunscribe esta investigación, actualmente se encuentra operativa una estación meteorológica (Coro-Aeropuerto), la cual es considerada como representativa de toda el área mediante el método de los polígonos de Thiessen en investigaciones hidrológicas e hidráulicas que se han realizado anteriormente. Sin embargo, se conoce que mientras mayor sea la densidad de estaciones existentes en la cuenca, más cercano a la realidad será la estimación de la precipitación y su distribución espacial y por ende de los escurrimientos obtenidos.

Es por ello, que resulta pertinente realizar la presente investigación con la finalidad de analizar, a través de la modelación hidrológica e hidráulica de la cuenca, cómo es la influencia de la distribución espacial de la precipitación sobre el comportamiento hidrológico de la cuenca, contrastando el uso de la información pluviográfica de una sola estación meteorológica con el empleo de metodologías que permiten estimar la distribución espacial de la precipitación basadas en criterios más aproximados a la realidad del comportamiento del fenómeno.

Dicha modelación hidrológica se realizó mediante la utilización de softwares de modelos matemáticos que simulan las condiciones de la realidad,

como es el caso del Storm water Management Model (SWMM) 5.0. Dichos modelos permiten relacionar los datos con un Sistema de Información Geográfica (SIG), estos últimos constituyen una herramienta importante para el estudio de los procesos hidrológicos ya que permiten introducir de manera eficiente los valores de los parámetros hidrológicos de las subcuencas que se ubican dentro de la zona en estudio, en este caso se utilizara un SIG de dominio público como lo es gvSIG 1.12. Para la asignación de los parámetros del modelo se realizará a partir de la calibración realizada por Sánchez (2012) quien publicó los valores recomendados para este tipo de cuencas urbanas.

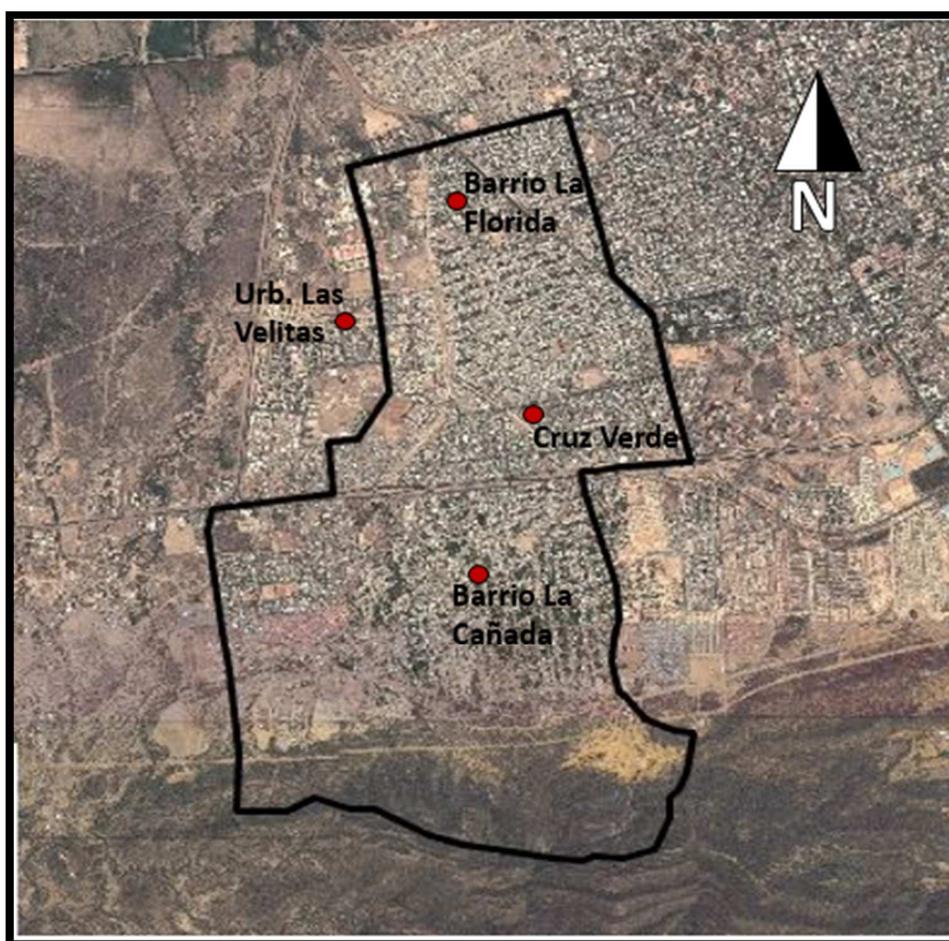
### **Delimitación de la investigación**

#### *Temática o Contenidos*

Para la ejecución de la investigación se debe estar al tanto de los temas referentes al comportamiento espacio-temporal que presenta la precipitación, la gestión de la información hidrometeorológica en las cuencas hidrográficas y de los estudios sobre el control de inundación de origen pluvial que se han realizado en la cuenca urbana de la ciudad de Coro, en donde los sistemas de drenaje urbano permiten que las aguas pluviales no causen daños a las personas o a las propiedades en las ciudades u obstaculicen el normal desenvolvimiento de la vida urbana en la medida que estos se diseñen de manera adecuada para un funcionamiento óptimo.

*Espacial*

Se realizó en la Zona Oeste de la ciudad de Coro, Estado Falcón. Involucra las urbanizaciones adyacentes a las quebradas de Coro y Chabe, como se muestra en la Ilustración I.1.



**Ilustración I.1** Imagen satelital de la delimitación de la cuenca.

**Fuente:** GvSIG, 2014.

*Temporal*

24 semanas como mínimo

Fecha de inicio: Diciembre 2014

Fecha de culminación: Septiembre 2015

**Alcance**

Se tiene previsto analizar el comportamiento espacial que presenta la precipitación en la cuenca urbana y establecer diferencias en los gastos máximos generados a partir de las distintas metodologías de distribución espacial. Así como también incorporar información del drenaje pluvial a la BDE del SIGPDU-Coro.



---

*CAPÍTULO II:*  
*MARCO TEÓRICO*

---

## CAPITULO II

### Antecedentes del problema:

A continuación se presentan un conjunto de investigaciones desarrolladas en el área temática, cuya metodología y resultados aportan importantes criterios para el desarrollo del presente trabajo.

#### **En relación al análisis de la precipitación:**

**Guevara (2003)**, desarrolló en su trabajo de investigación, un modelo de Altura-Área-Duración (AAD) de tormentas en Venezuela, donde se estudia el comportamiento espacial de la precipitación durante diferentes eventos ocurridos en Venezuela. En este estudio se construye un modelo regional general a partir de las curvas AAD para tales eventos, obteniendo una ecuación que permite reducir la lluvia puntual para estimar la lluvia media sobre un área de interés.

Este trabajo es de gran importancia para la presente investigación, debido a que presenta la fundamentación teórica que será utilizada para determinar el Factor de Reducción por Área (FRA) para la cuenca en estudio.

**Ortega (2013)**, llevo a cabo en su trabajo de investigación el análisis del comportamiento espacio-temporal de la precipitación máxima en una cuenca hidrográfica, teniendo como caso de estudio la cuenca del río Coro en el Estado Falcón. Dicho estudio tuvo como propósito estimar el factor de reducción por área para diferentes duraciones en la cuenca caso de estudio, con el propósito de reducir a partir de dicho factor la precipitación que se mide de manera puntual, y con ello obtener la distribución espacial de la lluvia sobre la cuenca con un nivel más aproximado a la realidad del fenómeno. Para este estudio se tomaron en consideración eventos máximos horarios ocurridos en

un periodo de tiempo común para así determinar relaciones Altura-Área-Duración, a partir de las cuales se obtuvo un modelo regionalizado de Factores de Reducción por Área para la cuenca en estudio. Dicho factor redujo la precipitación de diseño obtenida mediante las metodologías tradicionales en más de 43%, lo cual influye en una mejor estimación del diseño y estimación de costos para las obras hidráulicas.

Ambos trabajos de investigación referidos son de gran importancia para este estudio debido a que se enfocan en distribuir espacialmente la precipitación sobre una cuenca, mediante una metodología cuya fundamentación es más cercana a la realidad del comportamiento de la precipitación y que si bien es ampliamente utilizada en el mundo, ha tenido muy poca aplicación en el país.

#### **Con respecto a la evaluación del drenaje pluvial urbano:**

**Méndez (2009)**, desarrolló en su trabajo de investigación, un modelo de elevación digital (MED) e informatización del sistema de drenaje mayor y menor de la zona oeste de la ciudad de Santa Ana de Coro. La elaboración de dicho MED, en el cual se dispone de información real sobre la topografía actualizada de la zona, resulta esencial para el abordaje de los problemas de inundación en las partes críticas de la ciudad y una mejor planificación de la red de drenaje, ya que permite a través de una vinculación con modelos de simulación específicos una evaluación más o menos fiel de los procesos hidrológicos e hidráulicos de los ambientes urbanos así como la respuesta y funcionamiento individual de los diferentes componentes que conforman el drenaje pluvial urbano de la zona en estudio.

Dicha investigación es de gran importancia para este estudio, debido a que este último se encuentra ubicado en parte de la zona oeste de Coro además

de que permite la utilización del MED generado para adiciones y actualización de la base de datos ya existente.

**Salazar y Zambrano (2009)**, en su estudio de evaluación de la respuesta hidrodinámica de la Quebrada de Chabe empleando un modelo hidráulico unidimensional, obtuvieron las características hidrofísicas de las diferentes cuencas que drenan al canal así como las características físicas y dimensionamiento del canal analizado con el objetivo de conocer la capacidad de conducción de este ante la ocurrencia de distintos eventos de lluvia cuando el flujo se comporta en un régimen no permanente.

Este trabajo es importante para la presente investigación, ya que permite la obtención de las características topográficas e hidráulicas del canal revestido Quebrada de Chabe.

**Arias (2010)** realizó un estudio para determinar la amenaza por inundación en el canal que drena las aguas pluviales de las comunidades de La Cañada, Ezequiel Zamora y Monseñor Iturriza de la ciudad de Coro-Estado Falcón. Este proyecto permitió comprobar la funcionalidad que presenta el canal durante tormentas por medio de la modelación hidráulica, con lo que se pudo verificar que el canal no presenta ninguna problemática. En esta investigación se realizó un análisis a la red de drenaje en la zona, tanto natural como artificial, así como también un levantamiento topográfico de las subcuencas de la zona. Adicional se inspeccionó las estructuras que conforman el drenaje con el fin de conocer sus dimensiones y el estado físico en el que se encontraban para posteriormente realizar la modelación hidrológica por medio de un proceso basado en la simulación matemática a fin de visualizar las reacciones del canal durante ciertas condiciones dadas. Como dicha investigación se encuentra ubicada adyacente a la zona en estudio del presente trabajo, esta servirá para obtener datos, tanto

topográficos como hidrológicos, de las subcuencas y el canal antes evaluado con el fin de dar continuidad a los análisis de la zona Sur-Oeste de la ciudad de Coro.

**Sánchez (2012)**, realizó en su trabajo de investigación, la modelación integrada de sistemas de drenaje pluvial urbano en zonas predominantemente llanas, con el objetivo de predecir la respuesta hidrológica e hidráulica de una cuenca urbana, en este caso la cuenca urbana de Coro en el Estado Falcón. Para este trabajo se contó con una Base de Datos Espaciales (BDE), un diagnóstico de la infraestructura del drenaje pluvial urbano lo que permitiría una nueva visión de los modelos de simulación integrados en comparación con los criterios y métodos recomendados en el manual de Drenaje del antiguo Ministerio de Obras Públicas (MOP) que data del año 1967.

Además desarrollo una calibración de los parámetros hidrológicos para dicha cuenca, los cuales han sido referencias debido a que en la literatura existente no se encontró métodos de calibración de manera confiables para cuencas urbanas con mínimos registros. Es por ello, que de esta investigación se tomarán los valores de tales parámetros hidrológicos del modelo calibrado para los parámetros de la cuenca en estudio dado que presentan características similares.

**Estrada y Reyes (2014)**, desarrollaron por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG) y modelación integrada, el funcionamiento del canal paralelo a la variante Falcón-Zulia desde el punto de vista hidráulico, tomando en consideración las posibles modificaciones tanto en el uso de suelo como el crecimiento urbanístico en las áreas ubicadas en las adyacencias del mismo, con el objetivo principal de proponer medidas que permitan la reducción de posibles impactos generados por los procesos urbanísticos en los sistemas de drenaje de la zona Sur-Oeste de la ciudad de Coro, Estado

Falcón. En este estudio se logró incorporar el método de polígonos de Thiessen, para lograr una mayor discretización de las subcuencas en la zona de estudio, así como también la migración por medio de la extensión INP.com dentro del software GvSIG del modelo conceptual de la zona Sur-Oeste con todos sus parámetros hidrológicos-hidráulicos desde el software GvSIG hasta el software SWMM, lo cual es una ventaja debido a que permite automatizar los procesos para otorgarle las características y los parámetros a los diferentes elementos del modelo.

Este trabajo de investigación representa un aporte importante para el presente estudio, ya que permitirá continuar con la evaluación del drenaje mayor en la zona oeste de la ciudad de Coro además de la incorporación de nuevas áreas de la cuenca urbana de Coro al modelo conceptual así como la utilización del método de Thiessen para la obtención de las subcuencas y la migración por medio de la extensión INP.com.

## **Bases Teóricas**

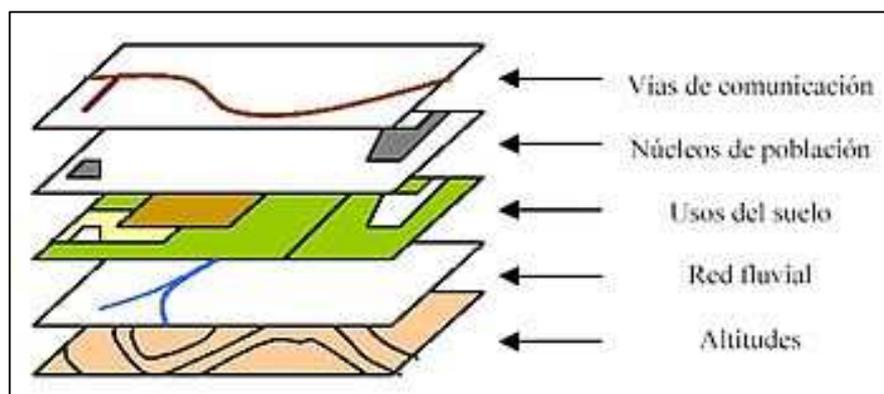
### **Sistema de Información Geográfica (SIG).**

Un sistema de información (SI) consiste en la unión de información en formato digital y herramientas informáticas (programas). Como una variante de un sistema de información se originan los sistemas de información geográfica que consisten, en que la información contenida en los sistemas de información aparezcan georreferenciada, es decir incluye su posición en el espacio utilizando un sistema de coordenadas estandarizado resultado de una proyección cartográfica (generalmente UTM) (Sarria, 2006).

Así pues, un SIG o GIS en su acrónimo inglés, Geographic Information Systems es un software específico que permite a los usuarios crear consultas

interactivas, integrar, analizar y representar de una forma eficiente cualquier tipo de información geográfica referenciada asociada a un territorio, conectando mapas con bases de datos. El uso de este tipo de sistemas facilita la visualización de los datos obtenidos en un mapa a fin de reflejar y relacionar fenómenos geográficos de cualquier tipo, con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión, conformándose como un valioso apoyo en la toma de decisiones (CEA, 2010).

Un SIG funciona como una base de datos con información geográfica que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de los mapas digitales. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente (Ver Ilustración II.1), permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente.



**Ilustración II.1** Discretización de las capas temáticas para análisis multicriterios complejos.

**Fuente:** Wikipedia (2015).

## **Bases de datos**

Desde el punto de vista de los datos, un SIG se basa en una serie de capas de información espacial en formato digital que representan diversas variables, o bien capas que representan entidades a los que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada. Estas capas corresponden, al menos en parte, a la misma zona, de manera que pueden analizarse en conjunto. De este modo puede combinarse, en un mismo sistema, información espacial y temática, con orígenes y formatos muy diversos.

De las diversas disciplinas que convergen en los SIG, la cartografía es una de las que tiene una contribución más relevante. Los SIG representan así una visión “cartográfica” del mundo apoyada en un espacio absoluto dotado de un sistema cartesiano de coordenadas obtenido a partir de un sistema de proyección.

## **Utilización de un Sistema de Información Geográfica**

Las funciones básicas, y más habitualmente utilizadas, de un SIG son el almacenamiento, visualización, consulta y análisis de datos espaciales. Un uso algo más avanzado sería la utilización de un SIG para la toma de decisiones en ordenación territorial o para la modelización de procesos ambientales.

**Almacenamiento:** El primer problema que se plantea al trabajar con un SIG es el como codificar y almacenar los diferentes fenómenos que aparecen en la superficie terrestre. El primer paso para conseguirlo es desarrollar modelos de datos adecuados. Es decir, el almacenamiento de datos espaciales implica extraer los elementos esenciales obviando aquellos no necesarios para los objetivos perseguidos y codificar de forma cuantitativa este modelo.

**Visualización:** La diferencia básica entre un Sistema de Información en sentido amplio y un SIG es que este último maneja datos espaciales. Estos se presentan en un espacio de cuatro dimensiones (3 espaciales y el tiempo) pero debido al peso que la tradición cartográfica tiene sobre los SIG, una de las formas prioritarias de presentación de los datos es en su proyección sobre el espacio bidimensional definido mediante coordenadas cartesianas.

**Consultas:** En un Sistema de Información convencional o en una base de datos, las consultas se basan en propiedades temáticas. En un SIG las consultas se basan tanto en atributos temáticos como en propiedades espaciales, estas pueden definirse mediante un par de coordenadas o pinchando directamente sobre un mapa. El lenguaje de consulta más utilizado en programas de gestión de bases de datos es SQL (Lenguaje Estructurado de Consultas). Sus resultados son tablas, sin embargo estas tablas pueden combinarse con capas de información espacial preexistentes para obtener, como presentación, una nueva capa

**Análisis:** Más sofisticado sería el uso de herramientas de análisis espacial y álgebra de mapas para el desarrollo y verificación de hipótesis acerca de la distribución espacial de las variables y objetos. A partir de los resultados de análisis podemos, en algunos casos, generar nuevas capas de información.

**Toma de decisiones:** Un punto más allá de sofisticación sería la utilización de un SIG para resolver problemas de toma de decisión en planificación física, ordenación territorial, estudios de impacto ambiental, etc. mediante el uso de instrucciones complejas del análisis espacial y álgebra de mapas.

**Modelación:** Finalmente, las aplicaciones más elaboradas de los SIG son aquellas relacionadas con la integración de modelos matemáticos de procesos

naturales, dinámicos y espacialmente distribuidos. Los objetivos perseguidos pueden ser tanto científicos como de planificación y ordenamiento.

### **Modelos para la información geográfica**

Describir los enfoques teóricos existentes para convertir la realidad relativa a una variable dada en una capa que la contenga de la forma más precisa posible y pueda ser empleada en un SIG. Este proceso implica la construcción de un modelo (el dato geográfico), que representa la realidad y puede servir para conocer esta en profundidad a través de análisis que no se llevan a cabo sobre dicha realidad, sino sobre el modelo en sí. Se hace necesario extraer una serie de elementos y valores característicos, los cuales en última instancia se recogerán como valores numéricos dentro del SIG (pues son estos los que maneja un ordenador), y podrán interpretarse como el anteriormente citado modelo.

### **Modelos geográficos**

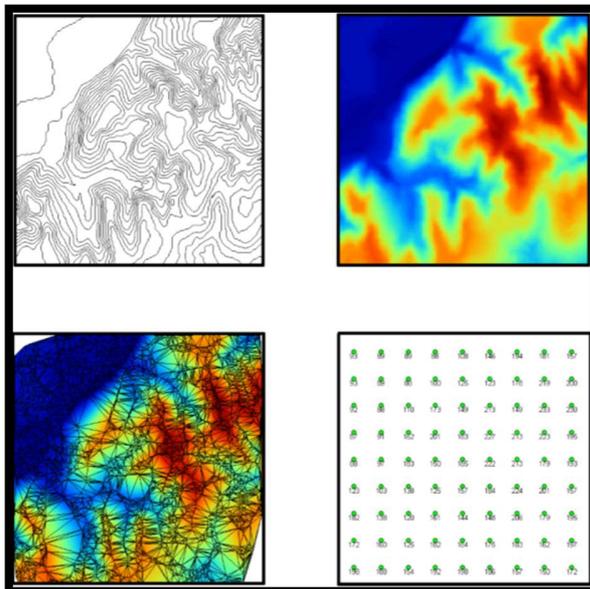
El primer paso hacia la creación del dato geográfico implica el establecimiento de un modelo conceptual relativo a como se ha de interpretar la realidad geográfica. Se trata de conceptualizar el espacio estudiado, la variable tratada y la variación de esta a lo largo del espacio. Este modelo geográfico es un esquema mental que constituye una forma particular de entender el hecho geográfico en sí, pero que todavía no incorpora elementos relativos a su representación o almacenamiento. Existen muchos modelos geográficos distintos, entre los cuales cabe destacar dos de ellos:

**Campos:** Un campo es un modelo de variación dentro de un marco  $n$ -dimensional, en el cual en cada punto dentro de dicho marco se tiene un valor de la variable estudiada. En su concepto matemático, un campo es una función de la forma  $\phi: R^n \rightarrow R^m$ , esto es, una función que asocia cada punto de un espacio vectorial con otro en un espacio vectorial distinto.

**Entidades discretas:** A diferencia de los campos, el modelo de entidades discretas no asocia a cada punto geográfico un valor, sino que concibe un entorno geográfico como un espacio vacío sobre el que se sitúan distintos elementos (entidades) que lo van rellenando. Cada una de dichas entidades posee unas características propias, constantes para toda ellas, que son las que conferirán sus propiedades particulares a los puntos que se sitúen en su interior.

### **Modelos de representación**

Los modelos geográficos nos ofrecen una concepción particular del espacio geográfico y sus atributos. En base a ellos, el siguiente paso es reducir las propiedades de dichos modelos a un conjunto finito de elementos, de tal modo que el registro de dichos elementos sirva para almacenar la realidad que los modelos geográfico describen. Para ello, empleamos los modelos de representación, también denominados modelos de datos, el cual se ve reflejado en la Ilustración II.2 .



**Ilustración II.2** Distintas formas de representar una capa con información altitudinal.

**Fuente:** Olaya, 2011.

**Modelo ráster:** En el modelo ráster, la zona de estudio se divide de forma sistemática en una serie de unidades mínimas (denominadas habitualmente celdas), y para cada una de estas se recoge la información pertinente que la describe. Se puede ver esto en detalle en la ilustración II.3, que muestra aumentada una porción de la malla ráster de elevaciones de modo que los límites de las celdas se hacen patentes y puede además representarse en cada una de ellas su valor asociado.

132.90	133.90	135.60	139.20	140.60	144.40
126.80	128.50	131.40	133.90	135.90	139.90
122.30	124.10	125.80	128.50	131.80	135.60
118.70	119.90	121.90	124.30	128.20	131.50

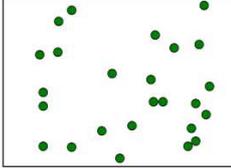
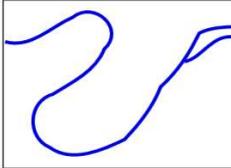
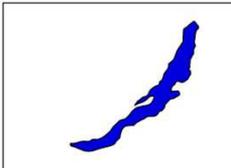
**Ilustración II.3** Celdas de una malla ráster con sus valores asociados.

**Fuente:** Olaya, 2011.

Aunque la malla de celdas puede contener información sobre varias variables, lo habitual es que trate una única variable. Es decir, que se tenga un único valor para cada una de las celdas. La característica principal del modelo ráster, y que le confiere gran parte de sus propiedades más interesantes, especialmente de cara al análisis, es su sistematicidad. La división del espacio en unidades mínimas se lleva a cabo de forma sistemática de acuerdo con algún patrón, de tal modo que existe una relación implícita entre las celdas, ya que estas son contiguas entre sí, cubren todo el espacio, y no se solapan. Por tanto, la posición de una celda depende de la de las restantes, para así conformar en conjunto toda la malla regular que cumple las anteriores características. Dicho de otro modo, el orden propio de las celdas, presente gracias a la división sistemática realizada, aporta un elemento adicional que las relaciona entre sí.

**Modelo vectorial:** El otro modelo principal de representación es el modelo vectorial. En este modelo, no existen unidades fundamentales que dividen la zona recogida, sino que se recoge la variabilidad y características de esta mediante entidades geométricas, para cada una de las cuales dichas características son constantes. La forma de estas entidades (su frontera), se

codifica de modo explícito, a diferencia del modelo ráster, donde venía implícita en la propia estructura de la malla. Si el modelo ráster era similar al modelo conceptual de campos, el vectorial lo es al de entidades discretas, pues modeliza el espacio geográfico mediante una serie de primitivas geométricas que contienen los elementos más destacados de dicho espacio. Estas primitivas son de tres tipos: puntos, líneas y polígonos, como se muestra en la Ilustración II.4.

<i>Primitiva</i>	<i>Entidad espacial</i>	<i>Representación</i>	<i>Atributos</i>																		
Puntos			<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>Altura</th> <th>Diámetro Normal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>17.5</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>22</td> <td>45.6</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>15</td> <td>27.2</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>19.7</td> <td>38.1</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	ID	Altura	Diámetro Normal	1	17.5	35	2	22	45.6	3	15	27.2	4	19.7	38.1	...		
ID	Altura	Diámetro Normal																			
1	17.5	35																			
2	22	45.6																			
3	15	27.2																			
4	19.7	38.1																			
...																					
Líneas			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ancho máx(m)</th> <th>Calado máx(m)</th> <th>Longitud(km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>4.3</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>6.3</td> <td>3.9</td> <td>5.2</td> </tr> </tbody> </table>	Ancho máx(m)	Calado máx(m)	Longitud(km)	15	4.3	35	6.3	3.9	5.2									
Ancho máx(m)	Calado máx(m)	Longitud(km)																			
15	4.3	35																			
6.3	3.9	5.2																			
Polígonos			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Superficie(km )<sup>2</sup></th> <th>Profundidad máx(m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>31494</td> <td>1637</td> </tr> </tbody> </table>	Superficie(km ) <sup>2</sup>	Profundidad máx(m)	31494	1637														
Superficie(km ) <sup>2</sup>	Profundidad máx(m)																				
31494	1637																				

**Ilustración II.4** Primitivas geométricas en el modelo de representación vectorial y ejemplos particulares de cada una de ellas con atributos asociados.

**Fuente:** Olaya, 2011.

**Puntos:** Los puntos se utilizan para las entidades geográficas que mejor pueden ser expresadas por un único punto de referencia. En otras palabras: la simple ubicación.

**Líneas o polilíneas:** Las líneas unidimensionales o polilíneas son usadas para rasgos lineales como ríos, caminos, ferrocarriles, rastros, líneas topográficas o curvas de nivel. De igual forma que en las entidades puntuales,

en pequeñas escalas pueden ser utilizados para representar polígonos. En los elementos lineales puede medirse la distancia.

**Polígonos:** Los polígonos bidimensionales se utilizan para representar elementos geográficos que cubren un área particular de la superficie de la tierra. Los polígonos transmiten la mayor cantidad de información en archivos con datos vectoriales y en ellos se pueden medir el perímetro y el área.

### **Geomorfometría y análisis del terreno**

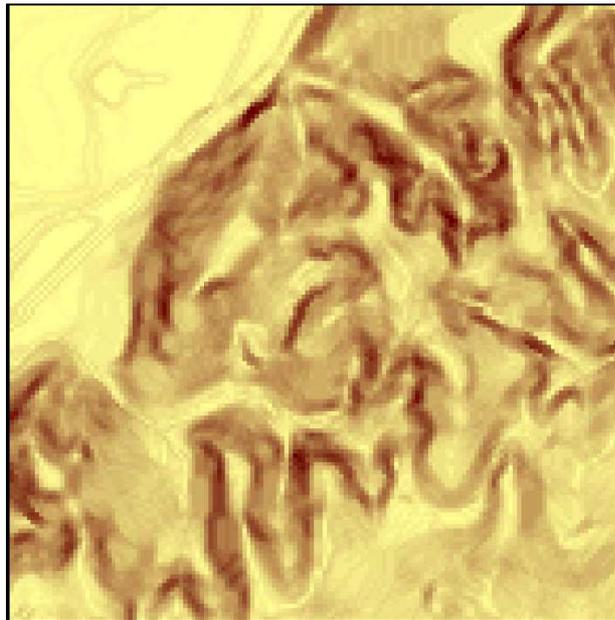
Si es cierto que una inmensa parte de la información que manejamos es susceptible de ser georreferenciada, y ello justifica la necesidad de los SIG como herramientas, no es menos cierto que, de los procesos que estudiamos en un SIG, la gran mayoría requieren un conocimiento exhaustivo de la superficie sobre la que se desarrollan. Asimismo, justifica el hecho de que el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) sea, con toda probabilidad, la capa de mayor importancia de cuantas podemos incorporar a cualquier análisis, ya que no solo su ámbito de utilidad es amplísimo, sino que, como veremos, el número de resultados que podemos obtener de su análisis es igualmente variado y abundante. De este modo, su versatilidad es tal que en prácticamente todas las situaciones será de interés el incorporar a un proceso de análisis bien el MDE directamente o bien alguna de las múltiples capas derivadas de este. El estudio del terreno y la parametrización de sus características es, por tanto, pieza fundamental del análisis geográfico.

### **El Modelo Digital de Elevaciones**

El Modelo Digital de Elevaciones es la pieza clave del análisis geomorfométrico. Es el equivalente informatizado de la cartografía clásica de elevaciones tradicionalmente representada mediante curvas de nivel. El MDE supone un enorme salto cualitativo frente a sus predecesores, ya que la utilización de un modelo numérico en lugar de uno gráfico permite una

diferencia conceptual de análisis superior en este caso a la que tiene lugar con otras capas de información. El MDE se convierte así en una fuente de información de primer orden para el estudio del medio (Ver Ilustración II.5).

La creación del MDE implica en la mayoría de casos la utilización de métodos de interpolación. Un caso muy habitual es la creación a partir de curvas de nivel, con cuyos valores puede obtenerse una capa continua de elevaciones. También puede obtenerse a partir de datos puntuales tomados en campo, caso que es frecuente para estudios donde es necesaria una gran precisión, y en los que la cartografía existente no es suficiente, debiendo elaborarse esta.



**Ilustración II.5** Mapa de pendientes a partir de un MDE.

**Fuente:** Olaya, 2011.

### **Procesado de imágenes**

Las imágenes como tipo de dato son parte de los SIG desde prácticamente su origen, y las formulaciones dedicadas al análisis de estas existen también

desde entonces y son un campo muy desarrollado. Este análisis representa una de las áreas más ricas, combinando aquellas formulaciones que consideran la naturaleza del tipo particular de imágenes que se usan en un SIG —esto es, el hecho de que son imágenes de la superficie terrestre— junto con las que existen para el análisis y proceso de imágenes digitales en general. Estas últimas constituyen por sí solas un amplio grupo de técnicas que, en conjunto con las dedicadas al análisis de datos espaciales, forman una serie de herramientas de gran utilidad para el uso genérico de los SIG. Si la consideramos simplemente como una estructura de datos, una imagen no es sino una capa ráster más. Tiene la estructura regular de una capa ráster y contiene en cada celda (cada píxel de la imagen) el valor asociado a una variable dada. Particularmente, esta variable es la intensidad de la reflectancia en una longitud de onda dada.

### **Bibliotecas de funcionalidad común**

SEXTANTE (Sistema EXTremeño de ANálisis TErritorial) es una librería de geo-procesos desarrollada en Java que actualmente cuenta con más de 280 algoritmos distintos que cubren la práctica totalidad de áreas dentro del análisis geoespacial. Es empleada por los principales proyectos libres también desarrollados en Java, tales como gvSIG, OpenJUMP o uDig, para incorporar funcionalidades de análisis, tanto de datos ráster como vectoriales. Cuenta, asimismo, con componentes gráficos que facilitan el uso de los algoritmos, y que pueden igualmente reutilizarse e incorporarse con sencillez a una u otra aplicación gracias a su arquitectura.

### **Imágenes Satelitales.**

Una imagen satelital o imagen de satélite se puede definir como la representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial. Estos sensores recogen la información reflejada por la superficie de la Tierra que luego es enviada de regreso a ésta y que procesada convenientemente, entrega valiosa información sobre las características de la zona representada.

Existen diferentes tipos de imágenes satelitales, dependiendo del tipo de sensor y de la finalidad de captación con la que fue construido. Desde las primeras cámaras fotográficas montadas en satélites en la década de los 60 hasta los más sofisticados y sensibles sensores hiperespectrales del día de hoy.

En la actualidad las imágenes satelitales son extraídas por sensores más complejos como LANDSAT, ASTER, WORLDVIEW – 2, entre otros.

### **Sistemas de Drenaje Pluvial Urbano**

Los Sistemas de Drenaje Urbano comprenden una serie de elementos que van desde el sistema de Captación de Aguas Pluviales hasta las Canalizaciones y Conductos que permiten la conducción y descarga de las Aguas de Lluvia precipitadas en el medio Urbano hasta los cauces naturales y artificiales, para su libre escurrimiento.

El adecuado Diseño de los Sistemas de Drenaje Urbano permitirá garantizar que, para distintas frecuencias y duraciones de las Lluvias de Diseño, no sólo se proteja la integridad de las propiedades sino también que se permita el libre tránsito de vehículos y personas durante la ocurrencia de la Precipitación.

El diseño de estos Sistemas de Drenaje Urbano requiere de aspectos tales como:

- La Determinación del Caudal máximo de Aguas de Lluvia que es posible transportar por la Vialidad (Calles, Avenidas) sin llegar a exceder alturas de agua y/o Anchos de Inundación preestablecidos generalmente por las Normas de Diseño para el Drenaje Urbano, de acuerdo a la importancia de la vialidad.
- Cálculo de los Caudales Máximos de Aguas de Lluvia utilizando Métodos como el Racional, en el cual se involucra adicionalmente la necesidad de determinar parámetros como Tiempos de Concentración y Coeficientes de Escorrentía Ponderados, de acuerdo a las características de uso del Suelo dentro del área tributaria al sistema de Captación de Aguas Pluviales así como al Alcantarillado respectivo.
- Determinar, en función del Caudal Máximo de Aguas de Lluvia estimado para cada Tramo de Vialidad, los parámetros hidráulicos propios a la sección transversal y la pendiente longitudinal de ésta, es decir, anchos de inundación, velocidad de escurrimiento, altura de agua con respecto al brocal o bordillo, entre otros. Estos valores serán comparados con los parámetros normativos de forma tal de establecer la necesidad (o no) de disponer elementos de Captación de Aguas Pluviales como serían los Sumideros o imbornales.
- En caso de ser requerido dentro del Sistema de Drenaje Urbano de elementos de Captación, será necesario, como parte del

diseño, la determinación del Caudal Interceptado por los elementos de Captación de Aguas Pluviales lo cual, la mayoría de las veces, es un proceso iterativo de forma tal de determinar cuál es el Tipo de Sumidero, con la mejor eficiencia para las condiciones estimadas de flujo.

- Realizar la determinación de diámetros y pendientes para el Sistema de Alcantarillado Pluvial, el cual es uno de los principales componentes de los Sistemas de Drenaje Urbano, pues será el encargado de recibir el caudal Interceptado por los Sumideros en estos Sistemas de Drenaje Urbano y conducirlo hasta el punto de disposición final previsto para las Aguas de Lluvia.

Fuente: Hidrasoftware (2015).

El sistema de drenaje pluvial urbano es dirigido a cumplir con 2 objetivos: uno básico y otro complementario. Donde el básico es disminuir al máximo los daños que las aguas de lluvia pueden ocasionar a la ciudadanía y las edificaciones en el entorno urbano. Por otra parte, el objetivo complementario es garantizar el normal desenvolvimiento de la vida diaria en las ciudades, permitiendo así un apropiado tráfico de personas y vehículos durante la ocurrencia de las lluvias.

El constante crecimiento urbano obliga a una meditación en cuanto a la solución del drenaje, lo que exige la interrelación en la planificación urbana con el objetivo de preservar la integridad física de las vías, garantizar el libre desenvolvimiento de la ciudadanía en épocas de grandes lluvias. La vida útil de un alto por ciento de los sistemas de drenaje urbano están muy relacionados no solo con la calidad de los materiales utilizados y la calidad de construcción, sino en si planificación y concepción de los criterios de diseño (García, 2015).

Es por ello que se debe definir un grado de protección para el drenaje urbano, el cual se debe al nivel aceptable del riesgo de ocurrencia de daños y molestias. Por lo cual existirán básicamente dos grados de protección, uno correspondiente a la función básica y otro a la complementaria, siendo el riesgo en el primer caso menor que en el segundo, por cuanto la protección de las personas y vehículos.

### **Distribución Espacial de la Precipitación**

La estimación de los recursos hídricos de una cuenca, demanda conocer la distribución espacial de la precipitación. Es difícil obtener dicha representación cuantitativa de la precipitación, insumo básico de los modelos relación lluvia-escorrentía, ya que es un fenómeno intermitente con alta variabilidad espacial y temporal. Usualmente dicha variable se estima sólo en algunos puntos de monitoreo de una cuenca a través de una red de pluviómetros (Mirás-Avalos et al., 2007) citado por (Covarrubias, Bustamante, Delgado, Bâ y Escalante, 2011), sin embargo tal medición puntual debe ser distribuida a través de diferentes metodologías para poder conocer la precipitación sobre la cuenca.

La interpolación espacial de la lluvia se ha estudiado con diferentes enfoques dependiendo de la aplicación, información disponible y precisión requerida. El principio básico de la mayoría de los métodos es transformar los valores puntuales de la precipitación, a través de ponderadores espaciales, para representar la distribución de la precipitación sobre una superficie (Damant et al., 1983) citado por (Covarrubias et al., 2011). Los métodos más usados para estimar el promedio espacial de la precipitación a partir de datos observados en estaciones pluviométricas son: promedio aritmético, polígonos

de Thiessen e Isoyetas añadiéndose a estos los Factores de Reducción por Área (FRA).

El método de Thiessen, el más usado en hidrología, asigna una ponderación diferencial a cada estación, generando una distribución espacial no uniforme pero asumiendo una variación lineal entre estaciones. Una de las limitaciones del método de Thiessen está en que la ponderación es fija, independientemente de la variabilidad temporal y espacial de la tormenta. Aunque el método de las Isoyetas mejora esta limitación al generar Isoyetas para cada tormenta, es tedioso por la planimetría requerida para estimar la precipitación media sobre una cuenca (Damant et al., 1983) citado por (Covarrubias et al., 2011).

Los Factores de Reducción por Área (FRA) se definen como un coeficiente que se emplea para extrapolar las precipitaciones puntuales a precipitaciones sobre un área, siendo una forma de considerar el efecto de la variabilidad espacial de las lluvias.

La precipitación media sobre un área es obtenida como el producto entre la precipitación en la estación núcleo (máximo observado) y el factor de reducción por área (Catalini et al. 2009) citado por (Ortega, 2013).

Para la planificación y el diseño de las obras hidráulicas, en específico las obras de drenaje en las cuencas urbanas, es común encontrar que el diseño de estas obras se base en las mediciones de una sola estación pluviométrica siendo esas mediciones representativas del área de toda la cuenca. Pero, estudios más recientes han demostrado que el fenómeno de la precipitación varía con respecto al área de la cuenca determinando que el registro de un solo pluviómetro no representa el comportamiento espacial de la precipitación y que la respuesta hidrológica de la cuenca puede verse alterada dependiendo

de cómo se distribuya espacialmente el fenómeno debido a las características locales de la cuenca en estudio.

## **Software Utilizados**

### **GvSIG 1.12**

GvSIG es un proyecto de desarrollo de Sistemas de Información Geográfica en software libre. Este proyecto fue inicialmente impulsado por el gobierno regional de la Comunidad Valenciana (Generalidad Valenciana) de España, dentro de un proceso de migración a software libre de todos los sistemas informáticos de la organización; precisamente la sigla gvSIG abrevia la denominación Generalitat Valenciana Sistema de Información Geográfica, el logo se puede observar en la Ilustración II.6. Desde el año 2010 la gestión y el mantenimiento del catálogo tecnológico gvSIG es llevado a cabo por la Asociación gvSIG, una asociación que engloba tanto entidades empresariales como no-empresariales (universidades, administraciones públicas, institutos geográficos, institutos tecnológicos, etc.). Donde los beneficios que se obtienen de la propia actividad de la Asociación gvSIG se derivan a la sostenibilidad del proyecto.

GvSIG Desktop es un programa informático para el manejo de información geográfica con precisión cartográfica que se distribuye bajo licencia GNU GPL v3. Permite acceder a información vectorial y rasterizada así como a servidores de mapas que cumplan las especificaciones del OGC. Esta es una de las principales características de gvSIG respecto a otros Sistema de Información Geográfica, la importante implementación de servicios OGC: WMS (Web Map Service), WFS (Web Feature Service), WCS (Web Coverage Service), WMTS (Web Map Tiled Service), Servicio de Catálogo y Servicio de Nomenclátor.



**Ilustración II.6** Logo del software GvSIG.

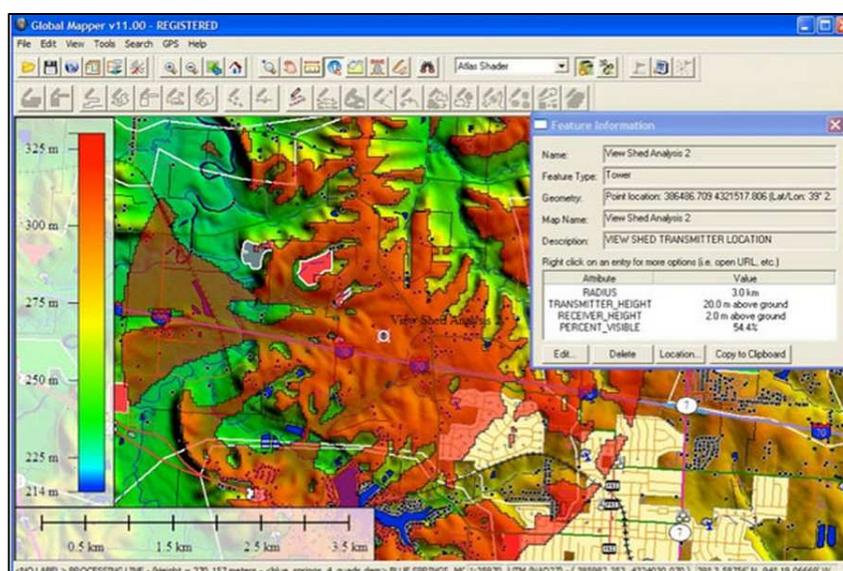
**Fuente:** Wikipedia, 2014

### **Global Mapper V.12**

Global Mapper es una potente y asequible aplicación que combina una gama completa de herramientas de tratamiento de datos espaciales con acceso a una variedad sin precedentes de formatos de datos. Desarrollado tanto para profesionales SIG como para iniciados, este software versátil es también idóneo como herramienta independiente de gestión de datos SIG, o como complemento a un SIG existente.

Global Mapper incluye la posibilidad de acceder directamente a varias fuentes en línea de imágenes, mapas topográficos, y los datos DEM/DSM. Esto incluye el acceso a las imágenes de color de alta resolución de DigitalGlobe para el mundo entero (con marca de agua para su uso gratuito), mapas detallados de calles de OpenStreetMap.org, y el acceso a la base de datos completa de TerraServer-USA/MSRMaps.com imágenes de satélite y

mapas topográficos de la USGS libre de-cargo. Global Mapper también tiene la capacidad de acceder fácilmente a fuentes de datos WMS, que incorpora en el acceso a los datos de elevación e imágenes de color para el mundo entero, y para ver la elevación y datos vectoriales en 3D real, con la superposición de cualquier dato cargado sobre ellas (Ver Ilustración II.7).



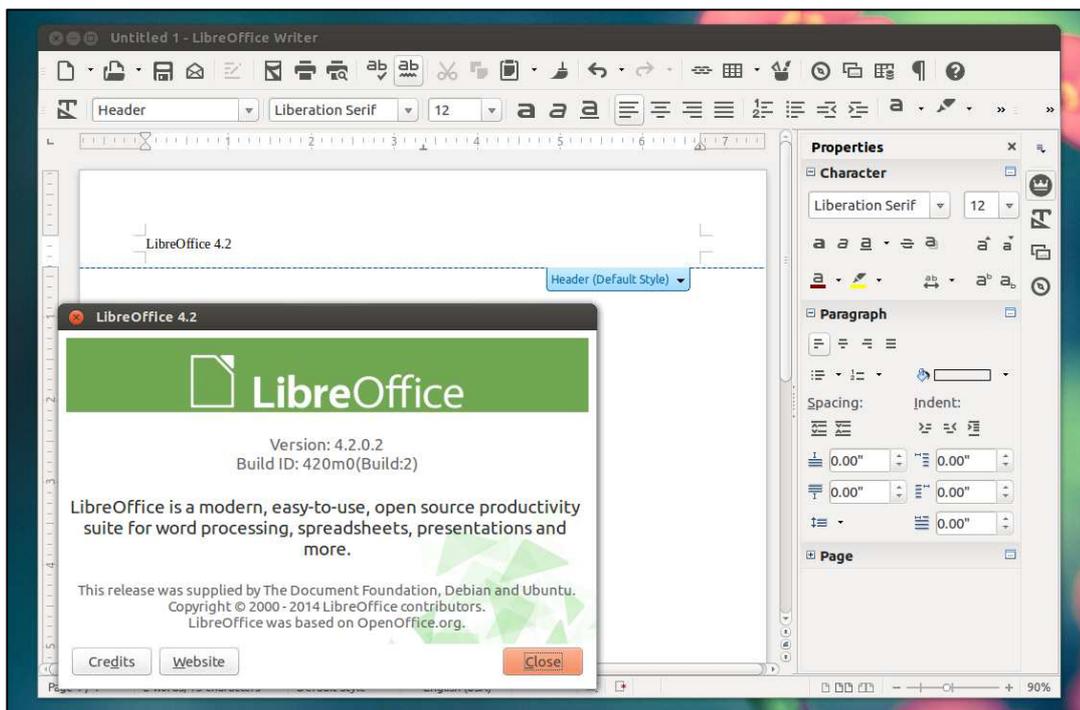
**Ilustración II.7** Vista de mapa utilizando el software Global Mapper.

**Fuente:** Geosoluciones, 2014.

## **LibreOffice 4.2**

Es un paquete de oficina libre y de código abierto desarrollado por The Document Foundation. Se creó como bifurcación de OpenOffice.org en 2010. Cuenta con un procesador de texto (Writer) como se aprecia en la Ilustración II.8, un editor de hojas de cálculo (Calc), un gestor de presentaciones (Impress), un gestor de bases de datos (Base), un editor de gráficos vectoriales (Draw) y un editor de fórmulas matemáticas (Math).

Está diseñada para ser compatible con los principales paquetes ofimáticos, incluyendo Microsoft Office, aunque algunas características de diseño y atributos de formato son manejados de forma diferente o no son compatibles. Además de escribir los documentos en un formato estándar ISO (ISO/IEC 26300:2006, OpenDocument), LibreOffice permite también importar y exportar documentos en varios formatos adicionales como, por ejemplo, los de Microsoft Office, Rich Text Format (.rtf), archivos de texto plano (.txt) poniéndole un formato predeterminado en el mismo LibreOffice, Office Open XML y OpenOffice.org XML, Microsoft Works y WordPerfect. LibreOffice también cuenta con la capacidad de importar documentos en modo de «solo lectura» en los formatos Unified Office Format, Data Interchange Format y los formatos propios de Lotus 1-2-3, entre otros.



**Ilustración II.8** Vista del procesador de texto (Writer) de LibreOffice.

**Fuente:** Wikipedia, 2014.

### **EPA SWMM vE.5**

El Stormwater Management Model (modelo de gestión de aguas pluviales) de la EPA (SWMM) es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, que se puede utilizar para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en periodo extendido. El programa permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada, especialmente en alcantarillados urbanos. El módulo de escorrentía o hidrológico de SWMM funciona con una serie de cuencas en las cuales cae el agua de lluvia y se genera la escorrentía. El módulo de transporte o hidráulico de SWMM analiza el recorrido de estas aguas a través de un sistema compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores. Asimismo, SWMM es capaz de seguir la evolución de la cantidad y la calidad del agua de escorrentía de cada cuenca, así como el caudal, el nivel de agua en los pozos o la calidad del agua en cada tubería y canal durante una simulación compuesta por múltiples intervalos de tiempo.

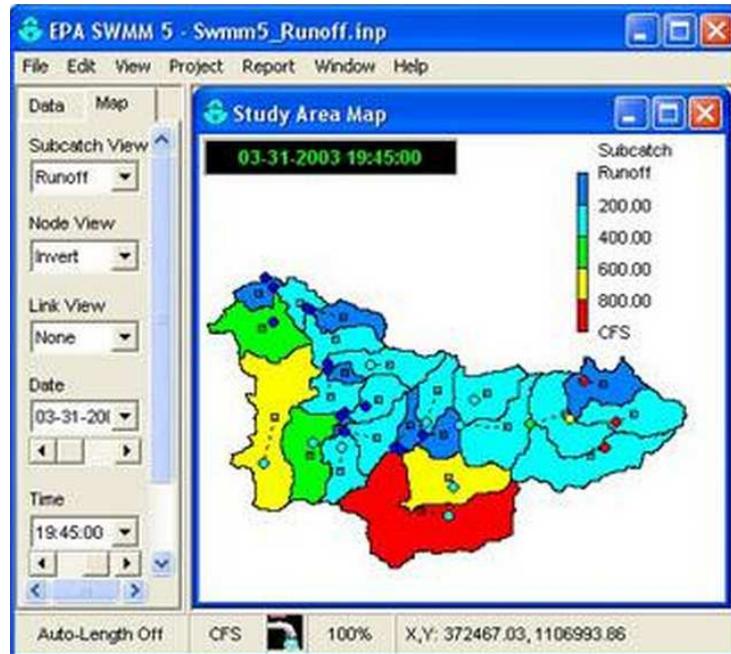
SWMM considera distintos procesos hidrológicos que se producen en la salida de las aguas urbanas. Entre éstos se encuentran:

- Precipitaciones variables en el tiempo
- Evaporación de las aguas superficiales estancadas
- Acumulación y deshielo de nieve
- Intercepción de precipitaciones por almacenamiento en depresiones
- Infiltración de las precipitaciones en capas del suelo no saturadas
- Entrada del agua de la infiltración en acuíferos
- Intercambio de flujo entre los acuíferos y el sistema de transporte
- Modelo de depósitos no lineales para el flujo superficial

Junto a esto, SWMM contiene un conjunto flexible de herramientas de modelación de características hidráulicas utilizado para analizar el flujo debido

a la escorrentía superficial y los aportes externos de caudal a través de una red de tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, y demás estructuras (Ver Ilustración II.9). Estas herramientas incluyen la capacidad de:

- Manejar redes de tamaño ilimitado
- Utilizar una amplia variedad de geometrías para las conducciones, tanto abiertas como cerradas, así como los canales naturales
- Modelar elementos especiales como unidades de almacenamiento y tratamiento, divisores de flujo, bombas, vertederos y orificios.
- Aplicar caudales externos y concentraciones para determinar la calidad del agua de las aguas superficiales, intercambio de caudales con los acuíferos, caudales de infiltración en los colectores dependientes de la precipitación, caudales sanitarios en tiempo seco y aportes externos definidos por el usuario.
- Realizar el análisis hidráulico por distintos métodos como el flujo uniforme, la onda cinemática o la modelación completa por onda dinámica.
- Modelar distintos regímenes de flujo, como pueden ser remanso, entrada en carga, flujo inverso y acumulación en superficie.
- Aplicar controles dinámicos definidos por el usuario para simular el funcionamiento de las bombas, la abertura de los orificios o la posición de la cresta de un vertedero.



**Ilustración II.9** Ventana de funcionamiento del SWMM v.5.  
**Fuente:** EPA, 2015.

### **Modelo conceptual utilizado por SWMM**

SWMM representa el comportamiento de un sistema de drenaje mediante una serie de flujos de agua y materia entre los principales módulos que componen un análisis medioambiental. Estos módulos y sus correspondientes objetos de SWMM son los siguientes:

- El Módulo Atmosférico, desde la cual se analiza la lluvia caída y los contaminantes depositados sobre la superficie del suelo, que se analiza en el Módulo de Superficie del Suelo. SWMM utiliza el objeto Pluviómetro (Rain Gage) para representar las entradas de lluvia en el sistema.
- El Módulo de Superficie del Suelo, que se representa a través de uno o más objetos cuenca (Subcatchment). Estos objetos reciben la

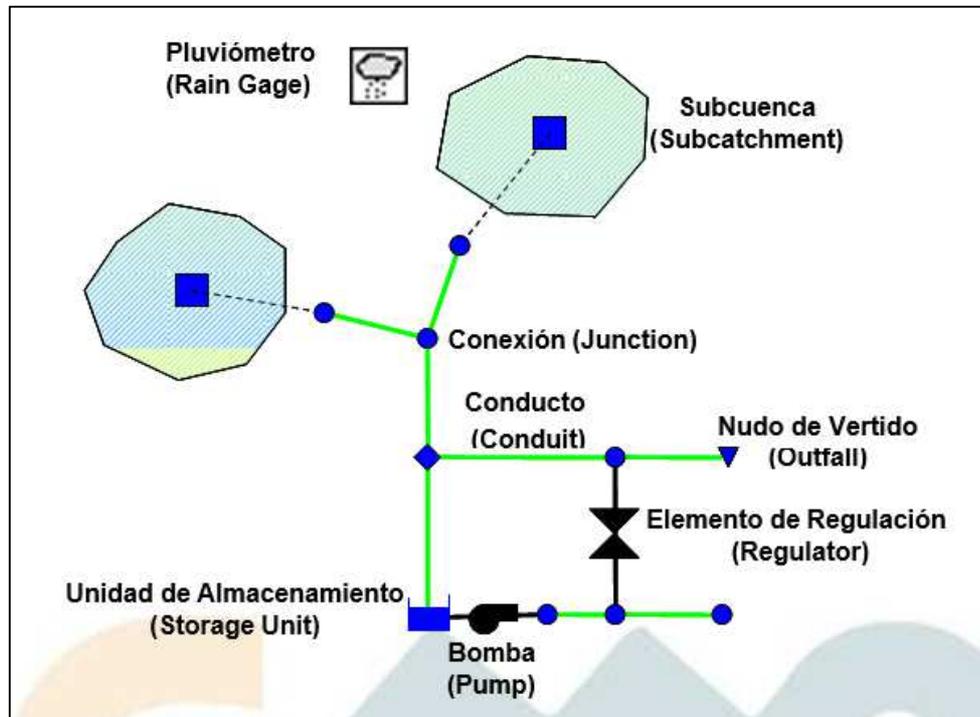
precipitación del Módulo Atmosférico en forma de lluvia o nieve; y generan flujos de salida en forma de infiltración para el Módulo de Aguas Subterráneas y también como escorrentía superficial y cargas de contaminantes para el Módulo de Transporte.

- El Módulo de Aguas Subterráneas recibe la infiltración del Módulo de Superficie del Suelo y transfiere una parte de la misma como flujo de entrada para el Módulo de Transporte. Este módulo se modela utilizando los objetos Aquifers (Acuíferos).
- El Módulo de Transporte contiene una red con elementos de transporte (canales, tuberías, bombas y elementos de regulación) y unidades de almacenamiento y tratamiento que transportan el agua hacia los Nudos de Vertido (outfall) o las estaciones de tratamiento. Los flujos de entrada de este Módulo pueden provenir de la escorrentía superficial, de la interacción con el flujo subterráneo, de los caudales sanitarios correspondientes a periodos sin lluvia, o de hidrogramas de entrada definidos por el usuario. Los componentes del Módulo de Transporte se modelan con los objetos Nudos y Líneas.

En un determinado modelo de SWMM no es necesario que aparezcan todos los Módulos descritos anteriormente. Por ejemplo, un modelo puede tener tan solo el Módulo de Transporte, utilizando como entradas unos hidrogramas previamente definidos.

### **Componentes Físicos (Visual Objects).**

La Ilustración II.10 representa los componentes físicos que pueden presentarse en un sistema de drenaje de aguas pluviales. Estos componentes u objetos pueden representarse dentro del mapa de SWMM.



**Ilustración II.10** Ejemplo de los Componente Físicos empleados en el modelo de un sistema de drenaje.

**Fuente:** Manual de Usuario SWMM, 2005.

**Pluviómetros (Rain Gages):** Los Pluviómetros (Rain Gages) suministran los datos de entrada de las precipitaciones que ocurren sobre una o varias de las cuencas definidas en el área de estudio. Los datos de lluvia pueden ser definidos por el usuario mediante series temporales de datos o provenir de un archivo externo al programa. En la actualidad SWMM dispone de diferentes formatos de archivos de datos de lluvia, así como un formato estándar definido por el usuario.

Las propiedades principales de entrada de un pluviómetro son:

- Tipo de datos de lluvia (por ejemplo, intensidad de lluvia, volumen o volumen acumulado).

- Intervalo de tiempo de los datos (por ejemplo, cada hora, cada 15 minutos, etc.).
- Origen de los datos de lluvia (especificando si es una serie temporal o un archivo externo).
- Nombre del origen de datos de lluvia.

**Cuencas (Subcatchments):** Las cuencas son unidades hidrológicas de terreno cuya topografía y elementos del sistema de drenaje conducen la escorrentía directamente hacia un punto de descarga. El usuario del programa es el encargado de dividir el área de estudio en el número adecuado de cuencas e identificar el punto de salida (outlet) de cada una de ellas. Los puntos de salida (outlet) de cada una de las cuencas pueden ser bien nudos del sistema de drenaje o bien otras cuencas.

Las cuencas pueden dividirse en subáreas permeables y subáreas impermeables. La escorrentía superficial puede infiltrarse en la parte superior del terreno de las subáreas permeables, pero no a través de las subáreas impermeables. Las áreas impermeables pueden dividirse a su vez en dos subáreas: una que contiene el almacenamiento en depresión y otra que no lo contempla. El flujo de escorrentía desde un subárea de la cuenca puede fluir hacia otra subárea o por el contrario dos subáreas pueden drenar directamente hacia la salida de la cuenca.

La infiltración de lluvia de las zonas permeables de una determinada cuenca sobre la parte superior del suelo no saturado puede describirse utilizando tres modelos diferentes:

- El modelo de infiltración de Horton.
- El modelo de infiltración de Green-Ampt.
- El modelo de infiltración basado en el Número de Curva del SCS.

**Nudos de Conexión:** Las conexiones son nudos del sistema de drenaje donde se conectan diferentes líneas entre sí. Físicamente pueden representar la confluencia de canales superficiales naturales, pozos de registro (manholes) del sistema de drenaje, o elementos de conexión de tuberías. Los aportes externos de caudal entran en el sistema a través de las conexiones. El exceso de agua en un nudo se traduce en un flujo parcialmente presurizado mientras las conducciones conectadas se encuentren en carga. Este exceso de agua puede perderse completamente del sistema o por el contrario estancarse en la parte superior para posteriormente volver a entrar de nuevo en la conexión.

**Nudos de Vertido (Outfall Nodes):** Los Nudos de Vertido son nudos terminales del sistema de drenaje utilizados para definir las condiciones de contorno finales aguas abajo del sistema en el caso de utilizar el modelo de flujo de la Onda Dinámica (Dynamic Wave). Para otros tipos de flujo, los nudos de vertido se comportan como conexiones. Una restricción del modelo es que solo es posible conectar una línea con un Nudo de Vertido.

**Conductos:** Los conductos son tuberías o canales por los que se desplaza el agua desde un nudo a otro del sistema de transporte. Es posible seleccionar la sección transversal las distintas variedades de geometrías abiertas y cerradas definidas en el programa. Asimismo el programa permite también definir áreas de sección transversal irregular permitiendo representar con ello cauces naturales.

## **Bases Legales**

### **Manual de Drenaje (1967) Ministerio de Obras Públicas (MOP)**

Este manual presenta las recomendaciones, métodos, procedimientos y normas generales para diseñar las obras de drenaje requeridas para trasladar las aguas de lluvia a través de las vías y, para recoger y finalmente disponer las aguas de pluviales en los cauces naturales.

El mismo presenta 7 capítulos, donde el capítulo I son las consideraciones generales, donde se resalta la importancia que tiene el drenaje en las carreteras. El capítulo II se refiere al trabajo de campo que se debe realizar para completar y fijar la información básica obtenida, el capítulo III trata sobre los estudios hidrológicos básicos para el diseño de las obras de drenaje, así mismo el capítulo IV contempla el diseño de las alcantarillas basado en recomendaciones generales: diámetros mínimos, velocidades máximas y mínimas así como las profundidades donde deben ser colocadas.

El capítulo V concierne lo relacionado al drenaje superficial, abarca su diseño (incluyendo la definición de todos los parámetros requeridos), estimación del gasto, principales componentes estructurales (sumideros y tuberías) y los capítulos VI y VII se refieren al control de la erosión en el sitio de disposición final de las aguas y recomendaciones concernientes para la presentación de proyectos de drenajes en carreteras respectivamente.

### **Definición de Términos**

**Drenaje Urbano:** Es el conjunto de acciones estructurales y no estructurales, destinadas a evitar en la medida de lo posible, que las aguas pluviales causen daño a las personas y a las propiedades en las ciudades u obstaculicen el normal desenvolvimiento de la vida urbana. (Medina, 2012)

**Modelación Matemática:** Es el proceso mediante el cual un conjunto de símbolos (que se definen de acuerdo al contexto en el que está situado el caso de estudio) y relaciones matemáticas traducen un fenómeno o problema de una situación real.

**Cuenca:** Son unidades morfográficas superficiales cuyos límites están establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones conocidos como parte aguas, el cual teóricamente es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta, desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de aforo en la zona altitudinal más baja; es la unidad básica de estudio en hidrología al tener la ventaja de poder evaluar cuantitativamente el escurrimiento del recurso hídrico, con mayor exactitud que cualquier otra unidad (Herrera, 1995) citado por Botero (2008).

**Cuenca Urbana:** Una cuenca se denomina urbana en la medida en que se desarrollan actividades antrópicas dentro de ella, lo que conlleva a una intervención en el proceso de escorrentía a causa de la impermeabilización de sus suelos por la presencia de obras de infraestructura tales como vías, edificaciones destinadas a diferentes usos, entre otras, que además generan variaciones en las características fisiográficas e hidráulicas de la cuenca, como en el caso de las pendientes de las laderas y los tiempos de concentración respectivamente, entre otras de las características que entran a ser modificadas tanto de forma directa como indirecta por el proceso de utilización de los suelos por parte de las comunidad establecida allí (Mejía y Suárez, 2007) citado por Botero (2008).

**Evento:** Hace referencia a las lluvias presentadas durante un período de análisis que tuvieron una intensidad, duración y magnitud importante.

**Canal Superficial:** Es aquella construcción que puede ser natural o artificial destinada a transportar el agua proveniente de la escorrentía superficial ocasionada por las precipitaciones.

**Estación Meteorológica:** Instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.

**Estación Pluviométrica:** Es la estación principal encargada de medir la lluvia, muchas veces dentro de una estación meteorológica mayor.

**Tiempo o Período de Retorno:** Es el tiempo esperado o tiempo medio entre dos sucesos de baja probabilidad. Suele ser un requisito fundamental para el diseño de obras de ingeniería, ya que permite establecer el valor mínimo de un determinado parámetro (precipitación de lluvia, altura de ola, velocidad del viento, intensidad de un sismo, etc.) que debe ser soportado por la obra para considerar que es suficientemente segura.

**Georreferenciación:** Es la técnica de posicionamiento espacial de una entidad en una localización geográfica única y bien definida en un sistema de coordenadas y datum específicos. Es una operación habitual dentro de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) tanto para objetos ráster (imágenes de mapa de píxeles) como para objetos vectoriales (puntos, líneas, polilíneas y polígonos que representan objetos físicos).

**Caudal:** Es la cantidad de agua que pasa por un riachuelo o río, por una tubería, por una sección normal de una corriente de agua o sale de una planta de tratamiento, medida en una unidad de tiempo.



---

*CAPÍTULO III:  
MARCO METODOLÓGICO*

---

## **CAPITULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **Diseño de la investigación**

En el marco de la investigación planteada, referente a la evaluación del comportamiento espacial de la precipitación máxima sobre la respuesta hidrológica en la zona oeste de la ciudad de Coro, se define el diseño de investigación como el plan o la estrategia global en el contexto de estudio propuesto, que permite orientar el punto de vista técnico además de guiar el proceso de investigación, desde la recolección de los datos hasta el análisis e interpretación de los mismo de acuerdo a los objetivos definidos. El estudio propuesto responde a dos diseños de investigación, como lo son el documental y el experimental. Se adapta al diseño documental debido a que la investigación se fundamenta en parte a la revisión de material documental sobre métodos de distribución espacial de la precipitación, así mismo de material concerniente a drenaje urbano, estos presentados en el programa de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Experimental “Francisco de Miranda y al mismo tiempo del software de modelos matemáticos para la simulación hidrológica-hidráulica.

Del mismo modo se adecúa al diseño experimental, ya que en estos se manipulan variables independientes en una situación controlada a fin de detectar sus efectos sobre las variables dependientes (Acuña, 2006). Por lo que, para la obtención de los gastos máximos en los diferentes puntos de vertido a partir de la simulación aplicando la modelación matemática, se someterán los canales naturales y revestidos de la cuenca a diferentes situaciones y escenarios para distintos eventos de precipitación.

Todo ello, con la finalidad de contrastar la variación de la respuesta hidrológica de la zona oeste de la ciudad de Coro, cuando se aplican métodos de distribución espacial a la precipitación medida de manera puntual en las estaciones pluviométricas.

### **Tipo de investigación**

El presente estudio de evaluación del comportamiento espacial de la precipitación máxima sobre la respuesta hidrológica en la zona oeste de la ciudad de Coro comprende dos tipos de investigación, los cuales podemos definir como descriptivo y evaluativo.

En cuanto al tipo de investigación descriptivo, se basa en analizar la distribución espacial de la precipitación por medio de los Factores de Reducción por Área, lo que permitirá comparar esta con la precipitación medida en un solo pluviómetro y contrastar la variación que podría tener en la respuesta hidrológica de la cuenca. Así como la obtención de información de un Modelo Digital de Elevación (MDE) para la representación de los patrones de drenaje en la zona de estudio y el dimensionamiento de los canales naturales y revestidos de la misma para la modelación.

Por su parte, abarca el tipo de investigación evaluativo ya que con la información y datos recolectados será necesario la realización de la modelación matemática a fin de conocer la respuesta hidrológica que tendría la cuenca en diversos escenarios de precipitación para así poder contrastar los caudales máximos en los diferentes puntos de vertido de la zona oeste de la ciudad de Coro.

### **Población y Muestra**

La población que es objeto de análisis del presente estudio será la cuenca urbana de la ciudad de Coro y el drenaje pluvial de dicha ciudad.

La muestra de esta investigación, serán la zona oeste de la ciudad de Coro así como el drenaje mayor (Canales) de la misma, lo que permitirá obtener los gastos máximos en los puntos de vertido.

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

Las técnicas e instrumentos para la recolección de información que se incorporarán a lo largo del proceso de investigación, en función del problema y de las interrogantes que se plantearon así como de los objetivos definidos, son las siguientes:

- Observación indirecta
- Observación estructurada
- Técnicas informáticas

En este sentido, las definiciones e instrumentos se indican en la tabla siguiente. (Ver Tabla III.1)

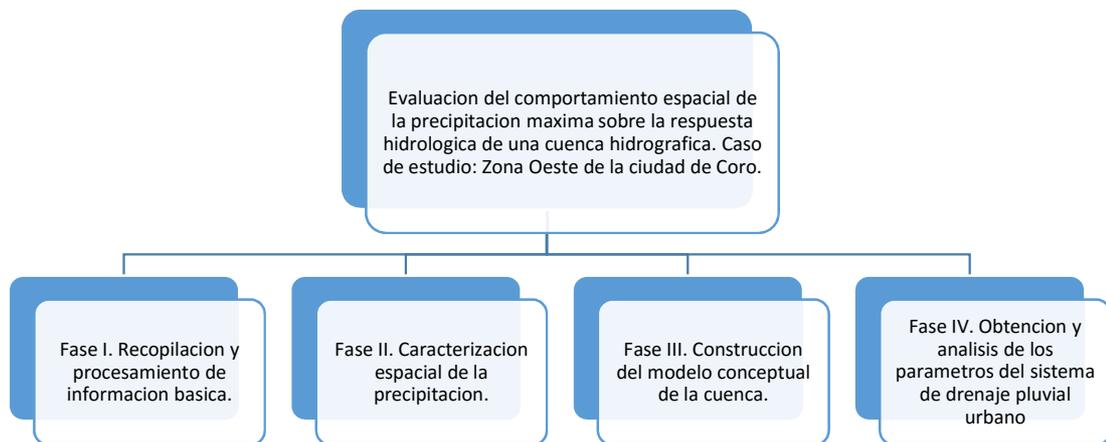
**Tabla III.1** Técnicas e instrumentos de recolección de datos

<b>Técnicas</b>	<b>Definición</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Descripción</b>
Observación Indirecta	Se refiere a la parte inicial del trabajo de investigación, el cual comprende la revisión de toda la documentación referente a los métodos de distribución espacial de la precipitación, a los sistemas de drenaje pluvial así como también al software de simulación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bibliografías</li> <li>• Trabajos especiales de grado de la misma rama de estudio</li> <li>• Notas técnicas</li> </ul>	Es la utilización de libros, revistas, artículos, proyectos e investigaciones a nivel de pregrado y posgrado, entre otros relacionado con el tema de investigación que facilito mayor información en la formulación, descripción, desarrollo y solución del problema a satisfacer (Orozco y Bracho, 2010) citado por (Estrada y Reyes, 2014)
Observación estructurada	Es aquella del trabajo de investigación donde se recopilo los eventos de precipitación, con ayuda de elementos como planillas provenientes tanto del Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas y de la Aviación Militar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planillas de Datos Diarios</li> </ul>	Es la que se realiza con ayuda de elementos técnicos apropiados, tales como: fichas, cuadros, tablas, entre otras (Palella y Martins, 2006)
Técnicas informáticas	Técnicas aplicadas mediante procesos automáticos por medio del uso de diferentes programas computacionales para el procesamiento de la información recopilada en las diferentes fases de la investigación (Estrada y Reyes, 2014)	Software GvSIG	Es un proyecto de desarrollo de Sistemas de Información Geográfica en software libre. Permite acceder a información vectorial y rasterizada así como a servidores de mapas que cumplan las especificaciones del OGC.
		Software SWMM	Es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, que permite simular el comportamiento hidrológico-hidráulico de un sistema de drenaje urbano.

**Fuente:** Propia.

### Fases de la investigación

A fin de alcanzar los objetivos planteados en la investigación, se deben emplear y estructurar distintas etapas y actividades empleadas por los autores con el fin de permitir el abordaje del presente trabajo de investigación. Por tal motivo a continuación, se muestra de manera estructurada las fases de la investigación (Ver Figura III.1):



**Figura III.1** Esquema metodológico de las fases para el abordaje de la investigación.

**Fuente:** Propia.

#### **1. Fase I. Recopilación y procesamiento de información básica**

Esta fase consistió en la recopilación y análisis de la información básica necesaria para el desarrollo de la investigación. La obtención y procesamiento de la información referente a los eventos de precipitaciones ocurridos en la cuenca de la ciudad de Coro.

### 1.1. Recopilación y análisis de la información documental.

En esta etapa se destaca la recopilación y análisis de la información primordial para el progreso del proyecto, esta se desarrollara de la siguiente manera:

- **Investigación documental:** Esta fue usada como referencia para la investigación y se basa en el análisis de los métodos de distribución espacial de la precipitación usados en el estudio, todo esto fundamentado en investigaciones anteriores realizadas en la cuenca del rio Coro y para tormentas en las regiones Nor-Oriental, Andes, Central y Centro-Occidental de Venezuela. Así como también un estudio del software o programas de simulación a utilizarse para la ejecución efectiva del objetivo general y los objetivos específicos.
- **Imágenes satelitales de alta resolución:** La obtención de estas fue mediante el uso del software Google Earth Pro v 7.1
- **Revisión de antecedentes:** Basado en información sobre la misma línea de investigación, y con el propósito de obtener información topográfica de las zonas adyacentes a la zona de estudio para así, esta pueda ser utilizada en nuestra investigación.

De toda la información compilada durante esta etapa, se seleccionó las más importantes y que se relaciona con la zona en estudio y los sectores adyacentes. Estas fueron:

- Documentos con información acerca de estudios de distribución espacial de la precipitación, se seleccionaron los siguientes:

“Un Modelo de Altura–Área–Duración (AAD) de tormentas en Venezuela” (Guevara, 2003): De dicho estudio se tomó información sobre la

fundamentación teórica para el análisis de las gráficas Altura-Área-Duración (AAD) de tormentas además de un concepto de linealización de dichas curvas, para la regionalización de ecuaciones matemáticas que permitan mediante ellas la obtención de los Factores de Reducción por Área (FRA) para distintos escenarios.

“Análisis del comportamiento espacio-temporal de la precipitación máxima en una cuenca hidrográfica. Caso de estudio: cuenca del río Coro, estado Falcón, Venezuela” (Ortega, 2013): De esta investigación se recopiló información sobre el modelo regionalizado de Factores de Reducción por Área generado y la fundamentación para su realización.

- Documentos con información acerca de estudios de drenaje efectuados en la ciudad de Coro, para ello se tomaron los siguientes:

“Modelo de elevación digital e informatización del sistema de drenaje mayor y menor de la zona oeste de la ciudad Santa Ana de Coro, Falcón” (Méndez, 2009): Por medio de este estudio se obtuvo el modelo digital de elevaciones de la ciudad de Coro.

“Evaluación de la respuesta hidrológica de la quebrada de Chabe aplicando un modelo hidráulico unidimensional” (Salazar y Zambrano, 2009): De este estudio se obtuvo información topográfica de la quebrada principal, este sería el caso de la Quebrada de Chabe desde la Av. Chema Saher hasta su punto de descarga en la Av. Roosevelt.

“Estudio de la Amenaza por Inundación en el Canal que drena las Aguas Pluviales de las Comunidades La Cañada, Ezequiel Zamora y Monseñor Iturriza, Municipio Miranda, Coro - Estado Falcón” (Arias, 2010): De este

estudio se extrajo información topográfica relacionada al dimensionamiento del canal natural “Quebrada Nueva”, desde el comienzo del mismo hasta su punto de descarga en la Av. Chema Saher.

“Modelación integrada de sistemas de drenaje pluvial urbano en zonas predominantemente llanas” (Sánchez, 2012): De dicho estudio se obtuvo los parámetros hidrológicos calibrados de la cuenca urbana de la ciudad de Coro del coeficiente de manning para el flujo superficial sobre el área impermeable y permeable de la cuenca ( $N$  permeable y  $N$  impermeable).

## **1.2. Ubicación y delimitación de la cuenca en estudio**

Una vez recopilada y revisada la información referente a la ciudad de Coro, se procede a ubicar la cuenca en estudio mediante la implementación del software Google Earth Pro. Asimismo se delimita el área de la cuenca en dicho software y en el SIG (GvSIG), tomando como criterio la topografía de la zona.

## **1.3. Registros de precipitación en la cuenca de estudio**

### **1.3.1. Selección de las estaciones meteorológicas**

Una vez definida el área de la cuenca donde se realizará el estudio, se deben seleccionar las estaciones pluviométricas, de donde obtendrán los registros históricos de precipitación que fueron registrados por dichas estaciones. Para la selección de estas estaciones se toma en consideración aquellas estaciones que estuviesen dentro y en las adyacencias de los límites de la cuenca urbana de la ciudad de Coro.

Como resultado de esta selección, para la presente investigación se consideraron las siguientes estaciones: Caujarao, Las Polonias, Coro-Aeropuerto, Coro, La Vela de Coro y Sabaneta de Coro.

### **1.3.2. Recopilación de registros de precipitación**

En Venezuela la red de medición meteorológica se encuentra conformada por estaciones de tipo convencional y automática. Una estación meteorológica convencional se define como un conjunto de equipos mecánicos que permiten medir e indicar el comportamiento instantáneo de una variable atmosférica, estando en capacidad de graficar estas variaciones en forma temporal bajo control de un observador (Iza, 2002a) citado por (Ortega, 2013). Y, las estaciones meteorológicas automáticas (EA), son un conjunto de sensores electrónicos conectados a la unidad de adquisición de datos (data logger), la cual contiene la programación necesaria para: efectuar las mediciones según los períodos establecidos por el usuario, interpretar las señales eléctricas de cada sensor, almacenar los datos recogidos y enviar los datos hacia el centro receptor cuando así se le solicite (Salcedo, 2004) citado por (Ortega, 2013).

Para el caso de estudio, la mayor parte de las estaciones de influencia en la cuenca urbana de Coro se encuentran inactivas e incluso algunas son inexistentes, por lo cual el número de años de registros comunes se ve limitado. Sin embargo, a través de los organismos que se encargan de la operación y la gestión de la información hidrometeorológica en Venezuela como son el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) y específicamente en el estado Falcón, la Dirección de Hidrología y Meteorología del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (DHM-MPPA), se recopiló la información pluviográfica de las diferentes estaciones a escala Diaria, Mensual y Anual.

En este sentido, para la identificación de eventos simultáneos de precipitación se trabajó con los registros a escala diaria, siendo la menor escala de tiempo disponible para la información pluviográfica de las estaciones seleccionadas.

Se realiza la revisión de los años de registros de precipitación a escala diaria para las diferentes estaciones con el propósito de determinar la longitud total de registros de cada estación y con ello identificar los años comunes entre las estaciones. Para cada año se procede a identificar los días comunes de precipitación entre las estaciones, considerando que al menos en una de las estaciones la precipitación acumulada sea mayor a 10 mm. Las mismas poseen un promedio de registro de precipitación de 25 años.

### **1.3.3. Identificación de eventos simultáneos de precipitación**

Identificados los años comunes, se procede para cada año a identificar los días comunes en todas las estaciones consideradas con lluvias acumuladas superior a los 10 mm (Dasso, 1999) de acuerdo al criterio de Huff (1967) citado por Ortega (2013) que puedan originar crecidas extremas, esto de acuerdo a la zona a estudiar. Esto con el fin de determinar el mayor número de eventos simultáneos registrados por las estaciones consideradas en la cuenca de estudio.

### **1.4. Identificación de los elementos del sistema de drenaje pluvial de la zona oeste de la ciudad de Coro**

Para la identificación de los elementos que conforman el sistema de drenaje pluvial de la zona en estudio, se extrajo información de los trabajos recopilados en la fase inicial realizados en la cuenca urbana de la ciudad de Coro presentados en el programa de Ingeniería Civil de la Universidad

Nacional Experimental “Francisco de Miranda”, siendo constatados cada uno de estos elementos con visitas de campo realizadas a la cuenca en estudio.

Luego de la revisión de los trabajos de investigación mencionados anteriormente, se obtuvo un inventario de la red de drenaje pluvial de la zona y de las áreas adyacentes a la misma, el cual sirve como información base para la elaboración del modelo conceptual de la cuenca para la incorporación en el modelo de simulación.

Es importante resaltar que la identificación de los elementos y la verificación de sus condiciones físicas y operativas en el campo permiten una mayor comprensión del sistema de drenaje para la definición de sus parámetros hidráulicos y el dimensionamiento de los mismos.

Con la verificación de la documentación del sistema de drenaje pluvial urbano de la cuenca, se desprende que en el mismo existen canales principales de importancia como son, la “Quebrada de Chabe” la cual se puede apreciar en la Fotografía III.1, la “Quebrada de Coro” (Ver Fotografía III.2 y Fotografía III.3) y la “Quebrada Cruz Verde” (Ver Fotografía III.4).



**Fotografía III.1** Fotografías tomadas sentido aguas arriba-aguas abajo (izquierda) y sentido aguas abajo-aguas arriba (derecha) del canal “Quebrada de Chabe”

**Fuente:** Propia (2014)



**Fotografía III.2** Vista en sentido aguas arriba-aguas abajo del canal “Quebrada de Coro”

**Fuente:** Propia (2014)



**Fotografía III.3** Vista del punto de vertido del canal “Quebrada de Coro” en sentido aguas arriba-aguas abajo

**Fuente:** Propia (2014)



**Fotografía III.4** Fotografías tomadas sentido aguas arriba-aguas abajo (izquierda) y sentido aguas abajo-aguas arriba (derecha) del canal “Quebrada Cruz Verde”

**Fuente:** Propia (2014)

## **2. Fase II. Caracterización espacial de la precipitación**

La precipitación que ocurre sobre una cuenca hidrográfica es medida de manera puntual, no obstante esta se distribuye en toda un área, y resulta necesario extrapolar los datos medidos de manera puntual a fin de obtener una precipitación sobre el área con las características del evento ocurrido.

Los métodos comúnmente utilizados en la estimación de la precipitación en un área, presentan limitaciones en cuanto a aplicación y precisión en función de la distribución de las estaciones de medición. Asimismo las condiciones locales (climatológicas y morfológicas) tienen una influencia sobre el comportamiento espacial de la variable precipitación.

En el caso de cuencas urbanas, por ser cuencas pequeñas, muchas veces se considera que un solo pluviómetro es representativo de toda la zona en estudio. Sin embargo la influencia de las condiciones locales tal como se describe anteriormente, puede introducir variaciones en la distribución de la precipitación dentro de la cuenca que pueden llegar a ser significativas y por ende varía también la respuesta hidrológica de esta.

En este sentido, existen diferentes métodos para distribuir la precipitación espacialmente, entre los que se encuentran los Factores de Reducción por Área (FRA) que reducen la precipitación puntual a un valor promedio sobre un área estimada, en el cual se precisa una relación entre la lámina de lluvia, el área a estudiar y la duración del evento, dicha relación se conoce como Altura -Área-Duración (AAD). Esta metodología según diversos autores, es la más aconsejable ya que reduce a un mínimo las limitaciones de los métodos que comúnmente se utilizan y representa la distribución de la precipitación sobre un área lo más cercano a la realidad del fenómeno, a pesar de que su aplicación está atada a la disponibilidad de información de las estaciones.

## **2.1. Obtención de la Relación Altura-Área-Duración (AAD) y los Factores de Reducción por Área (FRA)**

Para la construcción de la relación A-A-D se debe contar con eventos simultáneos que a su vez tengan la mayor extensión espacial dentro de la cuenca en estudio, es decir aquellos que hayan sido registrados por el total de estaciones de la cuenca. Una vez identificados dichos eventos, que en este caso tendrán una duración de 24 horas, se generan para cada uno los mapas de Isoyetas. Para la construcción de cada mapa de Isoyetas se utilizan las herramientas de procesamiento vectorial y espacial que dispone el Sistema de Información Geográfica GvSIG. A partir de cada mapa se determina la precipitación media entre las curvas Isoyetas y el área envolvente de cada curva. Esto se repite para las áreas que abarca cada isoyetas. A medida que se va ampliando el área cubierta por las isoyetas, la precipitación media va disminuyendo progresivamente, lo que genera una relación inversa entre la precipitación y el área.

Ortega, Oviedo, Quiñones y Sánchez (2015) crearon el proceso de cálculo de las Relaciones Altura-Área-Duración (AAD) y los factores de reducción por área (FRA), la cual se presenta de forma detallada a continuación:

- a) Para cada evento de duración 24 horas, se construye la Relación AAD para así determinar sus FRA. Los pasos del b a la j describen el procedimiento a realizar para un evento en particular. Dichos pasos se deben repetir para todos los eventos simultáneos identificados en la cuenca de estudio.
- b) Elaborar el mapa de Isoyetas para el evento estudiado. A continuación su procedimiento:

- i. Se crea un archivo con los datos el cual es similar a una hoja de cálculo (Worksheet) en el software Surfer v.10. En ella se deben añadir las estaciones, sus coordenadas ESTE y NORTE, el nombre de las estaciones con sus respectivas precipitaciones diarias. Dicho archivo se guarda con una extensión .dat (p.e.: 21.04.1982.dat).
  - ii. El archivo creado en el paso anterior se debe abrir en el menú GRID/DATA y seleccionar en la pantalla siguiente para el eje X la columna ESTE, el eje Y la columna NORTE y para el eje Z la columna PRECIPITACIÓN. c. Guardar el archivo creado con la fecha del evento y con extensión .grd (p.e.: 21.04.1982.grd).
  - iii. Con el comando NEW/CONTOUR MAP del menú MAP se selecciona el archivo creado con extensión .grd, para abrir y observar el mapa de contornos o Isoyetas.
- c) Se obtienen las áreas entre Isoyetas mediante el siguiente procedimiento:
- i. El archivo del mapa de Isoyetas en formato grid (.grd), se abre en el software Global Mapper v.12, donde se le da la proyección de las coordenadas UTM, la zona 19 y el datum WGS84. Posterior a eso, este se exporta como Elevation Grid Format en formato Arc ASCII Grid para que pueda ser ejecutado en el software GvSIG v.1.12.
  - ii. Se abre el software GvSIG y se añade una vista nueva con la proyección con la que se está

trabajando y se ejecuta el archivo correspondiente al mapa ráster en formato Arc ASCII Grid, con extensión .asc.

- iii. En el comando Curvas de nivel del menú Vectorización de la herramienta SEXTANTE, se construyen las curvas de nivel a partir del mapa ráster. La separación entre curvas dependerá del mínimo y máximo valor de precipitación de las estaciones; se recomienda un intervalo entre curvas pequeño, de 1 mm. Para el presente caso de estudio, el intervalo entre curvas oscilo entre 0.5 mm y 1mm.
- iv. Posteriormente se debe abrir una capa en formato shape .shp con la delimitación de la cuenca como una polilínea y como un polígono.
- v. Seguidamente se debe interceptar las curvas Isoyetas con la cuenca creadas en el paso b por medio de la herramienta SEXTANTE/ Herramienta de capas vectoriales/Cortar. Donde la capa a cortar serían las Isoyetas y la capa de recorte la delimitación de la cuenca en formato tipo polígono.
- vi. Inmediatamente se debe unir las Isoyetas recortadas en el paso anterior con la cuenca tipo línea mediante SEXTANTE/ Herramienta de capas vectoriales/Juntar. Lo que daría como resultado la cuenca y las Isoyetas juntas en una misma capa. Para luego convertir esa capa de línea en una capa de polígono en el comando poligonar líneas del menú Herramientas de capas de líneas de SEXTANTE.

vii. Por medio de SEXTANTE/Herramienta de capas de polígonos/Propiedades geométricas de los polígonos se calculan las áreas de los polígonos que corresponden a las áreas entre cada una de las Isoyetas.

d) Obtenidas las áreas entre Isoyetas se aplica el método mediante la construcción de la Tabla III.2.

**Tabla III.2** Cálculo de la precipitación media por Isoyetas

Isoyeta	Área Neta(m <sup>2</sup> )	Área Neta (km <sup>2</sup> )	Área Encerrada (km <sup>2</sup> )	Lluvia Promedio (mm)	Área * Lluvia promedio	Área * Lluvia promedio (Acumulado)	Lluvia media sobre el área encerrada
---------	----------------------------	------------------------------	-----------------------------------	----------------------	------------------------	------------------------------------	--------------------------------------

Fuente: Ortega (2013)

La descripción de cada una de las columnas se presenta a continuación tomado de Ortega (2013):

- Columna 01: corresponde a los valores de las Isoyetas ordenadas de manera descendente.
- Columna 02: corresponde al área encerrada entre cada Isoyetas, obtenida en el paso c. Dicha área en metros cuadrados (m<sup>2</sup>).
- Columna 03: Corresponde al área encerrada de la columna 02 pero en este caso, en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>).
- Columna 04: corresponde al área acumulada que encierra cada Isoyetas. El área de la última Isoyeta se debe ajustar al área total de la cuenca.
- Columna 05: Esta se obtiene como el promedio entre el valor de dos Isoyetas consecutivas.

- Columna 06: Se obtiene al multiplicar la columna 03 y la columna 05.
- Columna 07: Se obtiene de sumar acumulativamente los valores que se obtuvieron en la columna 06.
- Columna 08: Corresponde a la lluvia promedio sobre el área que encierra cada Isoyetas. Esta se obtiene de dividir la columna 07 entre la columna 04.

Luego de completar cada uno de los cálculos de la tabla anterior se obtiene la precipitación media para cada área que engloba cada una de las Isoyetas.

- e) Con la información anterior, se procede a construir cada una de las Relaciones Altura–Área–Duración: graficando en el eje de las ordenadas (eje Y) los valores de precipitación máxima media obtenidos en la columna 08 de la tabla anterior y en las abscisas (eje X) los valores de área que corresponden a tal precipitación, las correspondientes a la columna 04 de la tabla. Se obtendrá una curva de pares de puntos (precipitación máxima media y área) para cada evento.
- f) Para la determinación de los Factores de Reducción por Área (FRA): se parte de las Relaciones AAD y se determina el factor de reducción por área para una duración diaria al dividir la precipitación máxima media para cada área ( $PM_A$ ) entre la precipitación puntual ( $P_P$ ).
- g) Luego de determinar los Factores de Reducción por Área, estos se grafican teniendo en el eje de las abscisas (eje X) el área y en el eje de las ordenadas (eje Y) el factor de reducción para cada área. El factor de reducción por área tendrá un valor máximo igual a 1

cuando el área estudiada es igual a cero (0). Posterior los valores de los FRA se comienzan a reducir a medida que el área va en aumento.

Aplicando esta metodología es posible obtener curvas de la relación AAD y curvas de FRA, las cuales para una misma duración refleja como varia la precipitación con respecto al área, estableciendo una herramienta para describir el comportamiento espacial que presenta la precipitación, teniendo en consideración las condiciones particulares de la zona analizada.

## **2.2. Modelo Altura-Área-Duración (AAD) para la determinación de los Factores de Reducción por Área (FRA)**

La distribución espacial de la precipitación se encuentra influenciada por factores locales de cada zona en estudio, entre ellos el clima y la orografía de dicha zona. En el análisis de la precipitación para una cuenca es fundamental estudiar el comportamiento de la precipitación considerando los efectos de tales factores sobre esta variable.

Es por ello que la determinación y el análisis de relaciones AAD y los factores de reducción por área, permiten alcanzar un modelo local que describe las características del comportamiento espacial de la precipitación, para las condiciones climatológicas y orográficas que prevalecen en una cuenca o en un área en particular.

En Venezuela son pocas las experiencias desarrolladas en el campo de la estimación de los Factores de Reducción por Área. Entre ellas se cuentan las investigaciones desarrolladas por la Dirección de Hidrología del Ministerio de Obras Públicas de Venezuela (2003), Guevara (2003) y Ortega (2013).

En este sentido, a continuación se presenta la fundamentación teórica propuesta por Guevara (2003), para la estimación de un modelo de Altura – Área – Duración (AAD) de tormentas en Venezuela:

Para desarrollar el modelo indicado, se parte del concepto matemático de linealización de las relaciones A-A-D (Altura - Área - Duración) de acuerdo con el siguiente razonamiento (Ver Ecuación III.1) :

- Sea X el área de influencia A de la tormenta sobre la que se desea estimar la precipitación media P.
- Sea Y la inversa de la precipitación media estimada.

$$Y = \frac{1}{P_A} \quad \text{Ecuación III.1}$$

Aplicando la función inversa de la relación “Precipitación Acumulada - Duración” se obtiene la Ecuación III.2:

$$Y = \frac{1}{P_A} = a + bX \quad \text{Ecuación III.2}$$

Donde a y b son parámetros de ajuste del modelo resultante en esa relación. La Ecuación III.2 puede expresarse como (Ver Ecuación III.3):

$$P_A = \frac{1}{Y} = \frac{1}{a + bX} \quad \text{Ecuación III.3}$$

Por definición se sabe que la lluvia puntual Pp es aquella que corresponde a un valor de área igual a cero; es decir, para X = 0, en tanto será como se muestra en la ecuación III.4:

$$P_P = \frac{1}{a} \quad \text{Ecuación III.4}$$

A partir de las Ecuaciones III.3 y III.4, se obtiene el factor de reducción de la lluvia puntual mediante el siguiente modelo matemático (Ver Ecuación III.5):

$$\frac{P_A}{P_P} = R_D = \frac{a}{a + bX} \quad \text{Ecuación III.5}$$

La Ecuación III.5 constituye un modelo general para estimar el factor de reducción RD de la lluvia puntual sobre el área de influencia de la tormenta. El análisis de los eventos disponibles de tormentas indica que este modelo general es aplicable en forma individual para cada duración. En otras palabras, es factible establecer una relación lineal entre el factor RD y la duración D.

El procedimiento a seguir para la elaboración del modelo tomado de Ortega (2013) fue el siguiente:

- (a) De la relación AAD se determina el inverso de la precipitación media estimada para la duración establecida de acuerdo a la ecuación III.2.

$$Y = \frac{1}{P_A} = a + bX$$

- (b) Mediante el uso del método de los mínimos cuadrados, se calculan los parámetros de ajuste a y b del modelo lineal anterior. Esto se calcula para cada uno de los eventos. Este

ajuste puede realizarse a través del uso del software TableCurve 2D (versión 5.01) como se muestra a continuación:

- (i) Creación de un archivo en MS Excel por evento, con los datos para el ajuste, colocando en la columna A los valores de área y en la columna B el inverso de la precipitación media.
- (ii) Se introducen los datos al software TableCurve 2D, mediante el archivo creado en el paso anterior, indicando en el eje de las X los valores almacenados en la columna A y en el eje de las Y los que se encuentran almacenados en la columna B.
- (iii) Se solicita un ajuste de la mejor ecuación a los datos, mediante el menú "Process" y el comando "Curve-Fit All Equations", en el cual se evalúa las más de 6000 ecuaciones que posee el software en su base de datos y se determina para cada una el coeficiente de correlación y los parámetros de regresión.
- (iv) Del listado de las ecuaciones evaluadas, la ecuación de mejor ajuste que en este caso tendrá la forma  $Y = a + bX$ . Por lo que, en primer lugar se debe analizar el comportamiento de las curvas de forma tal que la seleccionada describa la variación de los parámetros "a" y "b" en función del área (siendo a y b siempre positivos) para que seguidamente se evalúa el coeficiente de correlación. Al efectuar la selección, inmediatamente se podrá visualizar el gráfico con el ajuste correspondiente a los datos introducidos, el valor de los parámetros a y b y el coeficiente de correlación del modelo.

- (v) Este procedimiento se repite para todos los eventos analizados.
- (c) Conocidos los parámetros “a” y “b” para el número de eventos, se determina un valor promedio de estos y con estos parámetros promedios, se aplica el modelo general (Ecuación III.5), para obtener los FRA en función del área.

### **3. Fase III. Construcción del modelo conceptual de la cuenca**

La información topográfica a utilizar fue suministrada por Sánchez (2012) apoyado con la descarga de un modelo de elevaciones de la NASA que permitió la obtención de dicha información para la parte sur de la cuenca, la cual es una cuenca natural y no poseía datos topográficos en la base de datos del Modelo Digital de Elevación (MDE).

Partiendo de la base de datos del MDE se genera una capa de tipo ráster, mediante el uso de un geo proceso de la caja de herramientas de SEXTANTE, la cual generaría información de pendiente de la zona.

#### **3.1. Determinación de los parámetros de la cuenca**

Para la elaboración del modelo de forma automática utilizando geo procesos dentro del SIG, fue necesario partir de la adición de un mosaico de imágenes de alta resolución al mapa base de la ciudad para la delimitación de la cuenca para el modelo. Dichas imágenes se obtienen a través del software Google Earth Pro y se georreferencian con el uso del software Global Mapper.

A partir de éstas imágenes del mapa base georreferenciadas, se procede a exportar las mismas al software GvSIG con su sistema de proyección correspondiente. Posterior a esto, se realiza la discretización de la cuenca en

subcuencas, bajo los criterios de homogeneidad de propiedades físicas, como lo son, área permeable – impermeable, zonificación, entre otros.

De acuerdo al tipo de suelo de la zona, se consideró el valor de curva número de cada una de las subcuencas creadas, utilizando los valores sugeridos por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS, 1986) enunciados en el modelo de cálculo de escorrentía (TR55) para el grupo de suelo perteneciente a cada zona.

**Tabla III.3** Valores de Curva Número (CN) sugeridos por la SCS

Cobertura superficie	% Imp.	Grupo de suelo			
		A	B	C	D
Desarrollado					
<b>Permeables:</b>					
Prados y parques		68	79	86	89
Pasto < 50%		49	69	79	84
Pasto 50%-75%		39	61	74	80
Pasto > 75%		98	98	98	98
<b>Impermeables:</b>					
<b>Calles y caminos</b>					
Pavimentados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89
<b>Distritos Urbanos</b>					
Comercial	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Residencial:					
<b>Sitios 500m<sup>2</sup> o menor</b>	65	77	85	90	92

**Fuente:** Manual de Usuario del SWMM

**Continuación Tabla III.3** Valores de Curva Número (CN) sugeridos por la SCS.

Sitios 1000m <sup>2</sup>	38	61	75	83	87
Sitios 2000m <sup>2</sup>	25	54	70	80	85
Sitios 5000m <sup>2</sup>	20	51	68	79	84
Sitios 10000m <sup>2</sup>	12	46	65	77	82
Áreas en desarrollo:		77	86	91	94

Fuente: Manual de Usuario del SWMM

**Tabla III.4** Valores de Curva Número (CN) sugeridos para tierras agrícolas, suburbana y urbana

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

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada <sup>1</sup> : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena <sup>2</sup>	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial <sup>3</sup> :				
Tamaño promedio del lote    Porcentaje promedio impermeable <sup>4</sup>				

Fuente: Chow, Maidment y Mays (1994)

Luego de establecer el valor del parámetro curva número para cada subcuenca, se realiza un mapa vectorial representativo de cada subcuenca a través de los geo procesos del SIG a fin de verificar el valor del parámetro de manera gráfica.

Siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente, se agregan los valores de porcentaje de área impermeable para cada una de las subcuencas siguiendo los lineamientos establecidos por Sánchez (2012) para porcentaje de área impermeable para sub cuencas urbanas (Ver tabla III.5).

**Tabla III.5** Valores de Porcentaje Impermeable (% Impermeable)

% Impermeable	
Techo o pavimento	100%
Impermeable	70% - 90%
Permeable	30% – 60%

**Fuente:** Sánchez (2012)

### **3.2. Determinación de los parámetros de la red de drenaje.**

El método utilizado para el desarrollo de la modelación integrada del sistema de drenaje pluvial en esta investigación consiste en apoyarse en un Sistema de Información Geográfico (GvSIG) con el fin de integrar el modelo conceptual de la cuenca y de la red de drenaje al modelo de simulación SWMM. Dicha metodología se fomenta en el empleo de geo procesos y herramientas propias del SIG con el fin de otorgarle las propiedades a cada uno de los elementos que componen el sistema a simular, lo que permite automatizar procesos que eran realizados generalmente de forma manual, como por ejemplo, la creación de las subcuencas, entre otros.

Cabe destacar que para la comunicación entre estos 2 software se utilizó la extensión para GvSIG llamada INPcom v1.7.2 desarrollada por

TecnicsAssociats, el cual genera un archivo con el formato .inp que contiene la información completa del modelo de la cuenca y sistema de drenaje con sus propiedades.

- **Creación de los nodos de conexión y discretización de las subcuencas.**

Se procede a la creación de los nodos de conexión del modelo de simulación, utilizando el criterio para la ubicación de cada uno de estos en las intersecciones de calles y puntos de conexión entre canales naturales y revestidos, a fin de crear puntos de enlace entre todos los conductos a utilizar.

Para dichos puntos, se determinan las coordenadas norte, este y la elevación mediante el SIG (GvSIG).

Utilizando la capa de puntos generada anteriormente, se procedió a determinar las subcuencas mediante el método de los polígonos de Thiessen. Este método permite dividir la cuenca en subcuencas a partir de los nodos previamente colocados, asignando estos nodos por medio del geo proceso “asignación por inclusión” dentro del SIG como los puntos de descarga para cada subcuenca o polígono generado. Para introducir la información relacionada al % impermeable, curva número y pendiente de cada subcuenca, se utilizan los respectivos mapas ráster creados anteriormente, esto mediante el uso de la opción de estadísticas de grid en polígonos de caja de herramientas SEXTANTE.

Por otra parte, la información sobre el área de cada subcuenca fue extraída mediante la utilización de la calculadora de campos del software GvSIG.

- **Determinación del patrón de flujo superficial y de los puntos de descarga.**

En función del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de la cuenca, se establecieron los patrones de flujo hacia los puntos de descarga, definiendo así dos (2) puntos de vertido final del flujo superficial generado, ubicados en la parte norte de la cuenca. A través de las visitas de campo se verifican tales puntos de descarga definiéndose la ubicación de dos de ellos en la avenida Roosevelt al final de los canales denominados “Quebrada de Coro” y “Quebrada de Chabe”, los cuales serán puntos de descarga principales (Ver Ilustración III.1).



**Ilustración III.1** Visualización de los diferentes puntos de vertido para la cuenca oeste de la ciudad de Coro

**Fuente:** Propia (2015)

- **Coefficiente de Manning.**

Para la determinación de la resistencia al flujo superficial de las áreas impermeables y permeables de cada subcuenca, se utilizan los valores determinados por Sánchez (2012), obtenidos de la calibración del modelo para la cuenca de la ciudad de Coro. En la tabla III.6, se muestran los valores calibrados para este parámetro.

**Tabla III.6** Valores de Coeficiente de Manning.

n permeable	0,3
n impermeable	0,012

**Fuente:** Sánchez (2012).

- **Almacenamiento en depresiones.**

De acuerdo al manual de usuario del SWMM, el almacenamiento en depresiones para cada subcuenca posee unos valores típicos, los cuales se muestran en la tabla siguiente (Ver tabla III.7).

**Tabla III.7** Valores típicos para almacenamiento en depresiones.

Superficie impermeable	1,25 - 2,5 mm
Césped y hierba	2,5 - 5mm
Pastos y prados	5mm
Lecho forestal	7,5mm

**Fuente:** Manual de Usuario SWMM.

Desde este punto de vista, Sánchez (2012) estableció por medio de una ecuación matemática la obtención de este parámetro para la cuenca urbana de la ciudad, dicha ecuación se basa en la pendiente de terreno y se presenta a continuación:

$$d_p = 0.0303S^{-0.49}$$

**Ecuación III.6**

Donde:

$D_p$ = Almacenamiento en depresiones en pulgadas.

$S$ = Pendiente en porcentaje (%).

- **Ancho característico para cada subcuenca.**

Sánchez (2012) citado por Estrada y Reyes (2014) define como ancho característico a la franja de la subcuenca que se encuentra inmediato al nodo de descarga. Debido a que cada subcuenca no posee una geometría regular, el ancho característico es la relación del área de cada subcuenca, entre la longitud.

Esta longitud se obtiene por estimación de vértice a vértice de cada subcuenca tomando en cuenta la mayor longitud entre vértices (Ver Ilustración III.2). Cabe acotar que esta estimación posee un margen de error que oscila entre (1 – 2) metros, pero es importante señalar que dicho error es aceptable al momento de realizar mediciones.



**Ilustración III.2** Estimación de la longitud entre vértices para cada subcuenca.

**Fuente:** Estrada y Reyes (2014).

Dicha metodología de cálculo para la determinación del ancho de cada subcuenca fue establecida por Macor (2012), mediante la siguiente formulación:

$$W = \frac{A}{L} \quad \text{Ecuación III.7}$$

Donde:

W= Ancho característico de la subcuenca.

A= Área de la subcuenca.

L= Longitud entre vértice y vértice.

### **3.3. Determinación de la lluvia de diseño**

Para el proceso de simulación del comportamiento del sistema de drenaje pluvial urbano de la zona oeste de la ciudad de Coro, se toman en consideración dos escenarios de precipitación.

En el primero de los escenarios se considera que la lluvia registrada por un solo pluviómetro es representativa de toda el área de la cuenca. Por su parte el segundo escenario se reduce la precipitación registrada por la estación que se considera centro de tormenta, en función de un factor que varía de acuerdo al área de la cuenca.

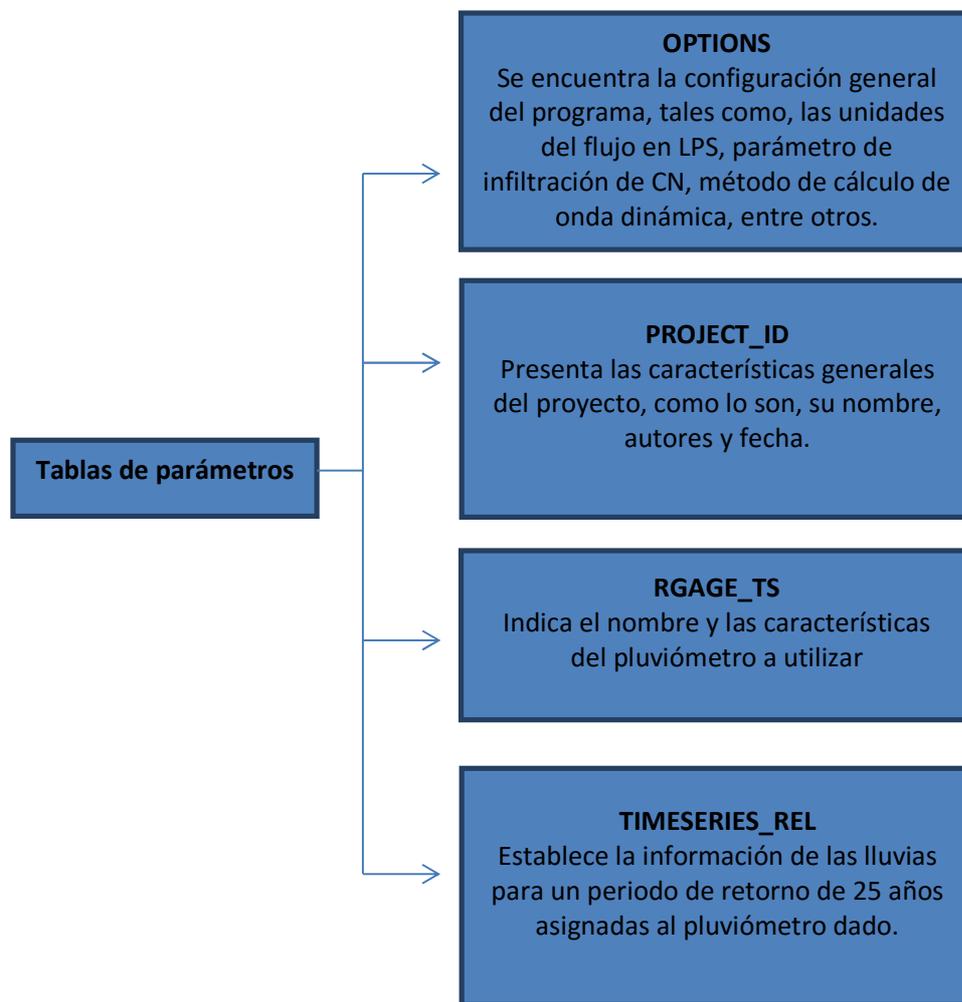
Para ambos escenarios se simularon cinco eventos de precipitación, de los cuales dos de ellos serán eventos sintéticos y tres eventos corresponden a eventos de lluvia registrados. Los eventos de lluvias sintéticas tendrán una duración de tres horas y un periodo de retorno de 25 años y 100 años. El criterio para la aplicación de dichos periodos de retorno en la simulación del drenaje pluvial de la zona en estudio depende de varios factores, entre los cuales se incluyen el tamaño de la cuenca, la importancia de las estructuras, y el grado de seguridad deseado. El periodo de retorno de 100 años es aplicable en desarrollo de llanuras aluviales, obras de protección de mediana envergadura, y obras importantes de drenaje urbano.

Para la evaluación de sistema de drenaje urbano, tipo canales naturales o revestidos, Sánchez (2012) citado por Estrada y Reyes (2014) recomienda que se utilicen tormentas que vayan en el intervalo (1-3) horas, esta recomendación proviene de un análisis hecho por este autor, sobre la duración característica de las lluvias registradas en la estación Coro–Aeropuerto, de igual manera el tiempo de concentración de la mayor parte de la cuenca de Coro oscila en ese intervalo de acuerdo a este estudio.

Por su parte en cuanto a los eventos registrados que se dispone, estos corresponden a tormentas registradas por la estación Coro-Aeropuerto, la cual es el centro de tormenta.

### **3.4. Parámetros para la simulación del sistema de drenaje en el software SWMM**

Los parámetros para llevar a cabo la simulación del sistema a través del software SWMM se organizan en tablas que contienen la configuración del modelo y la información determinada anteriormente. Entre estos elementos de configuración se cuentan la descripción del proyecto, la asignación de las lluvias al pluviómetro además de las lluvias disponibles para el modelo, entre otros. En la figura III.2 que se muestra a continuación se presentan las tablas de parámetros que maneja el SWMM:



**Figura III.2** Esquema de las diferentes tablas de configuración del modelo con sus nombres y características

**Fuente:** Estrada y Reyes (2014)

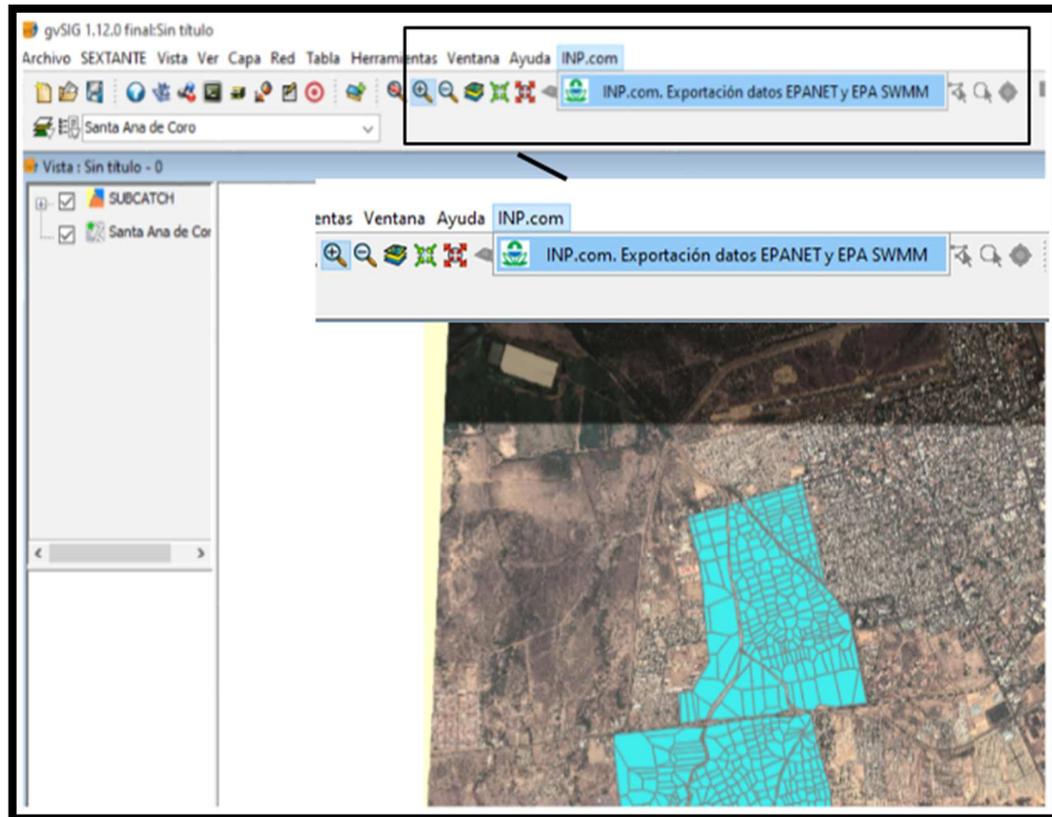
Tomando en cuenta lo antes descrito, se resume de manera general la información organizada para la realización de los datos de entrada para el enlace entre el software de simulación SWMM y el software GvSIG, cabe resaltar que la creación de estas tablas debe ser en formato .dbf a fin de que pueda ser reconocida por los diferentes softwares.

- **CONDUIT\_NO**: Contiene las propiedades y características de cada uno de los conductos entre los nodos de conexión.

- OUTFALL\_NM: Indica los puntos de descarga seleccionados en la cuenca, con su respectiva propiedades.
- INFILTRATION\_NC: Establece el parámetro de infiltración de curva número para cada subcuenca.
- JUNCTION: Comprende las coordenadas, elevación y características de cada nodo de conexión.
- OPTIONS: Señala la configuración general del programa.
- PROJECT\_ID: Información básica del proyecto.
- RGAGE\_TS: Abarca la información del pluviómetro.
- TIMESERIES\_REL: Incluye los datos de precipitación para el periodo de retorno antes señalado.
- SUBCATCH: Abarca los parámetros asignados para cada una de las subcuencas, sea mediante los geo procesos o los agregados de forma manual. Dicha tabla contiene 2 archivos indispensables para su funcionamiento, con extensiones .SHX y .RMF los cuales contienen el mismo nombre que el archivo original (SUBCATCH).

#### **4. Fase IV. Obtención y análisis de los parámetros del sistema de drenaje pluvial de la zona oeste de la ciudad de Coro**

Para realizar la simulación del sistema de drenaje pluvial de la zona oeste de la ciudad de Coro, se torna necesaria la exportación de los datos generados en tablas de la fase anterior a un archivo que pueda ser interpretado por SWMM. Es por ello, que se utilizó la extensión antes mencionada llamada INP.com v1.7.2 (Ver Ilustración III.3) la cual genera un archivo con el formato .inp que contiene la información establecida en cada una de las tablas creadas.



**Ilustración III.3** Vista de la ubicación de la extensión INPcom en el software GvSIG

**Fuente:** Propia (2015)

Generado el archivo con extensión .inp y comprobando que la información suministrada al modelo es correcta, se procede a la simulación del sistema para los diferentes escenarios de precipitación a analizar.

En este sentido para los escenarios de precipitación considerando la información de una estación y el escenario de precipitación reducida, se obtendrán para los puntos de descarga identificados, los diferentes hidrogramas de escorrentía así como los gastos máximos generados. Estos permitirán determinar la importancia del sistema de drenaje mayor de la zona además de establecer su funcionamiento en estos escenarios.

Así mismo, se obtendrán los parámetros de velocidad y tirantes máximos para el drenaje mayor y los diferentes canales de la zona oeste de la ciudad de Coro respectivamente, lo que permitirá evaluar el riesgo de arrastre y de inundación en la zona de estudio.

Estos parámetros permitirán contrastar la respuesta hidrológica que tendría la cuenca en estudio, cuando se distribuye la precipitación a lo largo del área de la misma representando su comportamiento real durante la ocurrencia del fenómeno.



---

*CAPÍTULO IV:  
RESULTADOS Y ANÁLISIS*

---

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se presentan los resultados obtenidos de la investigación en función de cada una de las fases desarrolladas, con la finalidad de dar cumplimiento al objetivo principal de evaluar el comportamiento espacial de la precipitación máxima sobre la respuesta hidrológica de una cuenca hidrográfica. Caso de estudio: zona oeste de la ciudad de Coro.

#### **1. Fase I: Recopilación y procesamiento de la información básica**

##### **1.1. Recopilación y análisis de la información documental**

La información bibliográfica y documental que se seleccionó como antecedente de esta investigación se detalla a continuación:

“Evaluación de la respuesta hidrológica de la quebrada de Chabe aplicando un modelo hidráulico unidimensional” (Salazar y Zambrano, 2009): De este estudio se obtuvo información topográfica como las progresivas con sección transversal y cota de la quebrada de Chabe que posee una longitud de 2256.75 metros desde la Av. Chema Saher hasta su punto de descarga en la Av. Roosevelt. Progresivas con sección transversal y cota del canal del Barrio Cruz Verde, el canal posee una parte natural de 460 metros y una parte revestida de 609 metros desde la Av. Chema Saher hasta su descarga en la Quebrada de Chabe.

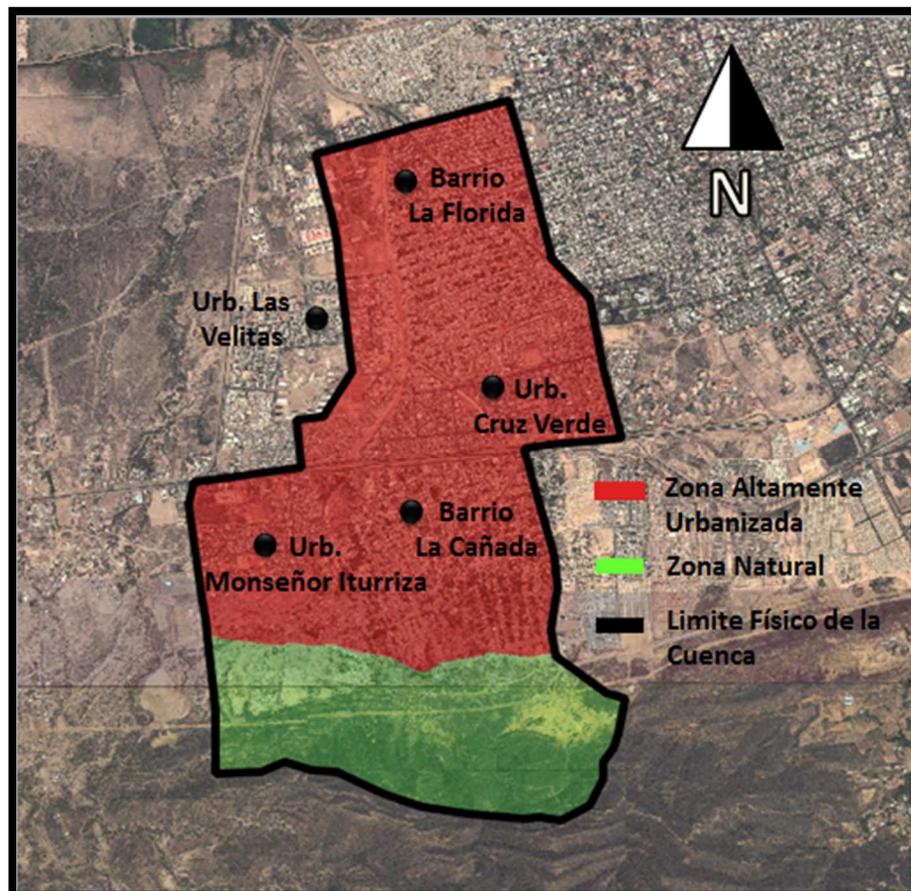
Es importante mencionar que la información topográfica posee deficiencias importantes en cuanto a las secciones transversales y las cotas de fondo de la quebrada del Barrio Cruz Verde en la parte natural del canal, las cuales fueron solventadas ordenando la sección con su respectiva progresiva y cota de fondo para la simulación del modelo conceptual de la cuenca oeste de la ciudad de Coro.

“Estudio de la Amenaza por Inundación en el Canal que drena las Aguas Pluviales de las Comunidades La Cañada, Ezequiel Zamora y Monseñor Iturriza, Municipio Miranda, Coro - Estado Falcón” (Arias, 2010): De este estudio se extrajo información topográfica relacionada con las progresivas, secciones transversales y cotas del canal natural “Quebrada Nueva”, desde el comienzo del mismo hasta su punto de descarga en la quebrada de Chabe en la Av. Chema Saher.

## **1.2. Ubicación y delimitación de la cuenca en estudio**

Mediante el uso del software Google Earth Pro se obtuvo como resultado la delimitación de la cuenca oeste de la ciudad de Coro. Tomando en consideración la topografía de la zona y el sistema de drenaje mayor de la cuenca oeste.

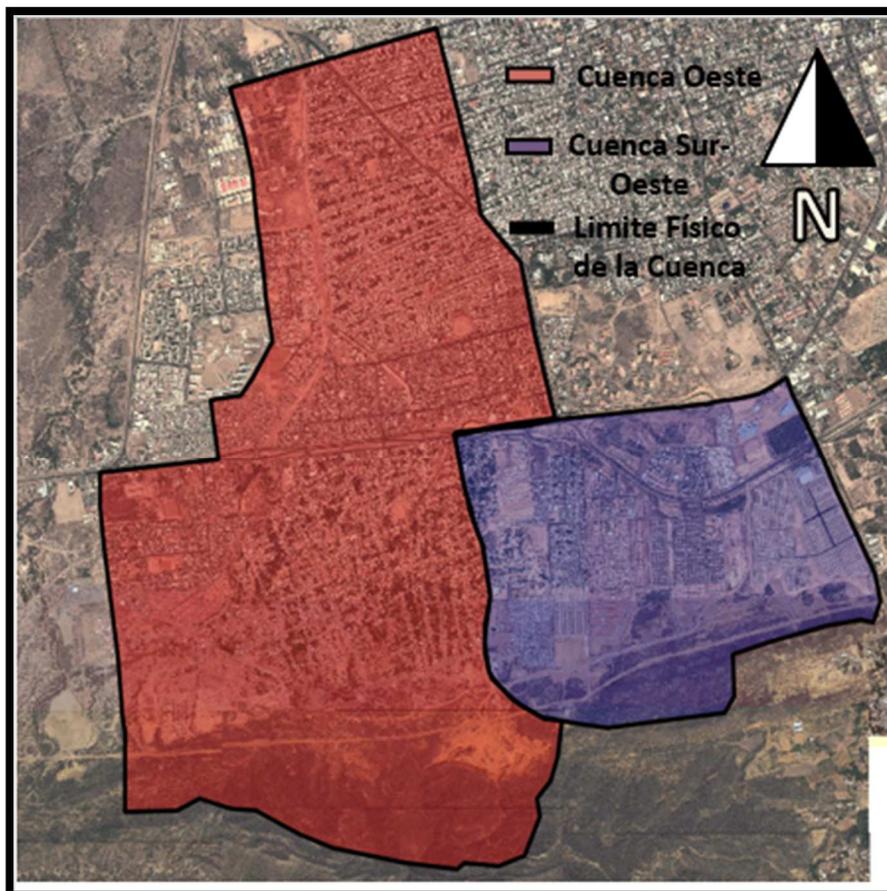
Dando como resultado una cuenca con una extensión de 866.33 hectáreas y un perímetro de 14822.89 metros (Ver Ilustración IV.1). El área de estudio presenta dos zonas bien definidas, la zona sur de la cuenca posee un área natural de topografía montañosa, donde una parte drena hacia a la Quebrada Llano Grande en el sector Zumurucuaré y la otra hacia Quebrada Nueva ubicada en el sector Monseñor Iturriza. La zona norte de la cuenca presenta un área altamente urbanizada con topografía llana, donde se encuentran ubicadas las comunidades de Zumurucuaré, La Cañada, Monseñor Iturriza, Parcelamiento Cruz Verde, Urbanización Cruz Verde, Urbanización Las Velitas, Urbanización Antonio José de Sucre, Barrio 28 de Julio, Barrio Cruz Verde, Urbanización Andrés Bello, Barrio La Florida y el sector Cementerio Viejo.



**Ilustración IV.1** Delimitación de la cuenca oeste de la ciudad de Santa Ana de Coro.

**Fuente:** Propia (2015).

Es importante mencionar que para la caracterización de la precipitación y la modelación en el software SWMM fue añadida la cuenca Sur-Oeste de la ciudad de Coro que se obtuvo de Estrada y Reyes (2014), dando como resultado un área total para la cuenca de estudio de 12,20 Km<sup>2</sup> como se muestra en la ilustración IV.2, esto con la finalidad de integrar todo el drenaje de la zona y realizar la modelación conjunta del sistema.



**Ilustración IV.2** Delimitación de la cuenca para la caracterización de la lluvia y modelación de los eventos.

**Fuente:** Propia (2015).

### 1.3. Registros de precipitación en la cuenca de estudio

#### 1.3.1. Selección de las estaciones meteorológicas

Las estaciones pluviométricas se seleccionaron bajo ciertos criterios, como los son: ubicación dentro de la cuenca urbana o en sus adyacencias, disponibilidad de registros pluviográficos a la menor escala posible (horarios, diarios) y años de registros.

En la siguiente tabla se muestran las estaciones pluviométricas seleccionadas con sus respectivos seriales y coordenadas UTM (norte y este) datum REGVEN.

**Tabla IV.1** Estaciones Pluviométricas seleccionadas

NOMBRE	SERIAL	COORDENADAS UTM	
		NORTE (m)	ESTE (m)
Coro-Aeropuerto	232	1261791.766	424029.243
Las Polonias	237	1260833.244	441483.153
Caujarao	242	1256255.570	427047.068
Coro	235	1259941.618	427055.528
La Vela de Coro	1152	1266674.897	438585.155
Sabaneta de Coro	241	1244621.707	391603.396

**Fuente:** Propia (2015)

A continuación se muestra la ilustración IV.3 con la ubicación de las estaciones pluviométricas mediante la utilización del software Google Earth Pro.

**Ilustración IV.3** Ubicación de las estaciones pluviométricas

**Fuente:** Propia (2015)

### 1.3.2. Recopilación de registros de precipitación

Se realizó el análisis de la información histórica de la precipitación diaria en las estaciones pluviométricas estudiadas, con el fin de determinar el periodo común de registros entre ellas. Se obtuvo como resultado que el año 1973 es el año común entre los registros de todas las estaciones, esto debido a la reducida longitud de datos disponibles, aunado a que la

mayoría de las estaciones consideradas se encuentran inactivas e incluso inexistentes a la fecha del presente estudio.

**Tabla IV.2** Datos Diarios de la Estación Coro-Aeropuerto para el año 1973

M. A. R. N. DIRECCION DE HIDROLOGIA Y METEOROLOGIA PRECIPITACION 08000-0800 (mm)													
ESTACION: CORO			SERIAL: 0232 ZONA: 09			EDO: FALCON			AÑO: 1973				
LATITUD: 11/25/00		LONGITUD: 69/41/00		ALTITUD: 16.M		INS: 01/1921		ELIM: 00/0000					
DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	DIA
1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1
2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	2
3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	6.7	.0	.0	22.4	1.8	3
4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	13.8	.0	.5	.0	.4	.0	4
5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	5
6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	6
7	.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.3	.0	7
8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.9	8
9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.2	.0	9
10	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	10
11	.0	.0	.0	.0	.0	.0	2.0	.0	.0	.0	10.7	.0	11
12	.0	.0	.0	.0	.0	.0	3.9	.0	.0	.0	6.1	.0	12
13	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	22.6	.7	.0	13
14	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.7	5.7	.5	.0	14
15	.0	.0	.0	.0	.0	.0	2.0	.0	.0	.0	.0	.0	15
16	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	5.9	.0	.0	.0	16
17	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.8	.0	5.0	.0	17
18	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	8.2	.0	18
19	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.5	.0	19
20	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	20
21	.0	.0	.0	34.8	.0	.0	.0	.2	.0	.4	.0	.0	21
22	.0	2.2	.0	13.8	.0	1.3	.0	.0	.0	.8	.0	.0	22
23	.0	.0	.0	4.4	.0	.0	.0	.9	.4	.0	2.3	.0	23
24	.0	.0	.0	.0	.0	.3	.0	.0	.0	.0	1.6	.0	24
25	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.3	.0	.0	22.4	23.0	25
26	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	3.9	15.4	26
27	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.5	4.0	.0	.0	.0	1.0	27
28	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.4	.0	.0	.0	11.2	28
29	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	29
30	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.3	30
31	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	.0	.0	.0	.0	31

**Fuente:** Ministerio del Poder Popular para Eco-socialismo y Aguas

### 1.3.3. Identificación de eventos simultáneos de precipitación

Se determinó para el año común de registros entre las estaciones, el cual es el año 1973, los eventos de lluvia simultáneos que tuviesen la mayor cobertura espacial, es decir que hubiese sido registrado en todas las estaciones, y con una precipitación máxima acumulada para el evento de 10 mm.

La estación donde se registra el máximo de lluvia del evento, se considera el centro de tormenta.

Siguiendo dichos criterios, se obtuvo como resultado diez (10) eventos simultáneos como se pueden apreciar en la Tabla IV.3, donde para cada centro de tormenta de cada evento se sombrea de color amarillo.

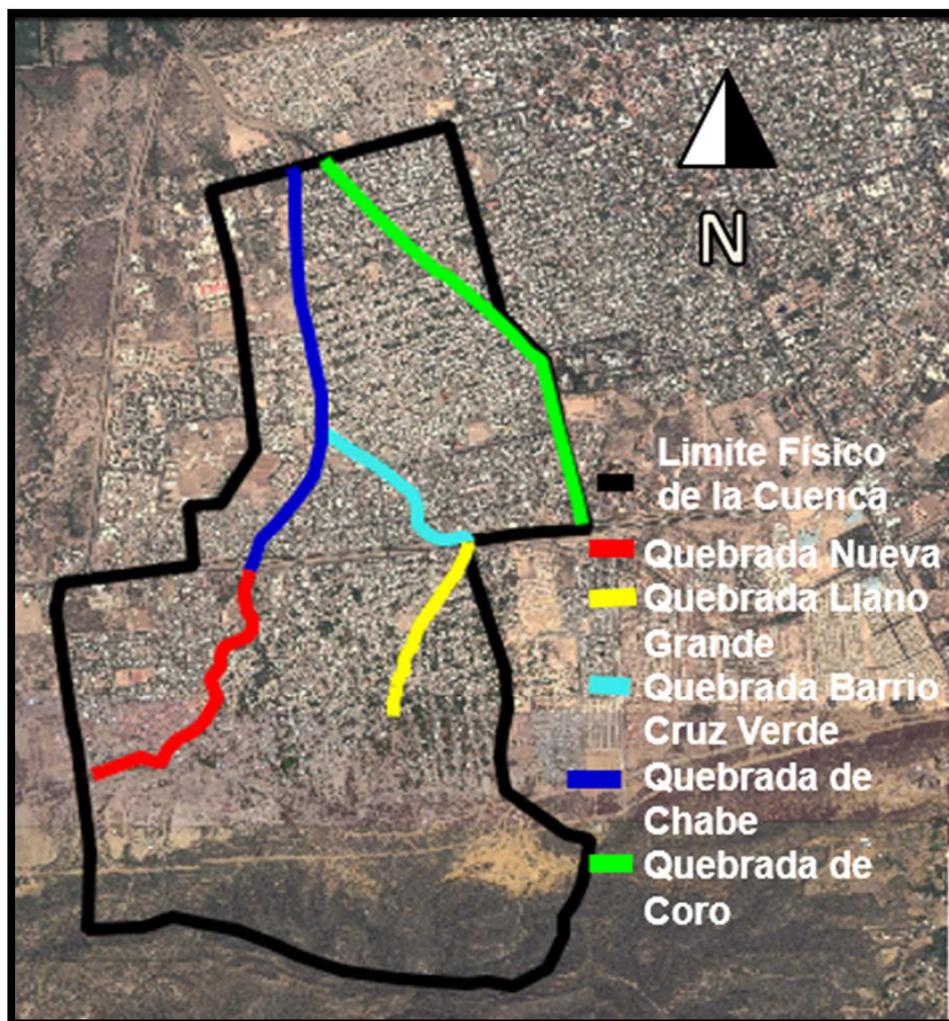
**Tabla IV.3** Eventos registrados año 1973

Día del año 1973	ESTACIÓN					
	Coro-Aeropuerto	Coro	Las Polonias	Caujarao	La Vela de Coro	Sabaneta de Coro
21 de Abril	34,8	14,5	12,6	20,9	7	3,8
22 de Abril	13,8	5,2	4,6	8,8	4,6	23,4
27 de Agosto	4	0,5	24,5	2,5	0	3,2
13 de Octubre	22,6	7,3	1,2	26,9	1,2	27,4
03 de Noviembre	22,4	0,6	1,2	0,9	1,2	1
11 de Noviembre	10,7	10,6	16,4	10,6	10	2,8
25 de Noviembre	22,4	5,2	18,4	14,1	36,5	4,2
25 de Diciembre	23	16,5	24,2	13,5	22,4	2,5
26 de Diciembre	15,4	1,5	1	14,1	6,2	3,9
28 de Diciembre	11,2	0	3,7	5,9	1,2	2,7

**Fuente:** Propia (2015)

#### **1.4. Identificación de los elementos del sistema de drenaje pluvial de la zona oeste de la ciudad de Coro.**

Esta actividad permitió visualizar las obras de drenaje superficial de la cuenca, como también los problemas en general de drenaje que presenta la zona en estudio. Para realizar un debido diagnóstico a las obras de drenaje ya existentes en la zona, y conocer las obras de drenaje predominantes en la cuenca oeste de la ciudad, se procedió a realizar una inspección visual, esto por medio de visitas al área de estudio. Por medio de la inspección visual se determinó que el drenaje mayor de la cuenca oeste está conformado por: Quebrada Nueva, Quebrada Llano grande, Quebrada Cruz Verde, Quebrada de Chabe y Quebrada de Coro (Ver ilustración IV.4).

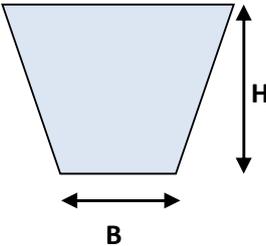


**Ilustración IV.4** Ubicación del drenaje mayor de la Cuenca Oeste.

**Fuente:** Propia (2015).

Las secciones transversales, progresivas, cotas y características de los elementos del sistema de drenaje de la zona en estudio, se obtuvieron y fueron constatadas mediante el uso del software de dominio público GvSIG 1.12, Google Earth Pro y visitas de campo realizadas. A continuación en la tabla IV.4 se muestran las secciones típicas de los diferentes canales dentro de la zona de interés, ya que estos no poseen una sección transversal constante.

**Tabla IV.4** Secciones típicas del drenaje mayor de la cuenca

SECCIÓN 	CANAL	B (m)	H (m)	Pendiente de los taludes
	QUEBRADA NUEVA	10	1,8	2
QUEBRADA LLANO GRANDE	5	0,75	2,5	
QUEBRADA BARRIO CRUZ VERDE	8	1,2	2,5	
QUEBRADA DE CHABE	11,8	1,7	2	
QUEBRADA DE CORO	8,5	2,6	1	

Fuente: Propia (2015)

## **2. Fase II. Caracterización espacial de la precipitación**

Se trabajó con dos escenarios para la distribución espacial de la precipitación. El Escenario 1: considerando la información de un solo pluviógrafo como influyente de la precipitación en la zona de estudio, la cual fue definida en investigaciones anteriores realizadas por Sánchez mediante el método de los Polígonos de Thiessen, Escenario 2: considerando que la precipitación se reduce en función del área a partir de un factor de reducción de la precipitación puntual que se registra en el centro de tormenta.

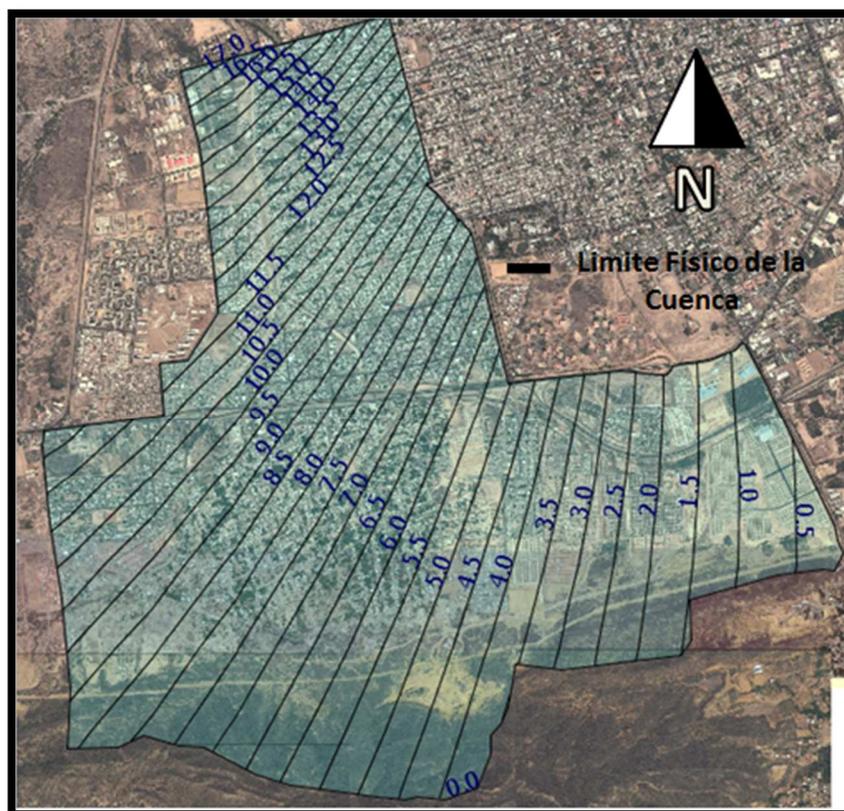
En este sentido, para la simulación del sistema de drenaje se considera para el escenario 1 eventos de precipitación tanto sintéticos como registrados para la estación Coro-aeropuerto, la cual es la estación que en la mayoría de los eventos se presenta como centro de tormenta, además de que se encuentra ubicada dentro de los límites de la cuenca urbana de Coro.

Y para el escenario 2 se consideran los eventos del escenario uno reducidos en función del factor de reducción por área, el cual se obtuvo para la cuenca de estudio de acuerdo al procedimiento descrito en el marco

metodológico de esta investigación, y cuyos resultados se muestran a continuación.

### 2.1. Obtención de la Relación Altura –Área–Duración (AAD) y los Factores de Reducción por Área (FRA).

Posterior a la identificación de los 10 eventos de precipitación simultáneos para la cuenca oeste y mediante la utilización de los softwares Surfer, Global Mapper y GvSIG, se obtuvo el mapa de Isoyetas para cada uno de los eventos estudiados, como se muestra en la siguiente ilustración empleando un intervalo entre Isoyetas que oscila entre 0.5 mm y 1 mm como se aprecia en la ilustración IV.5.



**Ilustración IV.5** Vista del mapa de Isoyetas en la zona norte de la cuenca para el evento del 03 de Noviembre de 1973.

**Fuente:** Propia (2015).

A partir de cada mapa de Isoyetas y calculadas las áreas entre las mismas, se procedió a la construcción de la tabla que se muestra a continuación.

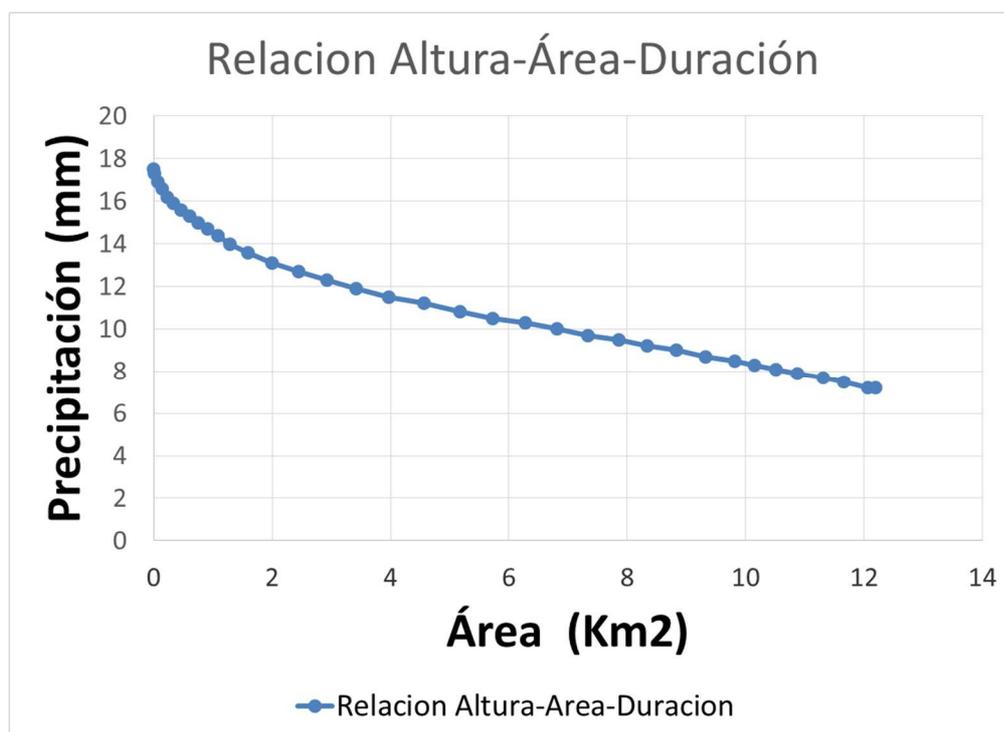
**Tabla IV.5** Muestra del cálculo de la precipitación media por Isoyetas para el evento del 03 de Noviembre de 1973.

Isoyeta	Área Neta(m2)	Área Neta (km <sup>2</sup> )	Área Encerrada (km <sup>2</sup> )	Lluvia Promedio (mm)	Área * Lluvia promedio	Área * Lluvia promedio (Acumulado)	Lluvia media sobre el área encerrada
17,5							17,5
	16919,844	0,017		17,25	0,29325		
17			0,02			0,29325	17,3
	48740,946	0,049		16,75	0,82075		
16,5			0,07			1,114	16,9
	68925,943	0,069		16,25	1,12125		
16			0,14			2,23525	16,6
	88796,128	0,089		15,75	1,40175		
15,5			0,22			3,637	16,2
	104754,504	0,105		15,25	1,60125		
15			0,33			5,23825	15,9
	125394,405	0,125		14,75	1,84375		
14,5			0,45			7,082	15,6
	145692,97	0,146		14,25	2,0805		
14			0,60			9,1625	15,3
	155336,485	0,155		13,75	2,13125		
13,5			0,76			11,29375	15
	159240,398	0,159		13,25	2,10675		
13			0,91			13,4005	14,7
	170500,708	0,171		12,75	2,18025		
12,5			1,09			15,58075	14,4
	200934,581	0,201		12,25	2,46225		
12			1,29			18,043	14
	305242,524	0,305		11,75	3,58375		
11,5			1,59			21,62675	13,6
	412381,541	0,412		11,25	4,635		
11			2,00			26,26175	13,1
	444392,907	0,444		10,75	4,773		
10,5			2,45			31,03475	12,7
	472990,537	0,473		10,25	4,84825		
10			2,92			35,883	12,3

Fuente: Propia (2015)

Se puede observar en la tabla anterior que el mayor valor de las Isoyetas es de 17.5 mm para un área de 0 km<sup>2</sup>.

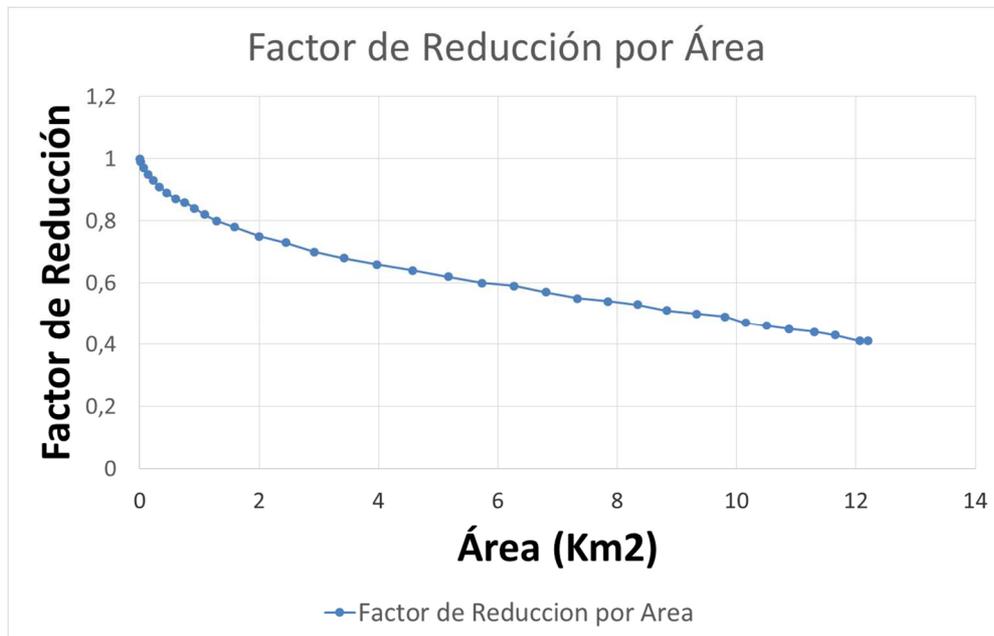
De la tabla se obtiene la precipitación media para cada área que encierran las Isoyetas, con lo cual se procede a graficar ambas variables para la duración de 24 horas, como se aprecia en el siguiente gráfico.



**Gráfico IV.1** Curva AAD para el evento de duración 24 horas, ocurrido el 03 de Noviembre de 1973

**Fuente:** Propia (2015)

Se obtuvo la curva del Factor de Reducción por área mediante la relación de la precipitación media en el área y la precipitación máxima puntual registrada por la estación centro de tormenta para este evento, tal como se muestra en el Gráfico IV.2



**Gráfico IV.2** Curva de Factor de Reducción por Área para el evento de 24 horas ocurrido el 03 de Noviembre de 1973

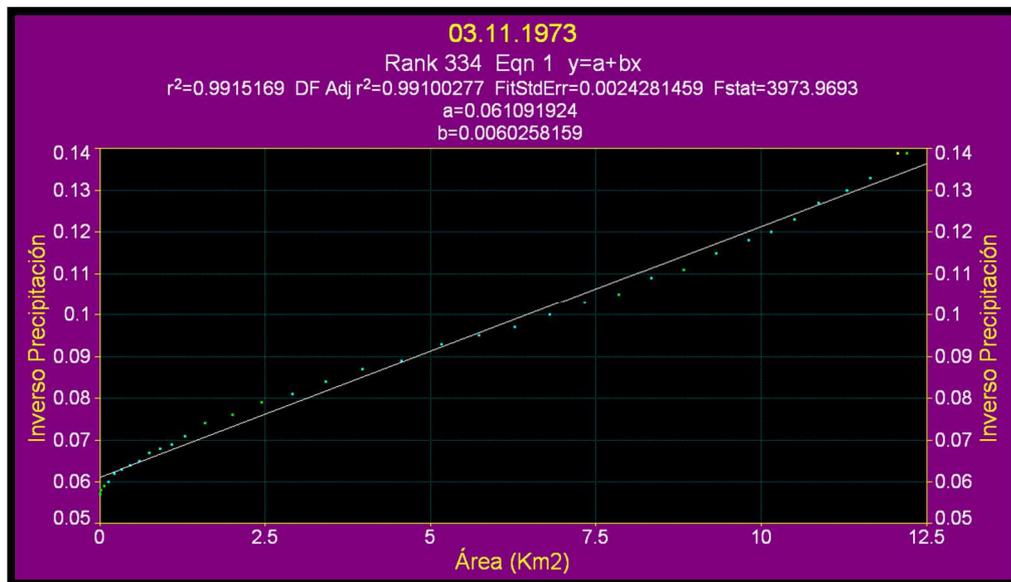
**Fuente:** Propia (2015)

Se aprecia en el gráfico que la reducción de la lluvia es mayor a medida que el área es mayor.

## **2.2. Modelo Altura-Área-Duración (AAD) para la determinación de los Factores de Reducción por Área (FRA)**

Para desarrollar el modelo indicado, se parte del concepto matemático de linealización de las relaciones A-A-D (Altura – Área – Duración), propuesto por Guevara (2003) y aplicado también por Ortega (2013) a nivel regional, el cual considera que existe una relación lineal entre el área y el inverso de la precipitación.

Por lo cual se procedió a calcular dicha relación para cada uno de los 10 eventos y obtener los parámetros del modelo mediante el software Table curve 2.0 como se muestra en la siguiente ilustración.



**Ilustración IV.6** Relación entre el inverso de la precipitación y el área

**Fuente:** Propia (2015)

Este procedimiento fue realizado para la totalidad de los eventos evaluados, con el fin de obtener los valores de los parámetros de la ecuación dando como resultado para los diez (10) eventos:

**Tabla IV.6** Valores de los parámetros A y B

EVENTO	PARÁMETRO a	PARÁMETRO b
1	0,06109	0,00603
2	0,09247	0,00027
3	0,037871	0,00074
4	0,03381	0,00075
5	0,08152	0,00167
6	0,05638	0,00152
7	0,04931	0,00097
8	0,07023	0,00154
9	0,32452	0,00939
10	0,11278	0,00441

**Fuente:** Propia (2015)

Con los valores de los parámetros de la ecuación para todos los eventos, se calculó el promedio y la desviación estándar de estos para

introducirlos en el modelo a fin de obtener el factor de reducción para el área de la cuenca.

**Tabla IV.7** Promedio de los parámetros y desviación estándar

	PARÁMETRO A	PARÁMETRO B
PROMEDIO	0,0919981	0,002729
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,085273427	0,002964634

**Fuente:** Propia (2015)

Aplicando el modelo matemático propuesto por Guevara (2003) y sustituyendo los valores promedios de los parámetros a y b se obtiene el modelo regionalizado que se muestra a continuación para el cálculo del factor de reducción por área para la cuenca de estudio y para una duración de 24 horas como se muestra en la Ilustración IV.7.

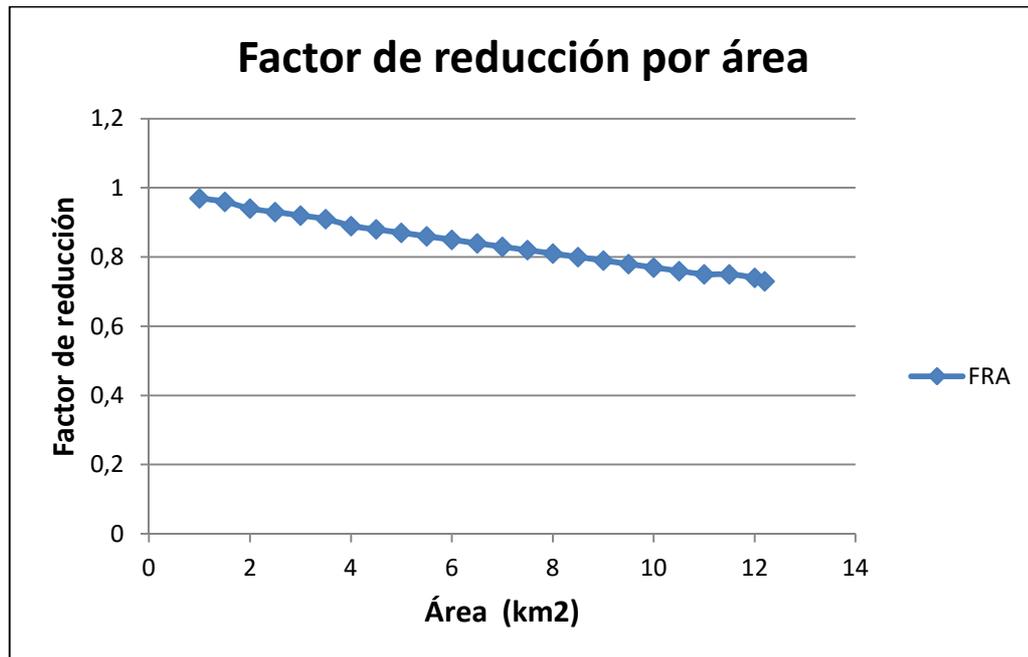
$$FRA = \frac{0.09199}{0.09199 + 0.00273 * A} ;$$

$$A = \text{Área}(\text{Km}^2)$$

**Ilustración IV.7** Modelo regional de factores de reducción por área para una duración de 24 horas en la cuenca de estudio

**Fuente:** Propia (2015)

A partir del modelo regional se estimaron los diferentes valores de factores de reducción para áreas superiores a 1 km<sup>2</sup> en un intervalo de cada 0,5 km<sup>2</sup> hasta el área de la cuenca (Ver Gráfico IV.3).



**Gráfico IV.3** Valores de Factores de Reducción para las diferentes áreas

**Fuente:** Propia (2015)

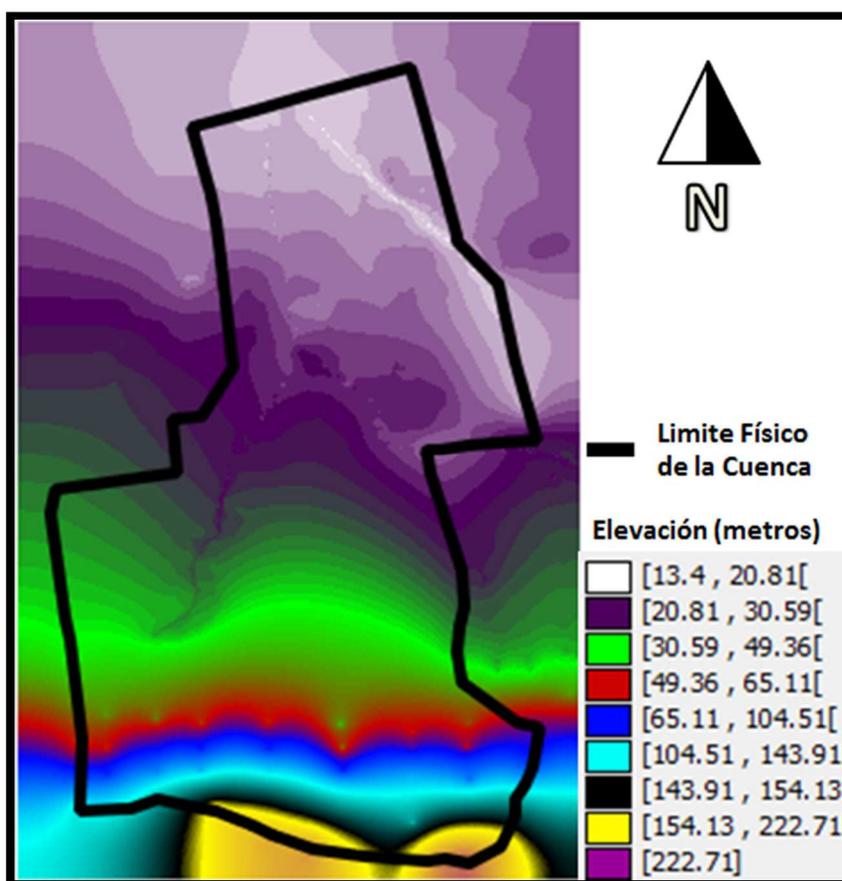
Calculado los diferentes valores de los Factores de Reducción por Área, se obtuvo que para el área de la cuenca en estudio el factor de reducción es de 0,73. Es decir, que para la precipitación medida de forma puntual y para un área de 12,20 Km<sup>2</sup>, la precipitación se reduce en un 27%.

### **3. Fase III. Construcción del modelo conceptual de la cuenca**

Para la construcción del modelo conceptual fue necesario la utilización de un mapa base de la ciudad de Coro, el cual fue suministrado por Sánchez (2012). Dicho mapa no abarcaba la totalidad de la cuenca de estudio, motivo por el cual se modificó incluyendo un mosaico de imágenes de alta resolución, apoyado en el uso del software Google Earth Pro y Paint.

Dicho procedimiento fue realizado siguiendo pautas descritas por Sánchez (2012) en las publicaciones “*Como hacer mosaico de imágenes de alta resolución para ser usados como mapas base en SWMM*” y “*Como georeferenciar una imagen usando global Mapper 9*”.

A partir de allí, se generó la capa tipo ráster del Modelo Digital de Elevación (MDE) para toda la zona de interés como se muestra a continuación en la Ilustración IV.8, en la cual fue adicionado al modelo ya existente un total de 298 puntos, con sus coordenadas y cota de elevación.

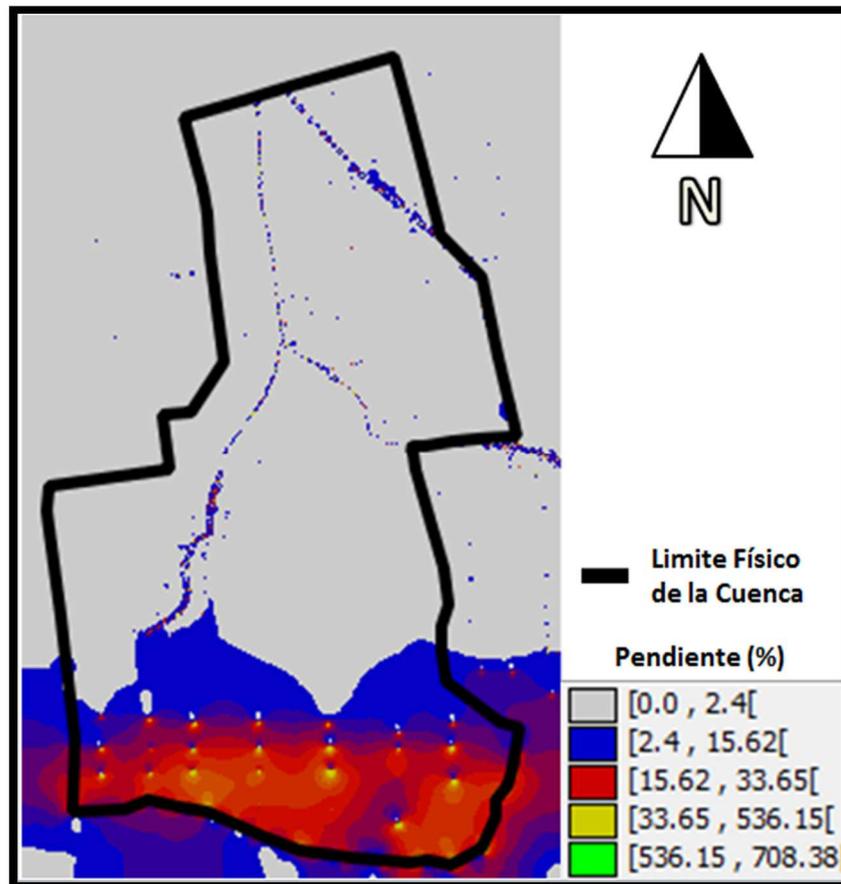


**Ilustración IV.8** Ráster MDE de la cuenca Oeste de la ciudad Santa Ana de Coro

**Fuente:** Propia (2015)

En el modelo digital de elevación se observa que la zona sur, caracterizada por una zona natural con topografía montañosa, presenta elevaciones que oscilan entre 49 y 222 m.s.n.m. Por otra parte la zona norte caracterizada por un área altamente urbanizada con topografía llana posee cotas que oscilan entre 13 y 49 m.s.n.m.

Con el empleo del GvSIG se creó el mapa Ráster de pendiente de la cuenca con base en el modelo digital de elevaciones antes creado (Ver Ilustración IV.9).



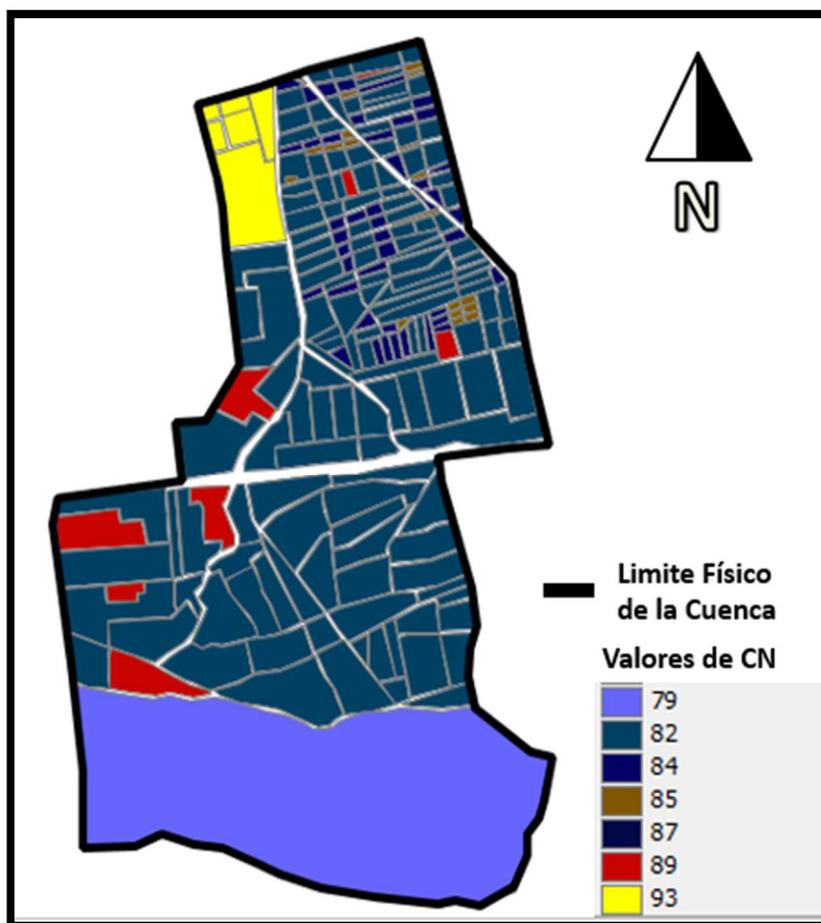
**Ilustración IV.9** Mapa Ráster de pendiente de la cuenca oeste de la ciudad Santa Ana de Coro

**Fuente:** Propia (2015)

A partir del mapa Ráster de pendiente se puede apreciar como los valores de mayor pendiente están ubicados en la zona de la subcuenca natural donde predomina la topografía de montaña y en los canales del drenaje mayor de la cuenca de estudio debido a la diferencia de cotas entre el fondo del canal y los taludes.

### 3.1. Determinación de los parámetros de la cuenca

Se realizó la discretización de la cuenca en subcuencas. Dando como resultado 220 subcuencas a las cuales se les asignaron los valores correspondientes al parámetro hidráulico de Curva Número de acuerdo a la metodología del Servicio de conservación de suelos (SCS) como se muestra en la ilustración IV.10.



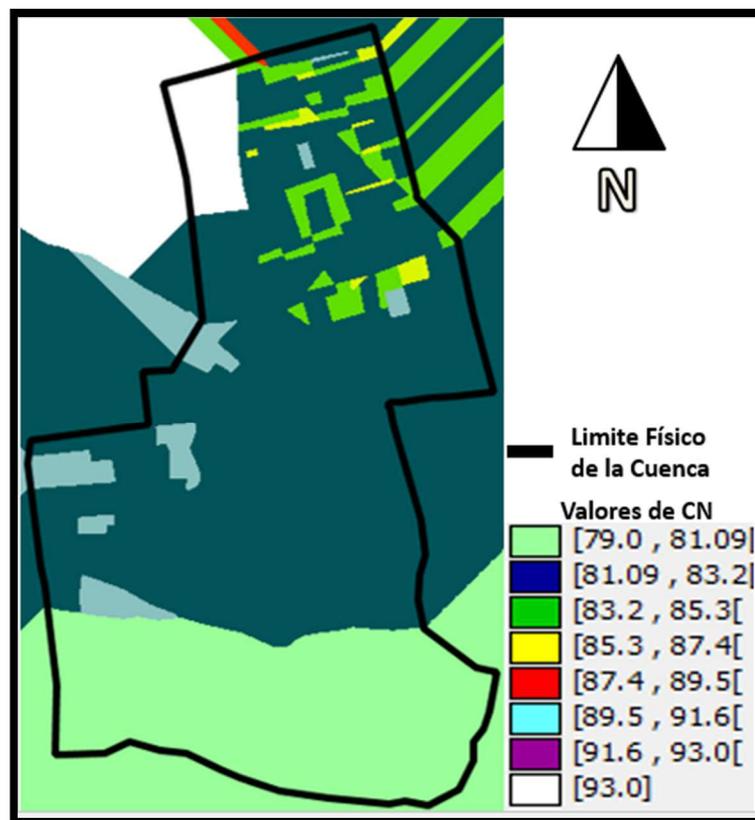
**Ilustración IV.10** Mapa vectorial con el parámetro Curva Número para cada una de las subcuencas

**Fuente:** Propia (2015)

Se puede apreciar en el mapa vectorial de Curva Número que este posee un valor constante en la franja Sur del área de estudio debido a que pertenece a una subcuenca natural donde predomina una superficie de

pastizales en condiciones pobres perteneciente al grupo de suelo B de la tabla propuesta por Chow (1994). Por otra parte, la zona central presenta valores constantes de Curva Número debido a la homogeneidad de sus subcuencas pertenecientes a una zona urbanizada.

A partir del mapa vectorial representativo de cada subcuenca se aplicó un geo procesos del SIG a fin de obtener el mapa Ráster de Curva Número de la cuenca como se muestra a continuación la ilustración IV.11.



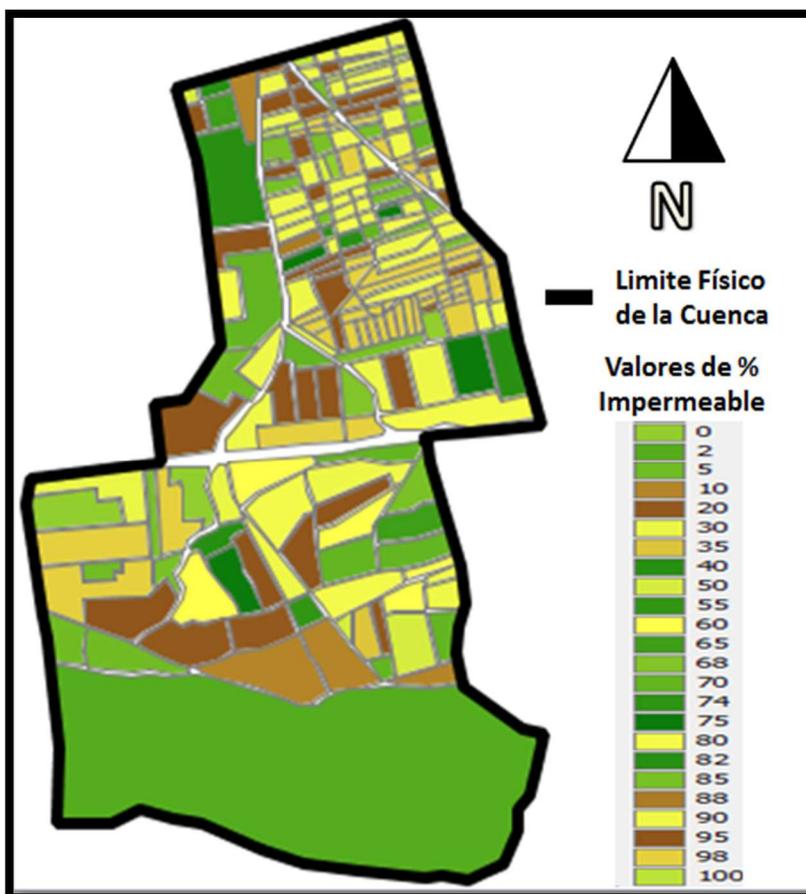
**Ilustración IV.11** Mapa Ráster del parámetro hidrológico Curva Numero de la cuenca oeste de la ciudad Santa Ana de Coro

**Fuente:** Propia (2015)

De acuerdo al mapa ráster se observa que los valores de Curva Número oscilan entre 82 y 93.

De la misma manera se construyó el mapa vectorial con el parámetro hidrológico de porcentaje (%) impermeable, asignándole valores de

acuerdo a criterios de área permeable-impermeable para cada subcuenca en particular (Ver Ilustración IV.12).

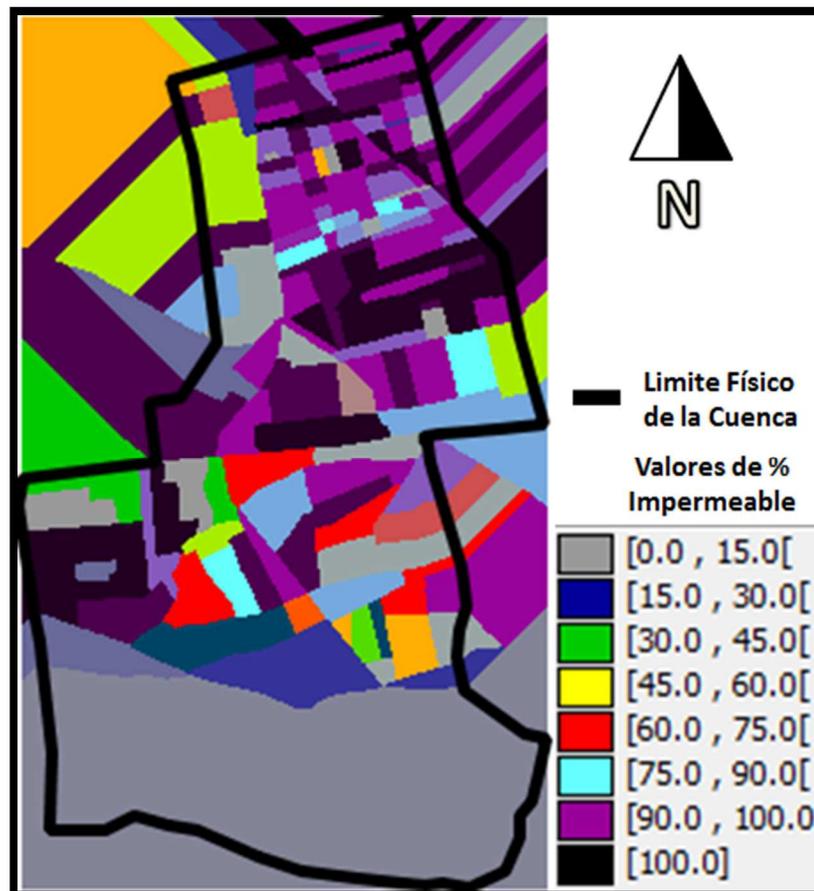


**Ilustración IV.12** Mapa vectorial con el parámetro hidrológico de porcentaje impermeable

**Fuente:** Propia (2015)

Es importante mencionar que en la zona central y norte de la cuenca se encuentra el mayor porcentaje impermeable de todo el estudio, debido a que allí se encuentra el área urbanizada. Por otra parte la franja sur de la cuenca presenta un alto porcentaje permeable ya que se encuentra sin modificación del uso del suelo.

De acuerdo al mapa vectorial de porcentaje (%) impermeable y con ayuda de la herramienta “sextante” se obtuvo el mapa Ráster porcentaje (%) impermeable de la cuenca (Ver Ilustración IV.13).



**Ilustración IV.13** Mapa Ráster de porcentaje impermeable de la cuenca Oeste de la ciudad Santa Ana de Coro

**Fuente:** Propia (2015)

### 3.2. Determinación de los parámetros de la red de drenaje.

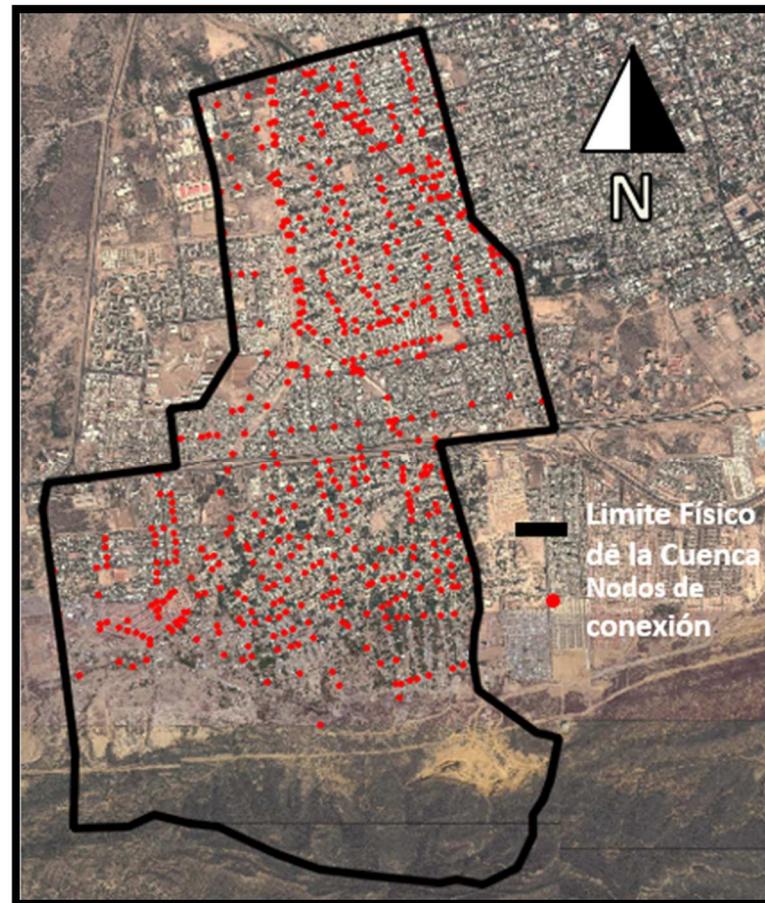
Para la elaboración de dicho modelo de la red de drenaje mediante los procesos del SIG GvSIG, se determinaron las características propias de la cuenca en estudio a fin de obtener la información básica de la red de drenaje.

Para ello se partió con la creación de nodos de conexión tomando como criterios las intersecciones de calles y cambios de dirección en el drenaje. Estos nodos de conexión creados van a servir como puntos de descarga para cada subcuenca y/o unión entre los conductos (Ver Ilustración IV.14).

Mediante la aplicación de la herramienta “sextante” para capas de puntos se le asignaron las propiedades como son las coordenadas geográficas y la cota a cada punto.

Al finalizar la construcción de los nodos de conexión entre las subcuencas y la red de drenaje se obtuvo como resultado 560 nodos con sus respectivas propiedades.

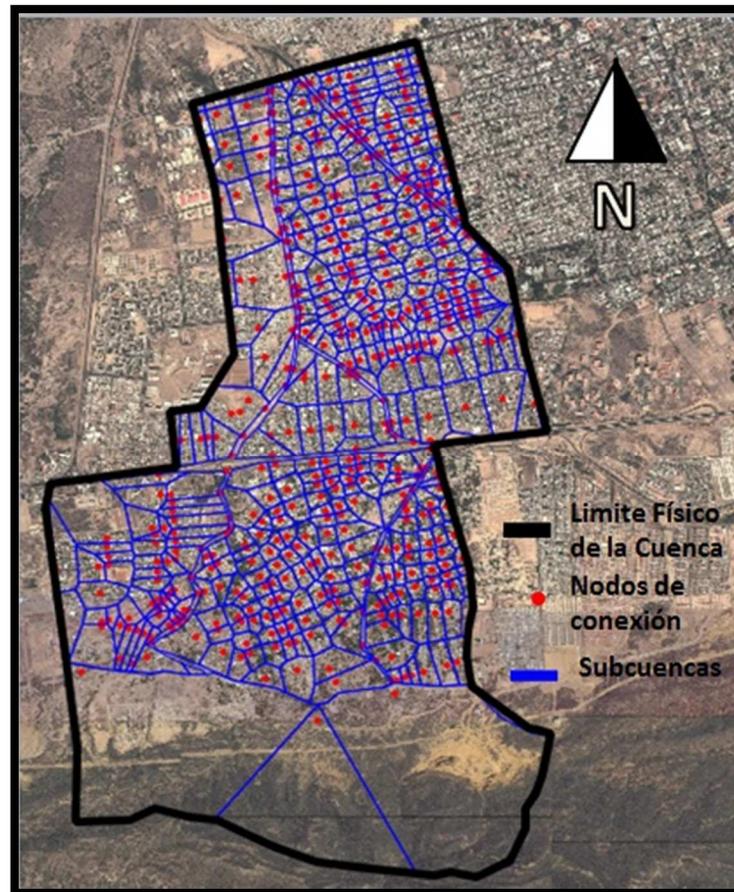
Una vez ubicados los nodos de conexión, se discretizó la cuenca utilizando el método de polígonos de Thiessen, dando como resultado un total de 462 subcuencas. Es importante mencionar que los nodos de conexión que no pertenecen a la descarga de una subcuenca fueron creados con la finalidad de servir de conexión entre los nodos de descarga de las mismas y el drenaje mayor de la zona y de esta manera representar las características topográficas de la cuenca en el modelo conceptual del drenaje.



**Ilustración IV.14** Nodos de conexión de la cuenca oeste de la ciudad Santa Ana de Coro

**Fuente:** Propia (2015)

La creación de estas subcuencas utilizando los nodos de conexión y empleando el método de los polígonos de Thiessen (Ver Ilustración IV.15), fueron generadas por medio del SIG GvSIG en el comando TIN/Voronoi del menú Gestor de Geoprocesos.



**Ilustración IV.15** Subcuencas creadas mediante los polígonos de Thiessen en la cuenca oeste de la ciudad Santa Ana de Coro

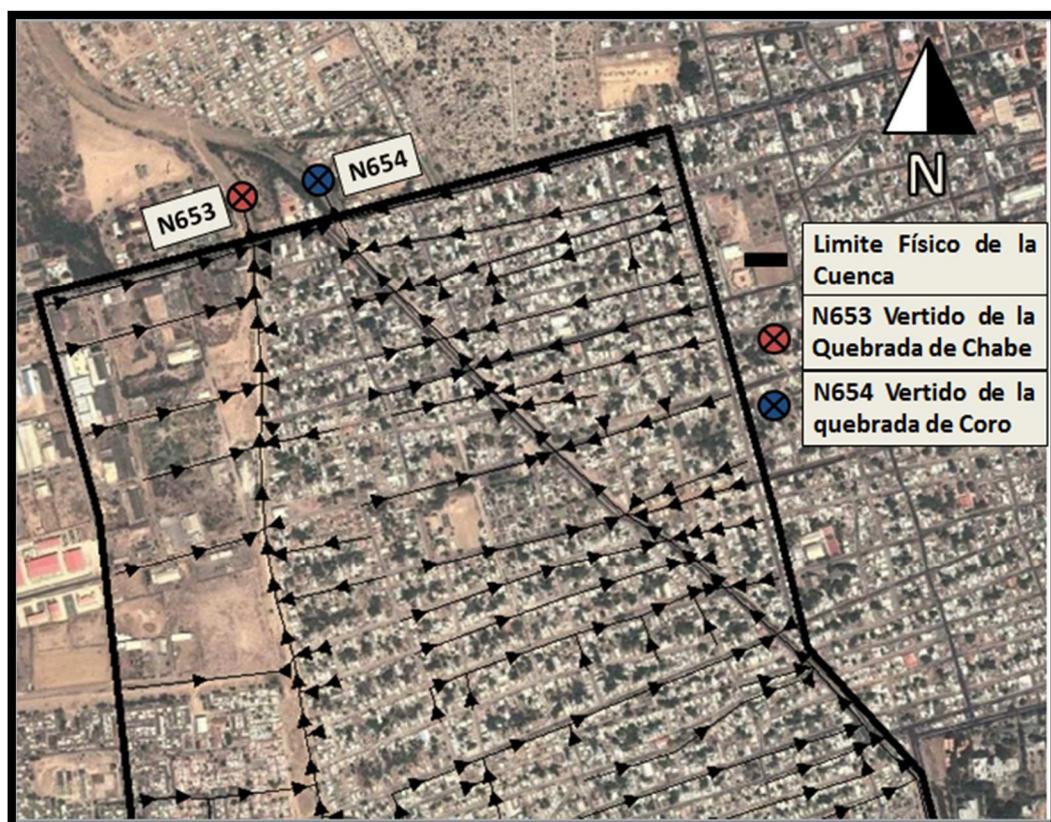
**Fuente:** Propia (2015)

Partiendo de las subcuencas generadas, se creó un archivo llamado SUBCATCH (Ver Anexo 1). El cual contiene la información necesaria para la identificación de cada subcuenca, sus propiedades físicas e hidrológicas. Cada subcuenca de las 462 generadas contiene:

- **Información Básica:** ID de identificación, ID del nodo de descarga asociado, ID con el nombre de la subcuenca, ID del pluviómetro asociado.
- **Propiedades físicas:** Área, ancho característico, pendiente, perímetro, longitud entre vértices, entre otros.
- **Propiedades Hidrológicas:** porcentaje (%) Impermeable,  $n$  impermeable,  $n$  permeable, almacenamiento impermeable,

almacenamiento permeable, almacenamiento impermeable en depresiones, flujo, etc.

A partir del Ráster del Modelo Digital de Elevaciones (MDE), se determinaron los patrones de flujo superficial de acuerdo a la cota de elevación de cada intersección de calle y progresiva de los canales de la cuenca, definiendo los puntos de vertido. Las cuales confluyen hacia la quebrada de Chabe y quebrada de Coro (Ver Ilustración IV.16)



**Ilustración IV.16** Patrones de flujo en las calles y en los canales. Nodos de descarga en la Quebrada de Chabe y Quebrada de Coro

**Fuente:** Propia (2015)

Definidos los patrones de flujo se obtienen los nodos de vertido de la cuenca oeste, Dando como resultado el nodo N653 como punto de descarga en la Quebrada de Chabe y el nodo N654 como punto de descarga en la Quebrada de Coro. Estos se encuentran ubicados en la

zona de norte de la cuenca de estudio, área que presenta las menores cotas.

### **3.3. Determinación de la lluvia de diseño.**

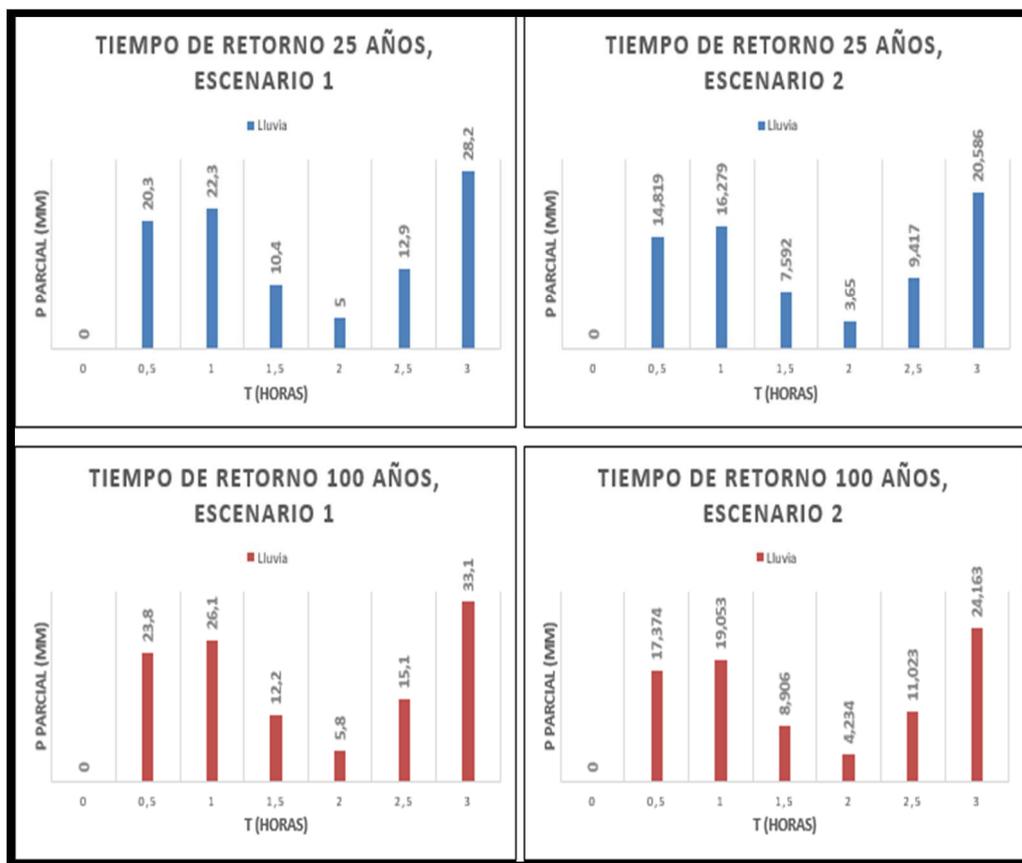
Con la finalidad de evaluar la respuesta hidrológica de una cuenca hidrográfica ante la aplicación de diferentes metodologías de distribución espacial de la precipitación, es necesaria la introducción de los eventos de lluvia a dicho modelo. Tales eventos fueron analizados considerando dos escenarios de distribución espacial de la lluvia.

Los eventos de diseño corresponden a lluvias sintéticas y lluvias registradas en campo para la estación Coro-Aeropuerto (considerada centro de tormenta de la cuenca). Los eventos sintéticos poseen una duración de 3 horas y un periodo de retorno de 25 años y 100 años, y para el caso de los eventos registrados en campo, estos corresponden a las fechas 05 de junio de 2011, 24 de julio de 2012 y 06 de noviembre de 2014 dado que son eventos que se consideran máximos para la cuenca en función de la magnitud de los mismos.

Para evaluar ambos escenarios se consideraron los cinco eventos mencionados. Para el primer escenario se tomó como lluvia de diseño el hietograma de precipitación de cada evento, lo que implica que la lluvia registrada por la estación Coro-Aeropuerto es representativa de la precipitación ocurrida en toda la cuenca. Y para el segundo escenario, se aplicó el factor de reducción por área de 0.73 al valor de precipitación de cada evento con el fin de distribuir espacialmente la lluvia en toda el área de la cuenca de estudio.

A continuación se presentan los hietogramas de los eventos sintéticos para los escenarios de distribución espacial de lluvia, como se muestra en el gráfico IV.4.

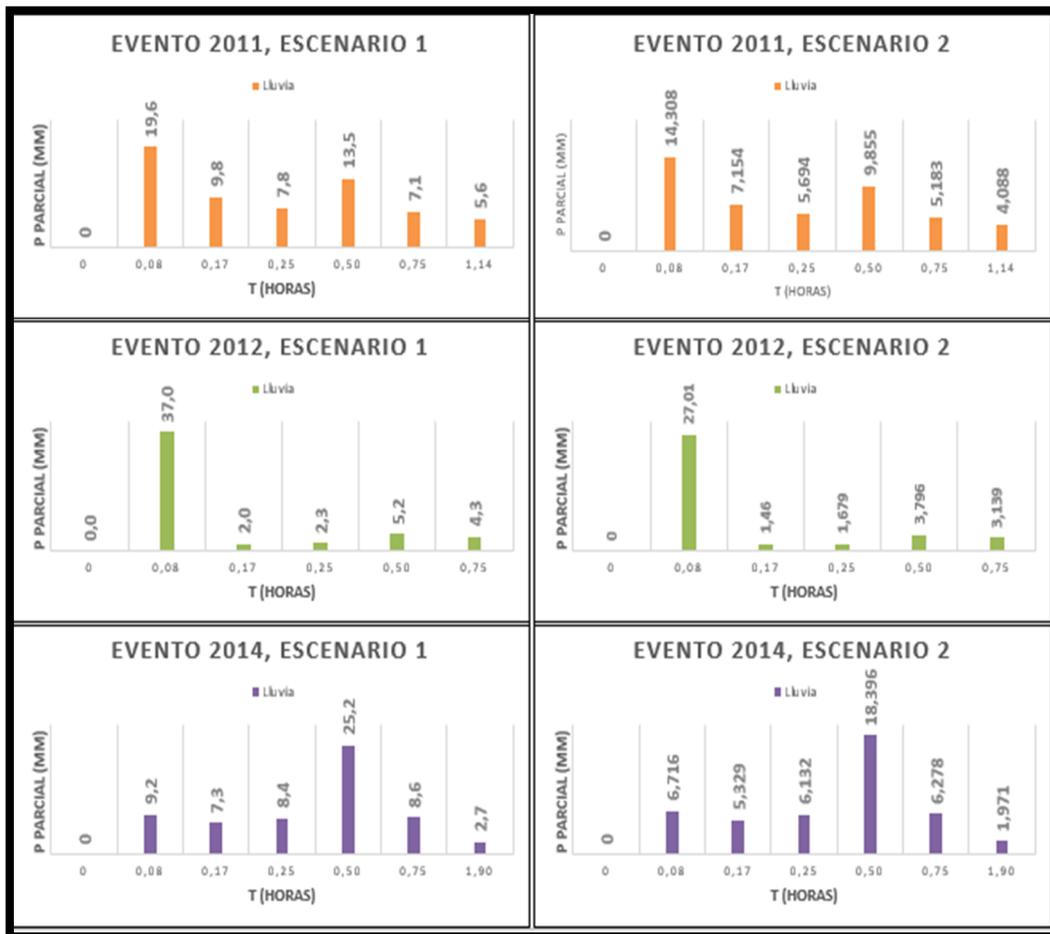
**Gráfico IV.4** Hietogramas de precipitación para los eventos sintéticos de duración 3 horas para los dos escenarios de lluvia analizados



**Fuente:** Propia (2015)

Así mismo, se presentan en el siguiente gráfico los hietogramas de los eventos registrados en campo para los dos escenarios a analizar (Ver gráfico IV.5).

**Gráfico IV.5** Hietogramas de precipitación para los eventos registrados en campo para los dos escenarios de lluvia analizados



**Fuente:** Propia (2015)

Para el modelo conceptual se añadieron los eventos de precipitación al archivo de información de lluvias, llamado TIMESERIES el cual se encuentra en formato .dbf (Ver anexo 2).

En la tabla IV.8 se muestran los eventos a analizar para ambos escenarios con la precipitación acumulada para cada uno.

**Tabla IV.8** Eventos analizados para los dos escenarios de lluvia

Precipitación registrada en una sola estación		Precipitación reducida con FRA=0,73	
Eventos	P acum(mm)	Eventos	P acum(mm)
TR25años,3h	99.1	TR25años,3R	72.34
TR100años,3h	116.1	TR100años,3R	84.75
Lluvia2011	63.4	Lluvia2011,R	46.28
Lluvia2012	50.8	Lluvia2012,R	37.08
Lluvia2014	61.4	Lluvia2014,R	44.82

**Fuente:** Propia (2015)

### 3.4. Parámetros para la simulación del sistema de drenaje en el software SWMM.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en las fases y etapas anteriores se prosiguió a la elaboración de las diferentes tablas que contienen la configuración y parámetros del modelo conceptual, así como la información de las propiedades de cada uno de los elementos de la cuenca.

**CONDUIT\_NO:** Contiene las propiedades de los 562 conductos que fueron generados. Incluyendo su identificador, longitud, nodos iniciales y finales, forma, características geométricas y N de Manning de cada uno de ellos (Ver Anexo 3).

**JUNCTION:** Posee las características de los 560 nodos de conexión que se realizaron, como lo es Identificador, cota de elevación, coordenadas (Ver anexo 4).

**OUTFALL\_NM:** Indica los puntos de descarga existentes en la cuenca, como lo es el N653 en la quebrada de Chabe y el N654 en la quebrada de Coro. Con sus características como lo son: identificador, cota de elevación, coordenadas, tipo y compuerta (Ver Anexo 5).

**INFILTRACION\_NC:** Contiene el parámetro infiltración de curva numero para cada una de las 462 subcuencas generadas (Ver anexo 6).

**RGAGE\_TS:** Abarca la información del pluviómetro de la estación pluviométrica Coro-Aeropuerto (EA1) como el identificador, coordenadas, tipo de pluviómetro, serie temporal, unidades, intervalo y formato de lluvia, entre otros (Ver anexo 7).

**OPTIONS:** Señala la configuración general del programa, donde se estableció para un método de cálculo el método de onda dinámica, y la unidad de flujo en litros por segundo (Ver anexo 8).

**PROJECT\_ID:** Información básica del proyecto, autores, nombre del proyecto y la fecha (Ver anexo 9).

Por razones de síntesis en los anexos referidos se presenta una muestra de las tablas generadas en el modelo conceptual del sistema de drenaje y cuenca, el total de la información se encuentra disponible en formato digital en el Centro de Investigación de Recursos Hídricos de la UNEFM.

En la siguiente tabla se muestra los elementos generados en la construcción del modelo conceptual.

**Tabla IV.9** Elementos creados en el modelo conceptual de la cuenca oeste de la ciudad Santa Ana de Coro

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>
Subcuencas	462
Nodos	560
Vertidos	2
Conductos	561

**Fuente:** Propia (2015)

Previo a la migración hacia el software SWMM se realizó la unión del modelo conceptual de la red de drenaje pluvial de la sub cuenca sur-oeste de la ciudad de coro creado por Estrada y Reyes (2014) con el modelo creado de la cuenca oeste, generando así el total de elementos del sistema a modela, tal como se muestra en la tabla IV.10.

**Tabla IV.10** Total de elementos del drenaje pluvial de la cuenca sur-oeste y oeste de la ciudad de Coro

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>
Subcuencas	554
Nodos	650
Vertidos	3
Conductos	651

**Fuente:** Propia (2015)

#### **4. Fase IV. Obtención y análisis de los parámetros del sistema de drenaje pluvial de la zona oeste de la ciudad de Coro.**

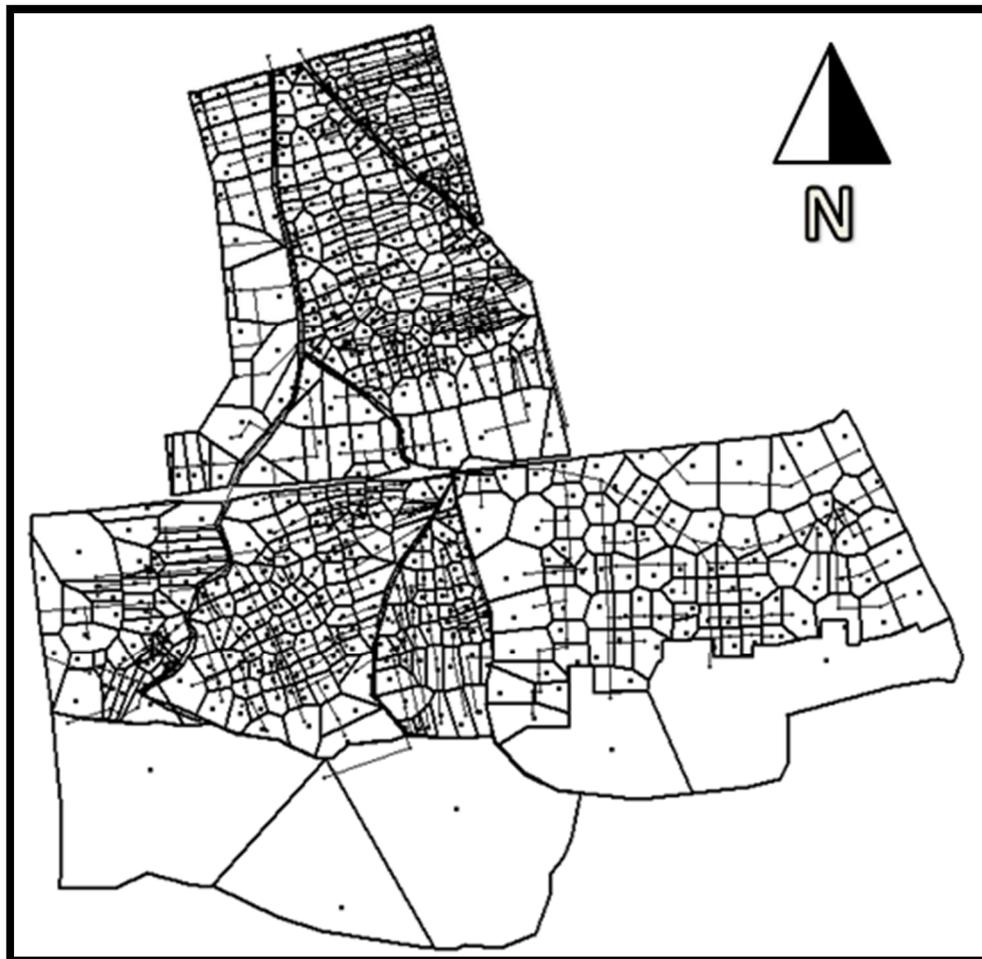
Para la obtención de los resultados y el análisis del sistema de drenaje pluvial, se llevó a cabo la modelación del mismo para los cinco eventos de precipitación y considerando los dos escenarios de distribución espacial de la lluvia.

El análisis de los parámetros del sistema en cuanto a tirantes y velocidades se realiza para el sistema de drenaje mayor que comprende los siguientes: Quebrada Nueva, Quebrada Llano Grande, Quebrada Barrio Cruz Verde, Quebrada de Chabe y Quebrada de Coro.

En la ilustración IV.17 se puede visualizar el modelo conceptual de la zona en estudio, la cual sirve para realizar la modelación mediante el software SWMM.

Cabe resaltar que el modelo conceptual de la zona no incluye el canal natural paralelo a la Av. Sucre desde la intercepción Falcón-Zulia hasta la intercepción con la Av. El Tenis. Asimismo, no incluye el canal revestido que drena en sentido oeste-este en la calle 4 de la Urb. Cruz Verde y que descarga en la quebrada de Coro.

A fin de complementar el modelo conceptual, se debe corregir los nodos de descarga entre las calles principales y los canales; para ello se debe usar las propiedades de desnivel de entrada y desnivel de salida del software SWMM.



**Ilustración IV.17** Visualización del modelo conceptual del drenaje

**Fuente:** Propia (2015)

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cuanto a gastos en los puntos de vertidos, tirantes y velocidad en canales para los diferentes eventos y escenarios de distribución espacial de la precipitación.

**Evento de precipitación de 25 años de periodo de retorno y duración de 3 horas.**

A continuación se presentan los resultados obtenidos para los gastos máximos, tirantes y velocidad en el sistema de drenaje, para los escenarios de distribución espacial de la lluvia analizados.

- **Gastos máximos.**

Los gastos máximos que se muestran a continuación corresponden a los obtenidos en los nodos finales de cada canal principal.

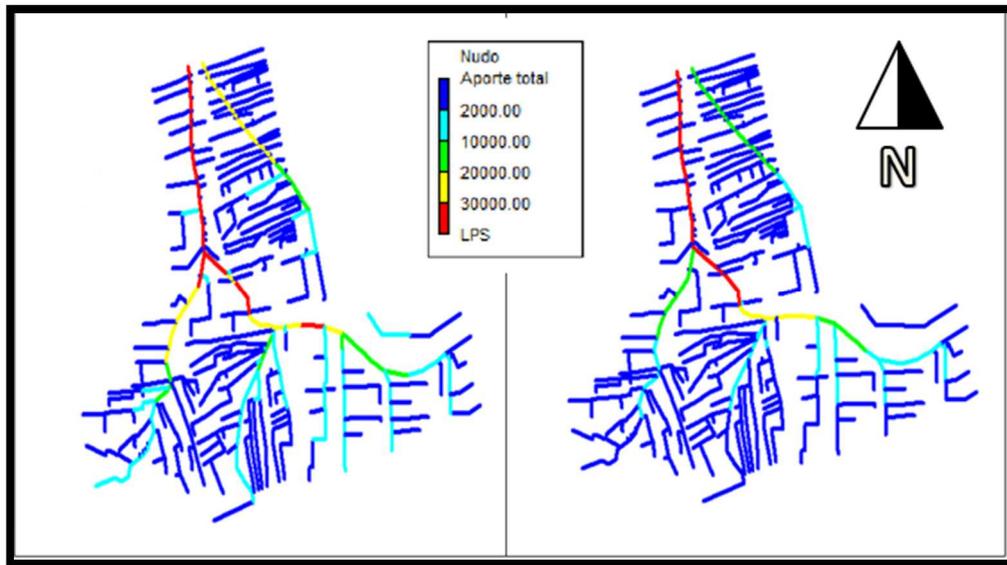
**Tabla IV.11:** Gastos máximos simulados en el nodo final de cada Quebrada

PRECIPITACION TR 25 AÑOS, 3 HORAS			
CANAL	GASTOS MÁXIMOS (LPS)		Variación (%)
	Escenario 1	Escenario 2	
QUEBRADA NUEVA	25505,58	13725,69	46,19%
QUEBRADA LLANO GRANDE	23912,26	16193,34	32,28%
QUEBRADA BARRIO CRUZ VERDE	33852,59	33063,34	2,33%
QUEBRADA DE CHABE	68219,02	58131,09	14,79%
QUEBRADA DE CORO	30362,74	19201,03	36,76%

**Fuente:** Propia (2015)

Cabe señalar, que al analizar los caudales obtenidos en estos puntos de vertido para dicho evento, hubo una reducción de los caudales a la salida de la cuenca para el escenario dos. Dicha reducción en el gasto obtenido para Quebrada Nueva, Quebrada Llano Grande y Quebrada de Coro fue superior a la reducción aplicada a la precipitación por medio del factor de reducción por área. La Quebrada Barrio Cruz Verde obtuvo la menor variación en los caudales para los dos escenarios de este evento. Los hidrogramas en los puntos de vertidos se pueden visualizar en los Anexo 10 y Anexo 11.

A continuación se muestra el mapa colorimétrico del modelo con respecto a los caudales que por cada canal transita, en este caso se hace énfasis en la Quebrada de Chabe debido a que por esta transita un mayor caudal.



**Ilustración IV.18** Mapa colorimétrico de los caudales que transitan por los diferentes canales para el escenario uno (izquierda) y para el escenario dos (derecha)

**Fuente:** Propia (2015)

- **Tirantes Máximos y Velocidades Máximas.**

Los valores de velocidad fueron analizados en el drenaje mayor de la cuenca oeste de la ciudad tanto para los tramos naturales como revestidos, siendo evaluados los valores obtenidos para cada quebrada con respecto a los límites de velocidad recomendados por el Manual de drenaje del Ministerio de Obras Públicas (1967), tanto para canales revestidos de concreto como para canales no revestidos dependiendo del tipo de suelo.

Para la evaluación de los tirantes de agua en el drenaje mayor de la zona, se comparó la mayor profundidad obtenida para los tramos con la altura máxima permitida para dichos canales. Tal altura máxima permitida toma en consideración un borde libre, el cual depende de la importancia y del caudal que transita por estos canales, así como de la rugosidad y de la facilidad con la que estos pueden sedimentarse. Debido a la importancia de estos canales se determinó un borde libre de 0.40 metros con la finalidad

de evitar el rebose del canal. (Manuel Vicente Méndez, 2001) citado por Estrada y Reyes (2014).

En la siguiente tabla se ven reflejados los valores de estas variables para los diferentes tramos de los canales analizados, la variación entre los escenarios simulados así como los valores recomendados para velocidades máximas y las alturas máximas permitidas para cada canal.

**Tabla IV.12** Tirantes y Velocidades Máximas en canales principales, para los dos escenarios de distribución espacial de la lluvia

PRECIPITACIÓN TR 25 AÑOS, 3 HORAS									
CANAL	TIRANTES MÁXIMOS (M)		Variación (%)	Altura Máxima Permitida (m)	TRAMO	VELOCIDAD MÁXIMA (M/S)		Variación (%)	Valores Máximos Recomendables (m/s)
	Escenario 1	Escenario 2				Escenario 1	Escenario 2		
QUEBRADA NUEVA	0,78	0,56	28%	1,52	TRAMO NATURAL	3,37	2,66	21,07%	1,4
					TRAMO REVESTIDO	3,57	2,89	19,05%	5
QUEBRADA LLANO GRANDE	0,75	0,75	0%	0,35	TRAMO NATURAL	4,23	3,02	28,61%	1,4
					TRAMO REVESTIDO	5,05	2,98	40,99%	5
QUEBRADA BARRIO CRUZ VERDE	1,45	1,43	1%	1,21	TRAMO NATURAL	2,74	2,69	1,82%	1,4
					TRAMO REVESTIDO	3,09	3,07	0,65%	5
QUEBRADA DE CHABE	2,07	1,85	11%	1,93	CANAL REVESTIDO	4,49	4,21	6,24%	5
QUEBRADA DE CORO	1,46	1,1	25%	2,6	CANAL REVESTIDO	2,4	2,11	12,08%	5

Fuente: Propia (2015)

La profundidad de agua en los canales Quebrada Llano Grande y la Quebrada Barrio Cruz Verde en ambos escenarios supera la altura máxima del canal, por lo que las adyacencias de los mismos se verían afectados con el desborde del flujo que por allí transita.

Es importante mencionar que en la confluencia entre la Quebrada Llano Grande, la Quebrada Barrio Cruz Verde y el canal paralelo a la variante Falcón-Zulia se generan inundaciones debido a que es un punto crítico y vulnerable del sistema de drenaje de la cuenca ya que sobrepasa las capacidades de conducción de los canales.

En cuanto a las velocidades máximas que se presentan en el drenaje mayor de la zona oeste de la ciudad de Coro, se obtuvo una disminución en los valores de velocidad para el escenario en el escenario 2 en todos los canales, tanto naturales como revestidos. Dichas velocidades para los tramos naturales de las quebradas (Quebrada Nueva, Quebrada Llano Grande y Quebrada Barrio Cruz Verde) exceden las velocidades máximas permitidas para canales no revestidos de acuerdo al tipo de suelo (arcilla dura-muy coloidal) recomendados por el Manual de Drenaje del MOP (1967).

En el caso de los tramos revestidos de las quebradas, las velocidades máximas obtenidas se encuentran dentro de las recomendaciones de dicho manual a excepción del primer escenario en la quebrada Llano Grande la cual excede el valor recomendado además siendo esta la velocidad más alta de todo el sistema entre ambos escenarios conjuntamente con las obtenidas para la Quebrada de Chabe.

**Evento de precipitación de 100 años de periodo de retorno y duración de 3 horas.**

▪ **Gastos máximos.**

A continuación se presentan los caudales obtenidos para la simulación del evento correspondiente a 100 años de periodo de retorno con una duración de 3 horas.

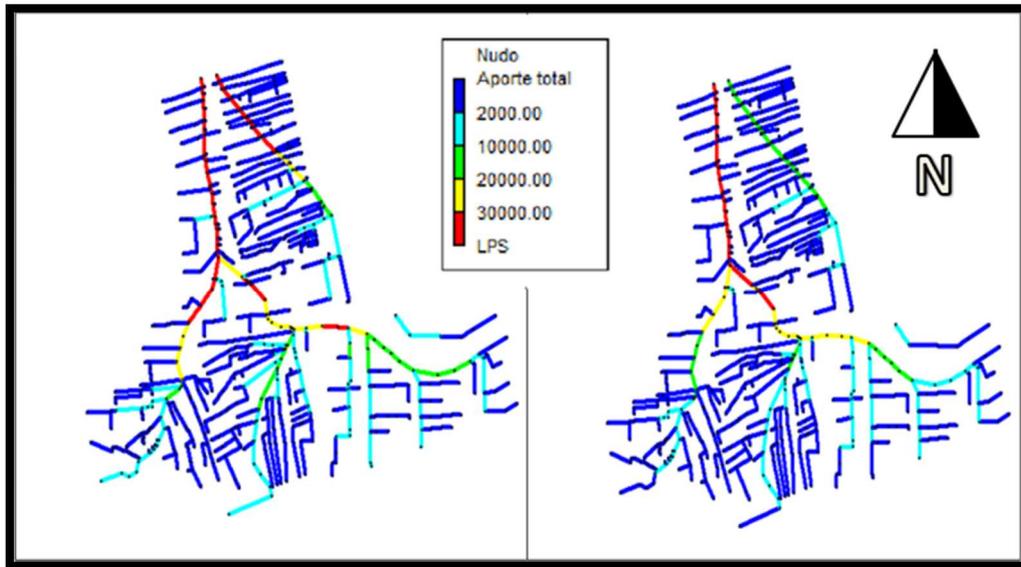
**Tabla IV.13** Gastos máximos simulados para el evento de 100 años de periodo de retorno

PRECIPITACION TR 100 AÑOS, 3 HORAS			
CANAL	GASTOS MÁXIMOS (LPS)		Variación (%)
	Escenario 1	Escenario 2	
QUEBRADA NUEVA	36466,1	17327,58	52,48%
QUEBRADA LLANO GRANDE	26709,18	17447,15	34,68%
QUEBRADA BARRIO CRUZ VERDE	39485,55	32151,68	18,57%
QUEBRADA DE CHABE	80955,85	59213,97	26,86%
QUEBRADA DE CORO	36291,78	24859,94	31,50%

**Fuente:** Propia (2015)

En este evento los escenarios presentaron variaciones considerables en Quebrada Nueva, Quebrada Llano Grande y Quebrada de Coro. Ante ambos escenarios en la confluencia de la Av. Chema Saher se presentó remanso en el momento de mayor intensidad de la precipitación, motivo por el cual la Quebrada Barrio Cruz Verde presentó la menor variación en los gastos máximos de las quebradas analizadas. Los hidrogramas generados para este evento se pueden visualizar en el Anexo 12 y Anexo 13.

La siguiente ilustración refleja en forma de mapa colorimétrico ambos escenarios simulados y los caudales que conducen los diferentes canales del sistema de drenaje.



**Ilustración IV.19** Mapa colorimétrico de los caudales en los diferentes canales para el escenario uno (izquierda) y para el escenario dos (derecha) del evento con periodo de retorno de 100 años

**Fuente:** Propia (2015)

- **Tirantes Máximos y Velocidades Máximas.**

En la tabla IV.14 se muestran los tirantes máximos obtenidos en los tramos vulnerables de la red drenaje y las velocidades máximas resultantes para cada tramo del drenaje mayor de la cuenca.

En cuanto al análisis de estos resultados es importante mencionar, que la disminución en la profundidad de agua presentada en la Quebrada Nueva es proporcional a la reducción de la lluvia para el segundo escenario. Asimismo las quebradas Barrio Cruz Verde y Llano Grande no presentan variación entre ambos escenarios, siendo esta última superada por el nivel de agua que por allí transita lo cual originaría inundaciones en las cercanías de dicho canal.

**Tabla IV.14** Tirantes y Velocidades Máximas en canales principales, para los dos escenarios de distribución espacial de la lluvia para el evento con periodo de retorno de 100 años y duración de 3 horas

PRECIPITACION TR 100 AÑOS, 3 HORAS									
CANAL	TIRANTES MÁXIMOS (M)		Variación (%)	Altura Máxima Permitida (m)	TRAMO	VELOCIDAD MÁXIMA (M/S)		Variación (%)	Valores Máximos Recomendables (m/s)
	Escenario 1	Escenario 2				Escenario 1	Escenario 2		
QUEBRADA NUEVA	0,9	0,66	27%	1,52	TRAMO NATURAL	3,79	2,96	21,90%	1,4
					TRAMO REVESTIDO	4,05	3,14	22,47%	5
QUEBRADA LLANO GRANDE	0,75	0,75	0%	0,35	TRAMO NATURAL	4,97	3,67	26,16%	1,4
					TRAMO REVESTIDO	5,08	3,45	32,09%	5
QUEBRADA BARRIO CRUZ VERDE	1,44	1,44	0%	1,21	TRAMO NATURAL	2,7	2,68	0,74%	1,4
					TRAMO REVESTIDO	3,18	3,12	1,89%	5
QUEBRADA DE CHABE	2,28	1,88	18%	1,93	CANAL REVESTIDO	4,56	4,39	3,73%	5
QUEBRADA DE CORO	1,63	1,28	21%	2,6	CANAL REVESTIDO	2,42	2,21	8,68%	5

Fuente: Propia (2015)

En este orden de ideas, el tirante máximo simulado en la Quebrada Barrio Cruz Verde y Quebrada de Chabe sobrepasa la altura máxima permitida en los tramos analizados, los cuales son entre el nodo N16 y N645 para la primera y entre los nodos N602 y N603 para la quebrada de Chabe, lo cual genera inundaciones en las adyacencias que no permitirían el libre desenvolvimiento de las personas y vehículos.

Es importante mencionar que las velocidades máximas resultantes arrojaron que las quebradas aguas arriba de la Av. Chema Saher sufrieron variaciones que oscilan entre 20% y 30%. Caso contrario con las quebradas Cruz Verde, Quebrada de Chabe y Quebrada de Coro donde las variaciones fueron inferiores al 10%.

Sin embargo, considerando las recomendaciones del Manual de drenaje del MOP en cuanto a velocidades máximas, los tramos naturales evaluados superan estos valores recomendados por el MOP lo que podría originar erosión en los taludes de los canales y arrastre de sedimentos.

### **Evento registrado en el año 2011**

- **Gastos Máximos.**

Para el evento del año 2011 se simularon los escenarios antes mencionados, obteniendo los diferentes gastos máximos para los nodos de cada canal los cuales son mostrados en la tabla IV.15.

Como se aprecia en este evento los escenarios presentaron variaciones en todas las Quebradas entre 32.08 y 37.62%. Es importante destacar que en este evento en ambos escenarios la Quebrada Barrio Cruz Verde mantuvo un flujo constante y no se presentó remanso en la confluencia con la Quebrada Llano Grande.

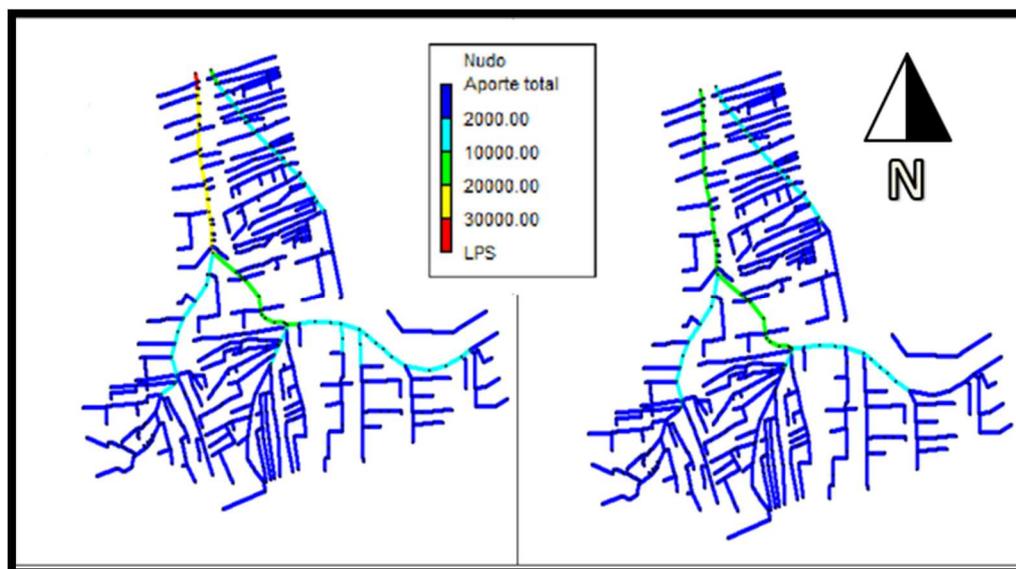
La visualización grafica de la variación en los gastos máximos generados se pueden observar en los hidrogramas de dicho evento. (Ver Anexo 14 y Anexo 15).

**Tabla IV.15** Gastos máximos simulados en el nodo final de cada quebrada evento registrado año 2011

PRECIPITACION REGISTRADA AÑO 2011			
CANAL	GASTOS MÁXIMOS (LPS)		Variación (%)
	Escenario 1	Escenario 2	
QUEBRADA NUEVA	5610,12	3654,92	34,85%
QUEBRADA LLANO GRANDE	7170,86	4870,43	32,08%
QUEBRADA BARRIO CRUZ VERDE	18532,14	12298,07	33,64%
QUEBRADA DE CHABE	30466,16	19005,65	37,62%
QUEBRADA DE CORO	10355,69	6871,85	33,64%

**Fuente:** Propia (2015)

En la ilustración IV.20 se muestran los mapas colorimétricos de gastos para el drenaje mayor de la zona en estudio haciendo énfasis en la Quebrada de Chabe dado que por ella transita la mayor cantidad de caudal.



**Ilustración IV.20** Mapa colorimétrico de los caudales en los diferentes canales para el escenario uno (izquierda) y para el escenario dos (derecha) del evento registrado en 2011

**Fuente:** Propia (2015)

- **Tirantes Máximos y Velocidades Máximas.**

Se consideró los tramos vulnerables de cada Quebrada aplicando un borde libre de 0.40 metros como factor de seguridad ante el desbordamientos de los canales para el análisis de los tirantes máximos a obtener.

Así mismo para el caso de las velocidades máximas simuladas para las cinco quebradas, se analizaron los valores obtenidos del drenaje mayor de la cuenca oeste de la ciudad para los tramos naturales y revestidos que poseen dichas quebradas, comparándolos con las recomendaciones propuestas por el Manual de drenaje del Ministerio de Obras Públicas (1967) para canales revestidos de concreto y canales no revestidos dependiendo del tipo de suelo.

En la tabla IV.16 se pueden apreciar los valores de velocidades y tirantes máximos simulados que se obtuvieron para el evento registrado en el año 2011.

**Tabla IV.16** Tirantes y Velocidades Máximas en canales principales, para los dos escenarios de distribución espacial de la lluvia para el evento registrado en el año 2011

PRECIPITACION REGISTRADA AÑO 2011									
CANAL	TIRANTES MÁXIMOS (M)		Variación (%)	Altura Máxima Permitida (m)	TRAMO	VELOCIDAD MÁXIMA (M/S)		Variación (%)	Valores Máximos Recomendables (m/s)
	Escenario 1	Escenario 2				Escenario 1	Escenario 2		
QUEBRADA NUEVA	0,31	0,25	19,35%	1,52	TRAMO NATURAL	1,80	1,6	11,11%	1,40
					TRAMO REVESTIDO	2,07	1,75	15,46%	5,00
QUEBRADA LLANO GRANDE	0,52	0,33	36,54%	0,35	TRAMO NATURAL	1,54	1,29	16,23%	1,40
					TRAMO REVESTIDO	2,39	2,14	10,46%	5,00
QUEBRADA BARRIO CRUZ VERDE	1,08	0,88	18,52%	1,21	TRAMO NATURAL	2,12	1,78	16,04%	1,40
					TRAMO REVESTIDO	2,57	2,23	13,23%	5,00
QUEBRADA DE CHABE	1,24	1,01	18,55%	1,93	CANAL REVESTIDO	3,42	2,92	14,62%	5,00
QUEBRADA DE CORO	0,77	0,60	22,08%	2,60	CANAL REVESTIDO	1,76	1,58	10,23%	5,00

Fuente: Propia (2015)

La profundidad de agua obtenida ante la simulación de ambos escenarios dio como resultado, en Quebrada Nueva, Quebrada de Chabe, Quebrada Barrio Cruz Verde y Quebrada de Coro una diferencia entre 18.52 y 22.08%, por otra parte la Quebrada de Llano Grande presento la mayor variación del evento de 36.54%.

La altura del flujo en ambos escenarios presentada por los canales Quebrada Nueva, Quebrada de Chabe, Quebrada Barrio Cruz Verde y Quebrada de Coro no sobrepasa el tirante máximo para estos canales. Por otra parte la Quebrada Llano Grande se ve rebasada en el escenario 1, sin embargo ante el escenario 2 no alcanza la altura máxima permitida al aplicar el factor de seguridad.

Una vez obtenidos los resultados para ambos escenarios, se observa que velocidades máximas presentadas en los canales revestidos poseen una variación comprendida entre 10.23% y 15.46%, así como en los canales naturales una diferencia entre 11.11% y 16.23% en el escenario 2 con respecto al escenario 1. Dichas velocidades en ambos escenarios para los tramos naturales de Quebrada Nueva, Quebrada Barrio Cruz Verde y Quebrada Llano Grande en el escenario 1 exceden las velocidades máximas permitidas para canales no revestidos de acuerdo al tipo de suelo (arcilla dura-muy coloidal) de acuerdo a lo establecido en el Manual de Drenaje del MOP (1967). En el caso de los tramos revestidos de los canales y el tramo natural de la Quebrada Llano Grande en el escenario 2, las velocidades máximas simuladas se encuentran dentro de las recomendaciones de dicho manual.

### **Evento registrado en el año 2012**

Para el evento registrado en campo en el año 2012, se simularon los dos escenarios con los que se ha venido analizando la variación espacial de la precipitación. Cabe recordar que en el primer escenario se toma como

influyente de toda la cuenca el registro de un solo pluviómetro, y para el segundo escenario la precipitación se reduce para toda el área.

A continuación los resultados obtenidos para las diferentes variables simuladas.

- **Gastos Máximos**

En la siguiente tabla se reflejan los valores obtenidos de gastos máximos para los diferentes canales simulados y su variación entre ambos escenarios.

**Tabla IV.17** Caudales obtenidos para los puntos de vertido del drenaje mayor de la cuenca para el evento registrado en el año 2012

PRECIPITACION REGISTRADA AÑO 2012			
CANAL	GASTOS MÁXIMOS (LPS)		Variación (%)
	Escenario 1	Escenario 2	
QUEBRADA NUEVA	21195,94	14090,52	33,52%
QUEBRADA LLANO GRANDE	24492,41	18199,23	25,69%
QUEBRADA BARRIO CRUZ VERDE	36364,78	34368,82	5,49%
QUEBRADA DE CHABE	63505,39	55286,09	12,94%
QUEBRADA DE CORO	34110,59	20416,1	40,15%

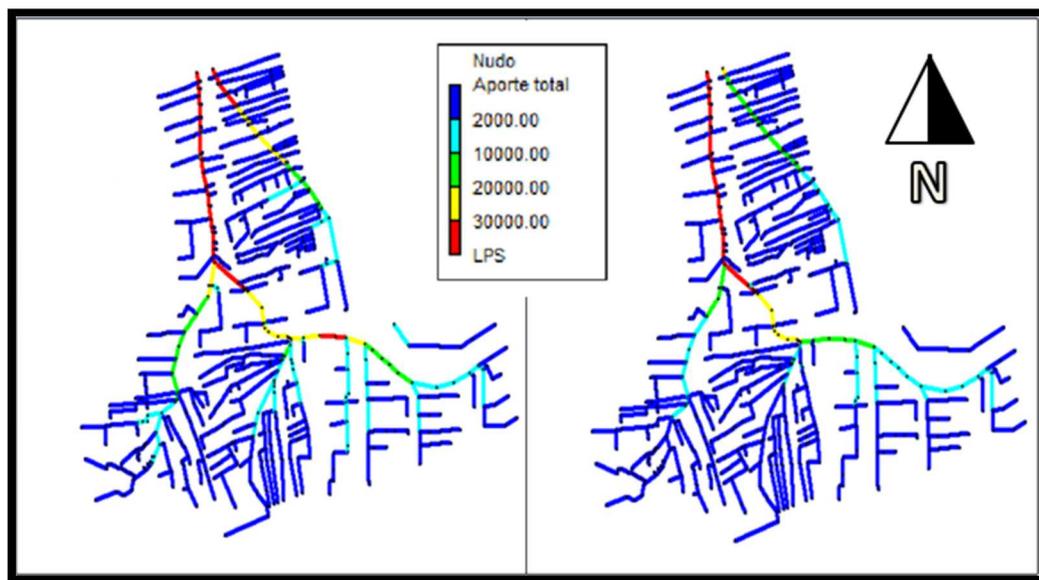
**Fuente:** Propia (2015)

De acuerdo a los resultados obtenidos de la simulación para el evento en cuestión, se pueden observar que existe una disminución en los caudales entre ambos escenarios, siendo superior a 40% en algunos tramos. Es evidente la variación de la respuesta hidrológica que presenta la cuenca cuando se distribuye espacialmente la precipitación, asimismo la respuesta que presenta cada zona de la cuenca hacia el drenaje mayor más cercano.

Asimismo, se generaron mapas colorimétricos donde se muestran los diferentes caudales que transitan por el drenaje mayor de la cuenca oeste

de la ciudad de Coro, en estos mapas se hace hincapié en el canal Quebrada de Chabe debido a que es el canal donde se obtuvo un mayor gasto máximo (Ver Ilustración IV.21).

Para este evento se generaron hidrogramas para los diferentes puntos de vertido de la cuenca, con el fin de observar la variación en los caudales máximos (Ver Anexo 16 y Anexo 17),



**Ilustración IV.21** Mapa colorimétrico de los caudales en los diferentes canales para el escenario uno (izquierda) y para el escenario dos (derecha) del evento registrado en 2012

**Fuente:** Propia (2015)

- **Tirantes Máximos y Velocidades Máximas.**

En la tabla IV.18 se muestran los valores obtenidos para ambos escenarios luego de la simulación del evento del año 2012 para las variables tirantes y velocidades máximas en los diferentes canales dentro de la cuenca oeste de la ciudad de Coro.

**Tabla IV.18** Tirantes y Velocidades Máximas en canales principales, para los dos escenarios de distribución espacial de la lluvia para el evento registrado en el año 2012

PRECIPITACION REGISTRADA AÑO 2012									
CANAL	TIRANTES MÁXIMOS (M)		Variación (%)	Altura Máxima Permitida (m)	TRAMO	VELOCIDAD MÁXIMA (M/S)		Variación (%)	Valores Máximos Recomendables (m/s)
	Escenario 1	Escenario 2				Escenario 1	Escenario 2		
QUEBRADA NUEVA	0,71	0,51	28%	1,52	TRAMO NATURAL	3,13	2,69	14,06%	1,4
					TRAMO REVESTIDO	3,39	2,91	14,16%	5
QUEBRADA LLANO GRANDE	0,75	0,75	0%	0,35	TRAMO NATURAL	3,06	2,52	17,65%	1,4
					TRAMO REVESTIDO	4,98	2,8	43,78%	5
QUEBRADA BARRIO CRUZ VERDE	1,45	1,44	1%	1,21	TRAMO NATURAL	2,67	2,66	0,37%	1,4
					TRAMO REVESTIDO	3,06	3,03	0,98%	5
QUEBRADA DE CHABE	1,96	1,9	3%	1,93	CANAL REVESTIDO	4,53	4,14	8,61%	5
QUEBRADA DE CORO	1,57	1,13	28%	2,6	CANAL REVESTIDO	2,39	2,15	10,04%	5

Fuente: Propia (2015)

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede observar que en la Quebrada Nueva y la Quebrada de Coro, donde hubo una disminución significativa en el caudal máximo, también se produjo una reducción en los tirantes máximos entre ambos escenarios proporcional al porcentaje de reducción de la precipitación. Así mismo hay que considerar que en la Quebrada Llano Grande y la Quebrada Barrio Cruz Verde los valores de profundidad de agua resultantes fueron superiores a la altura máxima del canal, por lo que existe una probabilidad de inundación en las adyacencias de los tramos evaluados para ambas quebradas. Tales tramos corresponden entre los nodos N631 y N575 para la Quebrada Llano Grande y los nodos N16 y N645 para la Quebrada Barrio Cruz Verde.

Por otra parte, las velocidades máximas presentaron poca variación entre ambos escenarios, exceptuando las velocidades resultantes en el tramo revestido entre los nodos N626 y N631 de la Quebrada Llano Grande el cual sufrió una disminución considerable entre ambos escenarios. Y para el caso de los tramos naturales de las Quebradas Nueva, Llano Grande y Cruz Verde las velocidades máximas generadas se encuentran por encima de los valores máximos recomendados por el manual de drenaje del MOP (1967), lo que incrementa el riesgo de arrastre de sedimentos para estos canales del drenaje mayor de la ciudad de Coro.

#### **Evento registrado en el año 2014**

Para la lluvia registrada en el año 2014, se simuló los dos escenarios obteniendo los diferentes valores de las variables analizadas en ambos como se muestra a continuación.

**Tabla IV. 19** Caudales obtenidos para los puntos de vertido del drenaje mayor para el evento de 2014

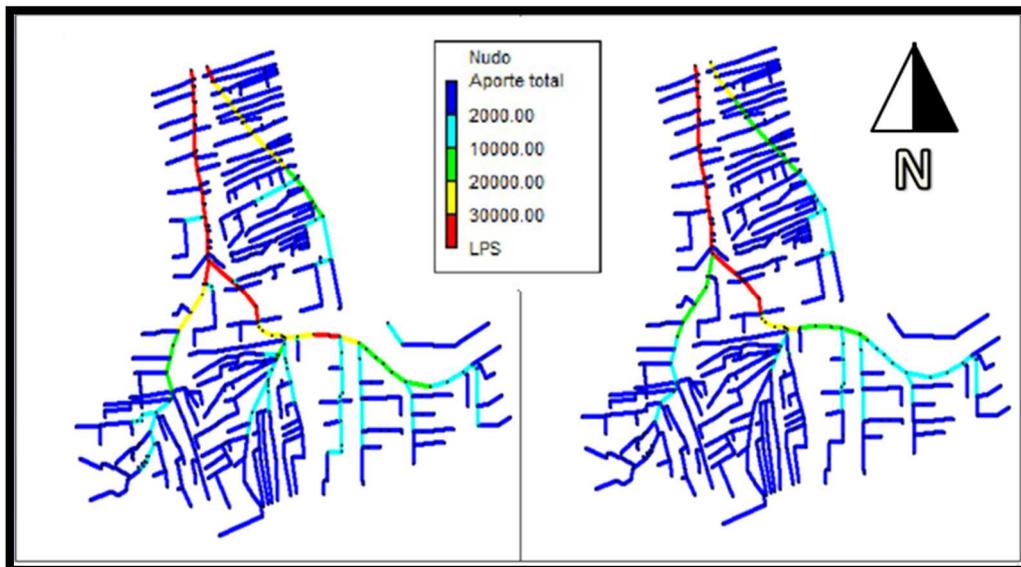
PRECIPITACION REGISTRADA AÑO 2014			
CANAL	GASTOS MÁXIMOS (LPS)		Variación (%)
	Escenario 1	Escenario 2	
QUEBRADA NUEVA	23465,16	13927,23	40,65%
QUEBRADA LLANO GRANDE	23514,8	16521,62	29,74%
QUEBRADA BARRIO CRUZ VERDE	38324,3	34410,19	10,21%
QUEBRADA DE CHABE	69065,5	54447,13	21,17%
QUEBRADA DE CORO	31969,1	22721,75	28,93%

**Fuente:** Propia (2015)

Los caudales máximos que se obtuvieron para el evento de 2014 en los puntos de vertido de los diferentes canales de la zona poseen una disminución significativa cuando se le aplicó el factor de reducción a la precipitación. En promedio la disminución de estos caudales para estos puntos de vertido fue de un 26,14 %, lo cual sería equivalente a la reducción de la lluvia.

La visualización gráfica de los gastos máximos de las diferentes quebradas para este evento se puede observar los anexos 18 y 19.

En la siguiente ilustración se muestra los mapas colorimétricos para la variable caudal en los escenarios de simulación considerados.



**Ilustración IV.22** Mapa colorimétrico de los caudales en los diferentes canales para el escenario uno (izquierda) y para el escenario dos (derecha) del evento registrado en 2014

**Fuente:** Propia (2015)

▪ **Tirantes Máximos y Velocidades Máximas.**

Simulado el evento del 2014, se consideraron los tramos vulnerables para los tirantes de cada Quebrada aplicando el criterio del borde libre, a fin de ser un factor de seguridad ante el desbordamiento de los canales.

Igualmente fueron obtenidos los valores de velocidad máxima simulados para las cinco quebradas del drenaje mayor de la cuenca oeste de la ciudad de Coro, tanto para los tramos naturales como para los tramos revestidos, considerando las recomendaciones propuestas dentro del Manual de drenaje del Ministerio de Obras Públicas (1967) para canales revestidos de concreto y canales no revestidos dependiendo del tipo de suelo.

**Tabla IV.20** Tirantes y Velocidades Máximas en canales principales, para los dos escenarios de distribución espacial de la lluvia para el evento registrado en el año 2014

PRECIPITACION REGISTRADA AÑO 2014									
CANAL	TIRANTES MÁXIMOS (M)		Variación (%)	Altura Máxima Permitida (m)	TRAMO	VELOCIDAD MÁXIMA (M/S)		Variación (%)	Valores Máximos Recomendables (m/s)
	Escenario 1	Escenario 2				Escenario 1	Escenario 2		
QUEBRADA NUEVA	0,71	0,55	23%	1,52	TRAMO NATURAL	3,26	2,71	16,87%	1,4
					TRAMO REVESTIDO	3,5	2,9	17,14%	5
QUEBRADA LLANO GRANDE	0,75	0,75	0%	0,35	TRAMO NATURAL	2,91	2,33	19,93%	1,4
					TRAMO REVESTIDO	3,97	2,52	36,52%	5
QUEBRADA BARRIO CRUZ VERDE	1,43	1,43	0%	1,21	TRAMO NATURAL	2,71	2,67	1,48%	1,4
					TRAMO REVESTIDO	3,09	3,08	0,32%	5
QUEBRADA DE CHABE	2,08	1,79	14%	1,93	CANAL REVESTIDO	4,44	4,23	4,73%	5
QUEBRADA DE CORO	1,51	1,21	20%	2,6	CANAL REVESTIDO	2,39	2,16	9,62%	5

Fuente: Propia (2015)

Es posible analizar de acuerdo a los valores de tirantes que el impacto de la distribución espacial de la precipitación está por debajo de la reducción a la precipitación para el escenario dos, donde se reduce la precipitación en un 27%, es decir que los tirantes obtenidos no se reducen para el escenario dos proporcionalmente a lo que se reduce la lluvia.

Cabe mencionar también que para la Quebrada Llano Grande, Quebrada Barrio Cruz Verde y Quebrada de Chabe, los tirantes máximos superan la altura máxima del canal por lo que el riesgo de inundación es alto para las zonas circundantes.

En cuanto a las velocidades máximas obtenidas para los diferentes tramos de las quebradas, la reducción en ellas entre un escenario y otro no es relevante. A excepción del tramo revestido entre el nodo N626 y el nodo N631 en la Quebrada Llano Grande donde se nota un descenso en las velocidades superior al 36% entre los escenarios. Asimismo, las velocidades obtenidas para los tramos naturales de estas quebradas se encuentran fuera del rango recomendado por el manual de drenaje del MOP (1967), por lo que en estos tramos puede haber un arrastre de sedimentos alto lo que ocasionaría problemas en el funcionamiento del canal.

Por último, es conveniente resaltar que existe un comportamiento similar en la variación de los caudales máximos para cada quebrada para los cinco eventos de lluvia analizados. Encontrándose que las mayores variaciones en todos los eventos ocurren en Quebrada Nueva y Quebrada de Coro, donde las variaciones son superiores en la mayoría de los casos al 30 % entre ambos escenarios. Asimismo, el canal que sufre la menor variación es Quebrada Barrio Cruz Verde, donde estas son inferiores al 20% a excepción del evento registrado del año 2011.

En este mismo orden de ideas, para el caso de los tirantes máximos las mayores variaciones entre los escenarios ocurre en la Quebrada Nueva

y en la Quebrada de Coro donde varían en más de un 20% y las menores variaciones ocurren en la Quebrada Llano Grande dado que en la mayoría de los casos se ve excedida su capacidad de conducción del flujo.

Para el caso de las velocidades máximas, las quebradas con mayores variaciones son Quebrada Nueva y Quebrada Llano Grande tanto para los tramos naturales como revestidos, donde las diferencias entre los escenarios analizados oscilan entre un 18% y 43%. Encontrándose además que para los tramos naturales de las dos quebradas anteriores y la Quebrada Barrio Cruz Verde, las velocidades encontradas sobrepasan las máximas recomendadas por el Manual de Drenaje de Ministerio de Obras Públicas (1967).



---

## *CONCLUSIONES*

---

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de la evaluación realizada al drenaje mayor de la cuenca oeste de la ciudad de Santa Ana de Coro, se concluye:

- El análisis del comportamiento espacial de la precipitación a partir de las relaciones Altura – Área – Duración, permitió estimar un modelo de reducción de precipitación regionalizado y un factor de reducción de 0.73 para un área de la cuenca de 12.20 Km<sup>2</sup>, lo que facilita en esta investigación y en posteriores trabajos obtener la precipitación media sobre el área de interés.
- Se evidencia que existe una reducción importante por el orden del 28% en los caudales generados a la salida de la cuenca al considerar la distribución espacial de la precipitación en el área de estudio, en comparación con los caudales generados al utilizar la información de precipitación de un solo pluviógrafo.
- Los resultados obtenidos demuestran que el uso de un solo pluviógrafo en cuencas urbanas puede no ser representativo del evento de precipitación considerado y por tanto su uso puede llevar a sobreestimar los caudales de la cuenca y por ende el diseño de las obras de drenaje.
- Se determinó que la Quebrada Nueva, la Quebrada Llano Grande y la Quebrada Barrio Cruz Verde en sus tramos naturales la velocidad máxima simulada excede los valores permisibles, lo que ocasiona el arrastre de sedimentos y la erosión de las paredes y el fondo del canal.
- Se concluyó que la confluencia de la Quebrada Llano Grande, Canal paralelo a la Variante Falcón-Zulia y Quebrada Barrio Cruz Verde los tirantes máximos simulados exceden los tirantes máximos permitidos

lo cual genera inundaciones en sus adyacencias para diversos eventos de precipitación, comprobando de esta manera que dicha confluencia es un punto crítico y vulnerable del sistema de drenaje mayor de la zona.

- Se logró la actualización e incorporación de nuevos elementos del sistema de drenaje tanto del área urbana como natural de la cuenca oeste, a la gran base de datos espaciales del sistema de Drenaje de la ciudad de Coro SIGPDU-CORO, lo que servirá de apoyo a futuros trabajos que comprendan la modelación integrada de todo el sistema.



---

## *RECOMENDACIONES*

---

## RECOMENDACIONES

- Realizar estudios al drenaje menor de la cuenca oeste de la ciudad de Santa Ana de Coro y estudiar su funcionamiento ante la aplicación de diferentes metodologías de distribución espacial de la precipitación.
- Aplicar el modelo de reducción por área obtenido para la determinación de la precipitación de diseño en futuros trabajos de investigación en la cuenca urbana de Coro.
- Recopilar información pluviográfica a menor escala de tiempo para las estaciones consideradas, con el fin de obtener un modelo de reducción por área para duraciones menores a 24 horas.
- Que los tramos naturales de la Quebrada Nueva, Quebrada Llano Grande y Quebrada Barrio Cruz Verde sean revestidos debido a que las velocidades simuladas exceden las velocidades máximas permitidas para un cauce natural, por otra parte esta última y la sección final del tramo revestido de la Quebrada Llano Grande requieren un aumento en las dimensiones para así mejorar las condiciones de conducción del canal.
- Es necesario un levantamiento topográfico detallado para obtener las dimensiones y cotas de elevación del drenaje mayor y drenaje menor de la cuenca oeste de la ciudad de Coro.



---

*REFERENCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS*

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Documentos Legales.

**M.O.P. (1967).** Manual de drenaje. División de vialidad. Sociedad Venezolana de Ingenieros Civiles, SOVINCIV Caracas, Octubre de 2004.

### Publicaciones de eventos científicos.

**Méndez, L. y Sánchez, L. (2009).** Modelación y desarrollo de una base de datos espaciales del sistema de drenaje pluvial urbano de Coro vinculando aplicaciones SIG con un modelo integrado. XXIV Congreso latinoamericano de hidráulica. Punta del Este, Uruguay.

### Revistas Especializadas

**Ceballos, A. (2009).** Variabilidad espacial de la lluvia en una pequeña cuenca hidrográfica de la provincia de Cáceres. Departamento de Geografía y O. T. Universidad de Extremadura, s/n.

**Covarrubias, M., Bustamante, W., Delgado, C., Ba, K., y Escalante, R. (2011).** Análisis metodológico de la distribución espacial de la precipitación y la estimación media diaria. Revista mexicana de ciencias agrícolas Vol.2 Núm.1 1 de enero – 28 de febrero, 2011 p. 57-69.

**Guevara, E. (2003).** Un modelo de Altura-Área-Duración (AAD) de tormentas de Venezuela. Revista Ingeniería UC. Vol. 10, Nº 1, 47-51, 2003.

**Pizarro, R y otros (2003).** Análisis comparativo de cinco métodos para la estimación de precipitaciones areales anuales en períodos extremos. Bosque 24(3) 31-38, 2003.

### **Textos.**

**Méndez, M. (2001).** Diseño de canales revestidos. **UCAB** “Universidad Católica Andrés Bello”. Caracas.

**Rodríguez, E y otros (2008).** Análisis de la variabilidad espacio-temporal de la precipitación en una microcuenca urbana.

**Sarría, F. (2006).** Sistemas de información geográficas.

**SWMM, Modelo de Gestión de Aguas Pluviales 5.0 vE. (2005).** Manual del usuario. Traducido por Grupo Multidisciplinario de Modelación de Fluidos.

### **Libros.**

**Acuña, M. (2006).** Como se elabora el proyecto de investigación. Servicio Editorial Consultores Asociados.

**Chow, V., Maidment, D., Mays, L. (1994).** Hidrología Aplicada. Colombia: McGraw - Hill Interamericana S.A.

**Palella, S y Martins, F. (2003).** Metodología de la investigación cuantitativa. Caracas: Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador.

### **Trabajos de grado.**

**Arias E. Ramón A. (2010).** Estudio de la amenaza por inundación en el canal que drena las aguas pluviales de las comunidades la cañada, Ezequiel Zamora y monseñor Iturriza, municipio Miranda, coro - estado falcón. Trabajo de grado para aspirar el título de ingeniero civil, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Coro, Estado Falcón.

**Botero, A. (2008).** Análisis espacio-temporal de la lluvia en la cuenca urbana de la quebrada San Luis, Manizales-Caldas. Trabajo de grado para aspirar el título de ingeniero civil, Universidad Nacional de Colombia.

**Estrada, J y Reyes, J. (2014).** Medidas para reducir el impacto que ocasionan los procesos urbanísticos sobre los sistemas de drenaje pluvial en la sub cuenca sur – oeste de Santa Ana de Coro, estado Falcón. Trabajo de grado para aspirar el título de ingeniero civil, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Coro, Estado Falcón.

**Méndez, L. (2009).** Modelo de elevación digital e informatización del sistema de drenaje mayor y menor de la zona oeste de la ciudad de Santa Ana de Coro, Falcón. Trabajo de grado para aspirar el título de ingeniero civil, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Coro, Estado Falcón.

**Salazar, Y y Zambrano, M. (2009).** Evaluación de la respuesta hidrodinámica de la quebrada de Chabe empleando un modelo

hidráulico unidimensional. Coro-Estado Falcón. Trabajo de grado para aspirar el título de ingeniero civil, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Coro, Estado Falcón.

**Sánchez, L. (2012).** Modelación integrada de sistemas de drenaje pluvial urbano en zonas predominantemente llanas. Estableciendo funciones normalizadas y mejoradas para la estimación de la peligrosidad de inundaciones en una cuenca urbana de la Ciudad de Coro, estado Falcón Venezuela. . Trabajo de grado para optar al título de Doctor en Ciencias Técnicas del Instituto Superior Politécnico Jose Antonio Echeverría, La Habana, Cuba.

**Ortega, A. (2013).** Análisis del comportamiento espacio – temporal de la precipitación máxima en una cuenca hidrográfica. Caso de estudio: cuenca del río Coro, estado Falcón, Venezuela. Trabajo de grado para optar al título de Master en Ingeniería Hidráulica del Instituto Superior Politécnico Jose Antonio Echeverría, La Habana, Cuba.

### **Referencias de fuentes electrónicas.**

#### **1. Libros.**

**Olaya, V. (2011).** Sistemas de información geográfica. [Libro en línea]. Disponible: [Http://www.sextantegis.com](http://www.sextantegis.com)

#### **2. Documentos.**

**García, A. (2015).** Drenaje pluvial [Documento en línea]. Disponible: [Http://www.arghys.com](http://www.arghys.com)

**Medina, Y. (2012).** Drenaje urbano [Documento en línea]. Disponible: [Http://www.es.scribd.com](http://www.es.scribd.com)

### 3. Sitios de información.

**Confederación de Empresarios de Andalucía (CEA). (2010).** [Página web en línea]. Disponible: [Http://www.sig.cea.es](http://www.sig.cea.es)

**Geosoluciones. (2014).** [Página web en línea]. Disponible: [Http://www.Geosoluciones.cl](http://www.Geosoluciones.cl)

**HidraSoftware. (2015).** [Página web en línea]. Disponible: [Http://www.hidrasoftware.com](http://www.hidrasoftware.com)

**United States Environmental Protection Agency (EPA). (2015).** [Página web en línea]. Disponible: [Http://www.epa.gov](http://www.epa.gov)

**Wikipedia. (2015).** [Página web en línea]. Disponible: [Http://www.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org)



---

# *ANEXOS*

---

**Anexo 1:** Muestra del archivo SUBCATCH con los parámetros para cada subcuenca.

**Fuente:** Propia (2015)

Subcuenca	Área (HA)	% Impermeable	Ancho (m)	% Pendiente	Almacenamiento en depresión		Coeficiente de Manning n		Longitud (m)
					Impermeable (mm)	Permeable (mm)	Impermeable	Permeable	
NO1	1.50298	74.94793	73.2700	0.40501	0.02	0.3	1.19844	1.25	205.1282
NO2	0.90028	94.5319	66.7236	0.18466	0.02	0.3	1.76098	1.25	134.9259
NO3	1.03591	75.11279	74.7470	0.44369	0.02	0.3	1.14606	1.25	138.5892
NO4	0.32424	93.0586	49.1624	0.2572	0.02	0.3	1.49707	1.25	65.95363
NO5	0.81279	95	71.1304	0.35677	0.02	0.3	1.27528	1.25	114.2678
NO6	0.45182	92.70583	60.6613	0.42119	0.02	0.3	1.17566	1.25	74.4822
NO7	0.31073	97.29664	38.4922	2.87256	0.02	0.3	0.45891	1.25	80.72528
NO8	0.94274	81.69224	71.6865	0.52393	0.02	0.3	1.05641	1.25	131.5086
NO9	1.1693	90	57.2103	0.32968	0.02	0.3	1.3256	1.25	204.3865
NO10	0.80696	93.43892	81.1374	3.44793	0.02	0.3	0.41964	1.25	99.45592
NO11	0.87848	93.14445	78.1463	0.2579	0.02	0.3	1.49508	1.25	112.4151
NO12	0.90074	76.83905	67.5601	0.14199	0.02	0.3	2.00295	1.25	133.3239
NO13	0.80676	90	44.8929	0.20043	0.02	0.3	1.69167	1.25	179.7077
NO14	0.69568	97.34094	58.4480	0.90157	0.02	0.3	0.80971	1.25	119.0256
NO15	0.94165	87.99534	72.2840	2.25255	0.02	0.3	0.51697	1.25	130.2710
NO16	0.56714	88.81865	61.4757	0.5022	0.02	0.3	1.07857	1.25	92.25382
NO17	0.52379	94.04382	59.0364	0.22117	0.02	0.3	1.61198	1.25	88.72308
NO18	0.75256	93.86238	58.4326	0.28632	0.02	0.3	1.42043	1.25	128.7916

**Anexo 2:** Muestra del archivo TIMESERIES\_REL con los hietograma de lluvia.

**Fuente:** Propia (2015)

ID,N,8,0	ID_TIMSER,C,16	HORA_REL,C,10	VALOR,N,18,6
10	TR100años,3	01:00:00	26.1
10	TR100años,3	01:30:00	12.2
10	TR100años,3	02:00:00	5.8
10	TR100años,3	02:30:00	15.1
10	TR100años,3	03:00:00	33.1
11	TR100años,3R	00:00:00	0
11	TR100años,3R	00:30:00	17.374
11	TR100años,3R	01:00:00	19.053
11	TR100años,3R	01:30:00	8.906
11	TR100años,3R	02:00:00	4.234
11	TR100años,3R	02:30:00	11.023
11	TR100años,3R	03:00:00	24.163

**Anexo 3:** Muestra del archivo CONDUIT\_NO, contiene los conductos con sus características.

**Fuente:** Propia (2015)

ID	ID_ARCO	NODO_INI	NODO_FIN	LONGITUD	MAINING	SALTO_INI	SALTO_FIN	CAUDAL_INI	FORMA	GEOM1	GEOM2	GEOM3	GEOM4
99	A100	N479	N478	86.39	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0
100	A101	N478	N476	184.22	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0
101	A102	N476	N464	96.36	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0
102	A103	N469	N465	87.11	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0
103	A104	N465	N464	160.66	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0
104	A105	N464	N460	77.66	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0
105	A106	N466	N459	89.06	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0
106	A107	N459	N460	143.66	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0
107	A108	N460	N461	39.88	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0
108	A109	N461	N462	35.22	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0
109	A110	N463	N462	65.8	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0
110	A111	N462	N495	174.42	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0
111	A112	N495	N571	22.87	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0
112	A113	N571	N572	96.48	0.012	0	0	0	TRAPEZOIDAL	0.75	5.5	2.47	2.47
113	A114	N494	N493	159.83	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0
114	A115	N493	N572	73.99	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0
115	A116	N572	N573	93.55	0.012	0	0	0	TRAPEZOIDAL	0.75	5.5	2.47	2.47
116	A117	N573	N574	315.48	0.012	0	0	0	TRAPEZOIDAL	0.75	5.274	2.576	2.576
117	A118	N548	N549	131.58	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0
118	A119	N549	N550	183.54	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0
119	A120	N550	N551	61.61	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0
120	A121	N551	N541	57.44	0.011	0	0	0	RECT_OPEN	1	6	0	0

**Anexo 4:** Muestra del archivo JUNCTION, contiene los nodos de conexión con sus características.

**Fuente:** Propia (2015)

ID,N,1 8,0	ID_NODO, C,254	COTA_INF, N,19,6	PROF,N, 19,6	PROF_INI,N ,19,6	PRES_REG, N,19,6	AREA_INUND, N,19,6	XCOORD,N ,19,6	YCOORD,N ,19,6
100	N101	16.23577	0	0	0	0	425016.56	1260804.34
101	N102	16.70681	0	0	0	0	425142.094	1260807.87
102	N103	16.22409	0	0	0	0	425028.937	1260770.74
103	N104	16.01324	0	0	0	0	424726.594	1260786.65
104	N105	15.64373	0	0	0	0	424647.03	1260685.87
105	N106	15.52021	0	0	0	0	424747.811	1260721.24
106	N107	15.80398	0	0	0	0	424781.405	1260597.47
107	N108	15.68529	0	0	0	0	424691.233	1260572.72
108	N109	15.40842	0	0	0	0	424735.435	1260510.83
109	N110	15.50379	0	0	0	0	424578.075	1260669.96
110	N111	15.75706	0	0	0	0	424769.028	1260636.37
111	N112	16.15544	0	0	0	0	425051.922	1260666.42
112	N113	16.16063	0	0	0	0	425044.85	1260700.02
113	N114	16.52473	0	0	0	0	425170.384	1260696.48
114	N115	16.42349	0	0	0	0	425189.833	1260631.06
115	N116	16.23847	0	0	0	0	425066.067	1260601.01
116	N117	15.93439	0	0	0	0	424800.854	1260532.05
117	N118	16.24482	0	0	0	0	424949.373	1260501.99
118	N119	16.32691	0	0	0	0	425078.443	1260533.82
119	N120	16.39888	0	0	0	0	425203.977	1260563.88

**Anexo 5:** Archivo OUTFALL\_NM, contiene los nodos de vertido con sus características.

**Fuente:** Propia (2015)

ID,N,8,0	ID_NODO,C,1 6	COTA_INF,N,18, 6	XCOORD,N,18, 6	YCOORD,N,18, 6	TIPO_OTF,C,1 2	COMPUERTA,C, 3
69	N70	23.26372	426275.6888	1258801.25	NORMAL	NO
652	N653	13.75	424251.7475	1260828.003	NORMAL	NO
653	N654	13.44256	424412.228	1260861.854	NORMAL	NO

**Anexo 6:** Muestra del archivo INFILTRACION\_NC contiene el parámetro Curva Numero para cada subcuena.

**Fuente:** Propia (2015)

ID,N,8,0	ID_SUBC,C,16	NC,N,18,6	CONDUCT,N,18,6	T_SEC,N,18,6
92	NO1	83.65787	0	10
93	NO2	83.37973	0	10
94	NO3	82.16677	0	10
95	NO4	82.77656	0	10
96	NO5	82.31184	0	10
97	NO6	82.81175	0	10
98	NO7	83.82416	0	10
99	NO8	82.32749	0	10
100	NO9	82	0	10
101	NO10	82.94099	0	10
102	NO11	82.9071	0	10
103	NO12	82	0	10
104	NO13	82	0	10
105	NO14	82.53181	0	10
106	NO15	82.95563	0	10
107	NO16	82.37265	0	10
108	NO17	83.9992	0	10
109	NO18	82.57159	0	10
110	NO19	82.92961	0	10
111	NO20	84.47741	0	10
112	NO21	82.87572	0	10

**Anexo 7:** Archivo RGAGE\_TS contiene las características del pluviómetro.

**Fuente:** Propia (2015)

ID,N,8,0	ID_PLUV,C,16	TIPO_PLUV,C,12	ID_TIMSER,C,16	FORMATO,C,10	INTERVALO,C,12	XCOORD,N,18,6	YCOORD,N,18,6
0	EA1	TIMESERIES	TR2aos,3	VOLUME	0:05	424029.243	1261791.766

**Anexo 8:** Archivo OPTIONS contiene la configuración general del programa.

**Fuente:** Propia (2015)

ID,N,2,0	PARAMETRO,C,20	VALOR,C,20
1	FLOW_UNITS	LPS
2	INFILTRATION	CURVE_NUMBER
3	FLOW_ROUTING	DYNWAVE
4	START_DATE	01/01/2001
5	START_TIME	00:00:00
6	REPORT_START_DATE	01/01/2001
7	REPORT_START_TIME	00:00:00
8	END_DATE	01/01/2001
9	END_TIME	03:00:00
10	REPORT_STEP	00:05:00
11	WET_STEP	00:00:01
12	DRY_STEP	00:20:00
13	ROUTING_STEP	00:00:01
14	ALLOW_PONDING	NO
15	MIN_SLOPE	0

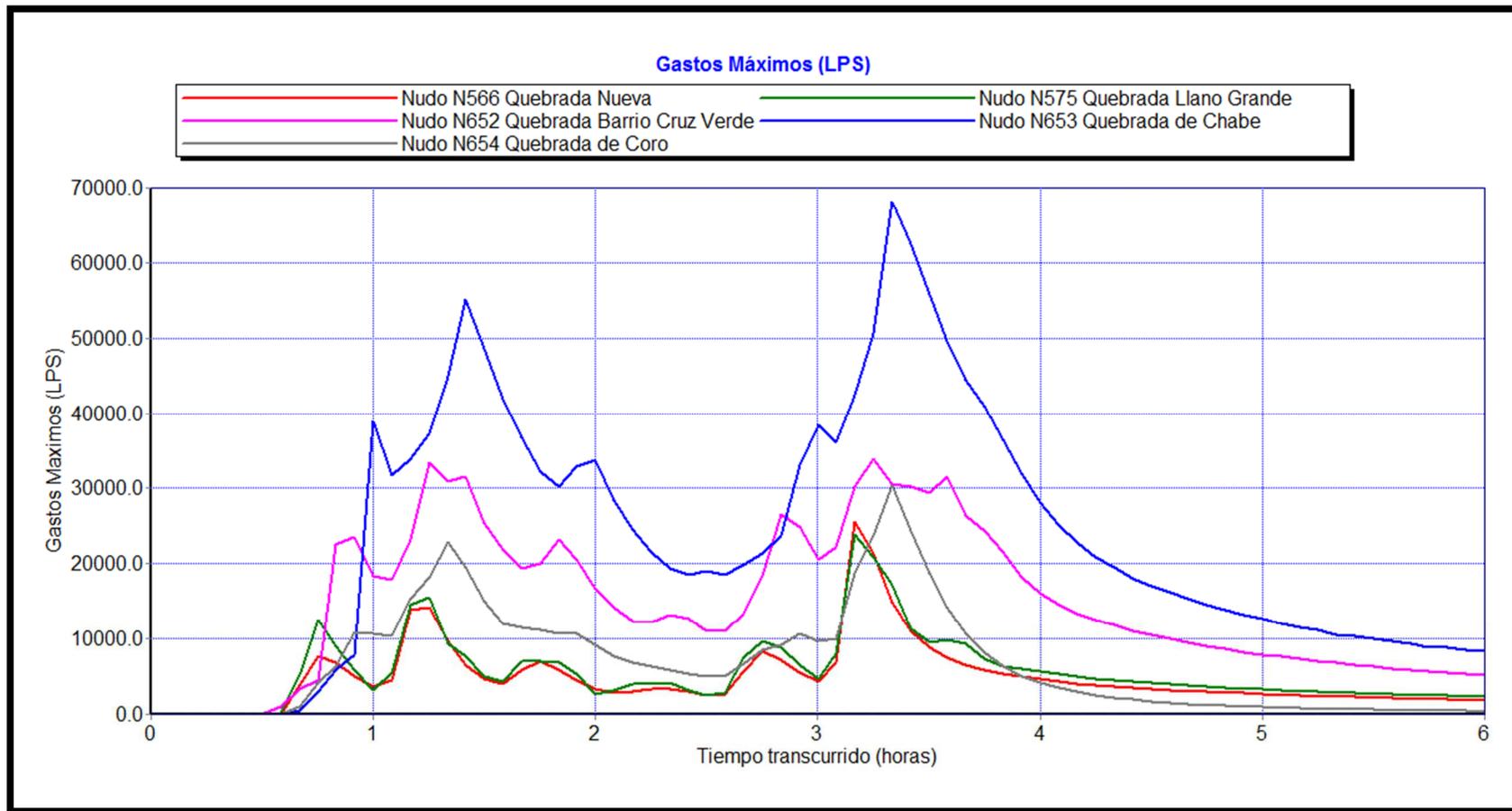
**Anexo 9:** Archivo PROJECT\_ID contiene la información básica del proyecto.

**Fuente:** Propia (2015)

ID,N,2,0	TITULO,C,254	AUTOR,C,50	FECHA,C,12
1	Zona oeste de la ciudad de Santa Ana de Coro	Wilner Oviedo y José Quiñones	01/12/14

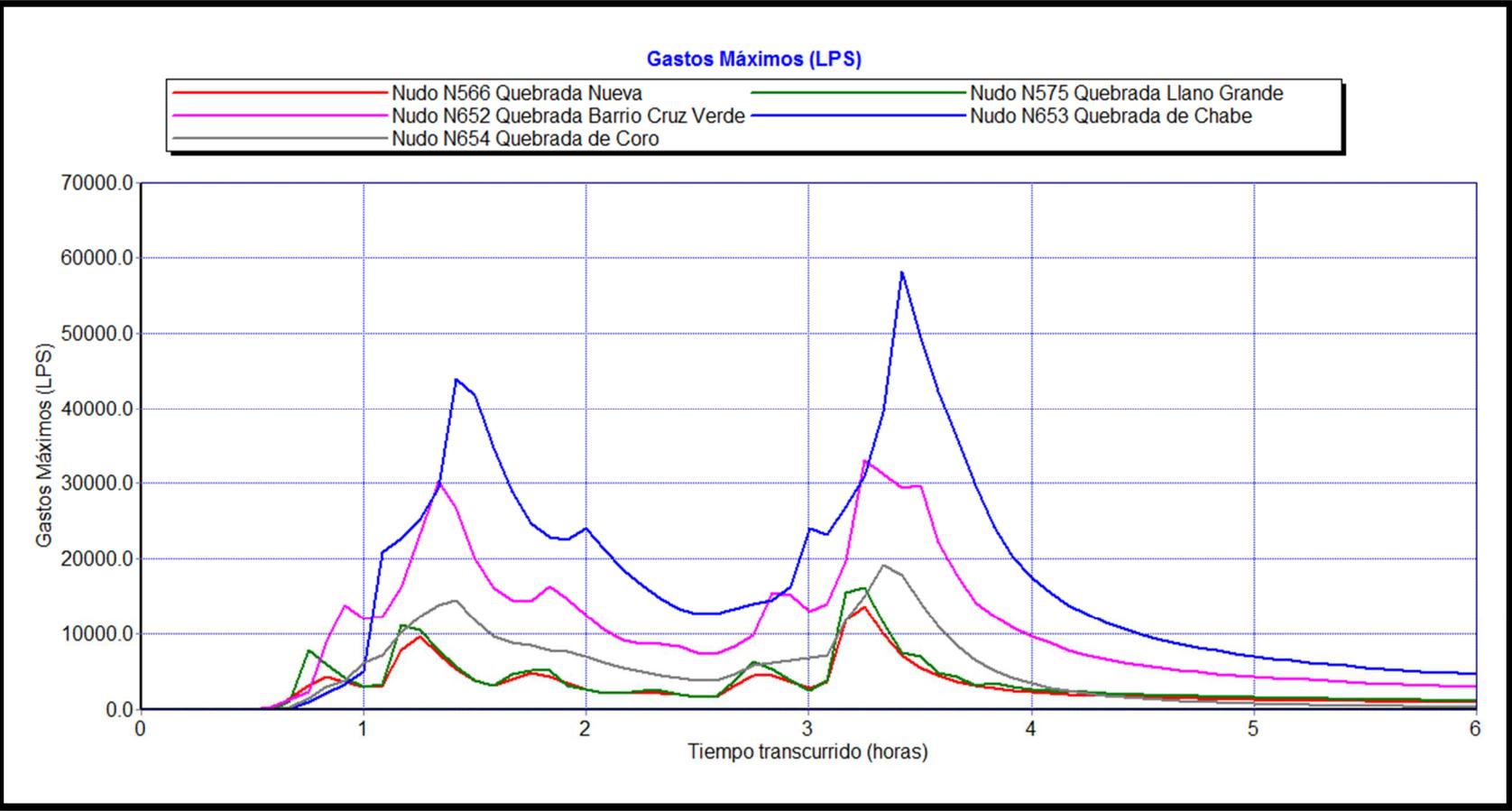
**Anexo 10:** Gastos Máximos simulados, 25 años de tiempo de retorno y 3 horas (escenario 1).

**Fuente:** Propia (2015)



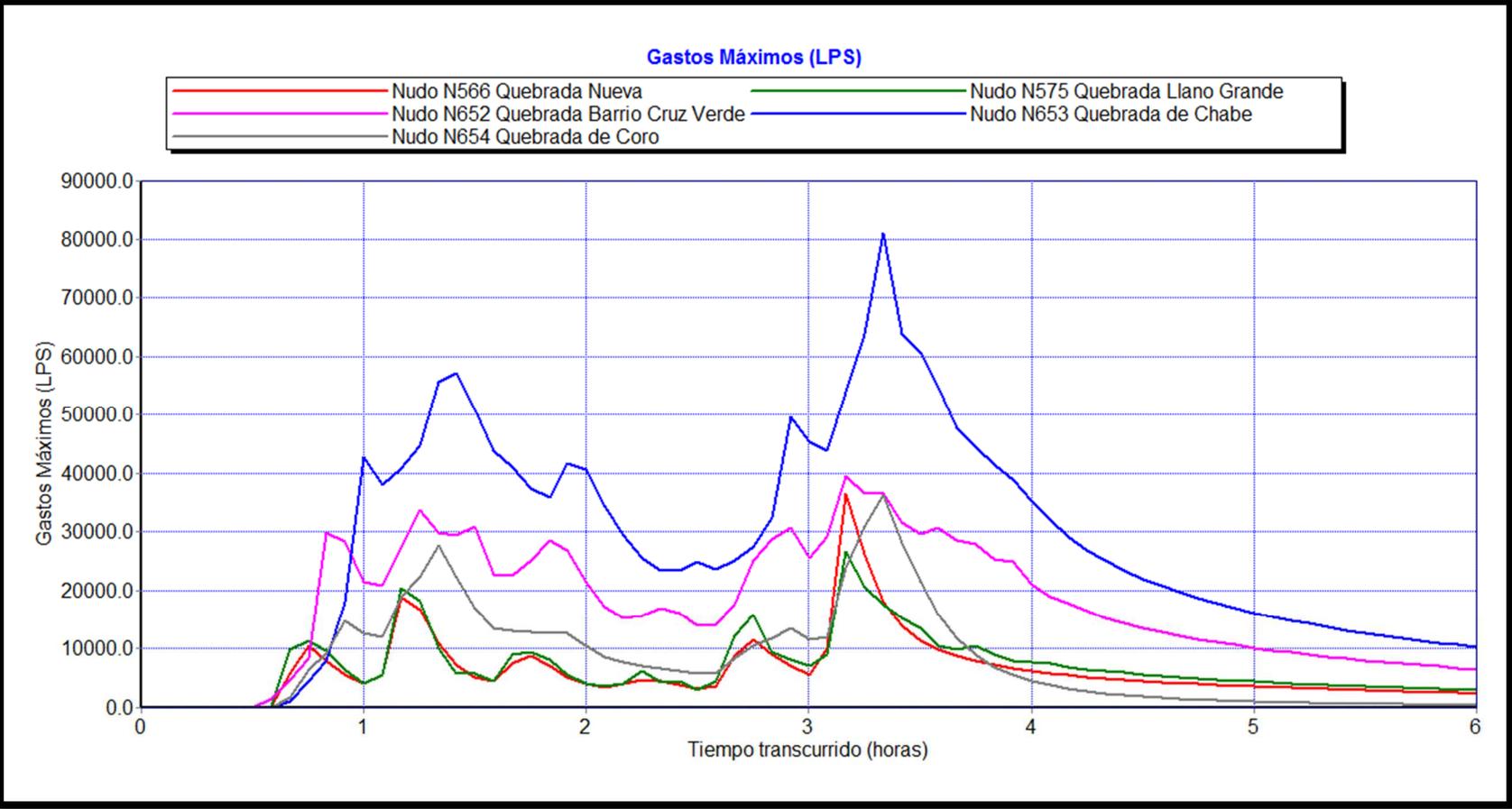
**Anexo 11:** Gastos Máximos simulados, 25 años de tiempo de retorno y 3 horas (escenario 2).

**Fuente:** Propia (2015)



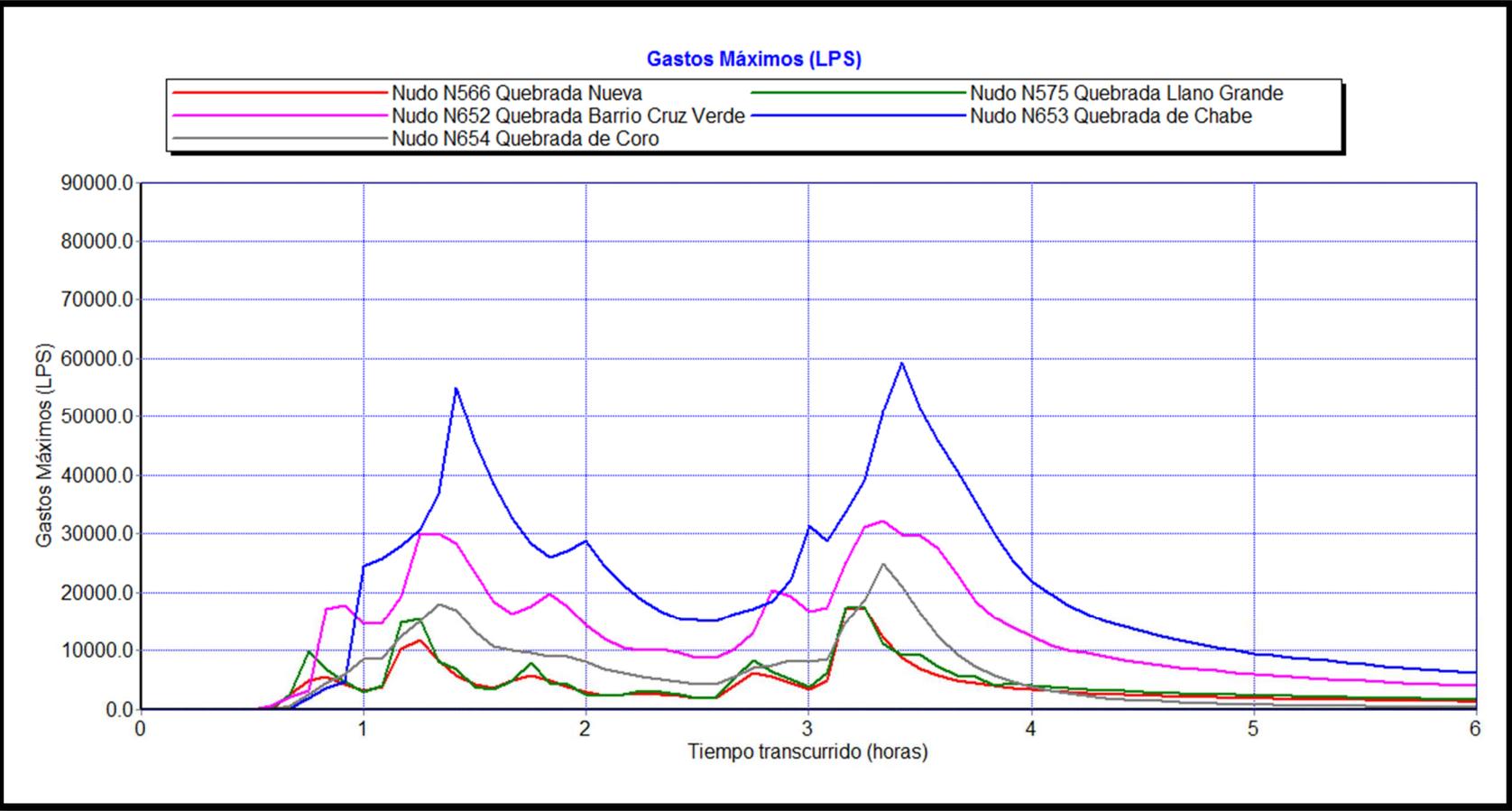
**Anexo 12:** Gastos Máximos simulados, 100 años de tiempo de retorno y 3 horas (escenario 1).

**Fuente:** Propia (2015)



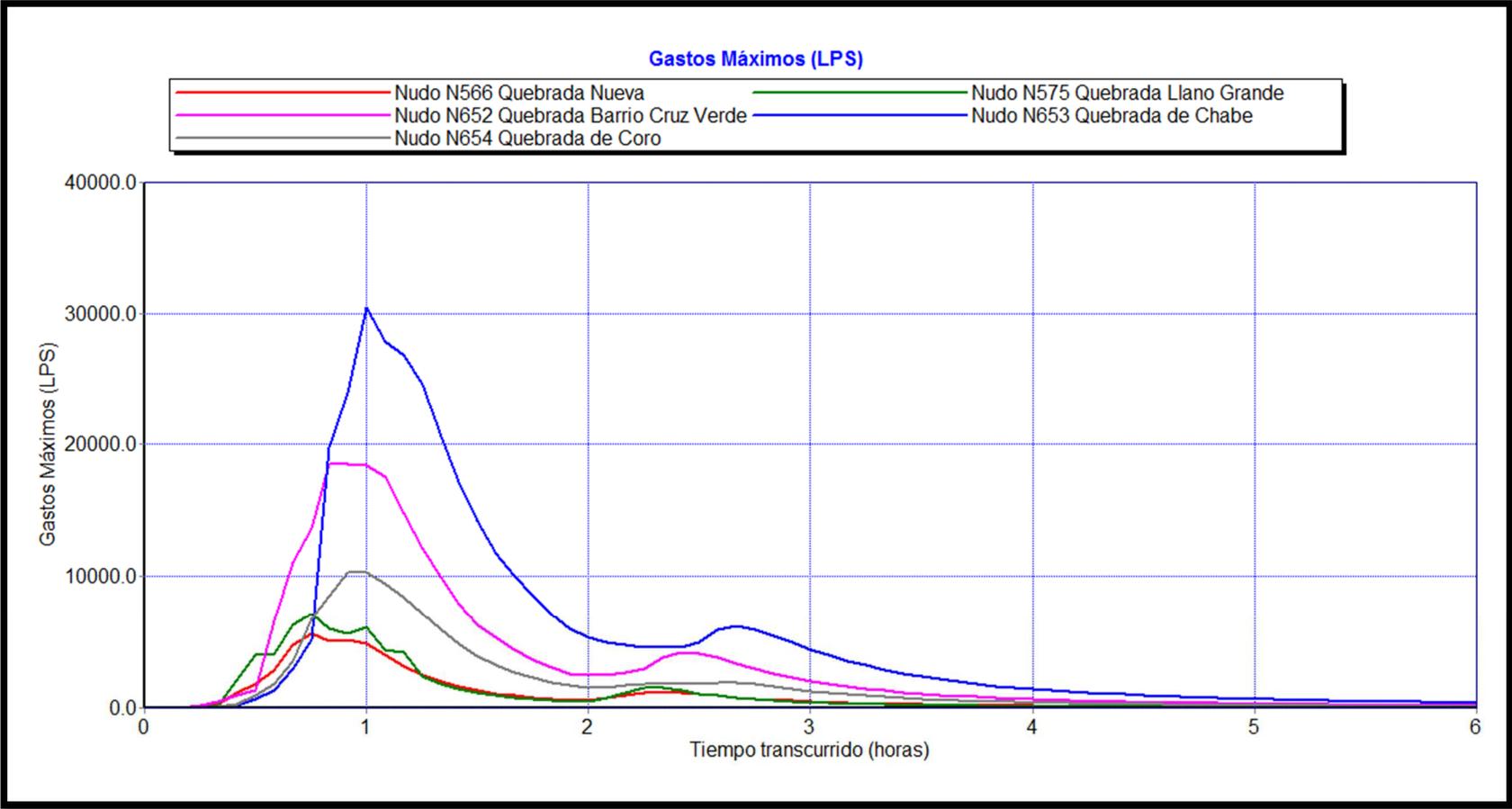
**Anexo 13:** Gastos Máximos simulados, 100 años de tiempo de retorno y 3 horas (escenario 2).

**Fuente:** Propia (2015)



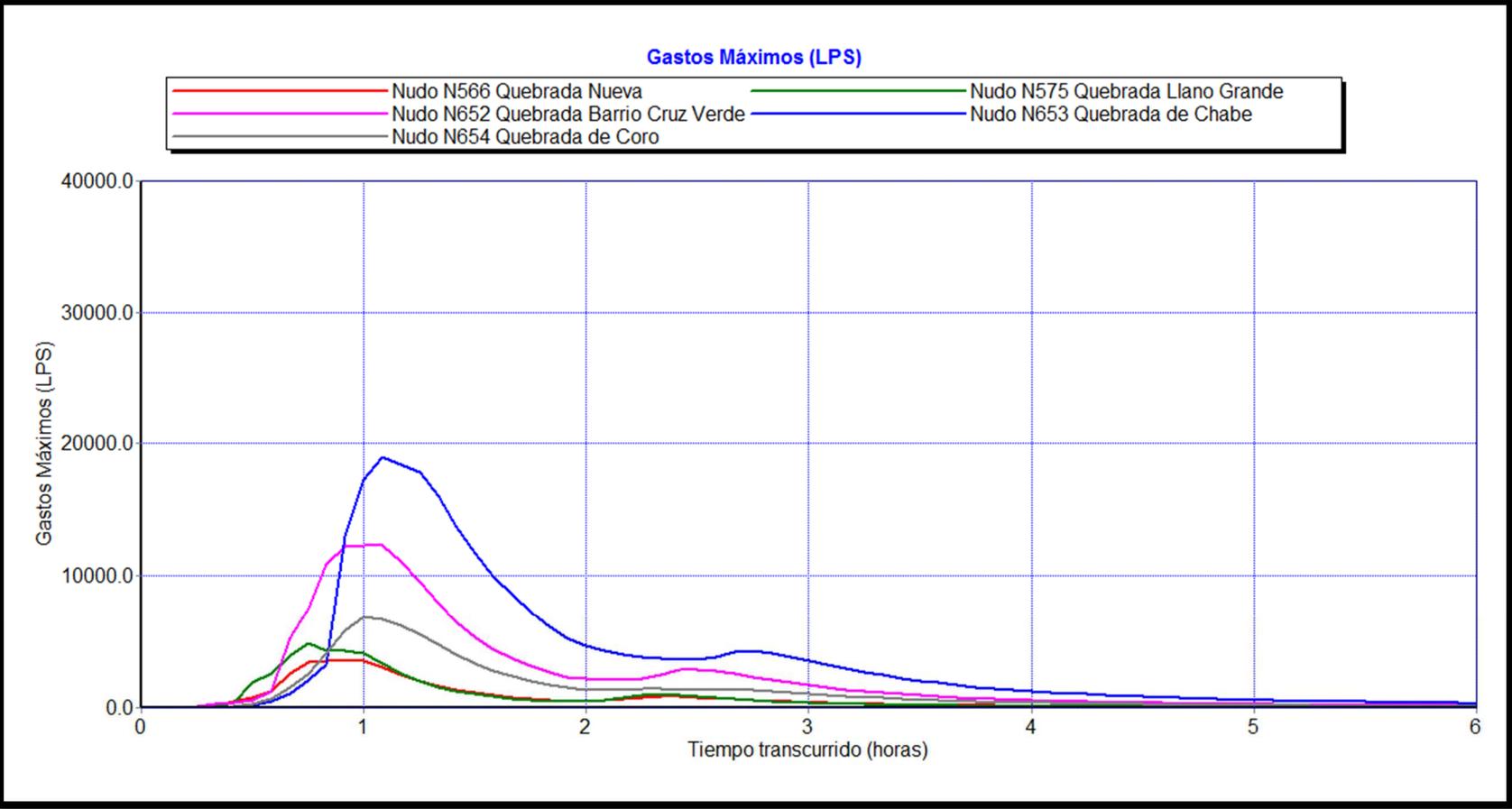
Anexo 14: Gastos Máximos simulados, evento registrado en el año 2011 (escenario 1).

Fuente: Propia (2015)



**Anexo 15:** Gastos Máximos simulados, evento registrado en el año 2011 (escenario 2).

**Fuente:** Propia (2015)



**Anexo 16:** Gastos Máximos simulados, evento registrado en el año 2012 (escenario 1).

**Fuente:** Propia (2015)



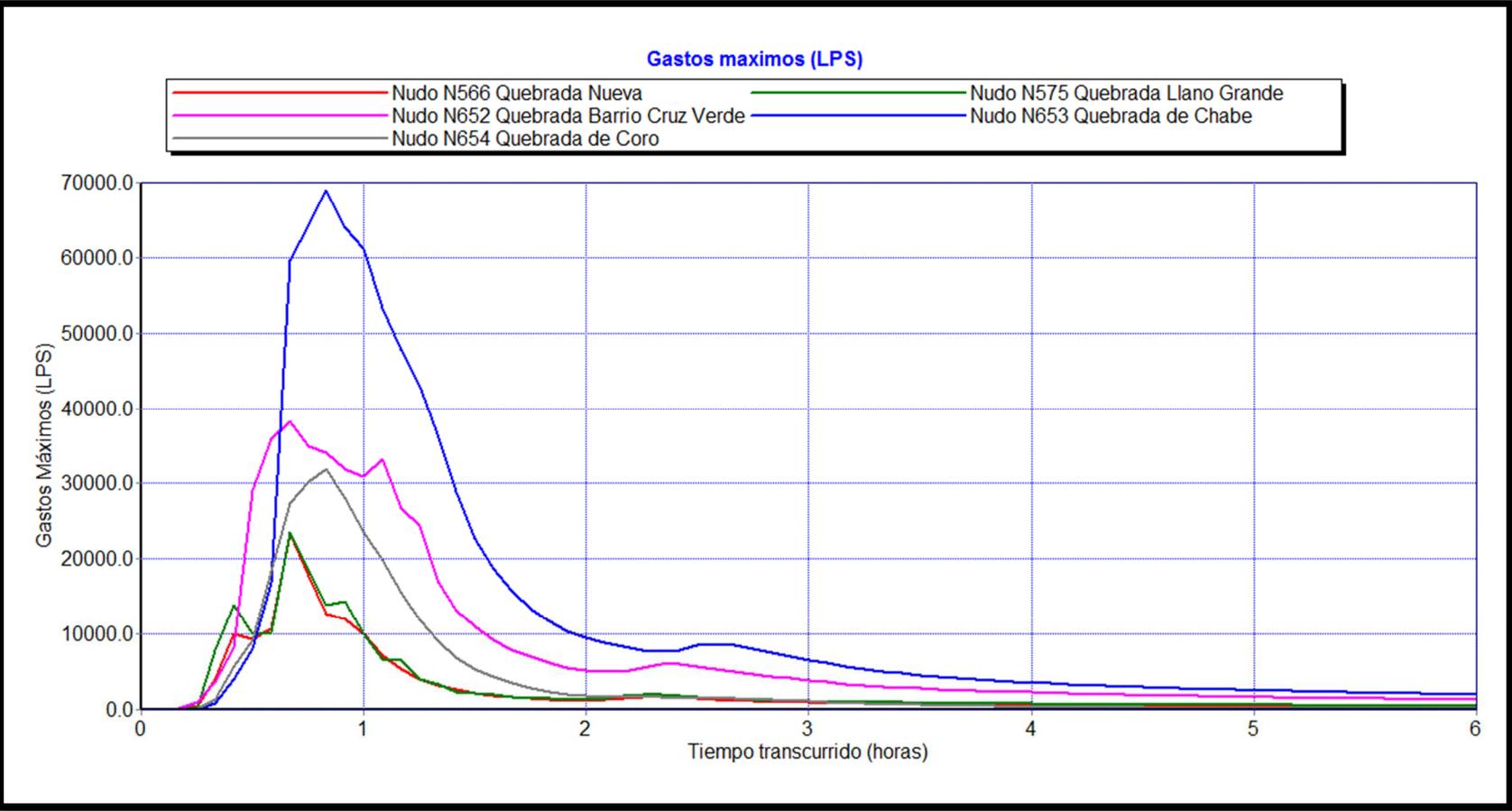
**Anexo 17:** Gastos Máximos simulados, evento registrado año 2012 (escenario 2).

**Fuente:** Propia (2015)



**Anexo 18:** Gastos Máximos simulados, evento registrado en el año 2014 (escenario 1).

**Fuente:** Propia (2015)



**Anexo 19:** Gastos Máximos simulados, evento registrado en el año 2014 (escenario 2).

**Fuente:** Propia (2015)

