

NOVAAC  
66619

T  
Este  
2014



UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Estimación del ancho de subcuenca  $W$  en modelos de drenaje urbano.

Por  
Daniel Alonso Espinosa Herrera

Trabajo de Título para optar al Grado de Licenciado en  
Ciencias de la Ingeniería y el Título de Ingeniero Civil  
Profesor Guía: Rodrigo Concha Jopia

Diciembre 2014

- Ciencias  
- Drenaje urbano  
- Subcuencia,

R. 16043

*El Condor*

*El Condor vola muy alto*

*Y cuando viene la tormenta se esconde*

*En las montañas, en las cuevas y en las grietas de las rocas*

*Y así espera a que pase la tormenta*

*Y cuando viene la tormenta vola muy alto y se esconde*

*En las montañas, en las cuevas y en las grietas de las rocas*

*Y así espera a que pase la tormenta*

*Y cuando viene la tormenta, los pájaros se esconden,  
Pero los cóndores volamos mucho más alto"*

*...Sea un Cóndor cada uno de nosotros.*

### **Dedicatoria**

*Dedico este trabajo de título:*

*A mi madre, quien dio todo por mí y aún lo sigue haciendo.*

*A mi hermano, la herencia más valiosa que me dejó mi madre.*

*A mi padre, quien siempre me ha querido.*

*A mis abuelos que aun tengo, cuyo fruto fue mi madre y a su fruto que es mi hermano.*

*A mis abuelos que ya partieron.*

*A mis compañeros de departamento Carlos y Camilo, mis dos mejores amigos.*

*A Emanuel y Miguel, a quienes la vida ha hecho mis hermanos.*

*A mis amigas y amigos, quienes durante toda la universidad han sido mi familia.*

## **Agradecimientos**

*En este trabajo de título, quiero agradecer a mi profesor Guía don Rodrigo Concha J., por todo el conocimiento entregado y por su excelente voluntad y buena disposición. Gracias por la oportunidad de realizar este trabajo en conjunto.*

*Agradezco también a todos los profesores de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Valparaíso, a los que están y los que estuvieron, gracias por formarnos como Ingenieros.*

*Agradezco finalmente a mi grupo de estudio, que ha ido cambiando a sus integrantes en el tiempo pero ha convertido a cada uno de ellos en mis amigos. Agradezco especialmente a mis compañeros de taller porque ahora que egresamos ya no somos compañeros si no solamente muy buenos amigos.*

# 1. Contenido

<i>Dedicatoria</i> .....	3
<i>Agradecimientos</i> .....	4
Resumen.....	13
Abstract .....	14
1. Capítulo Primero: Antecedentes Generales .....	15
1.1. Introducción: .....	15
1.2. Planteamiento del problema .....	16
1.3. Objetivos de la investigación.....	17
1.3.1. General:.....	17
1.3.2. Específicos: .....	17
1.4. Alcances .....	18
2. Capítulo Segundo: Marco Conceptual .....	19
2.1. Modelamiento de cuencas urbanas .....	19
2.2. SWMM 5 .....	21
2.2.1. Modelos de cálculo en SWMM 5 .....	22
2.3. Ancho de subcuenca W:.....	28
2.4. Estado del arte .....	30
3. Capítulo Tercero: Desarrollo de la metodología de comparación entre tres métodos para estimar W .....	33
3.1. Recopilación de la información de la red.....	33
3.2. Recopilación de la información urbana. ....	34
3.3. Definición de la zona en estudio. ....	34
3.3.1. Descripción de la zona en estudio: .....	34
3.3.2. Discretización de una cuenca. ....	35
3.3.3. Discretización cuenca La Riereta: .....	36
3.3.4. Definición de parámetros hidráulicos de la cuenca.....	37
3.3.5. Definición de eventos de lluvia.....	37
3.3.6. Método de estimación de pérdidas. ....	42
3.3.7. Modelamiento de cuenca de estudio a SWMM 5. ....	43
3.2.8. Proceso iterativo de ajuste de modelamiento de la cuenca de estudio. ....	47

4. Capítulo Cuarto: Presentación de datos .....	49
4.1. Antecedentes Generales.....	49
4.2. Niveles de discretización de la cuenca: .....	50
4.2.1. Nivel Macro: .....	53
4.2.2. Nivel Meso:.....	69
4.2.3. Nivel Micro: .....	85
5. Capítulo Quinto: Análisis de resultados. ....	101
5.1. Análisis variabilidad en el cálculo del ancho de subcuenca W con las tres metodologías estudiadas.....	101
5.2. Influencia del ancho de subcuenca W en el tiempo de respuesta.....	102
5.3. Análisis de error de W para las tres metodologías en estudio.....	103
5.3.1. Nivel Macro: .....	103
5.3.2. Nivel Meso:.....	105
5.3.3. Nivel Micro: .....	107
5.4. Análisis efecto del nivel de discretización en el cálculo de caudal para lluvias de calibración. ....	109
5.4.1. Evento de lluvia Fidel: .....	110
5.4.2. Evento de lluvia Efrén: .....	112
5.4.3. Evento de lluvia Jordi: .....	113
5.4.4. Evento de lluvia Susana:.....	114
5.5. Análisis de ajuste de datos observados versus calculados para los tres niveles de discretización y las tres metodologías de cálculo de ancho de subcuenca W.....	116
5.5.1. Definición de test de ajuste a estudiar: .....	116
5.5.2. Análisis de ajuste de datos de las cuatro lluvias de ajuste.....	117
6. Capítulo Sexto: Conclusiones y Recomendaciones. ....	134
6.1. Comentario .....	134
6.2. Conclusiones: .....	135
6.3. Recomendaciones para futuras investigaciones: .....	138
Anexos.....	140

## 2. Índice de Tablas

Tabla 2-1, Aplicaciones y limitaciones de SWMM 5. ....	22
Tabla 3-1, Características Conducciones. ....	37
Tabla 3-2, Características principales de los eventos de lluvia del estudio.....	38
Tabla 3-3, Corrección modelo Pérdidas Lineales Constantes.....	42
Tabla 4-1 Parámetros hidrológicos e hidráulicos para los tres niveles de discretización. ....	51
Tabla 4-2, Características principales de los eventos de lluvia del estudio.....	51
Tabla 4-3, Nivel Macro, Evento Fidel, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak. ....	55
Tabla 4-4, Nivel Macro, Evento Efrén, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak. ....	57
Tabla 4-5, Macro, Evento Jordi, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak. ....	59
Tabla 4-6, Nivel Macro, Evento Susana, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak.....	61
Tabla 4-7, Nivel Macro, Evento Santa Cecilia, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak.....	63
Tabla 4-8, Nivel Macro, Evento Elías, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak. ....	65
Tabla 4-9, Nivel Macro, Evento Martina, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak.....	67
Tabla 4-10, Nivel Macro, Coeficientes de ajuste de datos para todos los eventos de lluvia del estudio.....	68
Tabla 4-11, Nivel Meso, Evento Fidel, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak. ....	71
Tabla 4-12, Nivel Meso, Evento Efrén, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak. ....	73
Tabla 4-13, Nivel Meso, Evento Jordi, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak. ....	75
Tabla 4-14, Nivel Meso, Evento Susana, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak.....	77
Tabla 4-15, Nivel Meso, Evento Santa Cecilia, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak.....	79
Tabla 4-16, Nivel Meso, Evento Elías, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak. ....	81
Tabla 4-17, Nivel Meso, Evento Martina, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak.....	83
Tabla 4-18, Nivel Meso, Coeficientes de ajuste de datos para todos los eventos de lluvia del estudio.....	84

Tabla 4-19, Nivel Micro, Evento Fidel, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak .....	87
Tabla 4-20, Nivel Micro, Evento Efrén, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak.....	89
Tabla 4-21, Nivel Micro, Evento Jordi, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak .....	91
Tabla 4-22, Nivel Micro, Evento Susana, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak.....	93
Tabla 4-23, Nivel Micro, Evento Santa Cecilia, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak .....	95
Tabla 4-24, Nivel Micro, Evento Elías, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak .....	97
Tabla 4-25, Nivel Micro, Evento Martina, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak.....	99
Tabla 4-26 Nivel Macro, Coeficientes de ajuste de datos para todos los eventos de lluvia del estudio.....	100
Tabla 5-1, Nivel Macro, Valores W medio.....	103
Tabla 5-2, Nivel Macro, Error W medio, Metodología Di Giano y Guo respecto a Manual SWMM 5. ....	103
Tabla 5-3, Nivel Meso, Valores W medio. ....	105
Tabla 5-4, Nivel Meso, Error W medio, Metodología Di Giano y Guo respecto a Manual SWMM 5. ....	105
Tabla 5-5, Nivel Micro, Valores W medio.....	107
Tabla 5-6, Nivel Micro, Error W medio, Metod. Di Giano y Guo respecto a Manual SWMM 5. ....	107
Tabla 5-7, Evento Fidel, Comparativa errores para los distintos niveles de discretización. ....	111
Tabla 5-8, Evento Efrén, Comparativa errores para los distintos niveles de discretización. ....	112
Tabla 5-9, Evento Jordi, Comparativa errores para los distintos niveles de discretización. ....	113
Tabla 5-10, Evento Susana, Comparativa errores para los distintos niveles de discretización. ....	115
Tabla 5-11, Nivel Macro, Evento Fidel, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W... ..	117
Tabla 5-12, Nivel Meso, Evento Fidel, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W. ...	118
Tabla 5-13, Nivel Micro, Evento Fidel, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W....	119
Tabla 5-14, Nivel Global, Evento Fidel, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W... ..	120
Tabla 5-15, Nivel Macro, Evento Efrén, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W..	121
Tabla 5-16, Nivel Meso, Evento Efrén, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W. ...	123
Tabla 5-17 Nivel Micro, Evento Efrén, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W....	124
Tabla 5-18, Nivel Global, Evento Efrén, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W..	125
Tabla 5-19, Nivel Macro, Evento Jordi, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W... ..	126
Tabla 5-20, Nivel Meso, Evento Jordi, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W. ...	127
Tabla 5-21, Nivel Micro, Evento Jordi, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W....	128
Tabla 5-22, Nivel Global, Evento Jordi, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W... ..	129

Tabla 5-23, Nivel Macro, Evento Susana, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W. .... 130

Tabla 5-24, Nivel Meso, Evento Susana, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W. 131

Tabla 5-25, Nivel Micro, Evento Susana, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W. 132

Tabla 5-26, Nivel Global, Evento Susana, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W. .... 133

## Índice de Figuras

Figura 2-1, Modelo Hidrológico.....	22
Figura 2-2, Modelo de depósito no lineal.....	23
Figura 2-3, Ecuación de Horton.....	24
Figura 2-4, Ecuación de Green Ampt.....	24
Figura 2-5, Gráfica Curva Número.....	25
Figura 2-6, Términos de la ecuación de conservación de momentum.....	27
Figura 2-7, Términos ecuación Saint Venant.....	27
Figura 2-8, Esquema metodología de Guo.....	32
Figura 3-1, AutoCad zona Sant Boi de Llobregat.....	33
Figura 3-2, Cuenca de Estudio.....	35
Figura 3-3, Hidrograma e Hietograma lluvia Efrén.....	38
Figura 3-4, Hidrograma e Hietograma lluvia Elías.....	39
Figura 3-5, Hidrograma e Hietograma lluvia Fidel.....	39
Figura 3-6, Hidrograma e Hietograma lluvia Jordi.....	40
Figura 3-7, Hidrograma e Hietograma lluvia Martina.....	40
Figura 3-8, Hidrograma e Hietograma lluvia Santa Cecilia.....	41
Figura 3-9, Hidrograma e Hietograma lluvia Susana.....	41
Figura 3-10, Hietograma de precipitación total e Hietograma de precipitación efectiva.....	43
Figura 3-11, Selección de unidades en SWMM 5.....	44
Figura 3-12, Componentes topográficos de modelo.....	44
Figura 3-13, Red de colectores.....	44
Figura 3-14, Cuadros de edición de colectores, subcuencas y cámaras en SWMM 5.....	45
Figura 3-15, Ejemplo Calibración.....	46
Figura 3-16, Ejemplo Calibración.....	46
Figura 3-17, Ejemplo Ajuste de modelamiento.....	47
Figura 4-1, Calle tipo de Sant Boi de Llobregat.....	49
Figura 4-2, Discretización Macro.....	50
Figura 4-3, Discretización Meso.....	50
Figura 4-4, Discretización Micro.....	50
Figura 4-5, Discretización Macro, Evento Fidel, Calculo W Manual SWMM 5.....	54
Figura 4-6, Discretización Macro, Evento Fidel, Calculo W Di Giano.....	54
Figura 4-7, Discretización Macro, Evento Fidel, Calculo W Guo.....	54
Figura 4-8, Discretización Macro, Evento Efrén, Calculo W Manual SWMM 5.....	56
Figura 4-9, Discretización Macro, Evento Efrén, Calculo W Di Giano.....	56
Figura 4-10, Discretización Macro, Evento Efrén, Calculo W Guo. Efrén, W Guo.....	56
Figura 4-11, Discretización Macro, Evento Jordi, Calculo W Manual SWMM 5.....	58
Figura 4-12, Discretización Macro, Evento Jordi, Calculo W Di Giano.....	58
Figura 4-13, Discretización Macro, Evento Jordi, Calculo W Guo. Jordi, W Guo.....	58

Figura 4-14, Discretización Macro, Evento Susana, Calculo W Manual SWMM 5.....	60
Figura 4-15, Discretización Macro, Evento Susana, Calculo W Di Giano. ....	60
Figura 4-16, Discretización Macro, Evento Susana, Calculo W Guo. ....	60
Figura 4-17, Discretización Macro, Evento Santa Cecilia, Calculo W Manual SWMM 5.....	62
Figura 4-18, Discretización Macro, Evento Santa Cecilia, Calculo W Di Giano.....	62
Figura 4-19, Discretización Macro, Evento Santa Cecilia, Calculo W Guo.....	62
Figura 4-20, Discretización Macro, Evento Elías, Calculo W Manual SWMM 5.....	64
Figura 4-21, Discretización Macro, Evento Elías, Calculo W Di Giano. ....	64
Figura 4-22, Discretización Macro, Evento Elías, Calculo W Guo. ....	64
Figura 4-23, Discretización Macro, Evento Martina, Calculo W Manual SWMM 5. ....	66
Figura 4-24, Discretización Macro, Evento Martina, Calculo W Di Giano. ....	66
Figura 4-25, Discretización Macro, Evento Martina, Calculo W Guo.....	66
Figura 4-26, Discretización Meso, Evento Fidel, Calculo W Manual SWMM 5. ....	70
Figura 4-27, Discretización Meso, Evento Fidel, Calculo W Di Giano. ....	70
Figura 4-28, Discretización Meso, Evento Fidel, Calculo W Guo. ....	70
Figura 4-29, Discretización Meso, Evento Efrén, Calculo W Manual SWMM 5.....	72
Figura 4-30, Discretización Meso, Evento Efrén, Calculo W Di Giano.....	72
Figura 4-31, Discretización Meso, Evento Efrén, Calculo W Guo. ....	72
Figura 4-32, Discretización Meso, Evento Jordi, Calculo W Manual SWMM 5. ....	74
Figura 4-33, Discretización Meso, Evento Jordi, Calculo W Di Giano. ....	74
Figura 4-34, Discretización Meso, Evento Jordi, Calculo W Guo. ....	74
Figura 4-35, Discretización Meso, Evento Susana, Calculo W Manual SWMM 5. ....	76
Figura 4-36, Discretización Meso, Evento Susana, Calculo W Di Giano. ....	76
Figura 4-37, Discretización Meso, Evento Susana, Calculo W Guo.....	76
Figura 4-38, Discretización Meso, Evento Santa Cecilia, Calculo W Manual SWMM 5. ....	78
Figura 4-39, Discretización Meso, Evento Santa Cecilia, Calculo W Di Giano. ....	78
Figura 4-40, Discretización Meso, Evento Santa Cecilia, Calculo W Guo. ....	78
Figura 4-41, Discretización Meso, Evento Elías, Calculo W Manual SWMM 5. ....	80
Figura 4-42, Discretización Meso, Evento Elías, Calculo W Di Giano. ....	80
Figura 4-43, Discretización Meso, Evento Elías, Calculo W Guo.....	80
Figura 4-44, Discretización Meso, Evento Martina, Calculo W Manual SWMM 5. ....	82
Figura 4-45, Discretización Meso, Evento Martina, Calculo W Di Giano. ....	82
Figura 4-46, Discretización Meso, Evento Martina, Calculo W Manual Guo.....	82
Figura 4-47, Discretización Micro, Evento Fidel, Calculo W Manual SWMM 5. ....	86
Figura 4-48, Discretización Micro, Evento Fidel, Calculo W Di Giano. ....	86
Figura 4-49, Discretización Micro, Evento Fidel, Calculo W Guo. ....	86
Figura 4-50, Discretización Micro, Evento Efrén, Calculo W Manual SWMM 5. ....	88
Figura 4-51, Discretización Micro, Evento Efrén, Calculo W Di Giano. ....	88
Figura 4-52, Discretización Micro, Evento Efrén, Calculo W Guo. ....	88
Figura 4-53, Discretización Micro, Evento Jordi, Calculo W Manual SWMM 5. ....	90
Figura 4-54, Discretización Micro, Evento Jordi, Calculo W Di Giano. ....	90

Figura 4-55, Discretización Micro, Evento Jordi, Calculo W Guo.....	90
Figura 4-56, Discretización Micro, Evento Susana Calculo W Manual SWMM 5.....	92
Figura 4-57, Discretización Micro, Evento Susana Calculo W Di Giano. ....	92
Figura 4-58, Discretización Micro, Evento Susana Calculo W Guo. ....	92
Figura 4-59, Discretización Micro, Evento Santa Cecilia, Calculo W Manual SWMM 5. ....	94
Figura 4-60, Discretización Micro, Evento Santa Cecilia, Calculo W Di Giano. ....	94
Figura 4-61, Discretización Micro, Evento Santa Cecilia, Calculo W Guo.....	94
Figura 4-62, Discretización Micro, Evento Elías, Calculo W Manual SWMM 5. ....	96
Figura 4-63, Discretización Micro, Evento Elías, Calculo W Di Giano. ....	96
Figura 4-64, Discretización Micro, Evento Elías, Calculo W Guo. ....	96
Figura 4-65, Discretización Micro, Evento Martina, Calculo W Manual SWMM 5. ....	98
Figura 4-66, Discretización Micro, Evento Martina, Calculo W Di Giano. ....	98
Figura 4-67, Discretización Micro, Evento Martina, Calculo W Guo.....	98
Figura 5-1, Esquema Ancho subcuena W. ....	102
Figura 5-2, Esquema influencia del ancho en tiempo de respuesta. ....	102
Figura 5-3, Nivel Macro, Comparativa W Manual SWMM 5 respecto a métodos de Guo y Di Giano. .....	104
Figura 5-4, Nivel Meso, Comparativa W Manual SWMM 5 respecto a métodos de Guo y Di Giano. .....	106
Figura 5-5, Nivel Micro, Comparativa W Manual SWMM 5 respecto a métodos de Guo y Di Giano. .....	108
Figura 5-6, Comparación de hidrogramas, Evento Fidel, Distintos niveles de discretización. ....	110
Figura 5-7, Comparación de hidrogramas, Evento Efrén, Distintos niveles de discretización. ....	112
Figura 5-8, Comparación de hidrogramas, Evento Jordi, Distintos niveles de discretización. ....	113
Figura 5-9, Comparación de hidrogramas, Evento Susana, Distintos niveles de discretización.....	114
Figura 5-10, Desfase temporal del caudal peak, Evento Efrén.....	121

## Resumen

El presente trabajo de título, basa su estudio en un problema recurrente en el área de la ingeniería, en especial en el área del drenaje urbano, en la que ingenieros dedicados a la misma, se ven enfrentados a dos problemáticas que se abordan en este estudio.

Representar una cuenca urbana, mediante un programa computacional, como lo es en este caso SWMM 5, implica definir una serie de parámetros que describan la zona en estudio. De esta gama de parámetros, existen algunos que son de fácil obtención por sus características físicas y matemáticas, pero hay otros que deben ser estimados, teniéndose para ellos, valores tipo en la literatura, los cuales sirven como guía, pero no representan necesariamente los valores buscados o se encuentran un rango de elección demasiado amplio. Uno de los parámetros que genera mayor incertidumbre entre los profesionales dedicados al drenaje urbano, es el ancho de subcuenca  $W$ , valor que tiene influencia en el tiempo de respuesta que tiene una subcuenca ante un evento de lluvia. Dicho lo anterior, una subestimación o sobre estimación de este parámetro por sí solo, puede llevar a errores al momento de modelar o analizar una cuenca. Por otra parte el nivel de discretización de un modelo, es decir la complejidad o simplicidad del mismo, genera por su parte efectos complejos que debe considerar un modelador. Una red con un alto nivel de detalle, respecto a una más simplificada, puede entregar valores muy distintos para un mismo evento. De igual manera una discretización más simplista respecto a una más detallada en una misma cuenca, puede definir el comportamiento de la misma de manera muy distinta.

El presente trabajo de título realiza un análisis comparativo para el cálculo del ancho de subcuenca  $W$  calculado con tres distintas metodologías, para siete eventos de lluvia, sobre tres niveles de discretización, partiendo de un modelo simplificado a uno más complejo (con un alto nivel de detalle) y realizando una comparación de los resultados obtenidos sobre la cuenca de estudio.

## Abstract

This study is focused on a recurring problem in the field of engineering, especially in the urban drainage systems, which engineers dedicated to it, are faced with two problems that are addressed in this study. Representing an urban catchment, using a computer program (e.g. SWMM 5), involves defining a set of parameters that describe the study area. In this set of parameters, there are some that are easily obtained by physical and mathematical properties, but others must be estimated, taking for them, type values in the literature, which serve as a guide, but do not necessarily represent the values sought or deliver a range too wide choice. One of the parameters that generate greater uncertainty among professionals dedicated to urban drainage is the subcatchment width  $W$ , a value that influences the catchment response time. That said, an underestimation or overestimation of this parameter can lead to errors when modeling and analyzing a basin. Moreover the level of discretization of an urban catchment can be determining on the choice of some parameter values. A network with a high level of detail with respect to a more simplified, can give very different values for the same event. Similarly a more simplistic compared to a more detailed compared to the same basin discretization, can be defined the behavior of it very differently.

The present work makes a comparative analysis to calculate the width of sub  $W$  with three different methodologies using seven measured rain events on three levels of discretization, ranging from a simplified one with highly detailed model finally comparing the results obtained on the catchment under study.

# 1. Capítulo Primero: Antecedentes Generales

## 1.1. Introducción:

En el modelamiento de cuencas, para la caracterización de las mismas, se utilizan parámetros de alta complejidad, los cuales tienen una gran trascendencia en los resultados finales entregados por un modelo. Sin embargo, se advierte, que los criterios con los cuales se trabaja para definir dichos parámetros dependen de la experiencia de modelador y por lo tanto no existe un criterio común para determinarlos. En base a lo anterior los ingenieros dedicados a éste tema, se enfrentan a grandes problemas prácticos en la elección de dichos parámetros. Respecto a esta problemática, el presente trabajo de título, estudia la estimación del ancho de la subcuenca que se identifica con el carácter W en el programa SWMM 5, para el cual se encuentran al menos 3 distintas metodologías de determinación.

Se cuenta con datos de siete eventos de lluvia y los respectivos valores de intensidad de precipitación y caudal canalizado a la salida de la cuenca de La Riereta de Sant Boi de Llobregat, España. Luego, se modela la cuenca en estudio y se realizan las simulaciones que representan dichos eventos.

El trabajo considera tres casos de modelamiento y para cada uno de ellos se consideran tres tipos de análisis discretos en una misma cuenca, considerándose tres niveles:

- Nivel Micro: subcuencas de alrededor del 25% de la superficie de la cuenca (4.5 há)
- Nivel Meso: subcuencas de superficie unitaria (1 hectárea)
- Nivel Macro: subcuencas de alrededor del 1% de la superficie total de la cuenca (0.2 há)

Se tomará como caso base para cada nivel de discretización, un ancho de subcuenca calculado como indica el manual de SWMM 5 y una vez ajustados los modelos, se aplicarán las dos restantes metodologías para realizar el análisis que forma el presente estudio.

El manual de SWMM 5 define al parámetro W, como un parámetro de ajuste más que un parámetro geométrico, siendo este un parámetro de gran impacto en la calibración de modelos construidos en este programa.

En la actualidad existen diversas metodologías para calcular el ancho de subcuenca W, pero no existe una metodología que se recomiende como óptima y por entregar buenos valores iniciales. Si bien el manual de SWMM 5 indica una formulación, existen otras que también tienen gran aceptación, pero no se conoce cuál ajusta mejor para qué caso, es decir, no se sabe cuál entrega mejores valores iniciales en términos generales y mucho menos se sabe cuál ajusta mejor para distintos niveles de discretización.

## 1.2. Planteamiento del problema

En Chile, según lo referenciado en el Manual de Drenaje Urbano [1], para el dimensionamiento y análisis de los sistemas de redes de drenaje cuya configuración no sea sencilla, se sugiere utilizar herramientas de cálculo en el diseño como lo son los modelos numéricos de base física. Dentro de estos programas, se recomiendan el SWMM y el HEC-RAS [1].

Al modelar una cuenca en SWMM 5 se deben considerar una serie de parámetros que caracterizan a la misma, siendo éstos valores relacionados con parámetros tanto físicos como de ajuste. Entre la serie de valores que se deben ingresar para caracterizar la cuenca modelada existe el parámetro ancho de subcuenca, el cual es un parámetro de ajuste que tiene gran influencia en los resultados de un modelamiento.

Debido a la irregularidad geométrica que posee una subcuenca (urbana o natural), la determinación del ancho (Width) se hace compleja, por lo tanto existen varios métodos propuestos para el cálculo de éste, siendo los resultados no comparables entre sí en el general de los casos.

Ante lo anteriormente mencionado surgen las siguientes preguntas:

¿Qué metodología es la más adecuada para calcular el ancho de subcuenca  $W$ ?

¿Existe una única metodología que estime mejor el parámetro  $W$  para cualquier nivel de discretización?

¿A partir de qué estimación de  $W$  debo realizar menos iteraciones para calibrar un modelo?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. General:**

En base al presente estudio comparativo, se tiene por objetivo, elaborar una serie de recomendaciones para estimar el ancho de subcuenca  $W$ , para todos los casos expuestos en el presente trabajo de título.

### **1.3.2. Específicos:**

Analizar las tres metodologías en estudio para el ancho de subcuenca  $W$ , considerando los tres niveles de discretización, con el fin de evidenciar las diferencias entre casos.

Ajustar los modelos construidos con SWMM 5, con eventos de lluvia reales de los cuales existen datos de intensidad y caudal, logrando representar de manera confiable los eventos mencionados.

Mediante el uso de test de ajuste, comparar los valores calculados versus los reales, para determinar que metodología de cálculo de  $W$  logra representar mejor el comportamiento de la cuenca ante los eventos de lluvia analizados.

Generar recomendaciones para la estimación del ancho de subcuenca  $W$ .

## 1.4. Alcances

Se estudian 18.3 Hectáreas de la zona de La Riereta, provincia de Barcelona, Cataluña, España.

Se ajustan los modelos con 4 eventos de lluvia con datos reales. De dichos eventos se cuenta con datos de intensidad de precipitación y caudal medidos por minuto.

Se extrapolan los valores de ajuste a los modelos que simulan los 3 eventos de lluvia reales restantes.

La cuenca en estudio se analiza con 3 distintos niveles de discretización, que son:

- Macro: subcuencas de 4.5 Hectáreas
- Meso: subcuencas de 1 Hectáreas
- Micro: subcuencas de 0.2 Hectáreas.

Posteriormente se analizan 3 metodologías de cálculo para el ancho de subcuenca  $W$ , que son:

- Metodología del Manual de SWMM 5
- Metodología de Di Giano
- Metodología de Guo.

Para el presente trabajo de título se considera el método de las pérdidas lineales constantes.

## 2. Capítulo Segundo: Marco Conceptual

### 2.1. Modelamiento de cuencas urbanas

Desde los inicios del siglo XX, las grandes ciudades comenzaron a construir de redes de alcantarillado. Una de las principales razones que impulsaron esta iniciativa, fueron causas higiénicas, es decir, el brote de enfermedades se relacionó con una mala disposición de las aguas residuales (aguas servidas y aguas lluvias).

La rápida construcción de sistemas de alcantarillado, sin una base teórica sólida y sin considerar el crecimiento de la población urbana, tuvo como consecuencia que a principios de siglo XXI, las redes de alcantarillado se colapsaran. En base al colapso, se genera la necesidad de construir las redes de drenaje bajo criterios de ingeniería, logrando de esta manera que éstas sean capaces de sanear a la población existente y a la proyectada. Si bien en sus inicios la mayoría de las metodologías de diseño de redes de alcantarillado tenían un carácter local, es decir, se diseñaba para condiciones únicas de cada ciudad, se postuló el método racional para cálculo de caudal, como un método transversal. Éste método debido a la simplicidad de su aplicación y sus correctas estimaciones, aun continua vigente, existiendo correcciones para distintas zonas geográficas.

En la actualidad el modelamiento de cuencas urbanas se realiza mediante modelos numéricos a través del uso de computadoras. Para modelar una cuenca urbana existen una serie de metodologías de cálculo hidrológico, las cuales poseen como ventaja una mayor base física que el método racional, además de poseer la variable temporal.

**Método racional:** Posee gran simplicidad en su aplicación, pero sus valores tienen la tendencia a generar diseños sobredimensionados, no obstante, la aplicación del mismo es recomendable como valor de pre dimensionamiento y para el diseño de obras de bajo riesgo, en las cuales la obtención de datos puede ser más costosa que los costos asociados al sobredimensionamiento.

**Modelo de depósito:** Una metodología para representar el comportamiento de cuenca ante un evento de lluvia, son los denominados modelos de depósito, que a diferencia de la fórmula racional, poseen la dimensión temporal incluida en su base de cálculo. Para esta metodología, se considera la cuenca en estudio como un depósito, en el que se considera como datos de entrada, la intensidad de precipitación y como dato de salida el caudal de escorrentía generado por la cuenca, considerándose la diferencias de estos en el tiempo, como el almacenamiento o retención dentro de la cuenca. Los supuestos de este modelo, poseen una base física más completa que la fórmula racional, reconociendo variaciones en el tiempo.

**Modelo de onda cinemática:** Los modelos de onda cinemática, son modelos numéricos, los cuales para realizar el cálculo, consideran los efectos de la gravedad y de la fricción. Forman un subconjunto del modelo de onda dinámica, representando una forma simplificada de éste. Esta metodología posee una base física mayor a la de modelo de depósito, considerando más parámetros para el cálculo de escorrentía.

La utilidad de los modelos numéricos aplicados a la hidráulica e hidrología, poseen un rol fundamental en la actualidad, en el diseño de nuevas obras de drenaje, además de ser de vital utilidad en el análisis y evaluación de obras ya existentes. El uso de este tipo de herramientas, se ha masificado, debido al gran alcance que poseen, prestando un servicio invaluable a los profesionales dedicados al drenaje urbano.

El dimensionamiento de una red de drenaje, como lo es una calle, es más certero con el uso de modelos numéricos, debido a que se pueden representar fenómenos con varias variables, logrando como resultado, diseños más acotados y por lo tanto más económicos. Lo mismo sucede con el diseño de redes de colectores, donde, debido a la utilidad de estos sistemas, se pueden simular fenómenos que mediante métodos tradicionales de cálculo, no se pueden representar.

En Chile, el "Manual de Drenaje Urbano" (MDU), publicado en Octubre de 2013, indica cómo se debería realizar el diseño de redes de drenaje urbano. Destacándose que, la ley 19.525 asigna al Estado la responsabilidad de velar por el correcto funcionamiento y diseño de las redes de drenaje urbano. Como parte de esta responsabilidad es que en nuestro país, se diseña para que los sistemas de drenaje urbanos logren la disposición segura y eficiente de la escorrentía provocada por los eventos de precipitación sobre las ciudades, poblados y asentamientos humanos. Es sabido que la escorrentía producida por la precipitación es un recurso del cual se debe disponer de manera correcta y es por eso que, el Ministerio de Obras Públicas (MOP), exige el uso de redes separativas para la disposición de aguas residuales, considerándose procedimiento de disposición separados para aguas lluvias y aguas servidas. Para el diseño de nuevas redes de colectores, el MOP, exige la construcción de redes separativas (excepto casos excepcionales) y para el dimensionamiento de éstas sugiere el uso de modelos numéricos, entre los que aparece referenciado el programa SWMM 5. Cabe destacar que en la actualidad en Chile, existen una gran cantidad de proyectos que se han realizado con la asistencia de esta herramienta.

## **2.2. SWMM 5**

El programa SWMM 5, fue desarrollado bajo acuerdo de cooperación para la investigación y el desarrollo entre la división de abastecimiento de agua y recursos hídricos de la EPA (Water Supply and Water Resources Division) y la empresa consultora de ingeniería Camp Dresser & McKee Inc. La primera versión de este programa es de 1971 y actualmente ya va en su quinta edición.

SWMM es un modelo dinámico de simulación de lluvia-escorrentía, utilizado para realizar simulaciones de un único evento o continuas, calculando la cantidad y la calidad de escorrentía, principalmente en cuencas urbanas.

### **Características del Modelo Hidrológico**

Una de las características principales de un modelo hidrológico desarrollado en SWMM 5, es que puede representar precipitaciones variables en el tiempo, pudiéndose trabajar con datos reales. Además se puede representar el fenómeno de evaporación en aguas superficiales estancadas y acumulación y deshielo de nieve. Por otra parte SWMM 5 es capaz de representar la intercepción de precipitación por almacenamiento en depresiones, también es capaz de considerar la infiltración de precipitación por suelo no saturado, además de representar recarga de acuíferos por infiltración del agua y el intercambio de flujo entre acuíferos y su respectivo sistema de transporte.

### **Capacidades Hidráulicas**

En términos de capacidades hidráulicas SWMM 5 es capaz de representar una gran variedad de geometrías transversales de colectores, además es capaz de representar y evaluar el funcionamiento de elementos especiales de controles dinámicos como son bombas, vertederos, entre otros. SWMM permite modelar mediante distintos regímenes de flujo (remanso, entrada en carga, flujo inverso y acumulación en superficie, considerando distintos métodos, como son: flujo uniforme, onda cinemática u onda dinámica. Todo lo anterior aplica a redes sin limitaciones de tamaño.

### **Cálculo de Cargas Contaminantes**

SWMM 5 es capaz de calcular la carga de contaminantes en una red, considerando, acumulación del contaminante durante tiempo seco, arrastre del contaminante durante episodios de tormenta, contribución directa debido a la lluvia, reducción de la acumulación debido a la limpieza de calles en tiempo seco, reducción en cargas de arrastre debido a estrategias de manejo, seguimiento de las sustancias asociadas a la calidad del agua y reducción en la concentración del contaminante (tratamientos o procesos naturales).

## Aplicaciones y limitaciones.

A continuación la tabla 2-1, muestra las principales aplicaciones y limitaciones del programa SWMM 5, logrando una visión general del campo de aplicación del mismo.

Tabla 2-1, Aplicaciones y limitaciones de SWMM 5.

Aplicaciones	Limitaciones
Diseño y dimensionamiento de componentes de la red de Drenaje para prevenir inundaciones	No es recomendable en cuencas no urbanas de gran escala
Dimensionamiento de estructuras de retención y accesorios para el control de inundaciones y protección de la calidad de las aguas	No es aplicable para áreas forestadas o de cultivos regados
Evaluación del impacto de aportes e infiltraciones en las descargas de sistemas de evacuación de aguas residuales	Se recomienda no utilizarlo con información de precipitación muy agregada

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.1. Modelos de cálculo en SWMM 5

Los métodos de cálculo empleados por SWMM 5 para realizar las simulaciones, se pueden subdividir en dos grandes bloques, que son el cálculo hidrológico y cálculo hidráulico.

#### Cálculo Hidrológico:

A continuación se definen la serie de cálculos hidrológicos que considera SWMM 5 para una modelación.

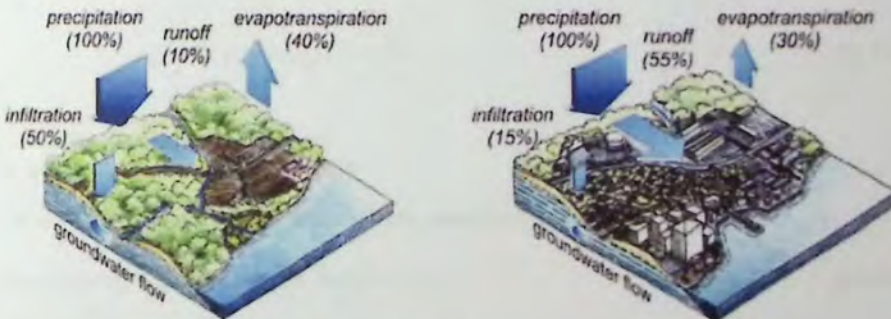


Figura 2-1, Modelo Hidrológico.

Para el cálculo de la escorrentía superficial, SWMM 5 utiliza el modelo de Depósito No Lineal como muestra la figura 2-2, en el que se considera que el comportamiento de una subcuenca es similar al de un depósito, el cual debe llenarse hasta lograr una altura  $dp$ , la cual representa el fenómeno de almacenamiento en depresión ocurrido en una cuenca antes de producirse la escorrentía. Una vez que la altura de agua es superior a  $dp$ , es decir, cuando ya se llenaron las depresiones de la cuenca, se produce la escorrentía ( $Q$ ). Es importante destacar que en el modelo de Depósito No Lineal, se consideran tres metodologías de pérdidas, que son evaporación, almacenamiento en depresión e infiltración. La figura 2-2 representa esquemáticamente el modelo de depósito no lineal.

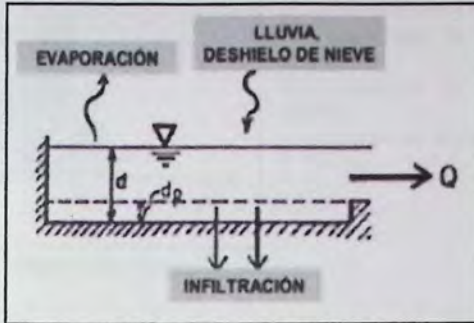


Figura 2-2, Modelo de depósito no lineal.

$d > dp \rightarrow Q$

$d$ : profundidad de agua en la cuenca

$dp$ : máximo almacenamiento en depresión

$Q$ : escorrentía superficial por unidad de área

Cada una de las sub áreas consideradas en un modelo se trata como un Depósito No Lineal, es decir cada zona permeable e impermeable de cada subcuenca.

El caudal de salida se obtiene con la ecuación 2-1 tipo Chezy-Manning,

$$Q = W * (d - dp)^{5/3} * \frac{\sqrt{10}}{n} \quad (\text{Ec.2-1})$$

$W$ : Ancho de subcuenca

$10$ : Pendiente media de la subcuenca

$n$ : coeficiente de rugosidad de Manning

$y$   $d$  se va actualizando con el balance de agua, ecuación 2-2.

$$\text{Área} * \text{Prec}_i - Q_{i+1} = \text{Área} * \frac{d_{i+1} - d_i}{\Delta t} \quad (\text{Ec.2-2})$$

$\text{Prec}_i$ : Intensidad de precipitación efectiva en tiempo  $i$

$Q_{i+1}$ : Caudal en un intervalo de tiempo  $i+1$

$d_{i+1}$ : Altura de agua en un intervalo de tiempo  $i+1$

$\Delta t$ : Intervalo de tiempo

Metodologías de infiltración consideradas en SWMM 5.

SWMM 5 ofrece tres metodologías para el cálculo de infiltración, en las que destacan la metodología de Horton como sigue:

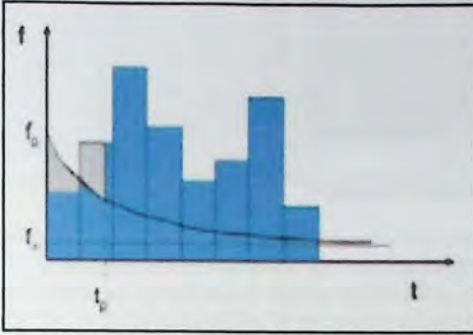


Figura 2-3, Gráfico infiltración en el tiempo.

La ecuación 2-3 de infiltración de Horton, se divide en los siguientes factores.

$$f = f_0 + (f_0 - f_b) * e^{-kt} \quad (\text{Ec. 2-3})$$

$f_0$ : Capacidad de infiltración inicial ó máxima.

$f_b$ : Capacidad de infiltración básica ó mínima.

$k$ : Constante de decaimiento.

$t$ : Tiempo.

La capacidad de infiltración se considera proporcional a la diferencia entre la capacidad de infiltración actual y la capacidad de infiltración final, introduciendo un factor de proporcionalidad  $k$ .

SWMM 5 también ofrece como método de infiltración para el desarrollo de un modelo, el método de Green-Ampt, el cual posee alta complejidad, debido que para su aplicación se requiere una serie de parámetros que no son de fácil obtención en un proyecto de ingeniería. Por consiguiente, si no se tienen los parámetros requeridos para la aplicación de éste método, no se recomienda su uso ya que solo generaría una mayor incertidumbre en los resultados.

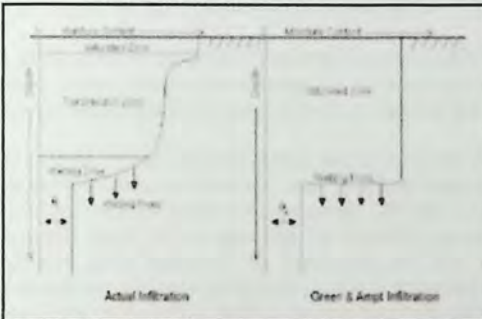


Figura 2-4, Esquema de infiltración de Green-Ampt

La ecuación 2-4 de infiltración de Green-Ampt se divide en los siguientes factores.

$$f = K_s * \left(1 + \frac{\psi_w f * \Delta \Theta}{F}\right) \quad (\text{Ec. 2-4})$$

$f$ : Tasa de infiltración.

$K_s$ : Conductividad hidráulica saturada.

$\psi_w f$ : Potencial del frente de infiltración.

$\Delta \Theta = \Theta_{sat} - \Theta_i$ : Déficit de humedad inicial.

$F$ : Infiltración acumulada.

A continuación se presentan los supuestos asociados a la hipótesis que plantea la utilización de éste método.

Hipótesis: (a) encharcamiento permanente con una lámina de agua somera; (b) suelo profundo y homogéneo, con un contenido inicial de humedad uniforme en profundidad; y (c) frente de avance de humedad plano.

## Infiltración: Método basado en la Curva Número

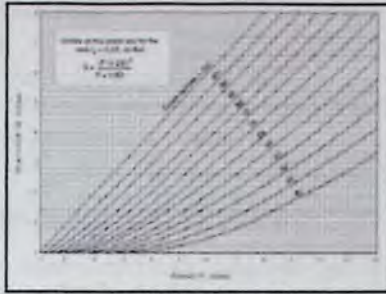


Figura 2-5, Gráfica Curva Número.

SWMM 5 ofrece como opción un método de infiltración basado en el método de la Curva Número (SCS) para estimar la Infiltración. La ventaja del presente método respecto a los dos anteriormente expuestos, es que requiere menos parámetros. Durante un evento de lluvia esta capacidad se representa como una función de la lluvia acumulada y de la capacidad de infiltración restante.

Adicionalmente SWMM 5 ofrece rutinas para considerar acumulación y derretimiento de nieve y también de calidad del agua, las cuales no aplican para el caso en estudio y por lo tanto solo se mencionan como una herramienta de cálculo ofrecida por el programa.

### Cálculo Hidráulico:

Para el cálculo hidráulico de las redes de drenaje, SWMM 5 ofrece tres métodos de resolución, que son el flujo permanente uniforme, el método de onda cinemática y el método de onda dinámica. Para el último, se considera el uso de las ecuaciones de Saint Venant en una dimensión. En la actualidad, debido a los adelantos tecnológicos y al creciente conocimiento en el área del drenaje urbano, se utiliza principalmente el método de onda dinámica, debido a que entrega mejores resultados y representa mejor los fenómenos ocurridos en una red de drenaje.

### Ecuaciones de Saint-Venant en una dimensión.

Las ecuaciones de Saint-Venant en una dimensión son un conjunto de ecuaciones diferenciales, que modelan los cambios de caudal y nivel de un líquido a lo largo del espacio unidimensional y, el tiempo de manera no permanente en un canal a superficie libre o abierta.

El conjunto de ecuaciones puede ser utilizado en múltiples contextos, como en la transformación de lluvia en escorrentía en una cuenca, para luego ser transitada a través de una corriente de agua de un río o de un sistema de tuberías. También puede ser utilizada para transitar flujos de aguas someras como en los sistemas de irrigación a través de un sistema de canales o de ríos. En general, estos procesos se presentan en tres dimensiones, pero para muchas aplicaciones prácticas es suficiente utilizar una aproximación unidimensional en la dirección de mayor relevancia que usualmente longitudinal al canal o dirección de flujo.

Las ecuaciones de Saint-Venant fueron desarrolladas por primera vez por el matemático e ingeniero francés Adhémar Jean Claude Barré de Saint-Venant en 1871 en su trabajo "Théorie du mouvement non permanent des eaux, avec application aux crues des rivières et à l'introduction des marées dans leur lit", publicado por la Academia de Ciencias de Francia. No obstante la forma de la ecuación de continuidad fue publicada en 1848 en su trabajo "Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux courantes".

El desarrollo de las ecuaciones requiere de las siguientes suposiciones:

- La profundidad y la velocidad de flujo solamente varía en la dirección longitudinal del canal.
- Las variaciones de profundidad y velocidad a lo largo del canal se realizan de manera gradual.
- El canal es aproximadamente lineal.
- La pendiente es pequeña.
- El lecho es fijo, es decir, que no hay erosión ni acreción.
- La resistencia puede ser calculada a partir de los modelos de flujo uniforme permanente.
- El fluido es incompresible y de densidad constante.

A continuación se presentan las Ecuaciones de Saint Venant:

El sistema de ecuaciones de Saint-Venant está compuesto por la ecuación de Continuidad y la ecuación de Cantidad de Movimiento o Momentum.

Ecuación de Continuidad:

La ecuación de Continuidad 2-5 en forma conservativa puede escribirse en términos del caudal (Q) y del área (A) de la siguiente manera:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial A}{\partial x} = 0 \quad (\text{Ec. 2-5})$$

O de manera no conservativa, ecuación 2-6, en términos de la velocidad media longitudinal (V) y la profundidad (Y) así:

$$V \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (\text{Ec. 2-6})$$

Ecuación de Momentum

La ecuación de Momentum 2-7 en forma conservativa puede escribirse en términos del caudal (Q), área (A), profundidad (Y), pendiente del canal ( $S_0$ ), pendiente de fricción ( $S_f$ ) y de la gravedad (g) de la siguiente manera:

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g (S_0 - S_f) = 0 \quad (\text{Ec. 2-7})$$

O de manera no conservativa, la ecuación 2-8, en términos de la velocidad media longitudinal (V) así:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g (S_0 - S_f) = 0 \quad (\text{Ec. 2-8})$$

A continuación se presentan una serie de comparaciones y simplificaciones entre modelos de cálculo:

Debido a que en varios contextos la solución de las ecuaciones de Saint-Venant presentan dificultades para encontrar una respuesta satisfactoria o, en ocasiones no es necesario utilizar todos los términos de las ecuaciones, existen tres simplificaciones básicas conocidas como: Onda Dinámica, Onda Difusiva y Onda Cinemática que se diferencian entre sí de acuerdo con los términos de la ecuación de momentum considerados, como muestra la figura 2-6

	$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t}$	$+\frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right)$	$+g \frac{\partial y}{\partial x}$	$-gS_0$	$+gS_f$	$= 0$
Aproximación	Término de aceleración local	Término de aceleración convectiva	Término de fuerza de presión	Término de fuerza gravitacional	Término de fuerza de fricción	
	Términos inerciales					
Onda dinámica	✓ Sí	✓ Sí	✓ Sí	✓ Sí	✓ Sí	✓ Sí
Onda difusiva	✗ No	✗ No	✓ Sí	✓ Sí	✓ Sí	✓ Sí
Onda cinemática	✗ No	✗ No	✗ No	✓ Sí	✓ Sí	✓ Sí

Figura 2-6, Términos de la ecuación de conservación de momentum.

También es posible, a partir de la ecuación de Momentum al expresar la pendiente de pérdida de energía  $S_f$  en función de los otros términos, definiendo tres tipos de flujo diferentes como muestra la figura 2-7.

0

	$S_f =$	$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t}$	$-\frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right)$	$-\frac{\partial y}{\partial x}$	$+S_0$
Aproximación		Término de aceleración local	Término de aceleración convectiva	Término de fuerza de presión	Término de fuerza gravitacional
	Términos inerciales				
Flujo no uniforme, no permanente		✓ Sí	✓ Sí	✓ Sí	✓ Sí
Flujo no uniforme, permanente		✗ No	✓ Sí	✓ Sí	✓ Sí
Flujo uniforme, permanente		✗ No	✗ No	✗ No	✓ Sí

Figura 2-7, Términos ecuación Saint Venant.

En base a lo anterior, se definen los modelos de onda cinemática y onda dinámica, con el fin de generar una explicación más completa de las metodologías de cálculo hidráulico ofrecidas por SWMM.

Modelo de la Onda Cinemática (Kinematic Wave):

Resuelve la ecuación de Continuidad junto con una forma simplificada de la ecuación de Cantidad de Movimiento en cada una de las conducciones, requiriendo que la pendiente de la superficie libre del agua sea igual a la pendiente de fondo del conducto.

El caudal máximo que puede fluir por el interior de un conducto es el caudal a tubo lleno determinado por la ecuación de Manning. Cualquier exceso de caudal sobre este valor en el nodo de entrada del conducto se pierde del sistema o bien puede permanecer estancado en la parte superior del nudo de entrada y entrar posteriormente en el sistema cuando la capacidad del conducto lo permita.

También permite que el caudal y el área varíen tanto espacial y temporalmente en el conducto, lo que origina una cierta atenuación y retraso en los hidrogramas de salida respecto de los caudales de entrada en los conductos, sin embargo no puede considerar efectos como el resalto hidráulico, las pérdidas en las entradas o salidas de los pozos de registro, el flujo inverso o el flujo presurizado, así como su aplicación está restringida únicamente a redes ramificadas. En general, es numéricamente estable con pasos temporales del orden de 5 a 15 minutos.

#### Modelo de la Onda Dinámica (Dynamic Wave):

Resuelve las ecuaciones completas unidimensionales de Saint Venant, que suponen la aplicación de la ecuación de continuidad y de cantidad de movimiento en las conducciones y la continuidad de los volúmenes en los nodos.

Éste modelo representa el flujo presurizado cuando una conducción cerrada se encuentra completamente llena, de forma que el caudal que circula por la misma puede exceder del valor de caudal a tubo completamente lleno.

Las inundaciones ocurren en el sistema cuando la profundidad del agua en los nodos excede el valor máximo disponible en los mismos. Este exceso puede perderse o puede generar un estancamiento en la parte superior del nudo y volver a entrar al sistema posteriormente.

También se puede contemplar efectos como el almacenamiento en los conductos, los resaltos hidráulicos, las pérdidas en las entradas y salidas de las cámaras de inspección, el flujo inverso y el flujo presurizado.

Se trata del método adecuado para sistemas en los que los efectos de resalto hidráulico, originados por las restricciones del flujo aguas abajo y la presencia de elementos de regulación tales como orificios y vertederos, sean importantes.

Se necesitan pasos temporales más pequeños, del orden del minuto (SWMM reduce automáticamente el paso temporal si es necesario para mantener la estabilidad numérica).

## 2.3. Ancho de subcuenca W:

Conceptualmente, una cuenca es una unidad hidrológica que se define mediante una serie de parámetros característicos de la misma, los cuales guardan relación con las propiedades geométricas, urbanas y geológicas de la misma. Mediante la aplicación de modelos numéricos y en especial en modelos de base física, se hace posible representar una cuenca y el comportamiento de la misma ante fenómenos naturales. Es evidente que una cuenca es una unidad compleja y por lo tanto definirla en base a parámetros no es sencillo, lograr abstraer lo elemental de estas es un proceso que requiere un gran nivel de conocimiento, en el sentido de saber qué es lo que caracteriza y por lo tanto genera la respuesta de una cuenca ante un evento hidrológico.

Según indica el Manual de SWMM 5, se debe definir un porcentaje de impermeabilidad para cada subcuenca modelada en él. Es importante destacar que en SWMM se considera zona permeable, a todas aquellas que posean ésta característica como son jardines y parques, además de las zonas impermeables directamente conectadas a éstas, como son por ejemplo los techos, los cuales descargan sobre las zonas permeables.

Existe una gran diferencia en el comportamiento de una cuenca urbana respecto a una natural, siendo una de los principales diferencias, el nivel de impermeabilidad de ambas. En una cuenca

natural se puede hablar de una cuenca permeable y por el contrario en una urbana se puede hablar de cuencas impermeables y por consiguiente el comportamiento de las mismas, será muy diferente respecto a un mismo evento hidrológico.

La pendiente característica de una cuenca, es otro valor fundamental que se debe considerar al momento de modelar a la misma. Las cuencas urbanas a diferencia de las cuencas naturales, poseen pendientes mas suavizadas debido a la urbanización y nivelación de las mismas, por lo tanto el comportamiento de una cuenca natural, respecto a si misma una vez que ha sido urbanizada, es diferente debido a la pendiente, ahora si se agrega la variable anteriormente descrita, que es el porcentaje de impermeabilidad, la cuenca hipotética que se acaba de mencionar, dista mucho de su estado primitivo, es decir de la cuenca natural.

Para definir las características de una cuenca, también se debe considerar la rugosidad del suelo, ya que genera un alto impacto en el comportamiento de la misma, una cuenca puede tener calles impermeables, pero si las calles son empedradas, de hormigón o de asfalto, el comportamiento no es el mismo y por lo tanto se debe tratar de manera distinta cada uno de los casos. Lo anteriormente mencionado aplica también para la zona permeable, ya que no es lo mismo considerar un bosque, que un parque o u camino de tierra. Una buena definición de la rugosidad de las superficies que componen la cuenca, significa un modelo mucho más cercano a la realidad en cuanto a las características de la cuenca y por lo tanto de la respuesta de la misma.

Para conocer el comportamiento de una cuenca, es de vital importancia, conocer el almacenamiento en depresión que es capaz de tener la misma, tanto en sus zonas permeables como impermeables. Esto quiere decir que se debe conocer cuál es la capacidad de almacenamiento de la cuenca, antes de que se genere escorrentía. Este es un valor fundamental ya que los valores para una cuenca urbana respecto a una natural, son diametralmente distintos y por lo tanto el comportamiento también lo es. En las zonas urbanas, el almacenamiento en depresión de las zonas impermeables define el comportamiento de la cuenca, mientras que en las cuencas naturales, el comportamiento de la misma se ve definido por el almacenamiento en depresión de las zonas permeables.

Para definir el comportamiento de una cuenca, se debe definir la forma de infiltrar del agua precipitada sobre la misma, es decir, se debe considerar alguna metodología que represente de mejor manera la infiltración en la cuenca. Para este ítem, el programa SWMM 5, considera tres metodologías, que son el método de infiltración de Horton, el método de Green-Ampt y el método de Curva Número, considerando cada uno los parámetros asociados a cada método. Es responsabilidad del modelador, escoger el método que considere más representativo para el caso en estudio. Para el presente estudio se considera el método de pérdidas lineales constantes el cual se explica posteriormente.

Uno de los parámetros que genera mayor incertidumbre por la complejidad de su cálculo y por su influencia en los resultados, es el ancho de subcuenca  $W$ , para el cual existen diversas metodologías para su estimación.

El ancho de subcuenca, según indica el manual de SWMM 5 [4] se puede definir como el área de la subcuenca dividida por la longitud de la trayectoria de flujo superficial más larga que el agua puede viajar. Si hay varios de estos caminos entonces se podría usar un promedio de sus longitudes para calcular una anchura.

En la aplicación de este enfoque se debe tener cuidado de no incluir flujo canalizado como parte de la trayectoria de flujo. En las áreas naturales, la escorrentía superficial sólo puede ocurrir a distancias de unos 500 metros antes de que comience a consolidarse en el flujo de arroyo. En las cuencas urbanizadas, la escorrentía superficial puede ser muy corta antes de que se recoja en canales abiertos o tuberías. La duración máxima de flujo superficial de 500 metros es apropiada para las cuencas no urbanas, mientras que la longitud típica flujo superficial es la longitud de la parte posterior de un lote representativo del centro de la calle para las cuencas urbanas. Si la

longitud del flujo superficial varía mucho dentro de la subcuenca, se debe utilizar un promedio ponderado por área.

Debido a que no siempre es fácil de identificar con precisión todas las vías de flujo por tierra dentro de una subcuenca, el parámetro de ancho es a menudo considerado como un parámetro de calibración cuyo valor puede ser ajustado para producir un buen ajuste entre los hidrogramas de escorrentía observados y calculados [2].

## 2.4. Estado del arte

El uso de sistemas de simulación de eventos hidrológicos, se ha convertido actualmente, en una constante en el diseño y modelamiento de sistemas hidráulicos e hidrológicos. Aprovechando el alcance y la ventaja que presentan estos programas versus los métodos tradicionales de cálculo, estos se han implantado como una nueva y potente alternativa para el diseño. Un ejemplo de esto es el programa SWMM 5.0 desarrollado por la EPA el cual es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, que puede ser utilizado para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en periodo extendido. SWMM se desarrolló por primera vez en 1971, habiendo experimentando desde entonces diversas mejoras. La edición actual, que corresponde a la 5ª versión del programa, es un código reescrito completamente a partir de ediciones anteriores.

Para el modelamiento de una cuenca urbana en SWMM, se deben considerar una serie de procesos que describen el comportamiento, tanto en términos hidráulicos, hidrológicos y urbanísticos. Para representar estos procesos se deben definir parámetros representativos de los mismos, además de conocerse datos de terreno, como son el uso y tipo de suelo, las pendientes del mismo, y datos de la red hidráulica, como cotas de cámaras de registro, geometría de secciones transversales de colectores, entre otros.

Una vez recopilada la información descriptiva de la zona en estudio, se debe definir la superficie a estudiar y si se analizará como una zona completa o se subdividirá en subunidades representativas de la misma, haciendo de esta manera un análisis integral y más detallado de la misma.

El ancho de subcuenca  $W$  (Subcatchment Width), es un parámetro que usualmente se utiliza como de calibración [2], logrando ajustar los hidrogramas computados a los observados. Debido a la irregularidad geométrica de las cuencas naturales, estimar un ancho representativo se torna complejo, por lo que como se menciona anteriormente un parámetro  $W$ , pasa a ser un parámetro de ajuste.

La estimación del parámetro  $W$  se puede realizar según metodologías propuestas por diversos autores, las cuales difieren en su formulación y en su base conceptual. Lo anteriormente mencionado genera incertidumbre entre los profesionales dedicados a la modelación, siendo la interrogante, cuál de las formulaciones propuestas es la más adecuada para cada caso. Otra interrogante que surge es si la metodología de cálculo del ancho de subcuenca  $W$ , se relaciona con el nivel de discretización de la cuenca, es decir con la superficie de las subcuencas en que se discretiza la cuenca en estudio.

Cálculo de ancho de subcuenca según metodología propuesta en manual de usuario de SWMM 5:

Una aproximación inicial para el cálculo del ancho de subcuenca es considerar la ecuación 2-9:

longitud del flujo superficial varía mucho dentro de la subcuenca, se debe utilizar un promedio ponderado por área.

Debido a que no siempre es fácil de identificar con precisión todas las vías de flujo por tierra dentro de una subcuenca, el parámetro de ancho es a menudo considerado como un parámetro de escorrentía observados y calculados [2].

## 2.4. Estado del arte

El uso de sistemas de simulación de eventos hidrológicos, se ha convertido actualmente, en una constante en el diseño y modelamiento de sistemas hidráulicos e hidrológicos. Aprovechando el alcance y la ventaja que presentan estos programas versus los métodos tradicionales de cálculo, estos se han implantado como una nueva y potente alternativa para el diseño. Un ejemplo de esto es el programa SWMM 5.0 desarrollado por la EPA el cual es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, que puede ser utilizado para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en periodo extendido. SWMM se desarrolló por primera vez en 1971, habiendo experimentando desde entonces diversas mejoras. La edición actual, que corresponde a la 5ª versión del programa, es un código reescrito completamente a partir de ediciones anteriores.

Para el modelamiento de una cuenca urbana en SWMM, se deben considerar una serie de procesos que describen el comportamiento, tanto en términos hidráulicos, hidrológicos y urbanísticos. Para representar estos procesos se deben definir parámetros representativos de los mismos, además de conocerse datos de terreno, como son el uso y tipo de suelo, las pendientes del mismo, y datos de la red hidráulica, como cotas de cámaras de registro, geometría de secciones transversales de colectores, entre otros.

Una vez recopilada la información descriptiva de la zona en estudio, se debe definir la superficie a estudiar y si se analizará como una zona completa o se subdividirá en subunidades representativas de la misma, haciendo de esta manera un análisis integral y más detallado de la misma.

El ancho de subcuenca  $W$  (Subcatchment Width), es un parámetro que usualmente se utiliza como de calibración [2], logrando ajustar los hidrogramas computados a los observados. Debido a la irregularidad geométrica de las cuencas naturales, estimar un ancho representativo se toma complejo, por lo que como se menciona anteriormente un parámetro  $W$ , pasa a ser un parámetro de ajuste.

La estimación del parámetro  $W$  se puede realizar según metodologías propuestas por diversos autores, las cuales difieren en su formulación y en su base conceptual. Lo anteriormente mencionado genera incertidumbre entre los profesionales dedicados a la modelación, siendo la interrogante, cuál de las formulaciones propuestas es la más adecuada para cada caso. Otra interrogante que surge es si la metodología de cálculo del ancho de subcuenca  $W$ , se relaciona con el nivel de discretización de la cuenca, es decir con la superficie de las subcuencas en que se discretiza la cuenca en estudio.

Cálculo de ancho de subcuenca según metodología propuesta en manual de usuario de SWMM 5:

Una aproximación inicial para el cálculo del ancho de subcuenca es considerar la ecuación 2-9:

$$w = \frac{A}{L}$$

(Ec. 2-9)

Donde:

W: ancho subcuena

A: área subcuena

L: máxima longitud de escurrimiento en la cuena hasta que este se canaliza.

La metodología de cálculo de W planteada en el Manual de SWMM 5, sirve como metodología de estimación del mismo para subcuenas de cualquier geometría. Se debe tener en consideración que si los valores obtenidos con ésta metodología no generan buenos resultados, estos se pueden variar ya que como se indica en el manual de SWMM éste parámetro es de calibración.

Cálculo de ancho de subcuena según metodología propuesta por Di Giano:

Otra estimación inicial de igual validez que la primera es la propuesta por Di Giano [8] con la ecuación 2-10:

$$w = (2 - Sk) * L \quad (\text{Ec. 2-10})$$

Donde los parámetros para la estimación del ancho de subcuena W son los siguientes:

W: ancho subcuena

L: Longitud del colector principal que atraviesa la cuena.

Sk: Coeficiente de asimetría  $Sk = \frac{(A_{mayor} - A_{menor})}{A_{total}}$

A<sub>mayor</sub>: fracción de mayor superficie respecto a la división del área total de la subcuena y el colector que la divide.

A<sub>menor</sub>: fracción de menor superficie respecto a la división del área total de la subcuena y el colector que la divide.

A<sub>total</sub>: Área total de la subcuena.

Esta estimación es recomendable para cuenas de geometría irregular [3].

La diferencia fundamental respecto a la estimación anterior es que el carácter de esta es netamente geométrico, por consiguiente desconoce las propiedades físicas de la cuena (o subcuenas en estudio). Es importante destacar que a pesar de la limitación anterior, la mayoría de las subcuenas reales son irregulares en forma y tendrán un colector de drenaje que está fuera del centro (excéntrico). Esto es especialmente cierto de las cuenas rurales o no desarrolladas [2].

Cálculo de ancho de subcuenca según metodología propuesta por Guo:

Una estimación inicial distinta es la planteada por Guo y Urbonas en el año 2009, en la que se indica que para eliminar la irregularidad geométrica de las subcuencas, estas se pueden homologar por planos rectangulares de escorrentía, los cuales tienen valores propios de área, ancho y pendiente. Para realizar esta transformación, en base a una serie de análisis y pruebas, se define que mediante factores de forma se puede lograr esta transformación geométrica que todo cuando no hay datos in situ para calibrar los modelos. Una de las limitantes de esta metodología es elegir un ancho de subcuenca rectangular de escorrentía que sea equivalente al de la cuenca real. Una estimación sencilla es considerar el ancho ( $W$ ), como dos veces el largo del canal central de una cuenca, para cuencas simétricas respecto al mismo [5]. Lo anteriormente mencionado no aplica para cuencas que no sean simétricas, limitando su aplicación. Otra estimación propuesta indica que  $W$  debe ser calculado como 1.7 veces el largo del flujo canalizado de la cuenca [8]. Se hace evidente entonces, que no existe una guía clara de cómo calcular el parámetro  $W$  y se hace recomendable siempre estimarlo en base a una calibración [5]; sin calibración las estimaciones dependen solo de la experiencia del modelador [5]. A pesar de esto, Guo y Urbonas plantean un modelo que permite estimar el ancho de subcuenca para las cuencas rectangulares equivalentes de escorrentía mediante una aproximación que considera factores de forma y la ubicación del flujo canalizado de la cuenca, logrando mediante un modelo polinomial (parabólico), generar una formulación que permita el cálculo del parámetro en cuestión.

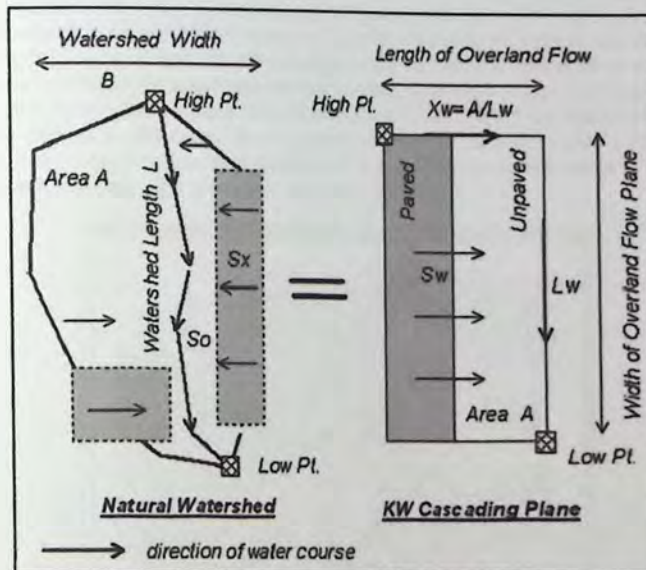


Figura 2-8, Esquema metodología de Guo.

Es evidente en base a lo anteriormente mencionado, que existe una amplia gama de opciones de estimación del ancho de subcuenca  $W$ , las cuales se basan en suposiciones conceptuales y en algunos casos en validación experimental, pero no queda claro cuál de ellas es la más adecuada.

### 3. Capítulo Tercero: Desarrollo de la metodología de comparación entre tres métodos para estimar W

El presente estudio, desarrolla en la zona de La Riereta, ubicada de en Sant Boi de Llobregat, en la provincia de Barcelona, España. Se considera un área urbanizada correspondiente al casco histórico de la ciudad. El estudio contempla probar tres metodologías de cálculo de W, sobre tres niveles de discretización.

#### 3.1. Recopilación de la información de la red.

Para la realización de un modelo hidrológico en SWMM 5, se deben tener una serie de datos que representen a la zona en estudio. Información de fundamental importancia en el presente caso, es conocer la configuración de la red de drenaje que realiza el saneamiento de la zona en estudio, tanto su configuración espacial, como su materialidad y geometría, es decir, donde se emplaza y cuál es la forma de las secciones que la componen. Una vez conocidos estos dos parámetros, se puede tener una concepción preliminar del funcionamiento y comportamiento de la red en estudio. Para el presente caso de estudio, se considera recopilar la información de los principales colectores que transportan las aguas residuales de la cuenca y las cámaras que los conectan. Entre la información recopilada destacan: Material, diámetro, longitud y geometría de los mismos, así como también se recoge la información de las respectivas cámaras que unen los tramos de colector, obteniéndose de estas: Colectores que conectan y cota de radier y cota de anillo de cada cámara. Con todos los datos anteriormente mencionados, se puede modelar la red, conociendo las pendientes y por lo tanto la dirección del que sigue el flujo de agua al interior de la misma. Para la recopilación de la información anteriormente mencionada, se analiza el plano de AutoCAD (adjunto en anexo digital) de la cuenca urbana llamada La Riereta, recibido en la entrega de información del estudio. En él destaca la información de la ubicación espacial de cámaras y colectores, además de indicarse los datos anteriormente mencionados. Una vez filtrada y seleccionada la información a utilizar, esta está lista para ser ingresada al programa SWMM 5.



Figura 3-1, AutoCad zona Sant Boi de Llobregat.

## **3.2. Recopilación de la información urbana.**

Si bien conocer la información de la red genera una idea clara del funcionamiento de la misma, para obtener una visión general del funcionamiento y comportamiento de la cuenca en estudio, se debe hacer un análisis de la configuración urbana de la zona a estudiar. Conocer la configuración urbana es de gran utilidad ya que da nociones del uso del suelo, es decir, conocer la ubicación de calles, parques, casas, edificios, etc. Por otra parte se puede conocer la distribución de las calles, lo cual da luces de las vías de escurrimiento del agua. Además se pueden conocer los tipos de techumbres presentes en la zona, lo cual es un factor de gran importancia para esta clase de estudios, debido a que explica cómo escurre el agua a través de los techos.

Mediante un análisis utilizando el programa Google Earth, se observa la configuración urbana de la zona en estudio, obteniendo de esto, estimaciones de valores fundamentales para el modelamiento de la cuenca urbana en estudio, como son, las pendientes de la zona y el porcentaje de impermeabilidad de la misma. Otro factor importante es que mediante el programa anteriormente mencionado, se pueden conocer las vías de escurrimiento superficial de la cuenca.

## **3.3. Definición de la zona en estudio.**

Para definir la zona en estudio, se toma en consideración, principalmente lo referido a encerrar una fracción representativa de la cuenca de la cual se tienen datos de precipitación y caudal, es decir una zona donde estos datos sean válidos. Una vez definido esto, se procede, en base a la información de la red y de la urbanización de la zona, a delimitar la zona en estudio, a partir de lo que se define como la salida de la cuenca (Outlet) y las zonas aportantes a la misma, es decir que tanto la escorrentía como el flujo de la red aportan a este punto. Mediante este procedimiento y partiendo de lo que se ha definido como la salida de la cuenca, se comienza a hacer el análisis de las zonas que aportan, logrando un universo aportante de 18 hectáreas correspondiente a la zona a estudiar en el presente trabajo de título. La superficie anteriormente descrita transforma la precipitación ocurrida en el área de estudio, en caudal a la salida de la cuenca.

### **3.3.1. Descripción de la zona en estudio:**

En la provincia de Barcelona, situado en el delta del río Llobregat, se encuentra la zona denominada Sant Boi de Llobregat. Una zona urbanizada de alrededor de 22km<sup>2</sup> de superficie y una población aproximada de 80.000 habitantes. En la localidad de Sant Boi de Llobregat, se ubica una zona llamada La Riereta, de superficie aproximada de 18 hectáreas. La zona anteriormente mencionada se ubica en el casco histórico de la ciudad, el cual presenta un muy alto nivel de impermeabilidad. Además posee calles con pendientes de media a alta, sobre las cuales descarga la lluvia de los techos.

La zona de La Riereta posee un sistema unitario de alcantarillado, el cual conduce el agua lluvia que cae en la zona. Se entiende por sistema unitario, a aquellos sistemas de recolección de aguas residuales que en un mismo sistema de red recolectan, tanto aguas servidas como aguas lluvias.



Figura 3-2, Cuenca de Estudio.

### 3.3.2. Discretización de una cuenca.

El uso de modelos numéricos de base física para la simulación, diseño y/o verificación hidráulica de sistemas de drenaje pluvial se ha generalizado en los últimos años, siendo ejemplo de esto, el manual de drenaje urbano publicado en 2013 por el Ministerio de Obras Públicas, que recomienda el uso de estos sistemas. Sin embargo, los ingenieros encargados de realizar estos modelamientos, se encuentran ante la incertidumbre: ¿Cual es la superficie óptima de las subcuencas para realizar la discretización de un modelo?

El nivel de discretización determina directamente el grado de simplificación de los datos y de concentración de los parámetros de las subcuencas [3].

El grado de discretización que tenga un modelo, define el nivel de detalle que se pretende alcanzar en un estudio. Subcuencas de gran tamaño indican un análisis de bajo grado de detallamiento ya que todos los parámetros se muestran más agregados y muchos valores tienden a ponderarse, además de reducirse el número de colectores, ya que solo que consideran los principales, es decir, se considera que una cuenca aporta a una cámara y el colector asociado a la misma, transporta todo el caudal de escorrentía asociado a la misma, independiente del tamaño de la cuenca en estudio. En contraste, una discretización en subcuencas de baja superficie, logra que el nivel de detallamiento sea mayor, representando de manera más realista los fenómenos que ocurren en las subcuencas. En una discretización en subcuencas de baja superficie, los parámetros cobran un sentido más físico, ya que representan de manera local, fenómenos que a mayor escala se consideran globales. El inconveniente para este tipo de modelamiento es que demandan mayor

cantidad de tiempo que uno más agregado, pero a la vez generan valores más cercanos a la realidad. Ese es el problema al que se enfrentan los ingenieros.

Si bien se ha estudiado el efecto del tamaño de las subcuencas en el modelamiento, no existe una guía ni una serie de recomendaciones que indiquen, que nivel de discretización es adecuado para cada caso o serie de casos.

### 3.3.3. Discretización cuenca La Riereta:

En base a un plano en formato AutoCAD que representa la zona de La Riereta, se define la zona en estudio, la cual corresponde a una superficie de 18 hectáreas, la cual se discretiza en tres niveles como se explica a continuación.

- **Discretización Macro:** Debido a la superficie de las subcuencas en las que se discretiza la cuenca de La Riereta, las cuales alcanzan un 25% de la superficie total cada una (alrededor de 4.5 hectáreas) este es el nivel de discretización que posee parámetros más agregados del presente trabajo de título.  
Para el presente nivel de discretización, se consideran valores globales ponderados que representan los parámetros que describen a cuenca de La Riereta. Debido a la amplitud de las subcuencas, gran parte de estos parámetros, pierden su base física, pasando a ser más bien parámetros de calibración, representando a la cuenca de una manera conceptual.  
Se destaca que a este nivel de discretización, no se considera la totalidad de la red de drenaje sino, solo la fracción que cumple la función de transportar la escorrentía producida por las subcuencas. Por consiguiente se entiende que se consideran también solamente las cámaras asociadas a los colectores anteriormente mencionados. Los dos últimos criterios referentes a colectores y cámaras, evidencian lo agregado de este nivel de discretización, ya que se pretende que solo una parte de la red, represente a la totalidad de esta. Todo lo anteriormente descrito, da luces de que este nivel de discretización, si bien representa a la cuenca, lo hace de una manera global.
- **Discretización Meso:** el presente nivel de discretización es el más utilizado por los ingenieros dedicados a modelar sistemas de drenaje urbano, debido a la superficie unitaria que se le asigna a las subcuencas, es decir, se consideran subcuencas de una hectárea (para el presente caso, 5% de la superficie total aproximadamente). Si bien el presente nivel de discretización representa bien zonas urbanas y posee parámetros que describen mejor a las subcuencas que el nivel macro, no logra generar un nivel de detallamiento tal que logre dar un sentido físico a los parámetros de la cuenca.  
Para el presente nivel de discretización, en lo referido a colectores y cámaras, se utiliza el mismo criterio que en la discretización macro, es decir, se utiliza la fracción de colectores y cámaras que recolecte la escorrentía producida en las subcuencas. Si bien se considera una fracción de red mayor que en el nivel macro, no se utiliza la totalidad, lo cual genera incertidumbre.
- **Discretización Micro:** El presente nivel de discretización es el más detallado de los tres que conforman el presente estudio, considerando subcuencas se superficie 0.2 hectáreas (poco mayor al 1% de la superficie total). Este nivel de discretización da sentido físico a los parámetros que definen a las subcuencas, ya que divide a la cuenca principal en sub unidades tan pequeñas, que se puede representar a cada una con características propias y reales. En este caso en particular, el ancho de subcuenca  $W$ , cobra sentido físico, al punto de hacerse evidente mediante inspección visual. En lo referido a colectores y cámaras, para este nivel de discretización, se considera una fracción de la red muy superior al de los otros dos niveles de discretización, representando de manera más certera el funcionamiento real de la cuenca de La Riereta. Si bien este nivel genera mayor seguridad

ya que representa de manera más realista a la cuenca, es también el nivel que demanda más tiempo y trabajo para su realización y este inconveniente pone en duda su aplicabilidad, debido a que el tiempo es un recurso del que no siempre se dispone en el área de la ingeniería.

Con el fin de conocer como escurre el agua en una cuenca, los programas de modelos numéricos, necesitan conocer y definir las características de la cuenca estudiada. Utilizando el programa AutoCAD, se define la zona en estudio, que corresponde a 18 Hectáreas de la cuenca La Riereta, la cual se discretiza en subcuencas, tomando como criterio, el flujo del agua en base a las pendientes y las calles.

### 3.3.4. Definición de parámetros hidráulicos de la cuenca.

El sistema actual de drenaje de la cuenca de La Riereta, se forma principalmente de tuberías circulares. Se considera un coeficiente de rugosidad de 0.014 debido a que la mayoría de las tuberías son de concreto. Cada cámara y tubería modelada en SWMM, se ubicaron según lo indicado en el archivo AutoCAD mostrado en la figura 3-1. La cantidad de conducciones modeladas se definen según el nivel de discretización. Para cada conducción se definen las propiedades asociadas.

Tabla 3-1, Características Conducciones.

Escala	N° Subcuencas	Longitud (m)	Rugosidad	N° tramos conducción
Micro	90	3295	0.014	47
Meso	18	963	0.014	11
Macro	4	756	0.014	8

Fuente: Elaboración propia

Para cada conducción del sistema modelada en SWMM, necesita forma, diámetro, coeficiente de rugosidad los nodos de entrada y salida. Para las cámaras de SWMM, se definen las cotas de radier y de anillo. Toda la información anteriormente descrita, se obtiene del plano de AutoCAD adjunto.

### 3.3.5. Definición de eventos de lluvia.

En la elaboración de los modelos que constituyen la base de cálculo del presente trabajo de título. Se utiliza una serie de eventos de lluvia, las cuales forman parte fundamental de los modelos de cálculo, ya que en base a las características de estas, se puede conocer el funcionamiento de la cuenca en estudio y calibrar los parámetros de la misma para representar su reacción ante estos eventos.

Para el presente trabajo de título se utilizan siete eventos de lluvia, los cuales corresponden al registro de intensidad de precipitación y caudal, medidos cada 1 minuto. En el presente trabajo de título se estudia el comportamiento de la cuenca para los tres niveles de discretización anteriormente mencionados y las tres metodologías de cálculo del ancho de subcuenca W.

Si bien un evento de lluvia es un evento continuo, la medición de intensidad de la misma, se hace de manera discreta y en función de los instrumentos disponibles, se define el intervalo de tiempo

en que se medirá. A continuación se presenta el resumen de las principales características de los siete eventos de lluvia.

Tabla 3-2, Características principales de los eventos de lluvia del estudio.

Lluvia	Duración (min)	Caracterización Lluvias y caudales						
		Ptotal (mm)	Imax (mm/h)	Imedia (mm/h)	Qpeak (m <sup>3</sup> /s)	Tiempo Qpeak (min)	Vol Prec (m <sup>3</sup> )	Vol Esc (m <sup>3</sup> )
Fidel	187	11.59	12.49	3.72	0.212	73	2814.04	1011.42
Efrén	96	5.4	19.81	3.41	0.463	70	2090.62	622.44
Jordi	168	15.6	36.92	5.54	1.014	69	1658.57	385.98
Susana	37	9.19	38.87	8.1	0.446	21	974.1	402.96
Santa Cecilia	43	5	22.32	6.98	0.306	32	902.11	215.4
Elías	19	4.8	33.99	15.14	0.349	10	901.98	343.2
Martina	100	5	16.98	5.51	0.161	92	865.39	203.34

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presentan una serie de gráficos los cuales muestran la duración de las lluvias, intensidad de precipitación y caudal producido por las mismas.

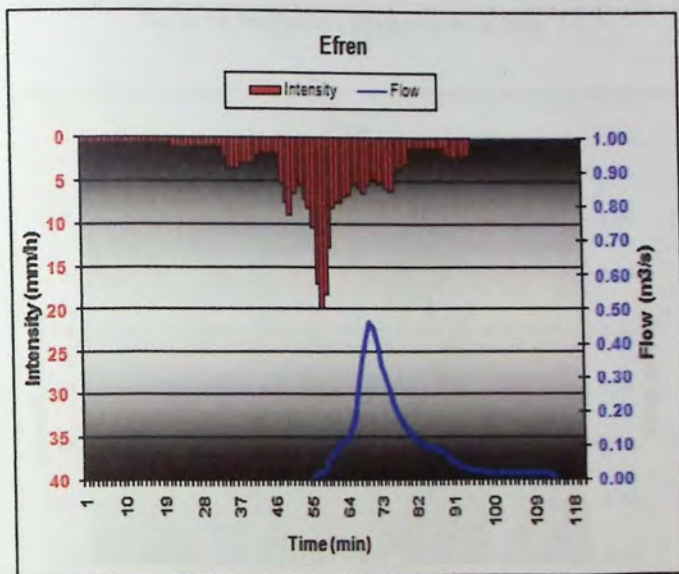


Figura 3-3, Hidrograma e Hietograma lluvia Efrén.

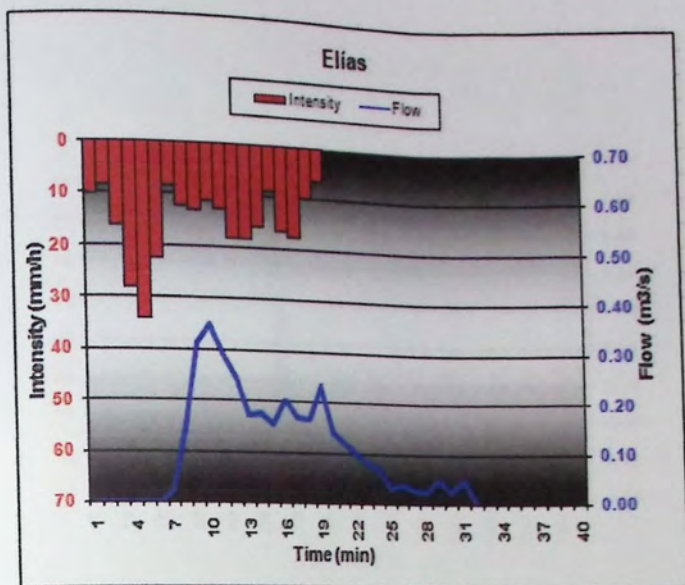


Figura 3-4, Hidrograma e Hietograma lluvia Elías.

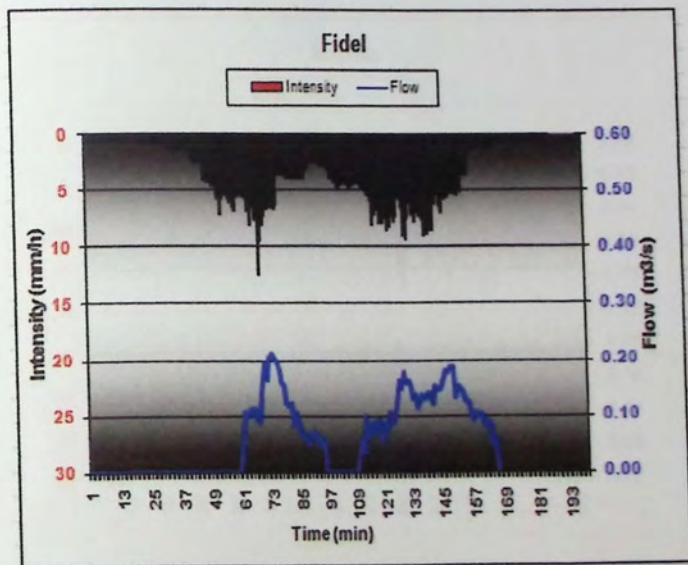


Figura 3-5, Hidrograma e Hietograma lluvia Fidel.

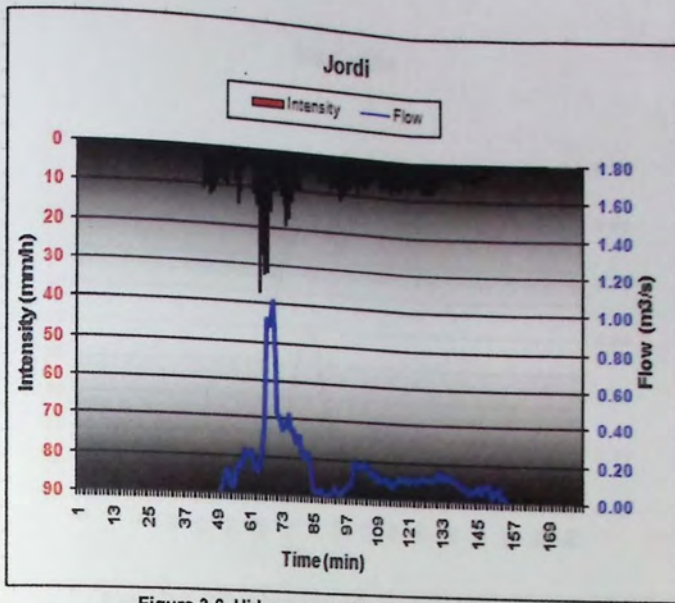


Figura 3-6, Hidrograma e Hietograma lluvia Jordi.

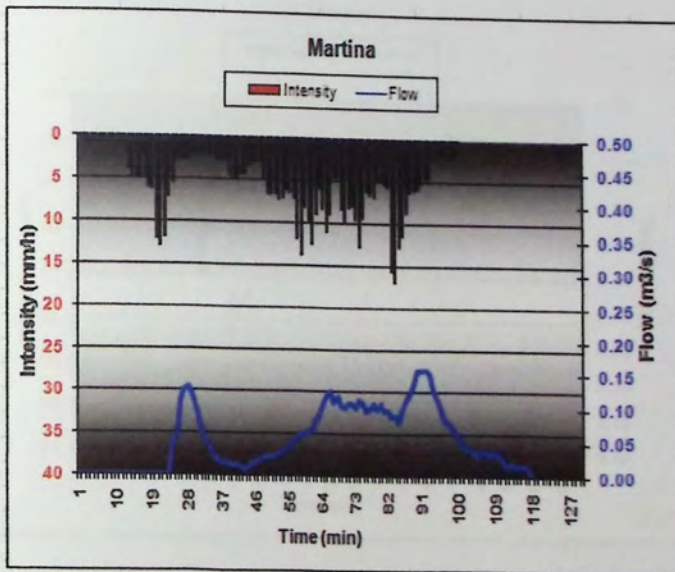


Figura 3-7, Hidrograma e Hietograma lluvia Martina.

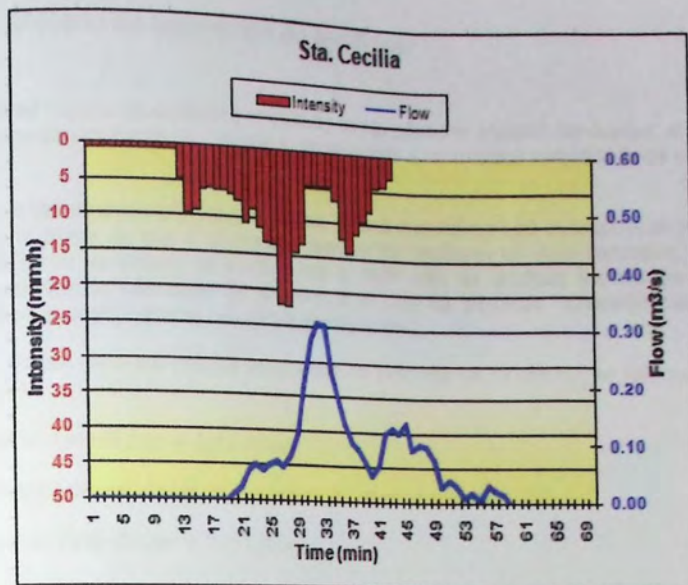


Figura 3-8, Hidrograma e Hietograma lluvia Santa Cecilia.

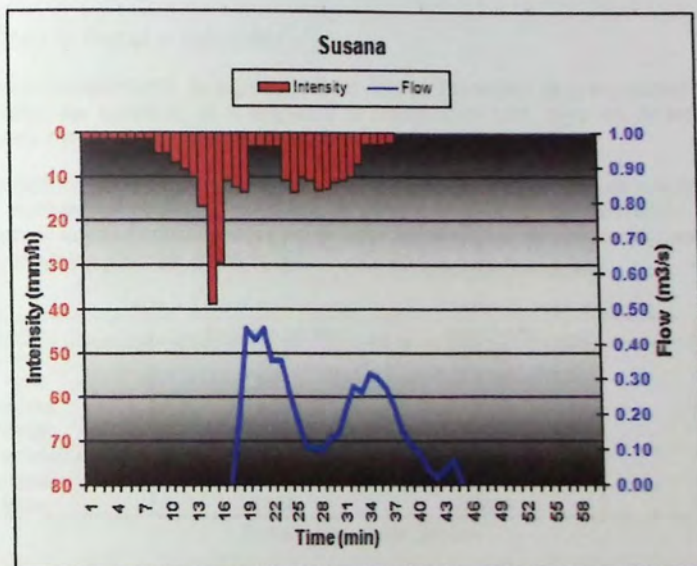


Figura 3-9, Hidrograma e Hietograma lluvia Susana.

### 3.3.6. Método de estimación de pérdidas.

En el presente estudio se considera el método de las pérdidas lineales constantes, el cual, si bien no es ofrecido directamente por SWMM 5, corresponde a un método simplificado de estimación de pérdidas.

El método de las pérdidas lineales constantes, es una metodología de estimación de pérdidas, que se basa en la teoría de que él se pueden representar mediante un valor constante, las pérdidas ocurridas durante un evento de lluvia y por lo tanto solo se produce escorrentía en aquellos intervalos en que la intensidad es superior a la tasa de pérdidas constante calculada. Este procedimiento se logra como se muestra a continuación.

El método de las pérdidas lineales constantes en términos de infiltración se realiza mediante la ecuación 3-1.

$$I_{total} = I_{pérdidas} + I_{efectiva} \quad (\text{Ec. 3-1})$$

Que en términos de volúmenes se puede escribir como la ecuación 3-2:

$$V_{total} = V_{pérdidas} + V_{efectiva} \quad (\text{Ec. 3-2})$$

Una vez calculado el volumen total de pérdidas, se puede calcular la intensidad efectiva de precipitación, como la ecuación 3-3:

$$I_{efectiva} = I_{total} - I_{pérdidas} \quad (\text{Ec. 3-3})$$

Mediante este procedimiento, se logra calcular un valor de intensidad de precipitación de pérdidas, el cual es debe ser sustraído, de la intensidad de precipitación total, logrando de esta manera lo que se conoce como precipitación efectiva.

Una desventaja de este método, es que descuenta la intensidad de pérdidas de manera constante, lo cual no representa la realidad, por lo que se requiere un proceso de calibración, es decir, se debe multiplicar la precipitación efectiva por un factor adimensional de corrección para representar de mejor manera las pérdidas en infiltración.

Tabla 3-3, Corrección modelo Pérdidas Lineales Constantes

Lluvia	$I_{pérdidas}$ (mm/h)	$I_{esc}$ (mm/h)	$I_{total}$
Jordi	3.55	1.99	5.54
Fidel	2.61	1.11	3.72
Martina	4.23	1.28	5.52
Efrén	2.00	1.41	3.41
Santa Cecilia	5.31	1.67	6.98
Susana	5.02	3.09	8.11
Elías	11.59	3.56	15.15

Fuente: Elaboración propia

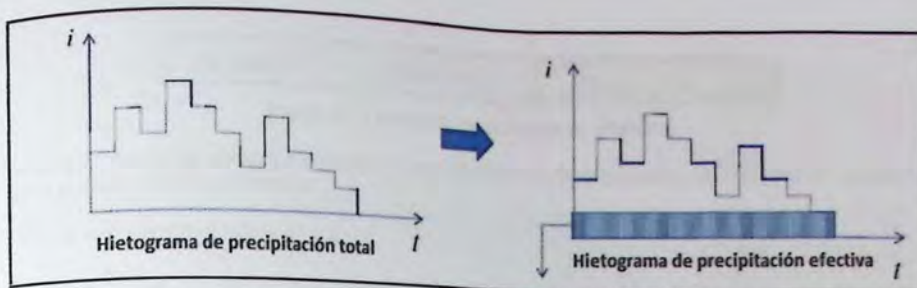


Figura 3-10, Histograma de precipitación total e Histograma de precipitación efectiva.

Mediante el procedimiento anteriormente explicado, se logra calcular una intensidad de precipitación que genera resultados con errores dentro del rango acotado para el presente estudio.

Para el método de las pérdidas lineales constantes, se deben considerar otra serie de supuestos para lograr que el método funcione de manera óptima, los supuestos son los que se presentan a continuación:

1. Porcentaje de impermeabilidad de la cuenca = 100%
2. Almacenamiento en depresión en zona permeable (mm) = 0
3. Almacenamiento en depresión en zona impermeable (mm) = 0

Con esta serie de condiciones, se logra generar un método de estimación de pérdidas adecuado para zonas no muy extensas (menos de 20 hectáreas) y altos índices de impermeabilidad, como lo es la zona de La Riereta.

### 3.3.7. Modelamiento de cuenca de estudio a SWMM 5.

La construcción de un modelo en SWMM 5, requiere de una serie de pasos. A continuación se presenta la metodología para construir un modelo en SWMM 5

- 1. Definir opciones iniciales del modelo y valores de parámetros comunes
- 2. Dibujar componentes topográficos
- 3. Dibujar los componentes de la red de drenaje
- 4. Editar las propiedades de los elementos que componen el sistema
- 5. Seleccionar un conjunto de opciones de análisis de simulación
- 6. Ejecutar la simulación

Elegir las unidades de medición del caudal. Estas pueden ser:

- Sistema Norteamericano
  - CFS (Pies cúbicos por segundo)
  - GPM (Galones por minuto)
  - MGD (Millones de galones por día)
- Sistema Internacional
  - CMS (Metros cúbicos por segundo)
  - LPS (Litros por segundo)
  - MLD (Millones de litros por día)

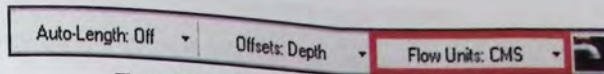


Figura 3-11, Selección de unidades en SWMM 5.

Al elegir una de las unidades anteriores, implícitamente se está eligiendo un conjunto de unidades para el resto de los parámetros.

Dibujar componentes topográficos:

Se debe dibujar los componentes topográficos correspondientes a las subcuencas que forman la zona en estudio, como muestra la figura 3-12.

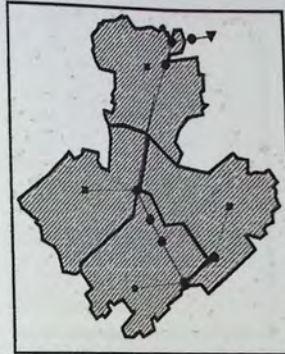


Figura 3-12, Componentes topográficos de modelo.

Se reitera que para el presente caso en estudio se consideran tres niveles de discretización.

Dibujar los componentes de la red de drenaje:

Se deben dibujar todos los componentes de la red, correspondientes a colectores y cámaras. Para el presente caso de estudio, se consideran distintos niveles de discretización se consideran distintos sistemas de colectores y cámaras, como muestra la figura 3-13.

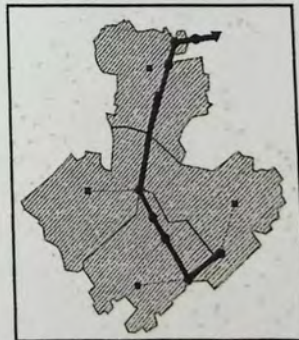


Figura 3-13, Red de colectores.



Se debe seleccionar el método de cálculo hidráulico según se explicó anteriormente, indicando en la ventana de opciones de simulación. Para el presente caso se considera el método de onda dinámica, por ser el método de cálculo más completo ya que considera todos los términos de las ecuaciones de Saint Venant.

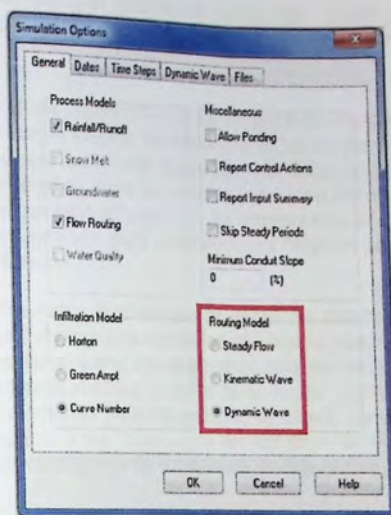


Figura 3-15, Selección de método de cálculo.

Finalmente se debe seleccionar el paso de tiempo con el cual se desea trabajar, para el presente caso, se consideran 10 segundos para el cálculo hidráulico y se desea que se entreguen datos de la modelación cada 1 minuto.

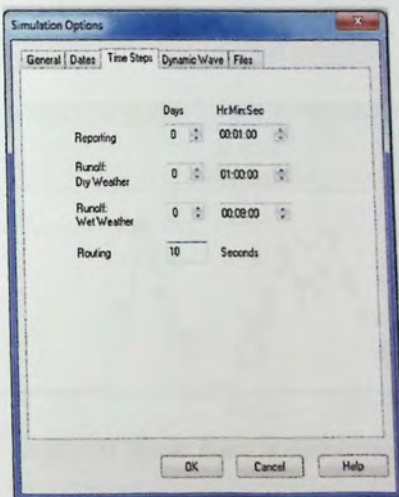


Figura 3-16, Selección de paso de tiempo.

### 3.3.8. Proceso iterativo de ajuste de modelamiento de la cuenca de estudio.

Para comparar las tres metodologías estudiadas, sobre tres niveles de discretización, se aplican incrementos hasta un 100% del W base entregado por cada metodología hasta decrementos del 75% para cada caso

El proceso de iterativo de ajuste del modelamiento, consiste de comparar los valores obtenidos por un instrumento de edición con la medida correspondiente de un patrón de referencia (o estándar). Éste proceso se debe entender como una operación que, bajo condiciones específicas, establece en una primera etapa una relación entre los valores y las incertidumbres de medida provistas por estándares e indicaciones correspondientes con las incertidumbres de medida asociadas y en un segundo paso, usa esta información para establecer una relación para obtener un resultado de la medida a partir de una indicación.

Según lo anteriormente expuesto, se entiende por ajuste del modelamiento, a la comparación de los resultados obtenidos por el programa versus los resultados observados (datos reales). El ajuste de un modelamiento, consiste en variar los parámetros característicos de una cuenca, con el fin de representar de mejor manera la realidad y por lo tanto lograr valores similares a los observados. Para el ajuste de modelamiento del presente estudio, se marcó como limite un 15% de error entre los valores obtenidos respecto a los observados en términos de Volumen. Como parámetros de ajuste de modelamiento de consideraran, se consideran los siguientes parámetros:

- Ancho de subcuenca W
- Porcentaje de impermeabilidad de la cuenca
- Almacenamiento en depresión en zona permeable (mm)
- Almacenamiento en depresión en zona impermeable (mm)
- Pendiente media de subcuenca
- N Manning zona permeable subcuenca
- N Manning zona impermeable subcuenca
- N Manning conducciones

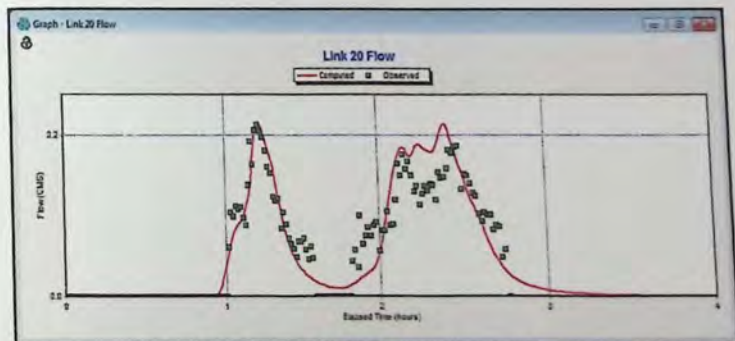


Figura 3-17, Ejemplo Ajuste de modelamiento.

En base a la variación de los parámetros anteriormente expuestos, se logra ajustar el modelo logrando errores dentro del rango considerado para el presente estudio.

Para el proceso ajuste de modelamiento se consideran cuatro de las siete lluvias que conforman el presente estudio, las lluvias son las siguientes:

- Fidel
- Efrén
- Jordi
- Susana

Se aplican los valores obtenidos a las tres lluvias restantes:

- Santa Cecilia
- Elías
- Martina

A las 3 modelos de las 3 lluvias expuestas, se le aplican los datos de ajuste obtenidos para las 4 primeras lluvias, logrando de esta manera, generar un modelo que aplique para las siete lluvias que conforman el presente estudio.

## 4. Capítulo Cuarto: Presentación de datos

### 4.1. Antecedentes Generales.

El procedimiento anteriormente planteado, se aplicó a la cuenca Sant Boi de Llobregat (Barcelona, España).



Figura 4-1, Calle tipo de Sant Boi de Llobregat.

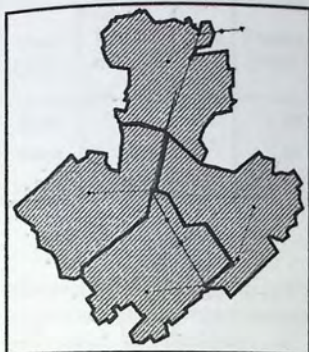
La cuenca experimental fue implementada y operada por el Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña [6].

Los datos de precipitación se obtuvieron mediante un pluviómetro a cangilón digital con memoria local (Modelo Campbell Scientific ARG-100), con intervalo de medida de 1 min.

Los caudales se calcularon como producto entre el área mojada y la velocidad media del flujo. El área mojada se calculó a partir de la geometría del conducto y del tirante de agua, medido con un sensor de presión. La velocidad se midió con un sensor electromagnético.

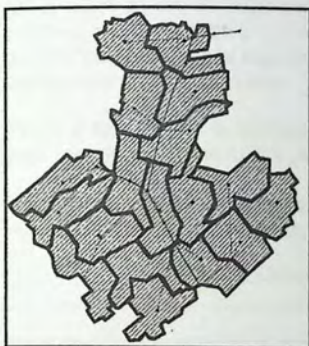
## 4.2. Niveles de discretización de la cuenca:

Para la realización del presente estudio, se consideran tres distintos niveles de discretización:



Nivel Macro (4 subcuencas de 4.5 hectáreas cada una)

Figura 4-2, Discretización Macro.



Nivel Meso (18 subcuencas de 1 hectárea cada una)

Figura 4-3, Discretización Meso.



Nivel Micro (90 subcuencas de 0.2 hectáreas cada una)

Figura 4-4, Discretización Micro.

Los presentes niveles de discretización fueron definidos anteriormente.

A continuación se presentan los principales parámetros hidráulicos e hidrológicos asociados a los distintos niveles de discretización.

Tabla 4-1 Parámetros hidrológicos e hidráulicos para los tres niveles de discretización.

Nivel Discr.	Subcuencas							Conducciones		
	N° Sub cuencas	Área (hás)	Pendiente media %	% Imperm.	W medio MS5 (m)	W medio Di Giano (m)	W medio Guo (m)	Long. (m)	Rugosidad	N° tramos
Micro	90	0.2	2.96	100	117	67	68	3295	0.014	47
Meso	18	1	3.41	100	372	144	132	963	0.014	11
Macro	4	4.5	4.25	100	1208	206	284	756	0.014	8

Fuente: Elaboración propia

Como consecuencia de la aplicación del método de las pérdidas lineales constantes, se considera un porcentaje de impermeabilidad igual al 100%. Se presentan además los valores medios de la estimación del parámetro W, mostrando el valor medio obtenido con las tres metodologías estudiadas.

En el caso de las conducciones que se modelan para los distintos niveles de discretización, se observa que la longitud (m) y número de tramos modelados de las conducciones, disminuye en la medida que aumenta la superficie de las subcuencas modeladas, como consecuencia del nivel de agregación del modelamiento.

Para los tres niveles de discretización, se considera el mismo coeficiente de rugosidad de Manning para las conducciones (0.014 [adimensional]).

En el presente trabajo de título, se trabaja con 7 eventos de lluvia de distintas características las cuales se presentan a continuación:

Tabla 4-2, Características principales de los eventos de lluvia del estudio.

Caracterización Lluvias					
Lluvia	Duración (min)	Ptotal (mm)	I <sub>max</sub> (mm/h)	I <sub>media</sub> (mm/h)	Tiempo Q <sub>peak</sub> (min)
Fidel	187	11.59	12.49	3.72	73
Efrén	96	5.4	19.81	3.41	70
Jordi	168	15.6	36.92	5.54	69
Susana	37	9.19	38.87	8.1	21
Santa Cecilia	43	5	22.32	6.98	32
Elías	19	4.8	33.99	15.14	10
Martina	100	5	16.98	5.51	92

Fuente: Elaboración propia

Se destaca que de los 7 eventos de lluvia, se realiza el proceso de ajuste del modelamiento, con los 4 primeros eventos y se aplican los valores obtenidos a los 3 últimos. Para el ajuste se seleccionan tormentas con intensidades de lluvia en exceso bajas a medias, tal que los caudales generados por las mismas no hayan superado la capacidad de conducción de los conductos

subterráneos. Se plantea esta condición para que los hidrogramas observados no estén influenciados por almacenamientos o efectos de remanso generados en dichos conductos.

Las pérdidas se determinaron con el método de Tasa de Pérdida Constante, verificando el volumen escurrido observado. La tasa de pérdida media obtenida entre eventos fue de 7.1 mm/h, con una desviación estándar de 4.62 mm/h. Se aplicó este método por ser el que mejor ajustó los caudales observados.

Para cada escala, se calibra un coeficiente de rugosidad único para todos los planos, dado que la cobertura de la cuenca es suficientemente homogénea. Para las cunetas y conductos se adopta un coeficiente de rugosidad de 0.014, en función del material (concreto) y estado de los mismos y se mantuvo ese valor para las distintas escalas y eventos.

Con el objeto de auxiliar el ajuste de datos, para cada hidrograma simulado se calcula el coeficiente de eficiencia, E [7] ecuación 4-1, el error estándar  $\sigma$ , ecuación 4-2, el %BIAS ecuación 4-3 y los errores relativos del caudal peak, ecuación 4-4, tiempo al peak, ecuación 4-5, y volumen escurrido, ecuación 4-6. Se presentan también los errores de continuidad Surface Runoff y Flow Routing, correspondientes a las diferencias en medidas como entradas y salidas, ya sea superficialmente y en los colectores respectivamente:

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=2}^n (Q_t^o - Q_t^c)^2}{\sum_{t=2}^n (Q_t^o - \bar{Q}^o)^2} \quad \text{Coef. De eficiencia de Nash,} \quad (\text{Ec. 4-1})$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{t=2}^n (Q_t^o - Q_t^c)^2}{n}} \quad \text{Error estándar,} \quad (\text{Ec. 4-2})$$

$$\%BIAS = \left[ \left( \frac{\sum_{t=2}^n (Q_t^o - Q_t^c)}{n^{\circ} \text{ datos}} \right) / \bar{Q}^o \right] \times 100 \quad \text{Porcentaje BIAS,} \quad (\text{Ec. 4-3})$$

$$E_Q = \frac{Q_t^o - Q_t^c}{Q_t^o} \times 100 \quad \text{Error en caudal peak,} \quad (\text{Ec. 4-4})$$

$$E_{Tp} = T_p^o - T_p^c \times 100 \quad \text{Error en tiempo peak} \quad , (\text{Ec. 4-5})$$

$$E_V = \frac{V_t^o - V_t^c}{V_t^o} \times 100 \quad \text{Error en volumen total,} \quad (\text{Ec. 4-6})$$

Donde, E: corresponde al coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe, %BIAS: corresponde al porcentaje de error BIAS,  $\bar{Q}^o$ : corresponde al caudal observado medio,  $Q_t^o$  y  $Q_t^c$ : corresponden a los caudales observados y calculados al tiempo t,  $\sigma$ : corresponde al error estándar, n: corresponde al número de datos estudiados,  $V_t^o$  y  $V_t^c$ : corresponden a los volúmenes totales observado y calculado y  $T_p^o$  y  $T_p^c$ : corresponden a los tiempos peak observados y calculados.

La descripción en detalle de el test de eficiencia de Nash y Sutcliffe, Error estándar y %Bias, se define en detalle en el capítulo 5.5 Análisis de ajuste de datos observados versus calculados para los tres niveles de discretización y las tres metodologías de cálculo de ancho de subcuena W.

#### **4.2.1. Nivel Macro:**

Se destaca que este nivel de discretización, es el más agregado de los tres que forman el presente trabajo de título, por lo tanto, posee valores globales, que no son suficientes para representar de manera fehaciente la realidad del terreno, lo anteriormente expuesto, aplica también para la red de colectores presente en este nivel de discretización, la cual, modela solo los tramos necesarios para portear el caudal aportado por las 4 subcuencas en que se subdivide la cuenca.

A continuación se presentan los hidrogramas obtenidos de la modelación de los 7 eventos de lluvia para las 3 metodologías de cálculo del ancho de subcuena W. Los gráficos expuestos muestran el comportamiento de los hidrogramas para un mismo evento de lluvia, pero para las distintas metodologías de cálculo de W. En los hidrogramas mostrados, se contrastan, el hidrograma observado para el evento, el hidrograma calculado con el valor base de W entregado por la metodología con que este se calcula, un hidrograma que considera un decrecimiento de 75% del W base y un hidrograma que considera un crecimiento de 100% del W base.

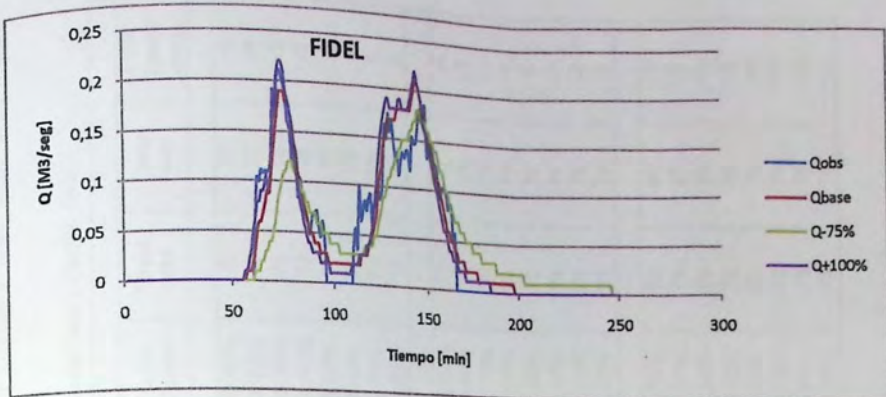


Figura 4-5, Discretización Macro, Evento Fidel, Calculo W Manual SWMM 5.

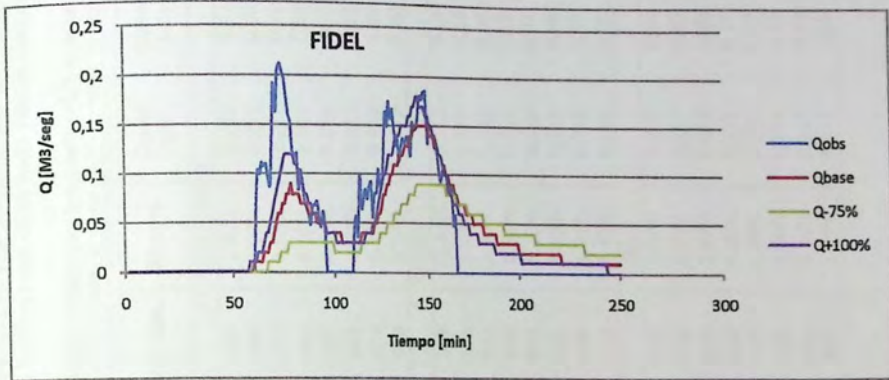


Figura 4-6, Discretización Macro, Evento Fidel, Calculo W Di Gianio.

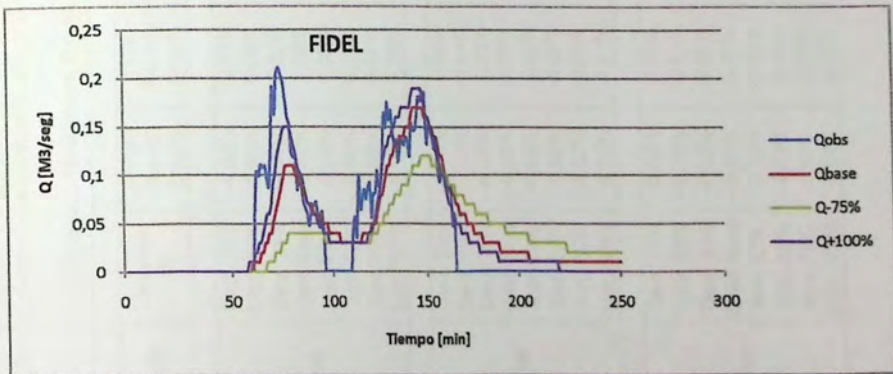


Figura 4-7, Discretización Macro, Evento Fidel, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Fidel comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuenca W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-3, Nivel Macro, Evento Fidel, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak.

Análisis de datos-Nivel Macro												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
MANUAL SWMM												
Fidel	Decr. 75%	-0.02%	-0.01%	622.44	650	3.30%	0.212	0.12	43.40%	73	77	-4
	Decr. 50%	-0.03%	0.00%	622.44	656	2.00%	0.212	0.16	24.50%	73	77	-4
	Decr. 25%	-0.03%	0.02%	622.44	657	3.60%	0.212	0.18	15.10%	73	76	-3
	Caso Base	-0.04%	0.02%	622.44	658	4.30%	0.212	0.19	10.40%	73	75	-2
	Incr. 25%	-0.05%	0.03%	622.44	658	4.70%	0.212	0.2	5.70%	73	73	0
	Incr. 50%	-0.05%	0.03%	622.44	658	4.90%	0.212	0.21	0.90%	73	73	0
	Incr. 75%	-0.06%	0.04%	622.44	658	5.10%	0.212	0.22	-3.80%	73	73	0
Incr. 100%	-0.06%	0.04%	622.44	658	5.20%	0.212	0.22	-3.80%	73	73	0	
DI GIANO												
Fidel	Decr. 75%	-0.04%	-0.06%	622.44	555	10.80%	0.212	0.03	85.80%	73	77	-4
	Decr. 50%	-0.02%	-0.04%	622.44	609	2.20%	0.212	0.05	76.40%	73	76	-3
	Decr. 25%	-0.02%	-0.03%	622.44	628	0.90%	0.212	0.06	71.70%	73	74	-1
	Caso Base	-0.02%	-0.03%	622.44	638	2.50%	0.212	0.07	67.00%	73	74	-1
	Incr. 25%	-0.02%	-0.02%	622.44	643	3.30%	0.212	0.07	67.00%	73	72	1
	Incr. 50%	-0.02%	-0.02%	622.44	646	3.80%	0.212	0.09	57.50%	73	74	-1
	Incr. 75%	-0.02%	-0.02%	622.44	649	4.30%	0.212	0.11	48.10%	73	75	-2
Incr. 100%	-0.02%	-0.01%	622.44	650	4.40%	0.212	0.12	43.40%	73	75	-2	
GUO												
Fidel	Decr. 75%	-0.03%	-0.05%	622.44	602	3.30%	0.212	0.04	81.10%	73	80	-7
	Decr. 50%	-0.02%	-0.03%	622.44	635	2.00%	0.212	0.07	67.00%	73	77	-4
	Decr. 25%	-0.02%	-0.02%	622.44	645	3.60%	0.212	0.09	57.50%	73	76	-3
	Caso Base	-0.02%	-0.02%	622.44	649	4.30%	0.212	0.11	48.10%	73	76	-3
	Incr. 25%	-0.02%	-0.01%	622.44	652	4.70%	0.212	0.12	43.40%	73	75	-2
	Incr. 50%	-0.02%	-0.01%	622.44	653	4.90%	0.212	0.13	38.70%	73	78	-5
	Incr. 75%	-0.02%	0.00%	622.44	654	5.10%	0.212	0.14	34.00%	73	76	-3
Incr. 100%	-0.03%	0.00%	622.44	655	5.20%	0.212	0.15	29.20%	73	75	-2	

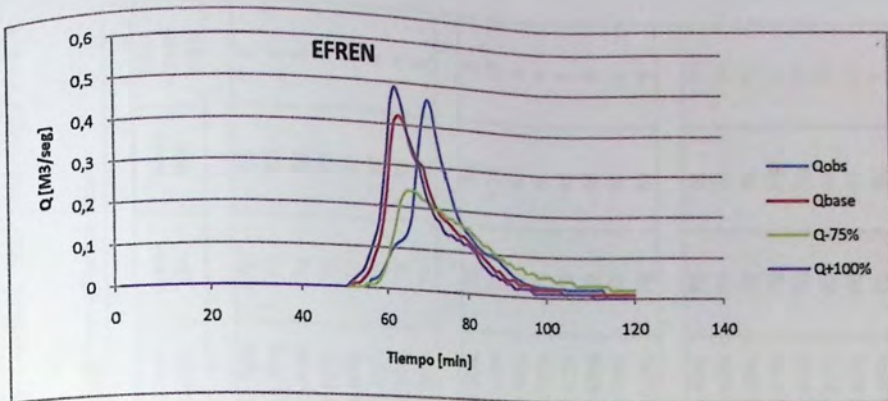


Figura 4-8, Discretización Macro, Evento Efrén, Calculo W Manual SWMM 5.

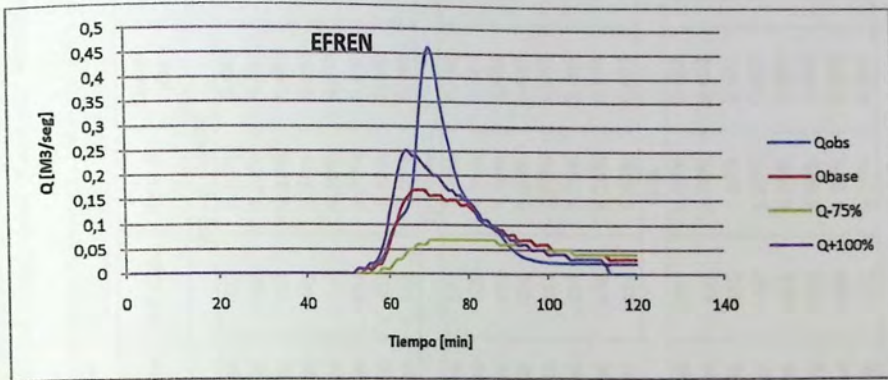


Figura 4-9, Discretización Macro, Evento Efrén, Calculo W Di Giano.

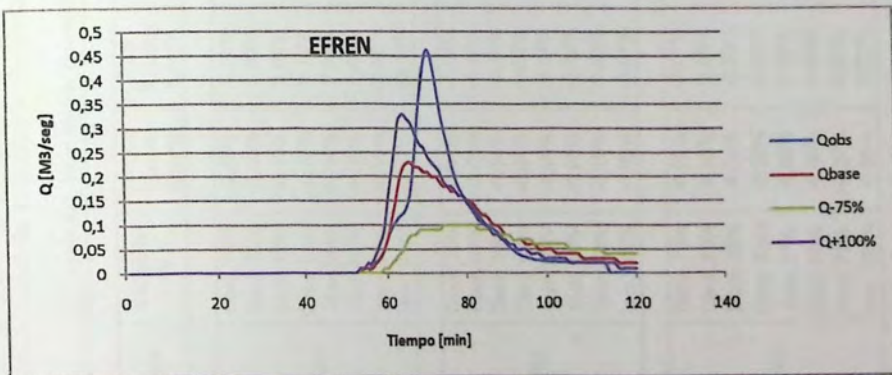


Figura 4-10, Discretización Macro, Evento Efrén, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Efrén comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuena W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-4, Nivel Macro, Evento Efrén, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak.

Análisis de datos-Nivel Macro												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Efrén	Decr. 75%	-0.05%	0.01%	402.96	437	8.40%	0.463	0.242	47.70%	70	65	5
	Decr. 50%	-0.08%	0.03%	402.96	440	9.20%	0.463	0.35	24.40%	70	63	7
	Decr. 25%	-0.10%	0.04%	402.96	441	9.40%	0.463	0.387	16.40%	70	62	8
	Caso Base	-0.12%	0.10%	402.96	442	9.70%	0.463	0.423	8.60%	70	63	7
	Incr. 25%	-0.14%	0.00%	402.96	440	9.20%	0.463	0.449	3.00%	70	63	7
	Incr. 50%	-0.15%	0.04%	402.96	438	8.70%	0.463	0.466	-0.60%	70	62	8
	Incr. 75%	-0.16%	-0.09%	402.96	437	8.40%	0.463	0.482	-4.10%	70	62	8
	Incr. 100%	-0.17%	-0.10%	402.96	436	8.20%	0.463	0.493	-6.50%	70	62	8
Di Giano												
Efrén	Decr. 75%	-0.04%	-0.08%	402.96	371	7.90%	0.463	0.074	84.00%	70	78	-8
	Decr. 50%	-0.03%	-0.06%	402.96	409	1.50%	0.463	0.112	75.80%	70	71	-1
	Decr. 25%	-0.04%	-0.06%	402.96	422	4.70%	0.463	0.143	69.10%	70	67	3
	Caso Base	-0.04%	-0.05%	402.96	428	6.20%	0.463	0.171	63.10%	70	66	4
	Incr. 25%	-0.04%	-0.04%	402.96	432	7.20%	0.463	0.194	58.10%	70	66	4
	Incr. 50%	-0.05%	-0.02%	402.96	434	7.70%	0.463	0.215	53.60%	70	65	5
	Incr. 75%	-0.05%	-0.02%	402.96	436	8.20%	0.463	0.233	49.70%	70	65	5
	Incr. 100%	-0.06%	-0.01%	402.96	437	8.40%	0.463	0.25	46.00%	70	64	6
Guo												
Efrén	Decr. 75%	-0.03%	-0.07%	402.96	403	0.00%	0.463	0.098	78.80%	70	68	2
	Decr. 50%	-0.03%	-0.05%	402.96	426	5.70%	0.463	0.149	67.80%	70	70	0
	Decr. 25%	-0.04%	-0.03%	402.96	433	7.50%	0.463	0.192	58.50%	70	66	4
	Caso Base	-0.05%	-0.01%	402.96	436	8.20%	0.463	0.229	50.50%	70	65	5
	Incr. 25%	-0.06%	0.00%	402.96	438	8.70%	0.463	0.26	43.80%	70	64	6
	Incr. 50%	-0.06%	0.00%	402.96	439	8.90%	0.463	0.288	37.80%	70	64	6
	Incr. 75%	-0.07%	0.01%	402.96	440	9.20%	0.463	0.311	32.80%	70	64	6
	Incr. 100%	-0.08%	0.02%	402.96	440	9.20%	0.463	0.332	28.30%	70	63	7

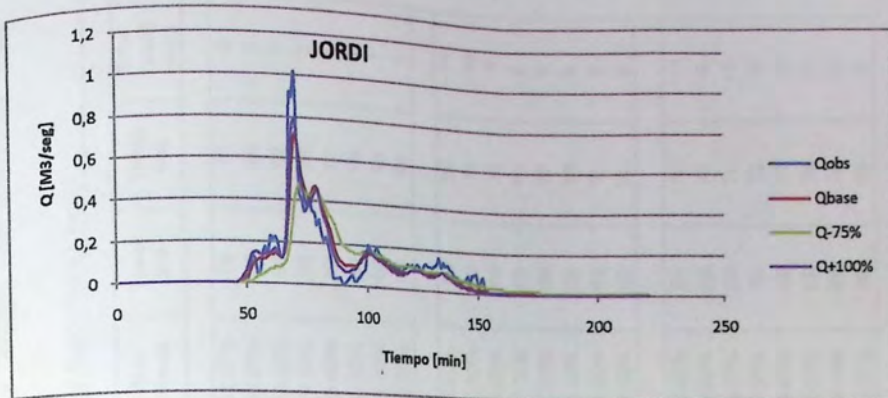


Figura 4-11, Discretización Macro, Evento Jordi, Calculo W Manual SWMM 5.

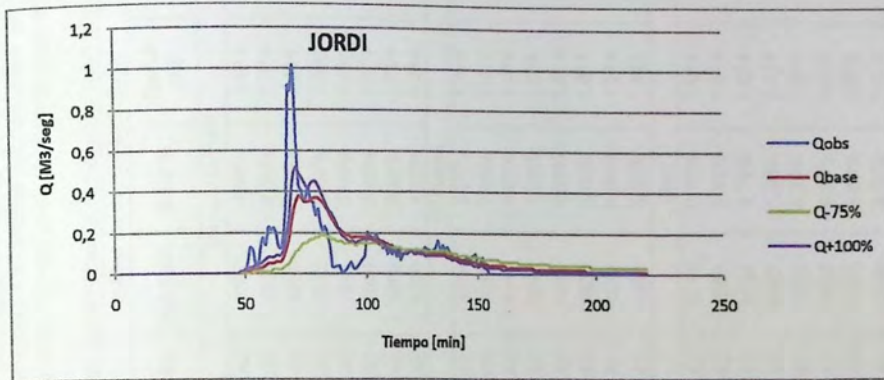


Figura 4-12, Discretización Macro, Evento Jordi, Calculo W Di Giano.

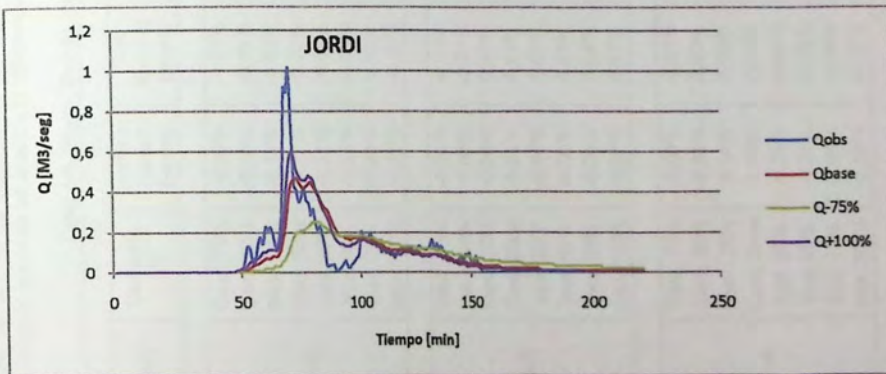


Figura 4-13, Discretización Macro, Evento Jordi, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Jordi comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuenca W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-5, Macro, Evento Jordi, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak.

Análisis de datos-Nivel Macro												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Jordi	Decr. 75%	-0.06%	-0.01%	1011.42	1057	4.50%	1.014	0.481	52.60%	69	71	-2
	Decr. 50%	-0.10%	-0.02%	1011.42	1037	2.50%	1.014	0.602	40.60%	69	69	0
	Decr. 25%	-0.14%	-0.04%	1011.42	1025	1.30%	1.014	0.671	33.80%	69	69	0
	Caso Base	-0.17%	-0.02%	1011.42	1016	0.50%	1.014	0.717	29.30%	69	69	0
	Incr. 25%	-0.21%	-0.08%	1011.42	1011	0.00%	1.014	0.754	25.60%	69	68	1
	Incr. 50%	-0.24%	-0.08%	1011.42	1006	0.50%	1.014	0.781	23.00%	69	68	1
	Incr. 75%	-0.26%	0.03%	1011.42	1002	0.90%	1.014	0.8	21.10%	69	68	1
Incr. 100%	-0.29%	-0.10%	1011.42	1000	1.10%	1.014	0.819	19.20%	69	68	1	
Di Giano												
Jordi	Decr. 75%	-0.03%	-0.03%	1011.42	969	4.20%	1.014	0.189	81.40%	69	80	-11
	Decr. 50%	-0.03%	-0.01%	1011.42	1026	1.40%	1.014	0.281	72.30%	69	79	-10
	Decr. 25%	-0.04%	0.00%	1011.42	1044	3.20%	1.014	0.337	66.80%	69	78	-9
	Caso Base	-0.04%	0.01%	1011.42	1052	4.00%	1.014	0.378	62.70%	69	61	8
	Incr. 25%	-0.05%	0.01%	1011.42	1057	4.50%	1.014	0.427	57.90%	69	60	9
	Incr. 50%	-0.06%	0.01%	1011.42	1060	4.80%	1.014	0.467	53.90%	69	60	9
	Incr. 75%	-0.06%	0.02%	1011.42	1062	5.00%	1.014	0.495	51.20%	69	60	9
Incr. 100%	-0.07%	0.02%	1011.42	1064	5.20%	1.014	0.518	48.90%	69	60	9	
Guo												
Jordi	Decr. 75%	-3.00%	-0.01%	1011.42	1019	0.70%	1.014	0.251	75.20%	69	80	-11
	Decr. 50%	-0.03%	0.00%	1011.42	1050	3.80%	1.014	0.357	64.80%	69	78	-9
	Decr. 25%	-0.04%	0.00%	1011.42	1059	4.70%	1.014	0.412	59.40%	69	70	-1
	Caso Base	-0.05%	-0.04%	1011.42	1062	5.00%	1.014	0.467	53.90%	69	72	-3
	Incr. 25%	-0.06%	-0.04%	1011.42	1069	5.70%	1.014	0.511	49.60%	69	71	-2
	Incr. 50%	-0.07%	-0.06%	1011.42	1055	4.30%	1.014	0.545	46.30%	69	70	-1
	Incr. 75%	-0.08%	-0.06%	1011.42	1050	3.80%	1.014	0.574	43.40%	69	70	-1
Incr. 100%	-0.09%	-0.09%	1011.42	1046	3.40%	1.014	0.599	40.90%	69	69	0	

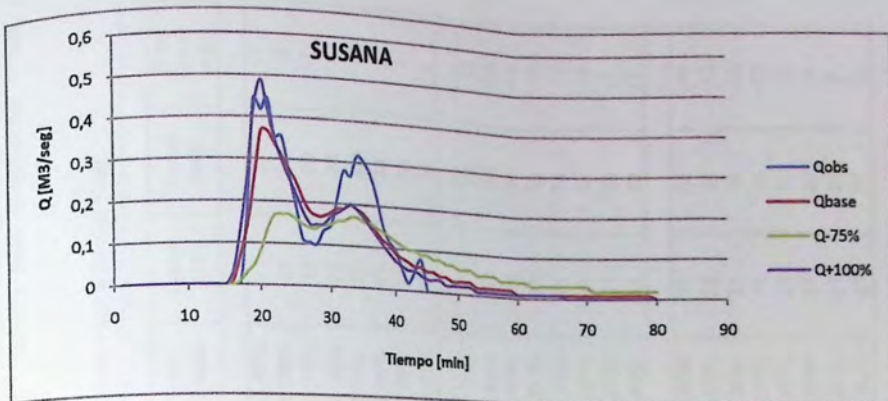


Figura 4-14, Discretización Macro, Evento Susana, Calculo W Manual SWMM 5.

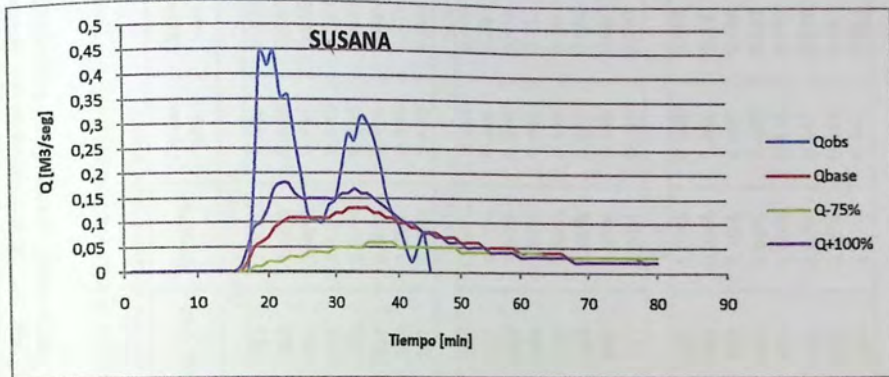


Figura 4-15, Discretización Macro, Evento Susana, Calculo W Di Giano.

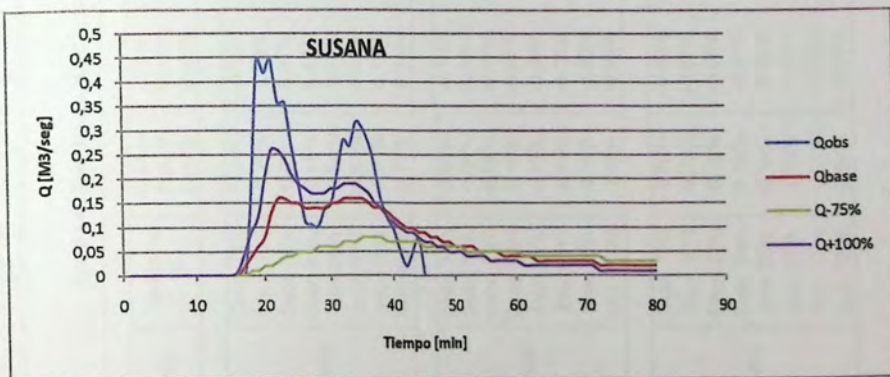


Figura 4-16, Discretización Macro, Evento Susana, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Susana comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuenca W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-6, Nivel Macro, Evento Susana, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak.

Análisis de datos-Nivel Macro												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Susana	Decr. 75%	-14.00%	-0.03%	343.2	351	2.30%	0.446	0.175	60.80%	21	22	-1
	Decr. 50%	-0.25%	0.00%	343.2	354	3.10%	0.446	0.289	35.20%	21	21	0
	Decr. 25%	-0.36%	0.07%	343.2	355	3.40%	0.446	0.358	19.70%	21	20	1
	Caso Base	-0.46%	0.13%	343.2	355	3.40%	0.446	0.387	13.20%	21	20	1
	Incr. 25%	-0.54%	0.20%	343.2	355	3.40%	0.446	0.442	0.90%	21	20	1
	Incr. 50%	-0.63%	0.04%	343.2	352	2.60%	0.446	0.464	-4.00%	21	20	1
	Incr. 75%	-0.70%	0.17%	343.2	349	1.70%	0.446	0.479	-7.40%	21	20	1
	Incr. 100%	-0.77%	0.24%	343.2	347	1.10%	0.446	0.491	-10.10%	21	19	2
Di Giano												
Susana	Decr. 75%	-5.00%	-0.10%	343.2	297	13.50%	0.446	0.057	87.20%	21	36	-15
	Decr. 50%	-0.06%	-0.09%	343.2	327	4.70%	0.446	0.091	79.60%	21	34	-13
	Decr. 25%	-0.08%	-0.08%	343.2	338	1.50%	0.446	0.114	74.40%	21	34	-13
	Caso Base	-0.10%	-0.07%	343.2	343	0.10%	0.446	0.131	70.60%	21	33	-12
	Incr. 25%	-0.12%	-0.06%	343.2	346	0.80%	0.446	0.144	67.70%	21	33	-12
	Incr. 50%	-0.14%	-0.05%	343.2	348	1.40%	0.446	0.154	65.50%	21	33	-12
	Incr. 75%	-0.16%	-0.05%	343.2	350	2.00%	0.446	0.165	63.00%	21	22	-1
	Incr. 100%	-0.18%	-0.04%	343.2	351	2.30%	0.446	0.181	59.40%	21	22	-1
Guo												
Susana	Decr. 75%	-5.00%	-0.09%	343.2	323	5.90%	0.446	0.078	82.50%	21	36	-15
	Decr. 50%	-0.07%	-0.07%	343.2	342	0.30%	0.446	0.12	73.10%	21	34	-13
	Decr. 25%	-0.10%	-0.06%	343.2	347	1.10%	0.446	0.146	67.30%	21	34	-13
	Caso Base	-0.13%	-0.04%	343.2	350	2.00%	0.446	0.163	63.50%	21	33	-12
	Incr. 25%	-0.16%	-0.03%	343.2	352	2.60%	0.446	0.189	57.60%	21	22	-1
	Incr. 50%	-0.19%	-0.02%	343.2	352	2.60%	0.446	0.216	51.60%	21	22	-1
	Incr. 75%	-0.21%	-0.02%	343.2	353	2.90%	0.446	0.241	46.00%	21	21	0
	Incr. 100%	-0.24%	-0.01%	343.2	354	3.10%	0.446	0.264	40.80%	21	21	0

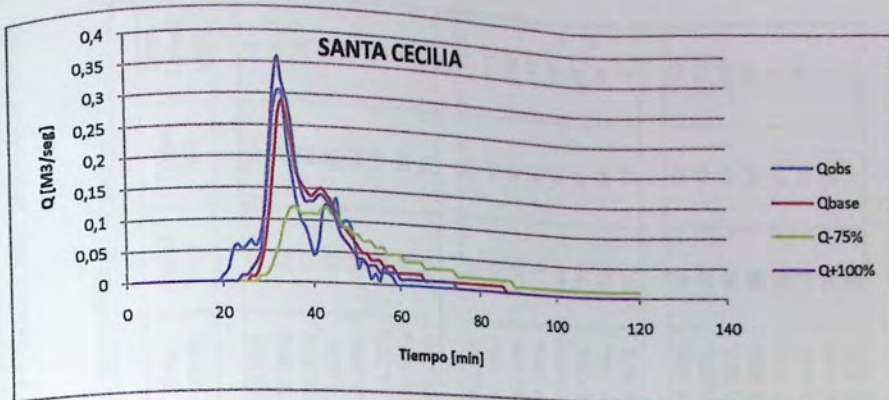


Figura 4-17, Discretización Macro, Evento Santa Cecilia, Calculo W Manual SWMM 5.

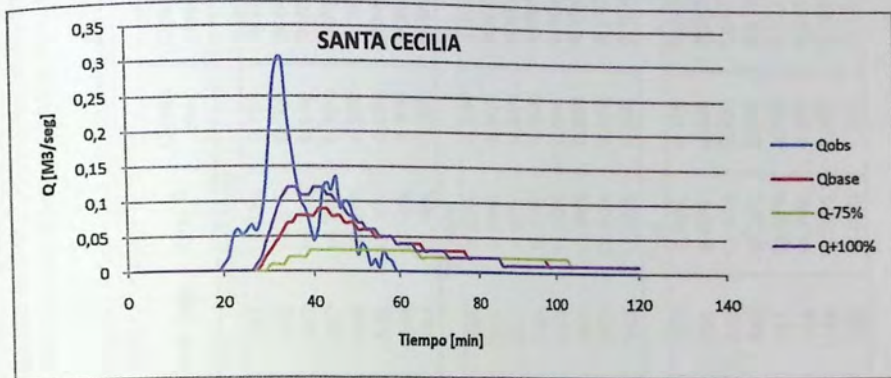


Figura 4-18, Discretización Macro, Evento Santa Cecilia, Calculo W Di Giano.

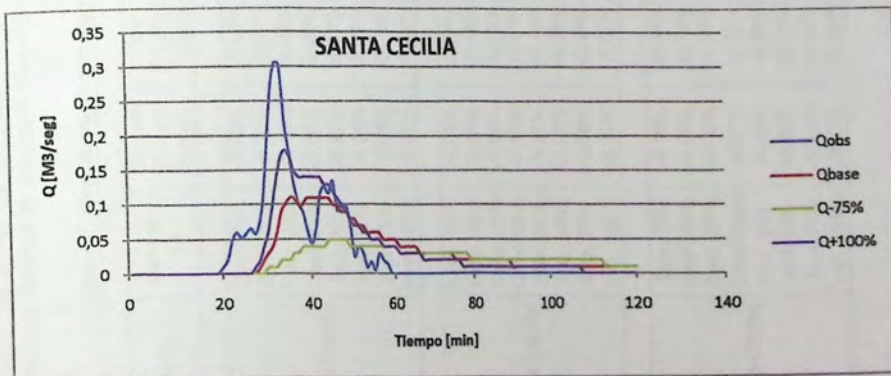


Figura 4-19, Discretización Macro, Evento Santa Cecilia, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Santa Cecilia, comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuenca W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-7, Nivel Macro, Evento Santa Cecilia, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak

Análisis de datos-Nivel Macro												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Santa Cecilia	Decr. 75%	-7.00%	-7.00%	215.4	243	12.80%	0.306	0.121	60.50%	32	35	-3
	Decr. 50%	-0.13%	0.01%	215.4	246	14.20%	0.306	0.198	35.30%	32	33	-1
	Decr. 25%	-0.18%	0.02%	215.4	247	14.70%	0.306	0.251	18.00%	32	33	-1
	Caso Base	-0.23%	0.05%	215.4	247	14.70%	0.306	0.291	4.90%	32	32	0
	Incr. 25%	-0.27%	0.07%	215.4	248	15.10%	0.306	0.323	-5.60%	32	32	0
	Incr. 50%	-0.31%	0.08%	215.4	248	15.10%	0.306	0.346	-13.10%	32	32	0
	Incr. 75%	-0.34%	0.08%	215.4	248	15.10%	0.306	0.355	-16.00%	32	32	0
Incr. 100%	-0.37%	0.09%	215.4	248	15.10%	0.306	0.364	-19.00%	32	21	11	
Di Giano												
Santa Cecilia	Decr. 75%	-0.04%	-0.14%	215.4	195	9.50%	0.306	0.033	89.20%	32	45	-13
	Decr. 50%	-0.04%	-0.14%	215.4	221	2.60%	0.306	0.056	81.70%	32	43	-11
	Decr. 25%	-0.05%	-0.12%	215.4	231	7.20%	0.306	0.073	76.10%	32	42	-10
	Caso Base	-0.06%	-0.11%	215.4	236	9.60%	0.306	0.086	71.90%	32	42	-10
	Incr. 25%	-0.07%	-0.10%	215.4	239	11.00%	0.306	0.096	68.60%	32	41	-9
	Incr. 50%	-0.07%	-0.09%	215.4	241	11.90%	0.306	0.104	66.00%	32	41	-9
	Incr. 75%	-0.08%	-0.08%	215.4	242	12.30%	0.306	0.113	63.10%	32	34	-2
Incr. 100%	-0.09%	-0.07%	215.4	243	12.80%	0.306	0.124	59.50%	32	34	-2	
Guo												
Santa Cecilia	Decr. 75%	-4.00%	-0.14%	215.4	217	0.70%	0.306	0.046	85.00%	32	45	-13
	Decr. 50%	-0.05%	-0.12%	215.4	234	8.60%	0.306	0.076	75.20%	32	43	-11
	Decr. 25%	-0.06%	-0.09%	215.4	240	11.40%	0.306	0.097	68.30%	32	42	-10
	Caso Base	-0.07%	-0.08%	215.4	242	12.30%	0.306	0.112	63.40%	32	42	-10
	Incr. 25%	-0.08%	-0.06%	215.4	244	13.30%	0.306	0.131	57.20%	32	34	-2
	Incr. 50%	-0.10%	-0.04%	215.4	245	13.70%	0.306	0.149	51.30%	32	34	-2
	Incr. 75%	-0.11%	-0.03%	215.4	245	13.70%	0.306	0.165	46.10%	32	34	-2
Incr. 100%	-0.12%	-0.02%	215.4	246	14.20%	0.306	0.18	41.20%	32	34	-2	

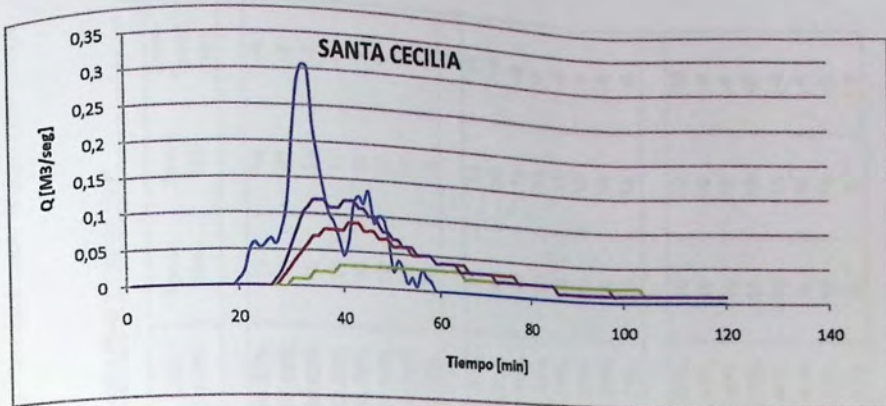


Figura 4-20, Discretización Macro, Evento Elías, Calculo W Manual SWMM 5.

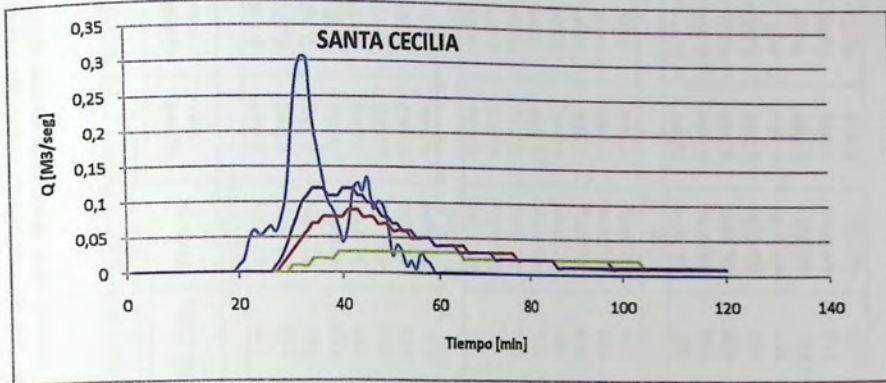


Figura 4-21, Discretización Macro, Evento Elías, Calculo W Di Giano.

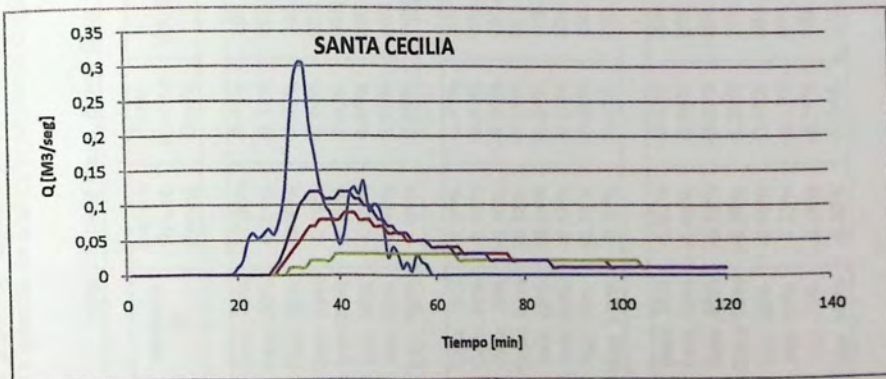


Figura 4-22, Discretización Macro, Evento Elías, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Elías, comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuena W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-8, Nivel Macro, Evento Elías, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak

Análisis de datos-Nivel Macro												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Elías	Decr. 75%	-17.00%	-0.18%	203.34	110	45.90%	0.349	0.046	86.80%	10	14	-4
	Decr. 50%	-0.31%	-0.11%	203.34	113	44.40%	0.349	0.079	77.40%	10	12	-2
	Decr. 25%	-0.46%	-0.07%	203.34	114	43.90%	0.349	0.106	69.60%	10	11	-1
	Caso Base	-0.59%	-0.04%	203.34	114	43.90%	0.349	0.131	62.50%	10	11	-1
	Incr. 25%	-0.73%	0.00%	203.34	114	43.90%	0.349	0.151	56.70%	10	10	0
	Incr. 50%	-0.85%	0.00%	203.34	115	43.40%	0.349	0.17	51.30%	10	10	0
	Incr. 75%	-0.97%	0.04%	203.34	115	43.40%	0.349	0.186	46.70%	10	10	0
	Incr. 100%	-1.09%	0.08%	203.34	115	43.40%	0.349	0.2	42.70%	10	10	0
Di Giano												
Elías	Decr. 75%	-0.06%	-0.37%	203.34	79	61.10%	0.349	0.01	97.10%	10	24	-14
	Decr. 50%	-0.08%	-0.31%	203.34	95	53.30%	0.349	0.018	94.80%	10	20	-10
	Decr. 25%	-0.10%	-0.27%	203.34	102	49.80%	0.349	0.024	93.10%	10	18	-8
	Caso Base	-0.12%	-0.25%	203.34	105	48.40%	0.349	0.03	91.40%	10	16	-6
	Incr. 25%	-0.14%	-0.24%	203.34	107	47.40%	0.349	0.036	89.70%	10	15	-5
	Incr. 50%	-0.17%	-0.23%	203.34	109	46.40%	0.349	0.041	88.30%	10	15	-5
	Incr. 75%	-0.19%	-0.22%	203.34	110	45.90%	0.349	0.046	86.80%	10	14	-4
	Incr. 100%	-0.22%	-0.21%	203.34	110	45.90%	0.349	0.05	85.70%	10	14	-4
Guo												
Elías	Decr. 75%	-6.00%	-0.32%	203.34	92	54.80%	0.349	0.014	96.00%	10	22	-12
	Decr. 50%	-0.09%	-0.26%	203.34	104	48.90%	0.349	0.025	92.80%	10	19	-9
	Decr. 25%	-0.12%	-0.22%	203.34	108	46.90%	0.349	0.034	90.30%	10	16	-6
	Caso Base	-0.16%	-0.20%	203.34	110	45.90%	0.349	0.043	87.70%	10	15	-5
	Incr. 25%	-0.19%	-0.18%	203.34	111	45.40%	0.349	0.051	85.40%	10	14	-4
	Incr. 50%	-0.23%	-0.17%	203.34	112	44.90%	0.349	0.058	83.40%	10	14	-4
	Incr. 75%	-0.26%	-0.16%	203.34	112	44.90%	0.349	0.065	81.40%	10	13	-3
	Incr. 100%	-0.30%	-0.14%	203.34	113	44.40%	0.349	0.051	85.40%	10	13	-3

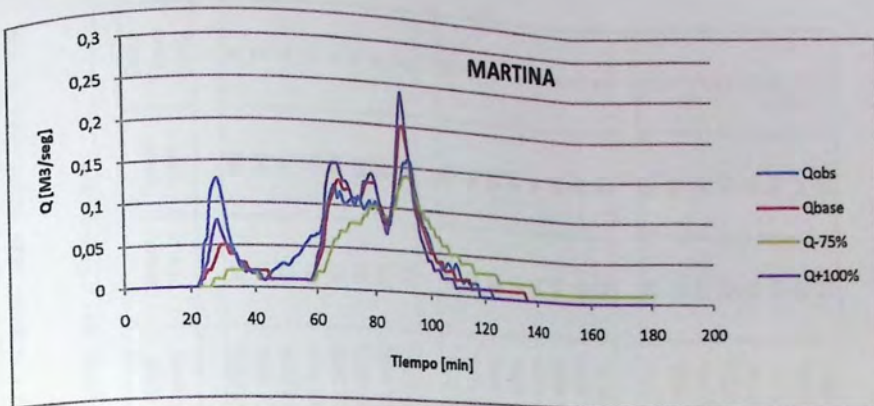


Figura 4-23, Discretización Macro, Evento Martina, Calculo W Manual SWMM 5.

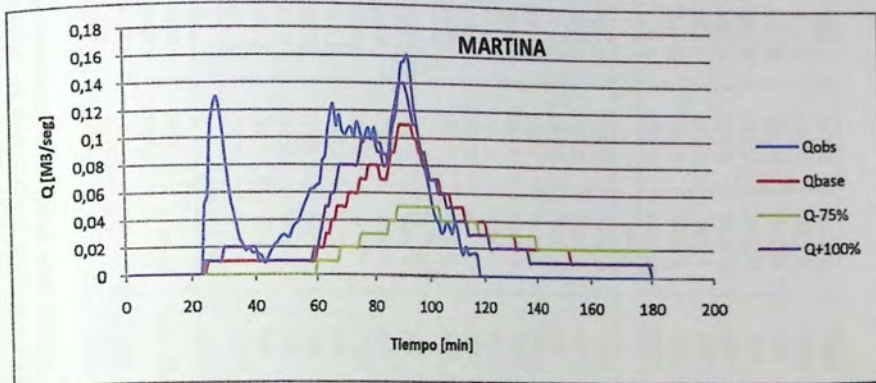


Figura 4-24, Discretización Macro, Evento Martina, Calculo W Di Giano.

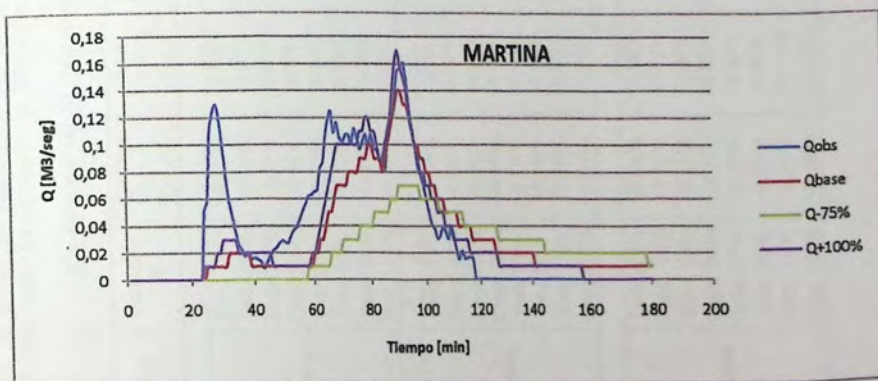


Figura 4-25, Discretización Macro, Evento Martina, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Martina, comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuenca W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-9, Nivel Macro, Evento Martina, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak

Análisis de datos-Nivel Macro												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Martina	Decr. 75%	-0.05%	-0.04%	385.98	361	6.50%	0.161	0.144	10.60%	92	90	2
	Decr. 50%	-0.09%	-0.01%	385.98	365	5.40%	0.161	0.173	-7.50%	92	90	2
	Decr. 25%	-0.14%	0.00%	385.98	366	5.20%	0.161	0.19	-18.00%	92	89	3
	Caso Base	-0.19%	0.02%	385.98	367	4.90%	0.161	0.203	-26.10%	92	89	3
	Incr. 25%	-0.23%	0.03%	385.98	367	4.90%	0.161	0.213	-32.30%	92	89	3
	Incr. 50%	-0.27%	0.04%	385.98	367	4.90%	0.161	0.222	-37.90%	92	89	3
	Incr. 75%	-0.31%	0.05%	385.98	367	4.90%	0.161	0.23	-42.90%	92	89	3
	Incr. 100%	-0.35%	0.06%	385.98	368	4.70%	0.161	0.237	-47.20%	92	89	3
Di Giano												
Martina	Decr. 75%	-0.04%	-0.10%	385.98	297	23.10%	0.161	0.054	66.50%	92	92	0
	Decr. 50%	-0.03%	-0.08%	385.98	333	13.70%	0.161	0.082	49.10%	92	91	1
	Decr. 25%	-0.04%	-0.07%	385.98	346	10.40%	0.161	0.101	37.30%	92	90	2
	Caso Base	-0.04%	-0.07%	385.98	352	8.80%	0.161	0.113	29.80%	92	90	2
	Incr. 25%	-0.05%	-0.06%	385.98	356	7.80%	0.161	0.124	23.00%	92	90	2
	Incr. 50%	-0.05%	-0.05%	385.98	358	7.20%	0.161	0.132	18.00%	92	90	2
	Incr. 75%	-0.06%	-0.05%	385.98	360	6.70%	0.161	0.138	14.30%	92	90	2
	Incr. 100%	-0.07%	-0.04%	385.98	361	6.50%	0.161	0.144	10.60%	92	89	3
Guo												
Martina	Decr. 75%	-0.03%	-0.09%	385.98	328	15.00%	0.161	0.073	54.70%	92	92	0
	Decr. 50%	-0.03%	-0.07%	385.98	350	9.30%	0.161	0.106	34.20%	92	91	1
	Decr. 25%	-0.04%	-0.06%	385.98	357	7.50%	0.161	0.126	21.70%	92	90	2
	Caso Base	-0.05%	-0.05%	385.98	360	6.70%	0.161	0.139	13.70%	92	90	2
	Incr. 25%	-0.06%	-0.04%	385.98	362	6.20%	0.161	0.149	7.50%	92	90	2
	Incr. 50%	-0.07%	-0.03%	385.98	363	6.00%	0.161	0.156	3.10%	92	90	2
	Incr. 75%	-0.08%	-0.02%	385.98	364	5.70%	0.161	0.162	-0.60%	92	90	2
	Incr. 100%	-0.09%	-0.02%	385.98	365	5.40%	0.161	0.167	-3.70%	92	90	2

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos correspondiente a los hidrogramas anteriormente mostrados.

Tabla 4-10, Nivel Macro, Coeficientes de ajuste de datos para todos los eventos de lluvia del estudio.

Test aplicados a discretización Macro										
Datos		W Manual SWMM			W Di Giano			W Guo		
Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Fidel	Qobs-Qbase	0.885	0.021	-4.78%	0.593	0.039	2.64%	0.688	0.034	-2.08%
	Qobs-Q-75%	0.704	0.033	-2.47%	0.193	0.056	24.91%	0.285	0.052	13.15%
	Qobs-Q+100%	0.874	0.022	-4.97%	0.756	0.03	-2.76%	0.825	0.025	-3.62%
Efrén	Qobs-Qbase	0.549	0.043	-7.80%	0.69	0.036	-2.29%	0.777	0.031	-4.53%
	Qobs-Q-75%	0.79	0.03	-4.82%	0.304	0.054	7.09%	0.414	0.049	1.73%
	Qobs-Q+100%	0.314	0.054	-6.46%	0.763	0.031	-4.97%	0.737	0.033	-6.61%
Jordi	Qobs-Qbase	0.799	0.064	0.10%	0.462	0.106	-0.79%	0.51	0.101	-3.58%
	Qobs-Q-75%	0.503	0.101	-3.34%	0.159	0.132	15.47%	0.199	0.129	6.57%
	Qobs-Q+100%	0.873	0.051	1.76%	0.608	0.09	-3.99%	0.672	0.082	-2.21%
Susana	Qobs-Qbase	0.861	0.046	-1.05%	0.337	0.102	22.73%	0.451	0.092	12.41%
	Qobs-Q-75%	0.474	0.09	11.19%	0.037	0.128	57.17%	0.054	0.125	45.80%
	Qobs-Q+100%	0.894	0.09	0.70%	0.559	0.128	10.84%	0.707	0.125	3.67%
Santa Cecilia	Qobs-Qbase	0.813	0.027	-10.58%	0.276	0.053	10.31%	0.346	0.05	-1.11%
	Qobs-Q-75%	0.343	0.05	-2.51%	-0.004	0.064	47.91%	0.005	0.063	32.59%
	Qobs-Q+100%	0.865	0.023	-11.98%	0.5	0.044	-3.90%	0.612	0.039	-8.64%
Eliás	Qobs-Qbase	0.546	0.048	47.48%	0.121	0.068	58.10%	0.172	0.066	54.26%
	Qobs-Q-75%	0.175	0.065	53.97%	-0.011	0.074	73.74%	-0.026	0.074	68.43%
	Qobs-Q+100%	0.68	0.041	46.59%	0.246	0.063	53.67%	0.346	0.058	49.84%
Martina	Qobs-Qbase	0.811	0.02	7.20%	0.495	0.033	17.61%	0.603	0.029	10.77%
	Qobs-Q-75%	0.608	0.029	10.77%	0.056	0.047	45.90%	0.126	0.044	34.56%
	Qobs-Q+100%	0.797	0.021	5.95%	0.665	0.027	10.46%	0.742	0.023	8.75%

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2. Nivel Meso:

Se destaca que este nivel de discretización, no es el más agregado de los tres que forman el presente trabajo de título, posee un nivel de detalle mayor que la discretización macro y una mayor red de colectores, pero no logra retratar a cabalidad el comportamiento de una cuenca muy urbanizada como la que forma este estudio.

A continuación se presentan los hidrogramas obtenidos de la modelación de los 7 eventos de lluvia para las 3 metodologías de cálculo del ancho de subcuenca  $W$ . Los gráficos expuestos muestran el comportamiento de los hidrogramas para un mismo evento de lluvia, pero para las distintas metodologías de cálculo de  $W$ . En los hidrogramas mostrados, se contrastan, el hidrograma observado para el evento, el hidrograma calculado con el valor base de  $W$  entregado por la metodología con que este se calcula, un hidrograma que considera un decrecimiento de 75% del  $W$  base y un hidrograma que considera un crecimiento de 100% del  $W$  base.

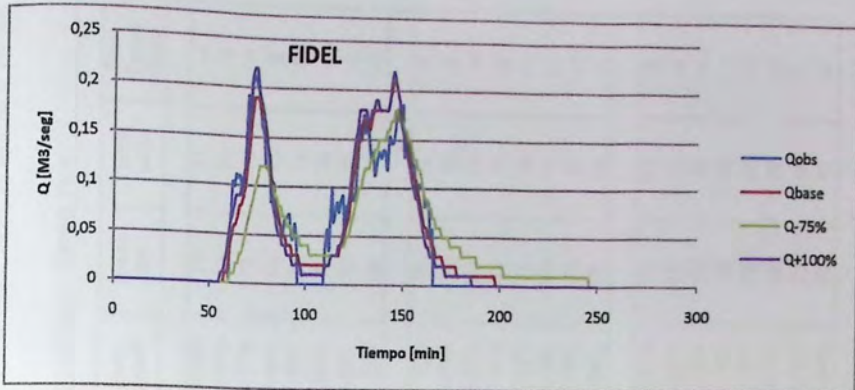


Figura 4-26, Discretización Meso, Evento Fidel, Calculo W Manual SWMM 5.

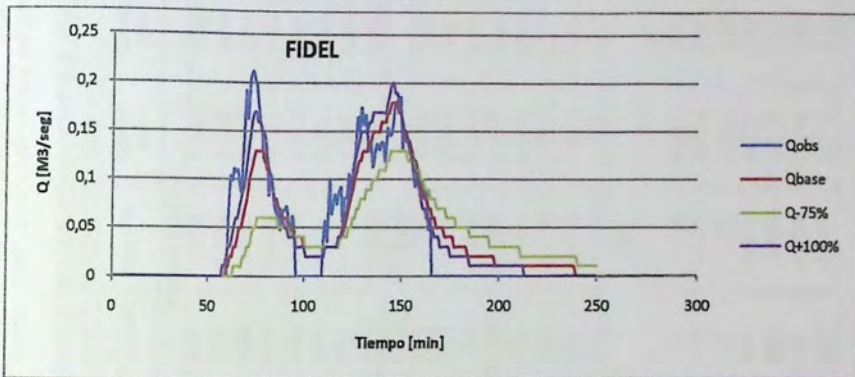


Figura 4-27, Discretización Meso, Evento Fidel, Calculo W Di Giano.

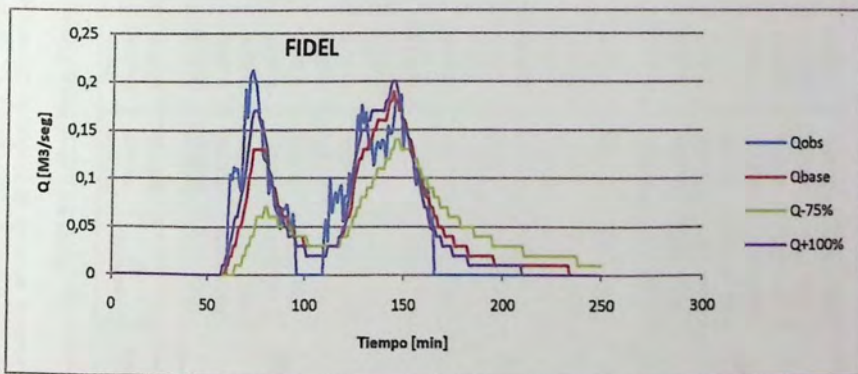


Figura 4-28, Discretización Meso, Evento Fidel, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Fidel, comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuenca W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-11, Nivel Meso, Evento Fidel, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak

Análisis de datos-Nivel Meso												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Fidel	Decr. 75%	-0.02%	-0.02%	622.44	647	0.90%	0.212	0.12	43.40%	73	77	-4
	Decr. 50%	-0.03%	0.01%	622.44	652	2.70%	0.212	0.16	24.50%	73	75	-2
	Decr. 25%	-0.04%	0.02%	622.44	654	3.80%	0.212	0.18	15.10%	73	74	-1
	Caso Base	-0.05%	0.03%	622.44	654	4.30%	0.212	0.19	10.40%	73	73	0
	Incr. 25%	-0.05%	0.04%	622.44	655	4.60%	0.212	0.2	5.70%	73	73	0
	Incr. 50%	-0.06%	0.05%	622.44	655	4.70%	0.212	0.21	0.90%	73	74	-1
	Incr. 75%	-0.06%	0.05%	622.44	655	4.70%	0.212	0.22	-3.80%	73	73	0
	Incr. 100%	-0.07%	0.06%	622.44	655	4.90%	0.212	0.22	-3.80%	73	74	-1
Di Giano												
Fidel	Decr. 75%	-0.02%	-0.04%	622.44	612	1.70%	0.212	0.06	71.70%	73	76	-3
	Decr. 50%	-0.02%	-0.03%	622.44	637	2.30%	0.212	0.1	52.80%	73	78	-5
	Decr. 25%	-0.02%	-0.02%	622.44	644	3.50%	0.212	0.12	43.40%	73	77	-4
	Caso Base	-0.03%	-0.01%	622.44	648	4.10%	0.212	0.13	38.70%	73	75	-2
	Incr. 25%	-0.03%	0.00%	622.44	650	4.40%	0.212	0.14	34.00%	73	74	-1
	Incr. 50%	-0.03%	0.00%	622.44	651	4.60%	0.212	0.15	29.20%	73	74	-1
	Incr. 75%	-0.03%	0.01%	622.44	652	4.70%	0.212	0.16	24.50%	73	74	-1
	Incr. 100%	-0.04%	0.01%	622.44	653	4.90%	0.212	0.17	19.80%	73	74	-1
Guo												
Fidel	Decr. 75%	-0.02%	-0.05%	622.44	617	0.90%	0.212	0.07	67.00%	73	81	-8
	Decr. 50%	-0.02%	-0.03%	622.44	639	2.70%	0.212	0.1	52.80%	73	77	-4
	Decr. 25%	-0.02%	-0.02%	622.44	646	3.80%	0.212	0.12	43.40%	73	76	-3
	Caso Base	-0.03%	-0.01%	622.44	649	4.30%	0.212	0.13	38.70%	73	74	-1
	Incr. 25%	-0.03%	0.00%	622.44	651	4.60%	0.212	0.15	29.20%	73	75	-2
	Incr. 50%	-0.03%	0.01%	622.44	652	4.70%	0.212	0.16	24.50%	73	75	-2
	Incr. 75%	-0.03%	0.01%	622.44	652	4.70%	0.212	0.16	24.50%	73	74	-1
	Incr. 100%	-0.04%	0.02%	622.44	653	4.90%	0.212	0.17	19.80%	73	76	-3

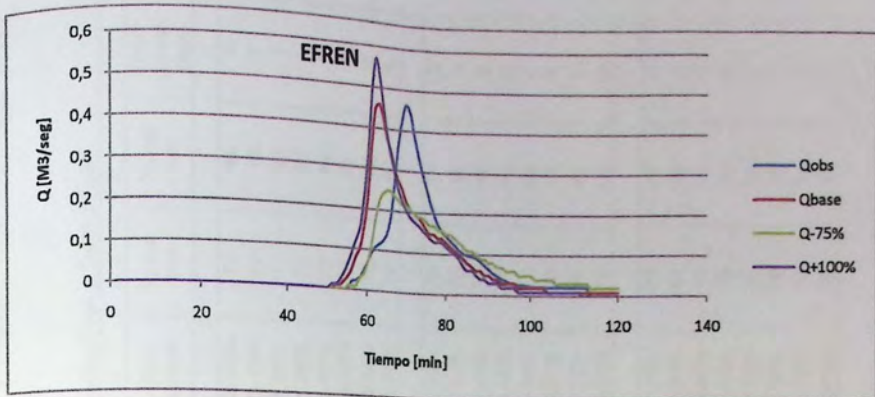


Figura 4-29, Discretización Meso, Evento Efrén, Calculo W Manual SWMM 5.

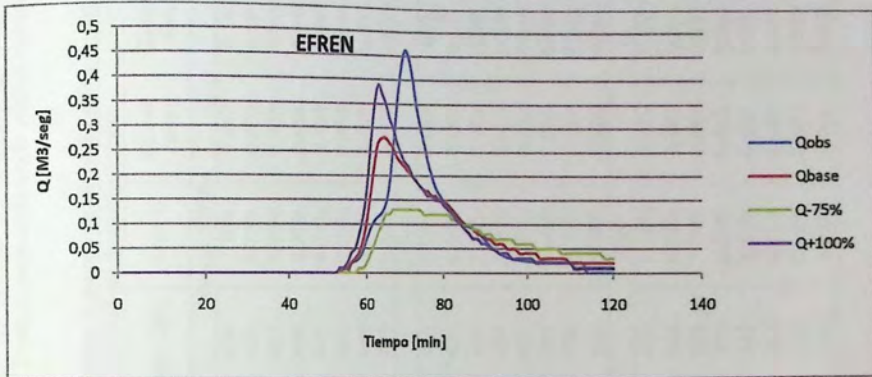


Figura 4-30, Discretización Meso, Evento Efrén, Calculo W Di Giano.

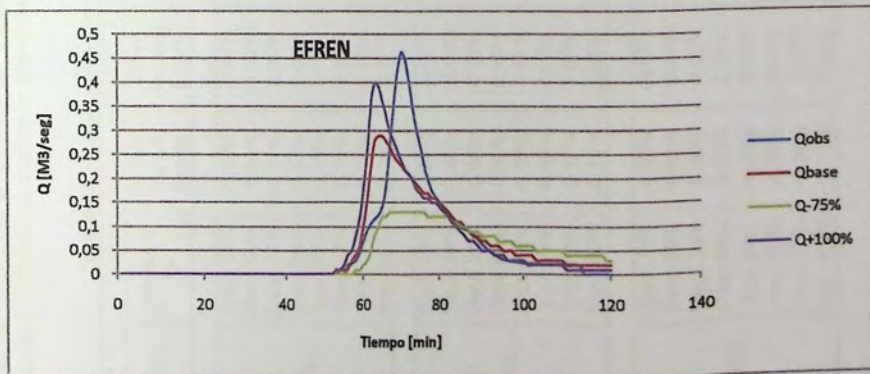


Figura 4-31, Discretización Meso, Evento Efrén, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Efrén, comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuenca W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-12, Nivel Meso, Evento Efrén, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak

Análisis de datos-Nivel Meso												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Efrén	Decr. 75%	-0.06%	-0.01%	402.96	434	7.70%	0.463	0.182	46.20%	70	64	6
	Decr. 50%	-0.09%	0.03%	402.96	438	8.70%	0.463	0.291	23.10%	70	63	7
	Decr. 25%	-0.11%	0.05%	402.96	439	8.90%	0.463	0.376	8.60%	70	63	7
	Caso Base	-0.13%	0.09%	402.96	440	9.20%	0.463	0.442	-1.30%	70	62	8
	Incr. 25%	-0.15%	0.12%	402.96	440	9.20%	0.463	0.497	-8.60%	70	62	8
	Incr. 50%	-0.16%	0.14%	402.96	440	9.20%	0.463	0.548	-14.50%	70	62	8
	Incr. 75%	-0.17%	0.16%	402.96	440	9.20%	0.463	0.591	-19.00%	70	62	8
	Incr. 100%	-0.19%	0.17%	402.96	440	9.20%	0.463	0.628	-22.90%	70	62	8
Di Giano												
Efrén	Decr. 75%	-0.04%	-0.07%	402.96	410	1.70%	0.463	0.13	71.90%	70	68	2
	Decr. 50%	-0.05%	-0.04%	402.96	427	6.00%	0.463	0.197	57.50%	70	65	5
	Decr. 25%	-0.06%	-0.02%	402.96	433	7.50%	0.463	0.246	46.90%	70	64	6
	Caso Base	-0.07%	0.00%	402.96	435	8.00%	0.463	0.285	38.40%	70	64	6
	Incr. 25%	-0.08%	0.01%	402.96	437	8.40%	0.463	0.318	31.30%	70	63	7
	Incr. 50%	-0.09%	0.02%	402.96	437	8.40%	0.463	0.345	25.50%	70	63	7
	Incr. 75%	-0.10%	0.03%	402.96	438	8.70%	0.463	0.368	20.50%	70	63	7
	Incr. 100%	-0.11%	0.05%	402.96	438	8.70%	0.463	0.388	16.20%	70	62	8
Guo												
Efrén	Decr. 75%	-0.03%	-0.07%	402.96	414	2.70%	0.463	0.132	71.50%	70	69	1
	Decr. 50%	-0.05%	-0.04%	402.96	429	6.50%	0.463	0.201	56.60%	70	66	4
	Decr. 25%	-0.06%	-0.02%	402.96	434	7.70%	0.463	0.252	45.60%	70	64	6
	Caso Base	-0.07%	0.00%	402.96	436	8.20%	0.463	0.294	36.50%	70	64	6
	Incr. 25%	-0.08%	0.02%	402.96	437	8.40%	0.463	0.329	28.90%	70	63	7
	Incr. 50%	-0.09%	0.03%	402.96	438	8.70%	0.463	0.357	22.90%	70	63	7
	Incr. 75%	-0.10%	0.04%	402.96	438	8.70%	0.463	0.382	17.50%	70	63	7
	Incr. 100%	-0.11%	0.05%	402.96	439	8.90%	0.463	0.403	13.00%	70	62	8

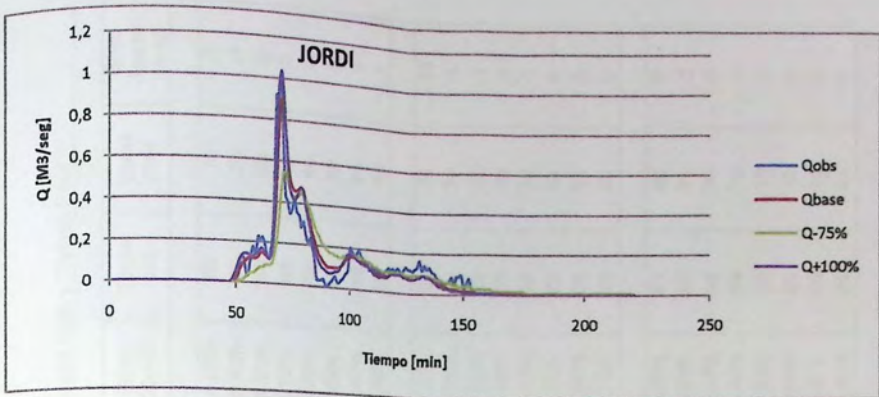


Figura 4-32, Discretización Meso, Evento Jordi, Calculo W Manual SWMM 5.

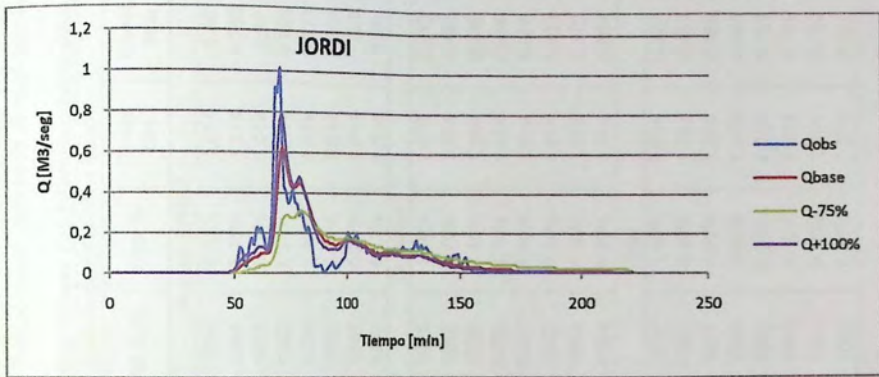


Figura 4-33, Discretización Meso, Evento Jordi, Calculo W Di Giano.

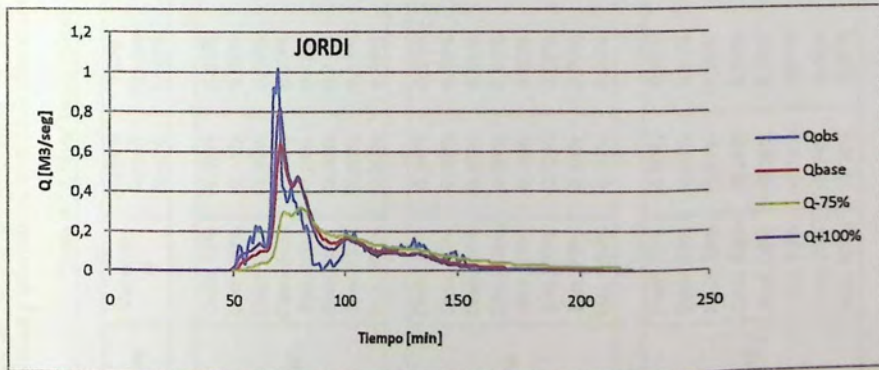


Figura 4-34, Discretización Meso, Evento Jordi, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Jordi, comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuenca W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-13, Nivel Meso, Evento Jordi, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak

Análisis de datos-Nivel Meso												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Jordi	Decr. 75%	-0.06%	0.02%	1011.42	1058	4.60%	1.014	0.56	44.80%	69	70	-1
	Decr. 50%	-0.11%	0.07%	1011.42	1063	5.10%	1.014	0.756	25.40%	69	70	-1
	Decr. 25%	-0.15%	0.09%	1011.42	1064	5.20%	1.014	0.86	15.20%	69	69	0
	Caso Base	-0.19%	0.10%	1011.42	1065	5.30%	1.014	0.926	8.70%	69	69	0
	Incr. 25%	-0.23%	0.13%	1011.42	1066	5.40%	1.014	0.971	4.20%	69	69	0
	Incr. 50%	-0.26%	0.11%	1011.42	1065	5.30%	1.014	1.004	1.00%	69	69	0
	Incr. 75%	-0.29%	0.11%	1011.42	1064	5.20%	1.014	1.029	-1.50%	69	69	0
	Incr. 100%	-0.32%	0.14%	1011.42	1063	5.10%	1.014	1.05	-3.60%	69	68	1
Dí Giano												
Jordi	Decr. 75%	-0.04%	-0.01%	1011.42	1026	1.40%	1.014	0.312	69.20%	69	79	-10
	Decr. 50%	-0.05%	0.10%	1011.42	1049	3.70%	1.014	0.445	56.10%	69	70	-1
	Decr. 25%	-0.07%	0.02%	1011.42	1056	4.40%	1.014	0.548	46.00%	69	70	-1
	Caso Base	-0.09%	0.05%	1011.42	1059	4.70%	1.014	0.626	38.30%	69	70	-1
	Incr. 25%	-0.11%	0.06%	1011.42	1061	4.90%	1.014	0.685	32.40%	69	70	-1
	Incr. 50%	-0.12%	0.07%	1011.42	1062	5.00%	1.014	0.733	27.70%	69	69	0
	Incr. 75%	-0.14%	0.07%	1011.42	1063	5.10%	1.014	0.772	23.90%	69	69	0
	Incr. 100%	-0.15%	0.09%	1011.42	1064	5.20%	1.014	0.804	20.70%	69	69	0
Guo												
Jordi	Decr. 75%	-0.03%	-0.01%	1011.42	1031	1.90%	1.014	0.321	68.30%	69	69	0
	Decr. 50%	-0.05%	0.01%	1011.42	1051	3.90%	1.014	0.457	54.90%	69	71	-2
	Decr. 25%	-0.07%	0.02%	1011.42	1057	4.50%	1.014	0.566	44.20%	69	70	-1
	Caso Base	-0.09%	0.04%	1011.42	1060	4.80%	1.014	0.645	36.40%	69	70	-1
	Incr. 25%	-0.10%	0.05%	1011.42	1062	5.00%	1.014	0.707	30.30%	69	70	-1
	Incr. 50%	-0.12%	0.07%	1011.42	1063	5.10%	1.014	0.756	25.40%	69	70	-1
	Incr. 75%	-0.14%	0.08%	1011.42	1063	5.10%	1.014	0.793	21.80%	69	69	0
	Incr. 100%	-0.14%	0.07%	1011.42	1064	5.20%	1.014	0.827	18.40%	69	69	0

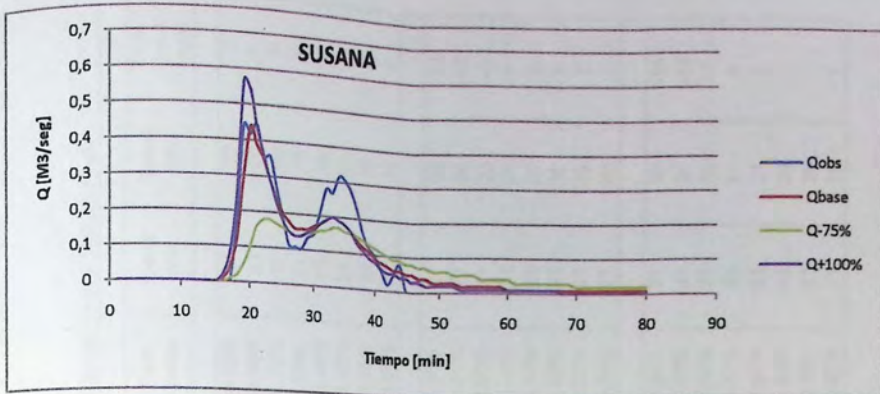


Figura 4-35, Discretización Meso, Evento Susana, Calculo W Manual SWMM 5.

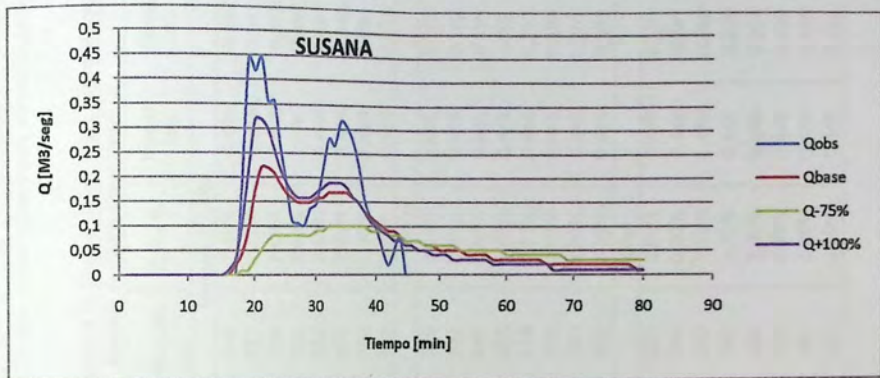


Figura 4-36, Discretización Meso, Evento Susana, Calculo W Di Giano.

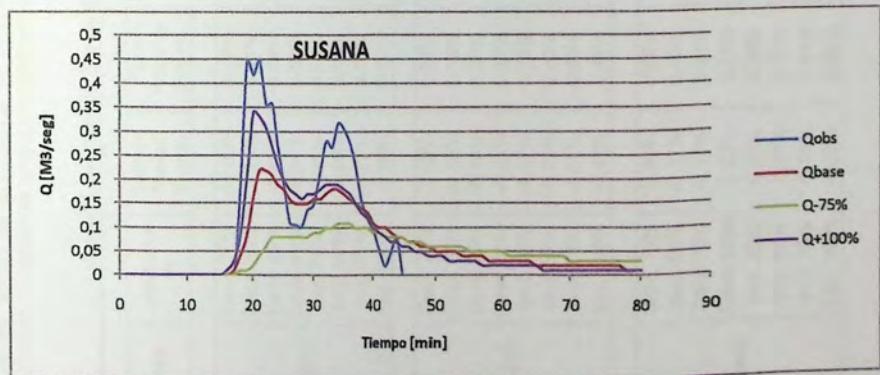


Figura 4-37, Discretización Meso, Evento Susana, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Susana, comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuenca W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-14, Nivel Meso, Evento Susana, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak

Análisis de datos-Nivel Meso												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Susana	Decr. 75%	-16.00%	0.27%	343.2	348	1.40%	0.446	0.182	59.20%	21	22	-1
	Decr. 50%	-0.29%	0.41%	343.2	351	2.30%	0.446	0.291	34.80%	21	20	1
	Decr. 25%	-0.40%	0.48%	343.2	352	2.60%	0.446	0.376	15.70%	21	20	1
	Caso Base	-0.51%	0.58%	343.2	352	2.60%	0.446	0.442	0.90%	21	20	1
	Incr. 25%	-0.60%	0.72%	343.2	352	2.60%	0.446	0.497	-11.40%	21	19	2
	Incr. 50%	-0.69%	0.63%	343.2	353	2.90%	0.446	0.548	-22.90%	21	19	2
	Incr. 75%	-0.77%	0.71%	343.2	353	2.90%	0.446	0.591	-32.50%	21	19	2
	Incr. 100%	-0.84%	0.75%	343.2	353	2.90%	0.446	0.628	-40.80%	21	19	2
Di Giano												
Susana	Decr. 75%	-7.00%	0.04%	343.2	329	4.10%	0.446	0.105	76.50%	21	35	-14
	Decr. 50%	-0.13%	0.19%	343.2	342	0.30%	0.446	0.142	68.20%	21	34	-13
	Decr. 25%	-0.18%	0.30%	343.2	346	0.80%	0.446	0.183	59.00%	21	22	-1
	Caso Base	-0.23%	0.32%	343.2	348	1.40%	0.446	0.22	50.70%	21	21	0
	Incr. 25%	-0.27%	0.38%	343.2	349	1.70%	0.446	0.253	43.30%	21	21	0
	Incr. 50%	-0.32%	0.40%	343.2	350	2.00%	0.446	0.282	36.80%	21	20	1
	Incr. 75%	-0.36%	0.53%	343.2	350	2.00%	0.446	0.307	31.20%	21	20	1
	Incr. 100%	-0.40%	0.46%	343.2	351	2.30%	0.446	0.333	25.30%	21	20	1
Guo												
Susana	Decr. 75%	-7.00%	0.02%	343.2	331	3.60%	0.446	0.107	76.00%	21	35	-14
	Decr. 50%	-0.12%	0.16%	343.2	344	0.20%	0.446	0.147	67.00%	21	34	-13
	Decr. 25%	-0.17%	0.30%	343.2	347	1.10%	0.446	0.188	57.80%	21	22	-1
	Caso Base	-0.22%	0.31%	343.2	349	1.70%	0.446	0.229	48.70%	21	21	0
	Incr. 25%	-0.27%	0.38%	343.2	350	2.00%	0.446	0.265	40.60%	21	21	0
	Incr. 50%	-0.31%	0.37%	343.2	351	2.30%	0.446	0.298	33.20%	21	20	1
	Incr. 75%	-0.35%	0.41%	343.2	351	2.30%	0.446	0.329	26.20%	21	20	1
	Incr. 100%	-0.38%	0.46%	343.2	351	2.30%	0.446	0.355	20.40%	21	20	1

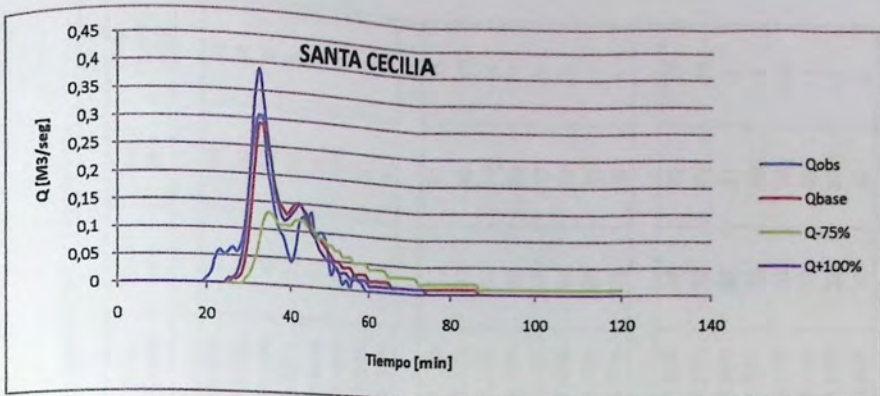


Figura 4-38, Discretización Meso, Evento Santa Cecilia, Calculo W Manual SWMM 5.

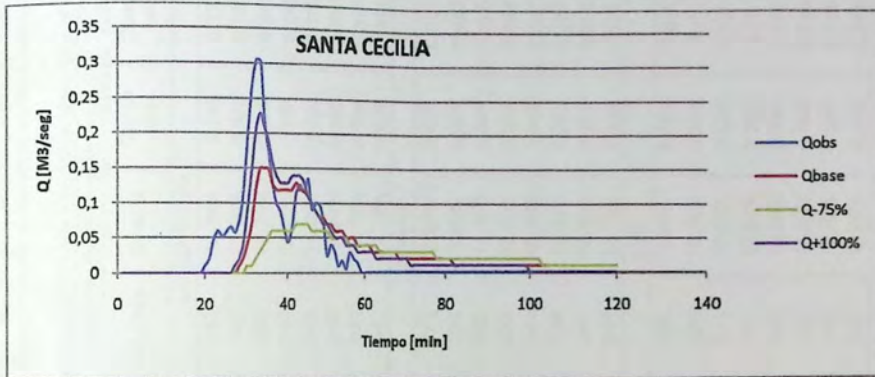


Figura 4-39, Discretización Meso, Evento Santa Cecilia, Calculo W Di Giano.

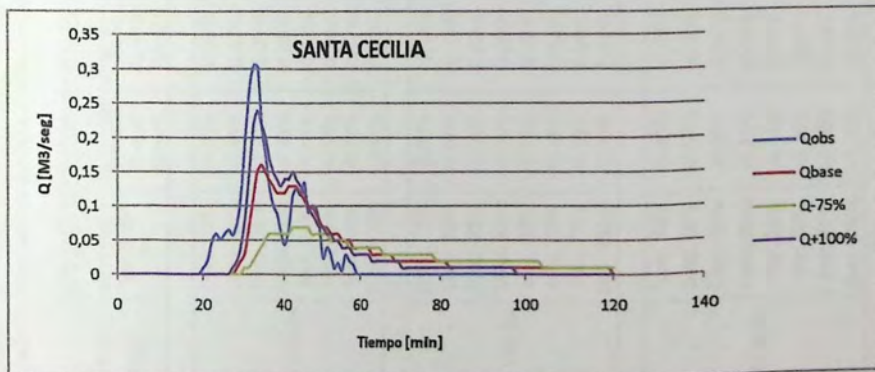


Figura 4-40, Discretización Meso, Evento Santa Cecilia, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Santa Cecilia, comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuena W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-15, Nivel Meso, Evento Santa Cecilia, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak

Análisis de datos-Nivel Meso												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Santa Cecilia	Decr. 75%	-8.00%	0.00%	215.4	242	12.30%	0.306	0.127	58.50%	32	34	-2
	Decr. 50%	-0.15%	0.07%	215.4	245	13.70%	0.306	0.203	33.70%	32	33	-1
	Decr. 25%	-0.20%	0.09%	215.4	245	13.70%	0.306	0.255	16.70%	32	32	0
	Caso Base	-0.25%	0.08%	215.4	246	14.20%	0.306	0.295	3.60%	32	32	0
	Incr. 25%	-0.30%	0.12%	215.4	246	14.20%	0.306	0.327	-6.90%	32	32	0
	Incr. 50%	-0.34%	0.16%	215.4	246	14.20%	0.306	0.353	-15.40%	32	32	0
	Incr. 75%	-0.37%	0.17%	215.4	247	14.70%	0.306	0.374	-22.20%	32	31	1
	Incr. 100%	-0.41%	0.19%	215.4	247	14.70%	0.306	0.392	-28.10%	32	31	1
Di Giano												
Santa Cecilia	Decr. 75%	-5.00%	-0.15%	215.4	223	3.50%	0.306	0.067	78.10%	32	43	-11
	Decr. 50%	-0.07%	-0.11%	215.4	236	9.60%	0.306	0.097	68.30%	32	42	-10
	Decr. 25%	-0.09%	0.02%	215.4	240	11.40%	0.306	0.128	58.20%	32	34	-2
	Caso Base	-0.12%	0.06%	215.4	242	12.30%	0.306	0.154	49.70%	32	33	-1
	Incr. 25%	-0.14%	0.03%	215.4	243	12.80%	0.306	0.177	42.20%	32	33	-1
	Incr. 50%	-0.16%	0.06%	215.4	244	13.30%	0.306	0.197	35.60%	32	33	-1
	Incr. 75%	-0.18%	0.09%	215.4	244	13.30%	0.306	0.215	29.70%	32	33	-1
	Incr. 100%	-0.20%	0.06%	215.4	245	13.70%	0.306	0.231	24.50%	32	32	0
Guo												
Santa Cecilia	Decr. 75%	-5.00%	-0.15%	215.4	226	4.90%	0.306	0.068	77.80%	32	43	-11
	Decr. 50%	-0.07%	-0.10%	215.4	238	10.50%	0.306	0.1	67.30%	32	42	-10
	Decr. 25%	-0.09%	0.00%	215.4	241	11.90%	0.306	0.132	56.90%	32	34	-2
	Caso Base	-0.11%	0.01%	215.4	243	12.80%	0.306	0.16	47.70%	32	33	-1
	Incr. 25%	-0.14%	0.04%	215.4	244	13.30%	0.306	0.185	39.50%	32	33	-1
	Incr. 50%	-0.16%	0.07%	215.4	244	13.30%	0.306	0.206	32.70%	32	33	-1
	Incr. 75%	-0.18%	0.04%	215.4	245	13.70%	0.306	0.225	26.50%	32	33	-1
	Incr. 100%	-0.20%	0.06%	215.4	245	13.70%	0.306	0.242	20.90%	32	32	0

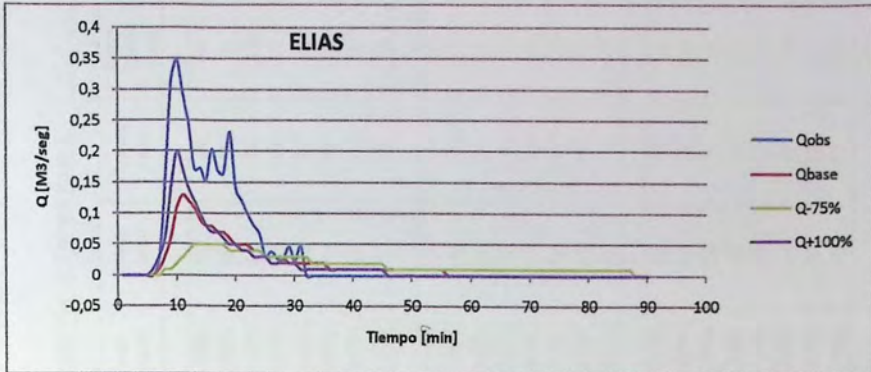


Figura 4-41, Discretización Meso, Evento Elías, Calculo W Manual SWMM 5.

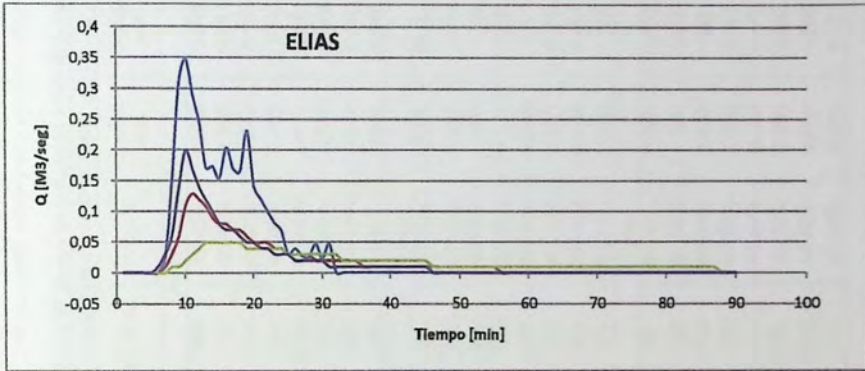


Figura 4-42, Discretización Meso, Evento Elías, Calculo W Di Giano.

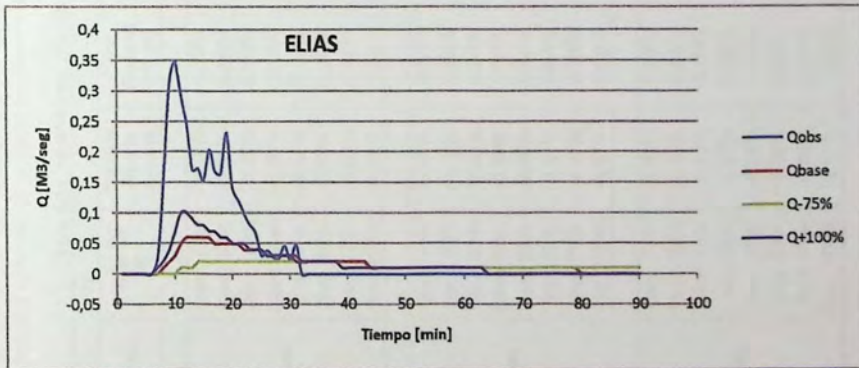


Figura 4-43, Discretización Meso, Evento Elías, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Elías, comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuenca W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-16, Nivel Meso, Evento Elías, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak

Análisis de datos-Nivel Meso												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Elías	Decr. 75%	-19.00%	0.15%	203.34	109	46.40%	0.349	0.048	86.20%	10	14	-4
	Decr. 50%	-0.36%	0.60%	203.34	111	45.40%	0.349	0.081	76.80%	10	12	-2
	Decr. 25%	-0.52%	0.30%	203.34	112	44.90%	0.349	0.107	69.30%	10	11	-1
	Caso Base	-0.68%	1.13%	203.34	112	44.90%	0.349	0.13	62.80%	10	11	-1
	Incr. 25%	-0.82%	1.15%	203.34	113	44.40%	0.349	0.15	57.00%	10	10	0
	Incr. 50%	-0.96%	1.32%	203.34	113	44.40%	0.349	0.168	51.90%	10	10	0
	Incr. 75%	-1.09%	1.48%	203.34	113	44.40%	0.349	0.183	47.60%	10	10	0
	Incr. 100%	-1.21%	1.63%	203.34	113	44.40%	0.349	0.197	43.60%	10	10	0
Di Giano												
Elías	Decr. 75%	-9.00%	-0.20%	203.34	97	52.30%	0.349	0.022	93.70%	10	19	-9
	Decr. 50%	-0.16%	0.00%	203.34	105	48.40%	0.349	0.034	90.30%	10	15	-5
	Decr. 25%	-0.22%	0.27%	203.34	108	46.90%	0.349	0.049	86.00%	10	14	-4
	Caso Base	-0.29%	0.39%	203.34	110	45.90%	0.349	0.06	82.80%	10	13	-3
	Incr. 25%	-0.35%	0.52%	203.34	111	45.40%	0.349	0.07	79.90%	10	12	-2
	Incr. 50%	-0.41%	0.64%	203.34	111	45.40%	0.349	0.079	77.40%	10	12	-2
	Incr. 75%	-0.47%	0.74%	203.34	111	45.40%	0.349	0.087	75.10%	10	11	-1
	Incr. 100%	-0.53%	0.96%	203.34	111	45.40%	0.349	0.095	72.80%	10	11	-1
Guo												
Elías	Decr. 75%	-9.00%	0.24%	203.34	98	51.80%	0.349	0.022	93.70%	10	19	-9
	Decr. 50%	-0.15%	0.03%	203.34	106	47.90%	0.349	0.037	89.40%	10	15	-5
	Decr. 25%	-0.21%	0.33%	203.34	109	46.40%	0.349	0.05	85.70%	10	14	-4
	Caso Base	-0.27%	0.39%	203.34	110	45.90%	0.349	0.062	82.20%	10	13	-3
	Incr. 25%	-0.34%	0.52%	203.34	111	45.40%	0.349	0.073	79.10%	10	12	-2
	Incr. 50%	-0.40%	0.64%	203.34	111	45.40%	0.349	0.083	76.20%	10	12	-2
	Incr. 75%	-0.46%	0.74%	203.34	112	44.90%	0.349	0.093	73.40%	10	11	-1
	Incr. 100%	-0.51%	0.85%	203.34	112	44.90%	0.349	0.101	71.10%	10	11	-1

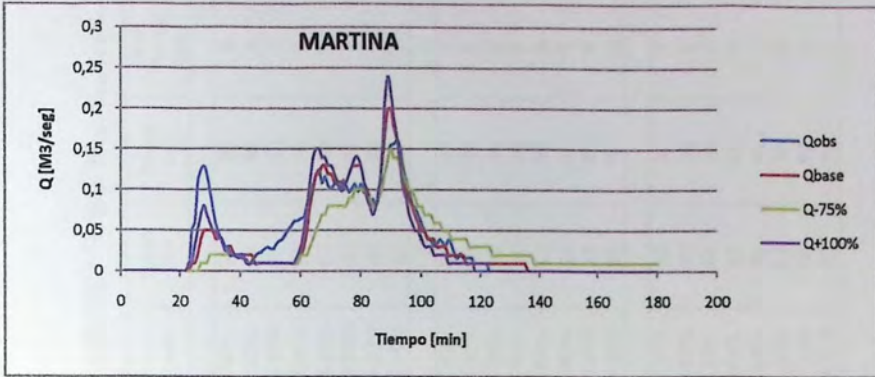


Figura 4-44, Discretización Meso, Evento Martina, Calculo W Manual SWMM 5.

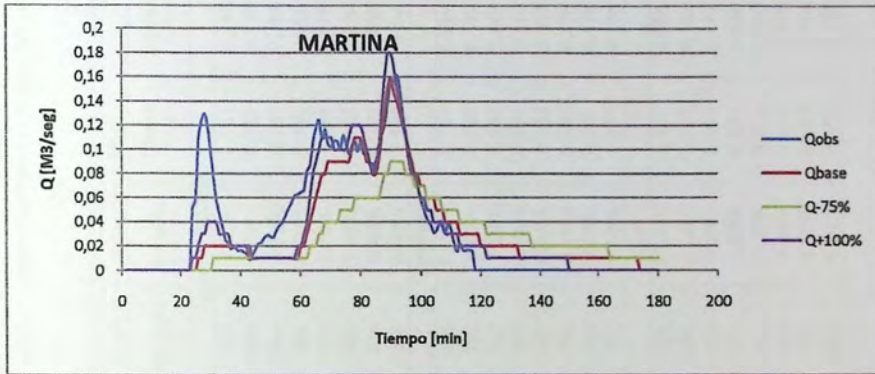


Figura 4-45, Discretización Meso, Evento Martina, Calculo W Di Giano.

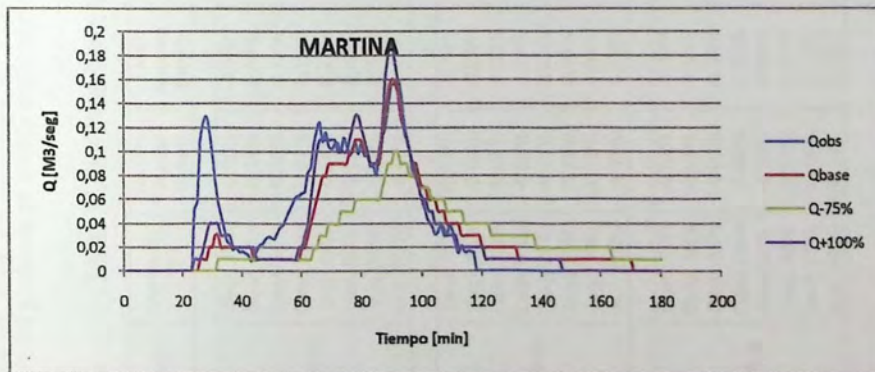


Figura 4-46, Discretización Meso, Evento Martina, Calculo W Manual Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Martina, comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuenca W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-17, Nivel Meso, Evento Martina, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak

Análisis de datos-Nivel Meso												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Martina	Decr. 75%	-0.06%	-0.02%	385.98	359	7.00%	0.161	0.146	9.30%	92	90	2
	Decr. 50%	-0.11%	0.07%	385.98	363	6.00%	0.161	0.176	-9.30%	92	89	3
	Decr. 25%	-0.16%	0.13%	385.98	364	5.70%	0.161	0.193	-19.90%	92	89	3
	Caso Base	-0.21%	0.20%	385.98	364	5.70%	0.161	0.206	-28.00%	92	89	3
	Incr. 25%	-0.26%	0.27%	385.98	364	5.70%	0.161	0.216	-34.20%	92	89	3
	Incr. 50%	-0.57%	0.45%	385.98	365	5.40%	0.161	0.262	-62.70%	92	88	4
	Incr. 75%	-0.36%	0.37%	385.98	365	5.40%	0.161	0.233	-44.70%	92	89	3
	Incr. 100%	-0.40%	0.40%	385.98	365	5.40%	0.161	0.24	-49.10%	92	89	3
Di Giano												
Martina	Decr. 75%	-0.04%	-0.10%	385.98	335	13.20%	0.161	0.094	41.60%	92	91	1
	Decr. 50%	-0.05%	-0.05%	385.98	352	8.80%	0.161	0.125	22.40%	92	90	2
	Decr. 25%	-0.07%	-0.02%	385.98	357	7.50%	0.161	0.143	11.20%	92	90	2
	Caso Base	-0.09%	0.02%	385.98	360	6.70%	0.161	0.156	3.10%	92	90	2
	Incr. 25%	-0.11%	0.05%	385.98	361	6.50%	0.161	0.165	-2.50%	92	89	3
	Incr. 50%	-0.13%	0.06%	385.98	362	6.20%	0.161	0.173	-7.50%	92	89	3
	Incr. 75%	-0.15%	0.09%	385.98	363	6.00%	0.161	0.179	-11.20%	92	89	3
	Incr. 100%	-0.17%	0.12%	385.98	363	6.00%	0.161	0.185	-14.90%	92	89	3
Guo												
Martina	Decr. 75%	-0.04%	-0.10%	385.98	338	12.40%	0.161	0.096	40.40%	92	91	1
	Decr. 50%	-0.05%	-0.06%	385.98	354	8.30%	0.161	0.129	19.90%	92	90	2
	Decr. 25%	-0.07%	-0.02%	385.98	358	7.20%	0.161	0.147	8.70%	92	90	2
	Caso Base	-0.08%	0.00%	385.98	361	6.50%	0.161	0.159	1.20%	92	90	2
	Incr. 25%	-0.10%	0.04%	385.98	362	6.20%	0.161	0.169	-5.00%	92	89	3
	Incr. 50%	-0.12%	0.07%	385.98	362	6.20%	0.161	0.176	-9.30%	92	90	2
	Incr. 75%	-0.14%	0.10%	385.98	363	6.00%	0.161	0.183	-13.70%	92	89	3
	Incr. 100%	-0.16%	0.12%	385.98	363	6.00%	0.161	0.189	-17.40%	92	89	3

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos correspondiente a los hidrogramas anteriormente mostrados.

Tabla 4-18, Nivel Meso, Coeficientes de ajuste de datos para todos los eventos de lluvia del estudio.

Test aplicados a discretización Meso										
Datos		W Manual SWMM			W Di Giano			W Guo		
Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Fidel	Qobs-Qbase	0.885	0.021	-4.30%	0.78	0.029	-2.56%	0.781	0.028	-2.27%
	Qobs-Q-75%	0.72	0.032	-1.99%	0.444	0.046	9.58%	0.439	0.046	8.33%
	Qobs-Q+100%	0.882	0.021	-4.01%	0.87	0.022	-3.43%	0.867	0.022	-3.34%
Efrén	Qobs-Qbase	0.48	0.047	-6.61%	0.753	0.032	-4.23%	0.766	0.031	-5.12%
	Qobs-Q-75%	0.781	0.03	-4.23%	0.577	0.042	1.43%	0.576	0.042	0.54%
	Qobs-Q+100%	0.207	0.058	-8.10%	0.625	0.04	-5.72%	0.62	0.04	-6.31%
Jordi	Qobs-Qbase	0.791	0.066	-4.35%	0.629	0.088	-3.70%	0.619	0.089	-3.52%
	Qobs-Q-75%	0.543	0.097	-3.16%	0.326	0.118	4.19%	0.308	0.12	3.19%
	Qobs-Q+100%	0.851	0.056	-4.41%	0.746	0.073	-4.17%	0.743	0.073	-4.17%
Susana	Qobs-Qbase	0.888	0.041	0.52%	0.623	0.076	9.44%	0.616	0.077	9.09%
	Qobs-Q-75%	0.5	0.088	11.89%	0.175	0.115	35.31%	0.16	0.116	34.09%
	Qobs-Q+100%	0.89	0.088	-0.70%	0.823	0.115	3.67%	0.824	0.116	2.45%
Santa Cecilia	Qobs-Qbase	0.82	0.026	-10.31%	0.538	0.042	-4.74%	0.521	0.043	-6.13%
	Qobs-Q-75%	0.386	0.049	-2.23%	0.107	0.059	22.84%	0.1	0.059	20.89%
	Qobs-Q+100%	0.86	0.023	-11.14%	0.757	0.031	-7.24%	0.749	0.031	-9.19%
Eliás	Qobs-Qbase	0.544	0.048	49.54%	0.276	0.061	53.67%	0.281	0.061	52.79%
	Qobs-Q-75%	0.203	0.064	53.67%	0.035	0.071	64.30%	0.021	0.072	63.41%
	Qobs-Q+100%	0.677	0.041	47.77%	0.437	0.054	51.31%	0.446	0.053	50.43%
Martina	Qobs-Qbase	0.816	0.02	7.82%	0.689	0.026	11.08%	0.689	0.026	10.31%
	Qobs-Q-75%	0.623	0.028	10.93%	0.323	0.038	26.16%	0.314	0.039	25.07%
	Qobs-Q+100%	0.798	0.021	7.20%	0.798	0.021	8.91%	0.788	0.021	8.44%

Fuente: Elaboración propia

### 4.2.3. Nivel Micro:

Se destaca que este nivel de discretización, es el más detallado de los tres, considero datos de poca agregación, que representan de manera correcta la realidad de la cuenca. Cabe destacar también que en este nivel de discretización se considera una longitud de colectores que es 4 veces superior a la de la discretización Meso y 5 veces superior a la discretización Macro, logrando de esta manera, representar de una forma eficiente la red existente en la zona.

A continuación se presentan los hidrogramas obtenidos de la modelación de los 7 eventos de lluvia para las 3 metodologías de cálculo del ancho de subcuenca  $W$ . Los gráficos expuestos muestran el comportamiento de los hidrogramas para un mismo evento de lluvia, pero para las distintas metodologías de cálculo de  $W$ . En los hidrogramas mostrados, se contrastan, el hidrograma observado para el evento, el hidrograma calculado con el valor base de  $W$  entregado por la metodología con que este se calcula, un hidrograma que considera un decrecimiento de 75% del  $W$  base y un hidrograma que considera un crecimiento de 100% del  $W$  base.

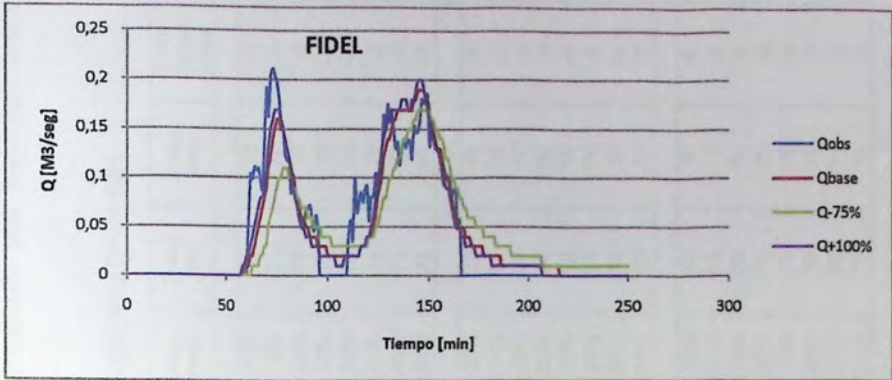


Figura 4-47, Discretización Micro, Evento Fidel, Calculo W Manual SWMM 5.

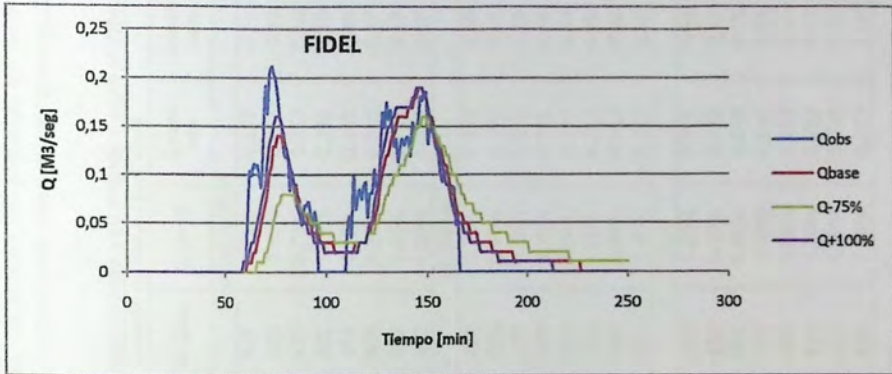


Figura 4-48, Discretización Micro, Evento Fidel, Calculo W Di Giano.

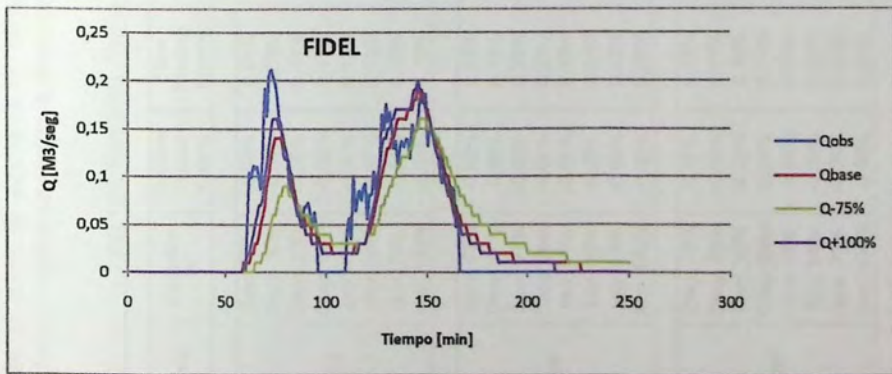


Figura 4-49, Discretización Micro, Evento Fidel, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Fidel, comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuenca W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-19, Nivel Micro, Evento Fidel, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak

Análisis de datos-Nivel Micro												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Fidel	Decr. 75%	-0.03%	0.01%	622.44	625	1.20%	0.212	0.11	48.10%	73	78	-5
	Decr. 50%	-0.04%	0.05%	622.44	630	0.40%	0.212	0.13	38.70%	73	77	-4
	Decr. 25%	-0.05%	0.11%	622.44	631	0.70%	0.212	0.15	29.20%	73	76	-3
	Caso Base	-0.06%	0.11%	622.44	632	1.10%	0.212	0.16	24.50%	73	75	-2
	Incr. 25%	-0.07%	0.13%	622.44	632	1.10%	0.212	0.16	24.50%	73	74	-1
	Incr. 50%	-0.07%	0.13%	622.44	632	1.20%	0.212	0.17	19.80%	73	75	-2
	Incr. 75%	-0.08%	0.16%	622.44	632	1.20%	0.212	0.17	19.80%	73	74	-1
	Incr. 100%	-0.09%	0.15%	622.44	632	1.20%	0.212	0.17	19.80%	73	74	-1
Di Giano												
Fidel	Decr. 75%	-0.02%	0.16%	622.44	615	1.20%	0.212	0.08	62.30%	73	78	-5
	Decr. 50%	-0.03%	0.19%	622.44	625	0.40%	0.212	0.11	48.10%	73	76	-3
	Decr. 25%	-0.03%	0.20%	622.44	628	0.90%	0.212	0.13	38.70%	73	77	-4
	Caso Base	-0.04%	0.22%	622.44	629	1.10%	0.212	0.14	34.00%	73	76	-3
	Incr. 25%	-0.05%	0.23%	622.44	630	1.20%	0.212	0.14	34.00%	73	74	-1
	Incr. 50%	-0.05%	0.24%	622.44	630	1.20%	0.212	0.15	29.20%	73	75	-2
	Incr. 75%	-0.06%	0.25%	622.44	630	1.20%	0.212	0.16	24.50%	73	76	-3
	Incr. 100%	-0.06%	0.26%	622.44	631	1.40%	0.212	0.16	24.50%	73	75	-2
Guo												
Fidel	Decr. 75%	-0.02%	0.15%	622.44	615	1.20%	0.212	0.09	57.50%	73	79	-6
	Decr. 50%	-0.03%	0.17%	622.44	625	0.40%	0.212	0.12	43.40%	73	77	-4
	Decr. 25%	-0.03%	0.19%	622.44	627	0.90%	0.212	0.13	38.70%	73	75	-2
	Caso Base	-0.04%	0.21%	622.44	629	1.10%	0.212	0.14	34.00%	73	75	-2
	Incr. 25%	-0.05%	0.22%	622.44	629	1.20%	0.212	0.15	29.20%	73	75	-2
	Incr. 50%	-0.05%	0.23%	622.44	630	1.20%	0.212	0.15	29.20%	73	74	-1
	Incr. 75%	-0.06%	0.24%	622.44	630	1.20%	0.212	0.16	24.50%	73	75	-2
	Incr. 100%	-0.06%	0.25%	622.44	630	1.40%	0.212	0.16	24.50%	73	75	-2

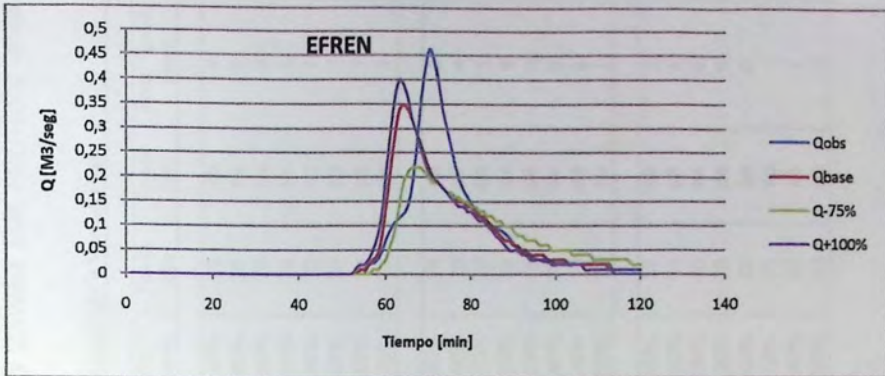


Figura 4-50, Discretización Micro, Evento Efrén, Calculo W Manual SWMM 5.

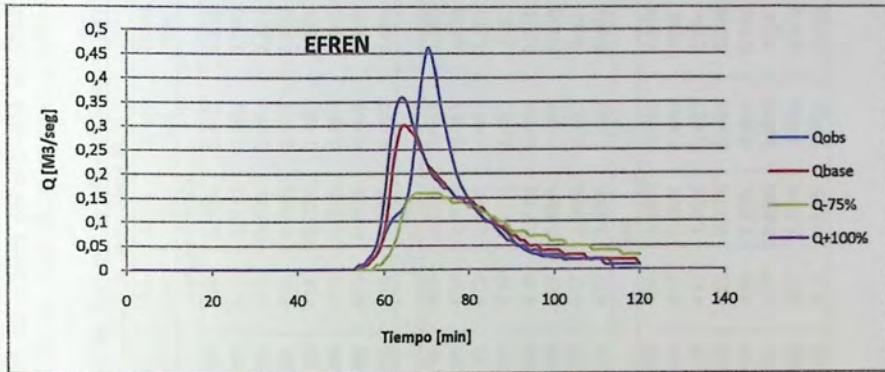


Figura 4-51, Discretización Micro, Evento Efrén, Calculo W Di Giano.

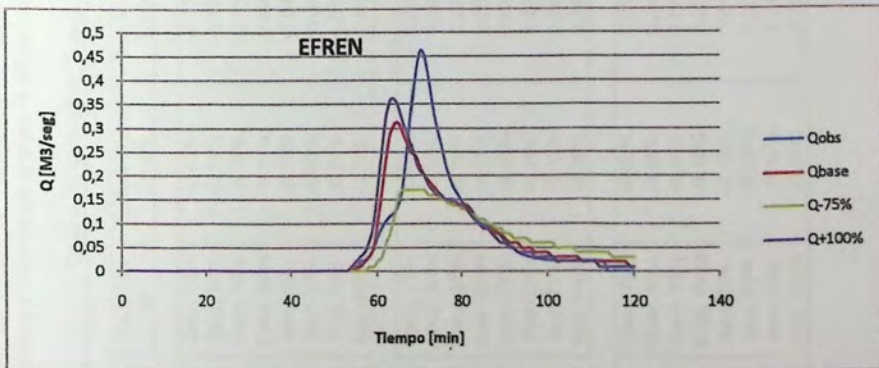


Figura 4-52, Discretización Micro, Evento Efrén, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Efrén, comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuena W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-20, Nivel Micro, Evento Efrén, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak

Análisis de datos-Nivel Micro												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Efrén	Decr. 75%	-0.07%	-0.17%	402.96	414	2.70%	0.463	0.218	52.90%	70	66	4
	Decr. 50%	-0.11%	-0.15%	402.96	417	3.50%	0.463	0.289	37.60%	70	64	6
	Decr. 25%	-0.13%	-0.05%	402.96	418	3.70%	0.463	0.327	29.40%	70	64	6
	Caso Base	-0.16%	0.00%	402.96	418	3.70%	0.463	0.352	24.00%	70	64	6
	Incr. 25%	-0.17%	-0.04%	402.96	418	3.70%	0.463	0.371	19.90%	70	63	7
	Incr. 50%	-0.19%	-0.03%	402.96	419	4.00%	0.463	0.385	16.80%	70	63	7
	Incr. 75%	-0.21%	0.01%	402.96	419	4.00%	0.463	0.396	14.50%	70	63	7
	Incr. 100%	-0.22%	-0.01%	402.96	419	4.00%	0.463	0.404	12.70%	70	63	7
Di Giano												
Efrén	Decr. 75%	-0.05%	0.28%	402.96	406	0.80%	0.463	0.165	64.40%	70	68	2
	Decr. 50%	-0.07%	0.19%	402.96	413	2.50%	0.463	0.229	50.50%	70	66	4
	Decr. 25%	-0.10%	0.20%	402.96	415	3.00%	0.463	0.271	41.50%	70	65	5
	Caso Base	-0.11%	0.20%	402.96	416	3.20%	0.463	0.3	35.20%	70	64	6
	Incr. 25%	-0.13%	0.22%	402.96	416	3.20%	0.463	0.318	31.30%	70	64	6
	Incr. 50%	-0.14%	0.27%	402.96	417	3.50%	0.463	0.336	27.40%	70	64	6
	Incr. 75%	-0.15%	0.24%	402.96	417	3.50%	0.463	0.35	24.40%	70	64	6
	Incr. 100%	-0.16%	0.24%	402.96	417	3.50%	0.463	0.361	22.00%	70	63	7
Guo												
Efrén	Decr. 75%	-0.05%	0.22%	402.96	406	0.80%	0.463	0.174	62.40%	70	68	2
	Decr. 50%	-0.08%	0.24%	402.96	412	2.50%	0.463	0.24	48.20%	70	65	5
	Decr. 25%	-0.10%	0.20%	402.96	415	3.00%	0.463	0.281	39.30%	70	64	6
	Caso Base	-0.12%	0.25%	402.96	415	3.20%	0.463	0.309	33.30%	70	64	6
	Incr. 25%	-0.13%	0.22%	402.96	416	3.20%	0.463	0.324	30.00%	70	64	6
	Incr. 50%	-0.15%	0.20%	402.96	417	3.50%	0.463	0.34	26.60%	70	63	7
	Incr. 75%	-0.16%	0.24%	402.96	417	3.50%	0.463	0.353	23.80%	70	63	7
	Incr. 100%	-0.17%	0.26%	402.96	417	3.50%	0.463	0.363	21.60%	70	63	7

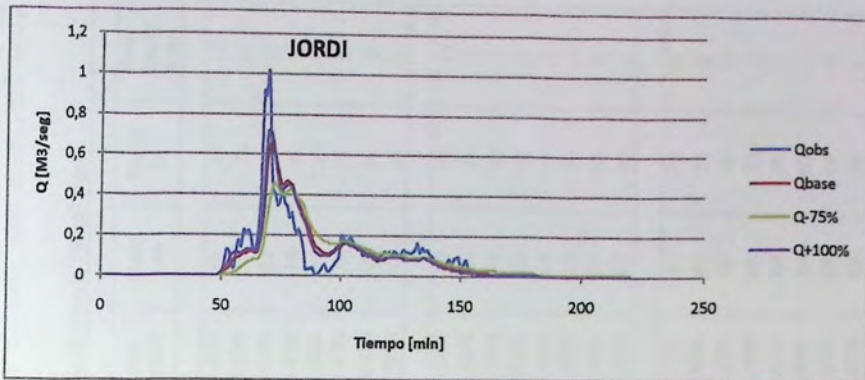


Figura 4-53, Discretización Micro, Evento Jordi, Calculo W Manual SWMM 5.

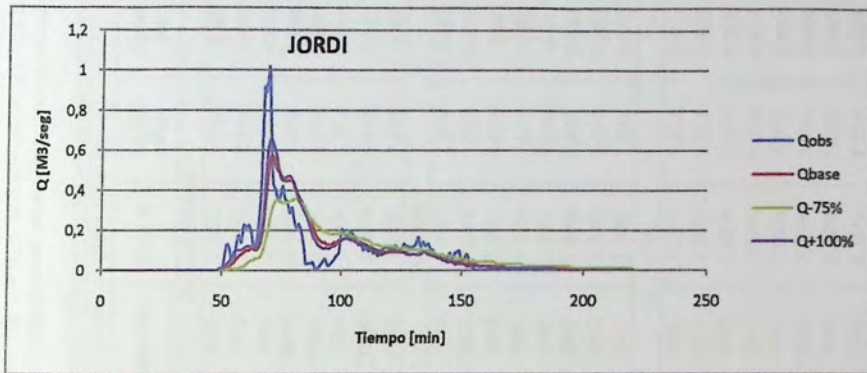


Figura 4-54, Discretización Micro, Evento Jordi, Calculo W Di Giano.

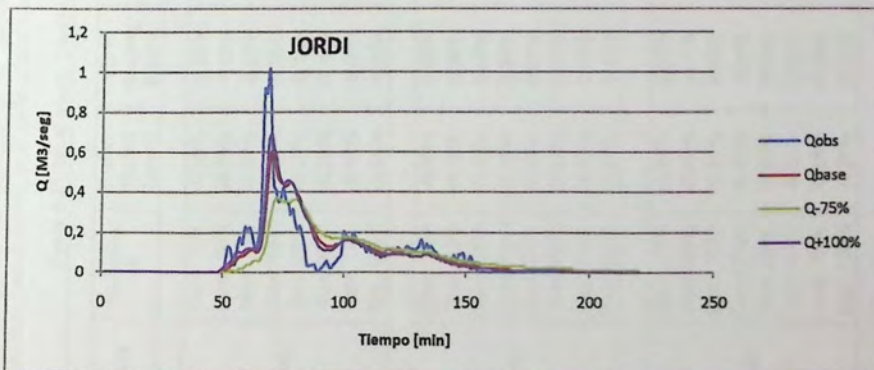


Figura 4-55, Discretización Micro, Evento Jordi, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Jordi, comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuenca W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-21, Nivel Micro, Evento Jordi, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak

Análisis de datos-Nivel Micro												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Jordi	Decr. 75%	-0.09%	-0.05%	1011.42	1038	2.60%	1.014	0.46	54.60%	69	71	-2
	Decr. 50%	-0.15%	-0.05%	1011.42	1042	3.00%	1.014	0.573	43.50%	69	70	-1
	Decr. 25%	-0.21%	-0.07%	1011.42	1043	3.10%	1.014	0.629	38.00%	69	70	-1
	Caso Base	-0.25%	-0.06%	1011.42	1043	3.10%	1.014	0.665	34.40%	69	69	0
	Incr. 25%	-0.29%	-0.10%	1011.42	1042	3.00%	1.014	0.691	31.90%	69	69	0
	Incr. 50%	-0.33%	-0.10%	1011.42	1039	2.70%	1.014	0.711	29.90%	69	69	0
	Incr. 75%	-0.36%	-0.05%	1011.42	1036	2.40%	1.014	0.727	28.30%	69	69	0
	Incr. 100%	-0.39%	-0.08%	1011.42	1035	2.30%	1.014	0.74	27.00%	69	69	0
Di Giano												
Jordi	Decr. 75%	-0.06%	0.05%	1011.42	1029	1.70%	1.014	0.365	64.00%	69	80	-11
	Decr. 50%	-0.10%	0.06%	1011.42	1037	2.50%	1.014	0.477	53.00%	69	71	-2
	Decr. 25%	-0.13%	0.06%	1011.42	1040	2.80%	1.014	0.54	46.70%	69	70	-1
	Caso Base	-0.16%	0.04%	1011.42	1041	2.90%	1.014	0.58	42.80%	69	70	-1
	Incr. 25%	-0.19%	0.02%	1011.42	1042	3.00%	1.014	0.61	39.80%	69	70	-1
	Incr. 50%	-0.22%	0.01%	1011.42	1042	3.00%	1.014	0.634	37.50%	69	70	-1
	Incr. 75%	-0.25%	0.00%	1011.42	1042	3.00%	1.014	0.653	35.60%	69	69	0
	Incr. 100%	-0.27%	-0.02%	1011.42	1041	2.90%	1.014	0.662	34.70%	69	69	0
Guo												
Jordi	Decr. 75%	-0.06%	0.07%	1011.42	1028	1.70%	1.014	0.372	63.30%	69	72	-3
	Decr. 50%	-0.10%	0.07%	1011.42	1037	2.50%	1.014	0.501	50.60%	69	71	-2
	Decr. 25%	-0.14%	0.06%	1011.42	1040	2.80%	1.014	0.569	43.90%	69	70	-1
	Caso Base	-0.17%	0.04%	1011.42	1041	2.90%	1.014	0.611	39.70%	69	70	-1
	Incr. 25%	-0.20%	0.05%	1011.42	1042	3.00%	1.014	0.641	36.80%	69	70	-1
	Incr. 50%	-0.23%	0.02%	1011.42	1043	3.00%	1.014	0.664	34.50%	69	69	0
	Incr. 75%	-0.26%	-0.02%	1011.42	1043	3.00%	1.014	0.683	32.60%	69	69	0
	Incr. 100%	-0.28%	-0.01%	1011.42	1043	2.90%	1.014	0.698	31.20%	69	69	0

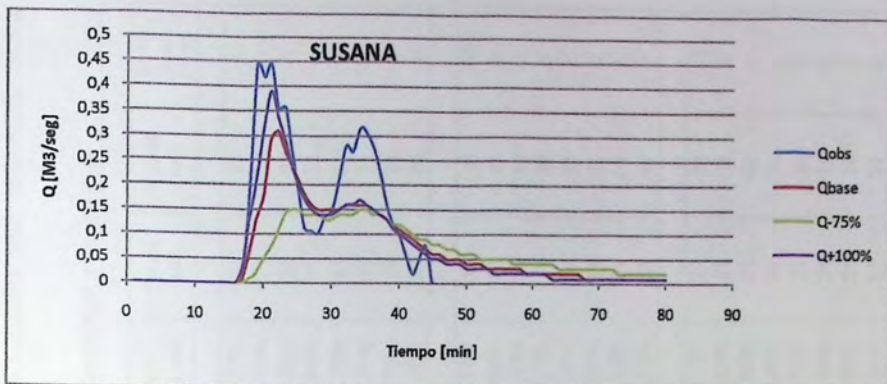


Figura 4-56, Discretización Micro, Evento Susana Calculo W Manual SWMM 5.

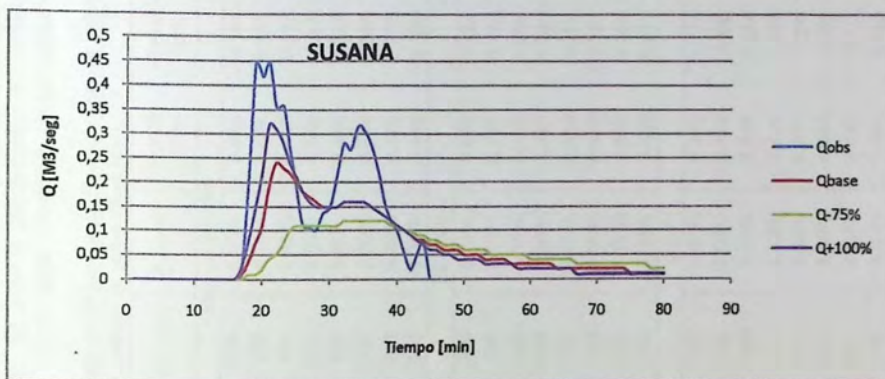


Figura 4-57, Discretización Micro, Evento Susana Calculo W Di Giano.

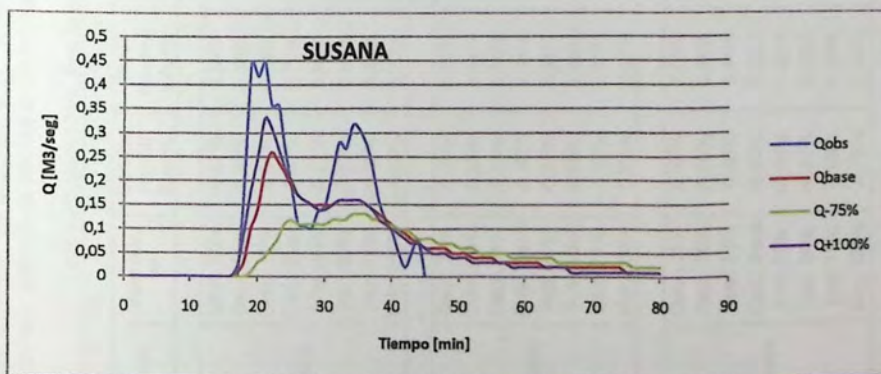


Figura 4-58, Discretización Micro, Evento Susana Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Susana, comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuenca W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-22, Nivel Micro, Evento Susana, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak

Análisis de datos-Nivel Micro												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Susana	Decr. 75%	-0.22%	0.29%	343.2	326	5.00%	0.446	0.154	65.50%	21	23	-2
	Decr. 50%	-0.40%	0.38%	343.2	329	4.10%	0.446	0.227	49.10%	21	22	-1
	Decr. 25%	-0.54%	0.54%	343.2	330	3.80%	0.446	0.274	38.60%	21	22	-1
	Caso Base	-0.67%	0.72%	343.2	330	3.80%	0.446	0.31	30.50%	21	21	0
	Incr. 25%	-0.77%	0.82%	343.2	330	3.80%	0.446	0.336	24.70%	21	21	0
	Incr. 50%	-0.87%	0.81%	343.2	331	3.60%	0.446	0.356	20.20%	21	21	0
	Incr. 75%	-0.95%	0.63%	343.2	332	3.30%	0.446	0.375	15.90%	21	21	0
	Incr. 100%	-1.02%	0.72%	343.2	332	3.30%	0.446	0.388	13.00%	21	20	1
Di Giano												
Susana	Decr. 75%	-0.14%	0.57%	343.2	320	6.80%	0.446	0.124	72.20%	21	35	-14
	Decr. 50%	-0.25%	0.46%	343.2	326	5.00%	0.446	0.166	62.80%	21	23	-2
	Decr. 25%	-0.34%	0.32%	343.2	329	4.10%	0.446	0.209	53.10%	21	22	-1
	Caso Base	-0.43%	0.33%	343.2	330	3.80%	0.446	0.242	45.70%	21	22	-1
	Incr. 25%	-0.51%	0.39%	343.2	330	3.80%	0.446	0.268	39.90%	21	21	0
	Incr. 50%	-0.59%	0.39%	343.2	331	3.60%	0.446	0.291	34.80%	21	21	0
	Incr. 75%	-0.65%	0.41%	343.2	331	3.60%	0.446	0.309	30.70%	21	21	0
	Incr. 100%	-0.71%	0.41%	343.2	332	3.30%	0.446	0.327	26.70%	21	21	0
Guo												
Susana	Decr. 75%	-0.14%	0.63%	343.2	320	6.80%	0.446	0.128	71.30%	21	34	-13
	Decr. 50%	-0.25%	0.46%	343.2	326	5.00%	0.446	0.18	59.60%	21	23	-2
	Decr. 25%	-0.36%	0.44%	343.2	328	4.10%	0.446	0.224	49.80%	21	22	-1
	Caso Base	-0.45%	0.35%	343.2	330	3.80%	0.446	0.258	42.20%	21	21	0
	Incr. 25%	-0.53%	0.36%	343.2	330	3.80%	0.446	0.28	37.20%	21	21	0
	Incr. 50%	-0.61%	0.38%	343.2	331	3.60%	0.446	0.302	32.30%	21	21	0
	Incr. 75%	-0.68%	0.39%	343.2	331	3.60%	0.446	0.32	28.30%	21	21	0
	Incr. 100%	-0.75%	0.40%	343.2	332	3.30%	0.446	0.335	24.90%	21	21	0

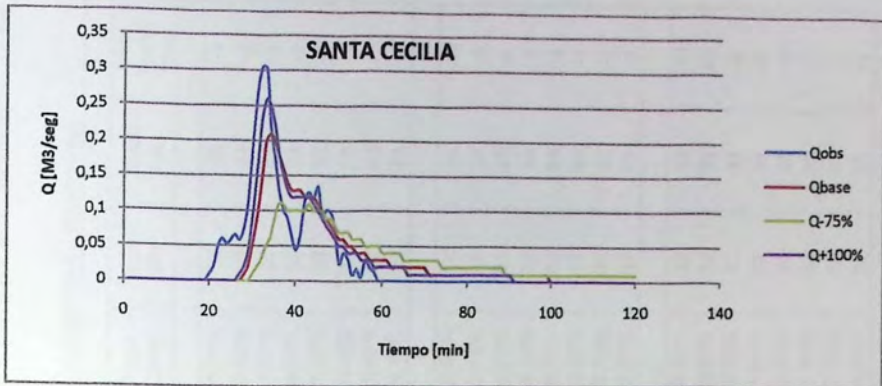


Figura 4-59, Discretización Micro, Evento Santa Cecilia, Calculo W Manual SWMM 5.

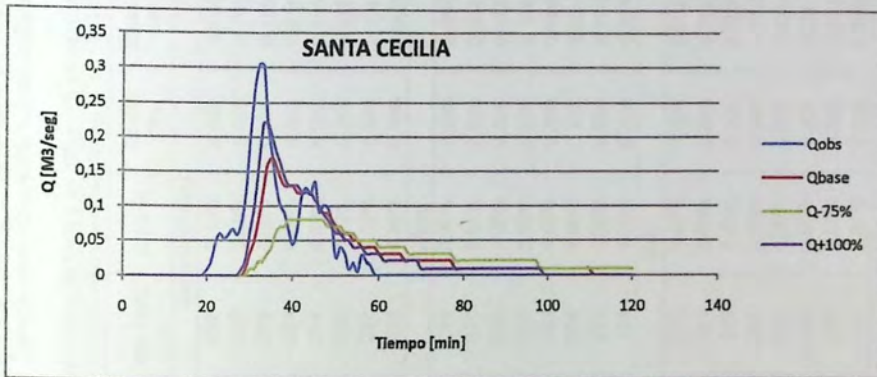


Figura 4-60, Discretización Micro, Evento Santa Cecilia, Calculo W Di Gianio.

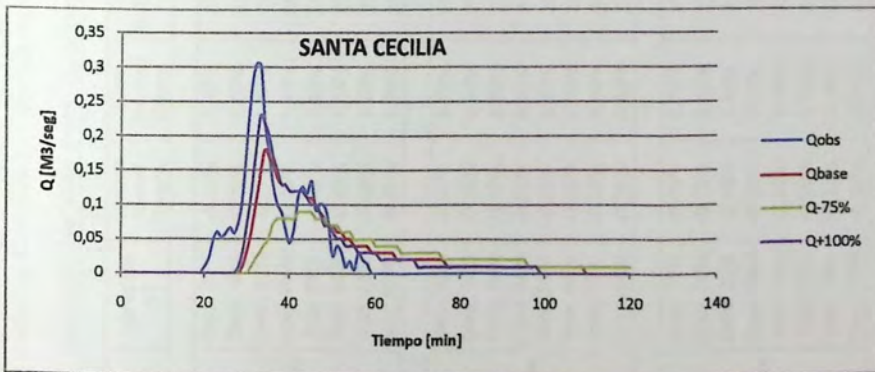


Figura 4-61, Discretización Micro, Evento Santa Cecilia, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Santa Cecilia, comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuenca W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-23, Nivel Micro, Evento Santa Cecilia, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak

Análisis de datos-Nivel Micro												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Santa Cecilia	Decr. 75%	-0.12%	1.47%	215.4	220	2.10%	0.306	0.108	64.70%	32	36	-4
	Decr. 50%	-0.20%	1.50%	215.4	223	3.50%	0.306	0.159	48.00%	32	34	-2
	Decr. 25%	-0.27%	1.45%	215.4	224	4.00%	0.306	0.192	37.30%	32	34	-2
	Caso Base	-0.33%	1.40%	215.4	224	4.00%	0.306	0.215	29.70%	32	33	-1
	Incr. 25%	-0.38%	1.33%	215.4	224	4.00%	0.306	0.233	23.90%	32	33	-1
	Incr. 50%	-0.43%	1.35%	215.4	225	4.50%	0.306	0.247	19.30%	32	33	-1
	Incr. 75%	-0.48%	1.24%	215.4	225	4.50%	0.306	0.259	15.40%	32	33	-1
	Incr. 100%	-0.52%	1.26%	215.4	225	4.50%	0.306	0.263	14.10%	32	33	-1
Di Giano												
Santa Cecilia	Decr. 75%	-0.07%	0.75%	215.4	216	0.30%	0.306	0.084	72.50%	32	44	-12
	Decr. 50%	-0.13%	0.84%	215.4	221	2.60%	0.306	0.116	62.10%	32	36	-4
	Decr. 25%	-0.17%	0.89%	215.4	223	3.50%	0.306	0.145	52.60%	32	35	-3
	Caso Base	-0.22%	0.91%	215.4	223	3.50%	0.306	0.168	45.10%	32	34	-2
	Incr. 25%	-0.25%	0.92%	215.4	224	4.00%	0.306	0.186	39.20%	32	34	-2
	Incr. 50%	-0.29%	0.92%	215.4	224	4.00%	0.306	0.201	34.30%	32	33	-1
	Incr. 75%	-0.32%	0.94%	215.4	224	4.00%	0.306	0.214	30.10%	32	33	-1
	Incr. 100%	-0.35%	0.89%	215.4	224	4.00%	0.306	0.224	26.80%	32	33	-1
Guo												
Santa Cecilia	Decr. 75%	-0.08%	0.72%	215.4	217	0.30%	0.306	0.089	70.90%	32	43	-11
	Decr. 50%	-0.13%	0.82%	215.4	221	2.60%	0.306	0.125	59.20%	32	35	-3
	Decr. 25%	-0.18%	0.88%	215.4	222	3.50%	0.306	0.155	49.30%	32	34	-2
	Caso Base	-0.22%	0.91%	215.4	223	3.50%	0.306	0.178	41.80%	32	34	-2
	Incr. 25%	-0.26%	0.92%	215.4	224	4.00%	0.306	0.195	36.30%	32	33	-1
	Incr. 50%	-0.30%	0.93%	215.4	224	4.00%	0.306	0.21	31.40%	32	33	-1
	Incr. 75%	-0.33%	0.94%	215.4	224	4.00%	0.306	0.222	27.50%	32	33	-1
	Incr. 100%	-0.37%	0.94%	215.4	224	4.00%	0.306	0.232	24.20%	32	33	-1

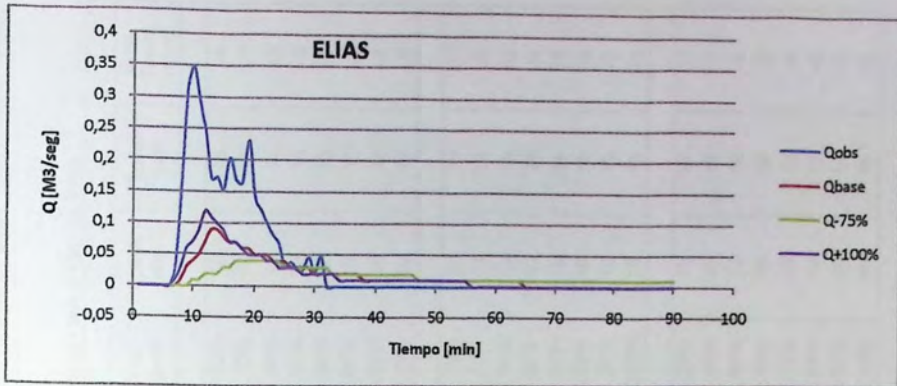


Figura 4-62, Discretización Micro, Evento Elías, Calculo W Manual SWMM 5.

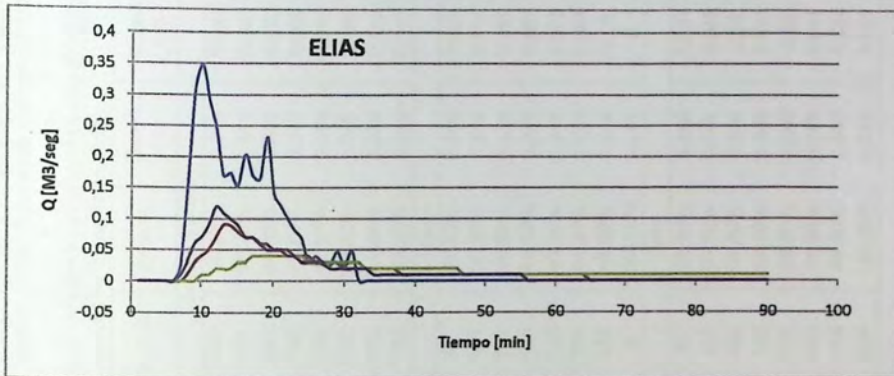


Figura 4-63, Discretización Micro, Evento Elías, Calculo W Di Giano.

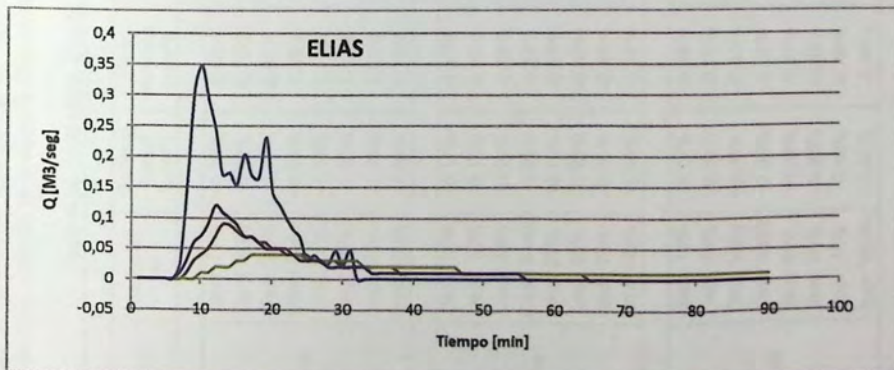


Figura 4-64, Discretización Micro, Evento Elías, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Elías, comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuena W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-24, Nivel Micro, Evento Elías, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak

Análisis de datos-Nivel Micro												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Elías	Decr. 75%	-0.28%	0.08%	203.34	100	50.80%	0.349	0.041	88.30%	10	18	-8
	Decr. 50%	-0.52%	0.72%	203.34	101	50.30%	0.349	0.061	82.50%	10	15	-5
	Decr. 25%	-0.74%	0.91%	203.34	102	49.80%	0.349	0.077	77.90%	10	14	-4
	Caso Base	-0.94%	1.25%	203.34	102	49.80%	0.349	0.089	74.50%	10	13	-3
	Incr. 25%	-1.13%	1.17%	203.34	102	49.80%	0.349	0.098	71.90%	10	13	-3
	Incr. 50%	-1.30%	1.42%	203.34	102	49.80%	0.349	0.106	69.60%	10	12	-2
	Incr. 75%	-1.45%	1.59%	203.34	102	49.80%	0.349	0.112	67.90%	10	12	-2
	Incr. 100%	-1.60%	1.78%	203.34	102	49.80%	0.349	0.117	66.50%	10	12	-2
Di Giano												
Elías	Decr. 75%	-0.17%	-0.87%	203.34	97	52.30%	0.349	0.029	91.70%	10	21	-11
	Decr. 50%	-0.31%	-0.67%	203.34	101	50.30%	0.349	0.044	87.40%	10	17	-7
	Decr. 25%	-0.45%	-0.58%	203.34	102	49.80%	0.349	0.057	83.70%	10	15	-5
	Caso Base	-0.58%	-0.54%	203.34	103	49.30%	0.349	0.067	80.80%	10	14	-4
	Incr. 25%	-0.70%	-0.51%	203.34	103	49.30%	0.349	0.076	78.20%	10	14	-4
	Incr. 50%	-0.82%	-0.48%	203.34	104	48.90%	0.349	0.084	75.90%	10	13	-3
	Incr. 75%	-0.93%	-0.45%	203.34	104	48.90%	0.349	0.09	74.20%	10	13	-3
	Incr. 100%	-1.03%	-0.44%	203.34	0	100.00%	0.349	0	100.00%	10	13	-3
Guo												
Elías	Decr. 75%	-0.17%	-0.88%	203.34	97	52.30%	0.349	0.031	91.10%	10	21	-11
	Decr. 50%	-0.32%	-0.70%	203.34	101	50.30%	0.349	0.048	86.20%	10	17	-7
	Decr. 25%	-0.46%	-0.61%	203.34	102	49.80%	0.349	0.06	82.80%	10	15	-5
	Caso Base	-0.60%	-0.56%	203.34	103	49.30%	0.349	0.071	79.70%	10	14	-4
	Incr. 25%	-0.72%	-0.51%	203.34	103	49.30%	0.349	0.08	77.10%	10	13	-3
	Incr. 50%	-0.85%	-0.49%	203.34	103	48.90%	0.349	0.088	74.80%	10	13	-3
	Incr. 75%	-0.96%	-0.48%	203.34	104	48.90%	0.349	0.094	73.10%	10	13	-3
	Incr. 100%	-1.07%	-0.46%	203.34	104	100.00%	0.349	0.094	73.10%	10	10	0

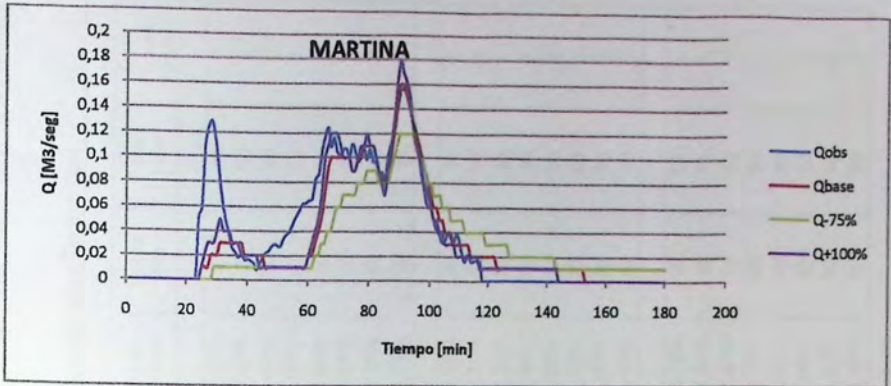


Figura 4-65, Discretización Micro, Evento Martina, Calculo W Manual SWMM 5.

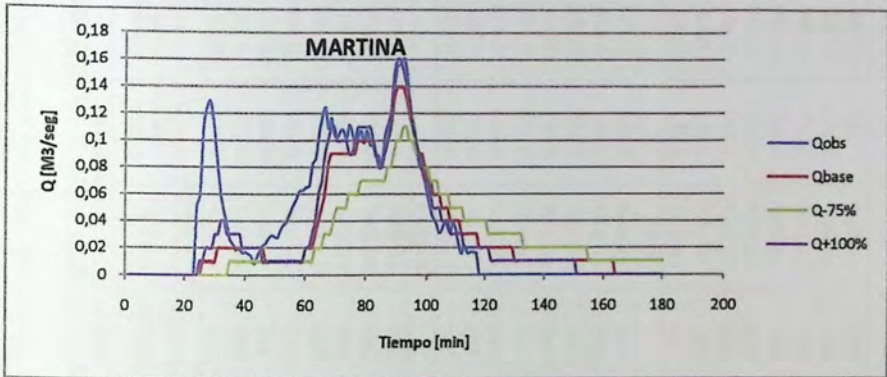


Figura 4-66, Discretización Micro, Evento Martina, Calculo W Di Giano.

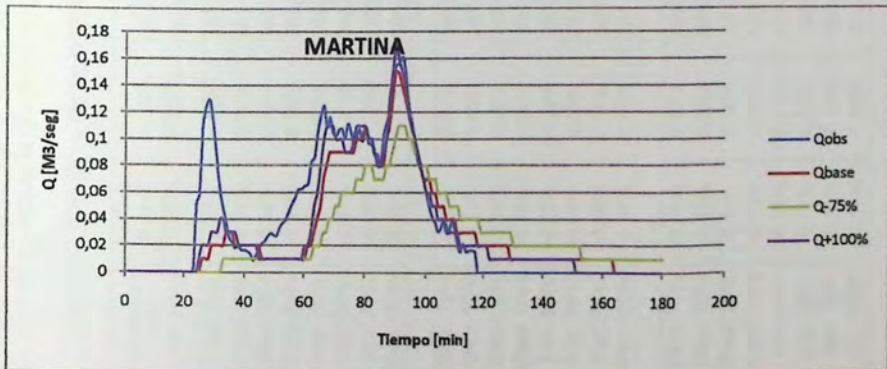


Figura 4-67, Discretización Micro, Evento Martina, Calculo W Guo.

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos, referido al evento de lluvia Martina, comparando las distintas metodologías del cálculo de ancho de subcuenca W, donde se analizan los errores porcentuales en Volúmenes y Caudales peak observados versus calculados y además se analiza la diferencia respecto al Tiempo peak observado versus calculado.

Tabla 4-25, Nivel Micro, Evento Martina, Variaciones W base y su Influencia sobre el volumen, Caudal Peak y Tiempo Peak

Análisis de datos-Nivel Micro												
Lluvia	Variación W	Surface Runoff Error%	Flow Routing Error%	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error %	Qpeak obs	Qpeak calc	Error Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error Tpeak (min)
Manual SWMM												
Martina	Decr. 75%	-0.08%	0.07%	385.98	337	12.70%	0.161	0.124	23.00%	92	91	1
	Decr. 50%	-0.16%	0.03%	385.98	341	11.70%	0.161	0.142	11.80%	92	90	2
	Decr. 25%	-0.24%	0.13%	385.98	342	11.40%	0.161	0.152	5.60%	92	90	2
	Caso Base	-0.31%	0.18%	385.98	342	11.40%	0.161	0.159	1.20%	92	90	2
	Incr. 25%	-0.37%	0.23%	385.98	343	11.10%	0.161	0.165	-2.50%	92	90	2
	Incr. 50%	-0.44%	0.27%	385.98	343	11.10%	0.161	0.17	-5.60%	92	90	2
	Incr. 75%	-0.50%	0.21%	385.98	344	10.90%	0.161	0.174	-8.10%	92	90	2
	Incr. 100%	-0.55%	0.27%	385.98	344	10.90%	0.161	0.177	-9.90%	92	90	2
Di Giano												
Martina	Decr. 75%	-0.05%	0.52%	385.98	330	14.50%	0.161	0.107	33.50%	92	91	1
	Decr. 50%	-0.10%	0.40%	385.98	337	12.70%	0.161	0.127	21.10%	92	91	1
	Decr. 25%	-0.14%	0.28%	385.98	339	12.20%	0.161	0.138	14.30%	92	91	1
	Caso Base	-0.18%	0.29%	385.98	340	11.90%	0.161	0.145	9.90%	92	90	2
	Incr. 25%	-0.22%	0.32%	385.98	341	11.70%	0.161	0.15	6.80%	92	90	2
	Incr. 50%	-0.36%	0.35%	385.98	341	11.70%	0.161	0.155	3.70%	92	90	2
	Incr. 75%	-0.30%	0.37%	385.98	342	11.40%	0.161	0.158	1.90%	92	90	2
	Incr. 100%	-0.34%	0.37%	385.98	342	11.40%	0.161	0.162	-0.60%	92	90	2
Guo												
Martina	Decr. 75%	-0.05%	0.57%	385.98	329	14.50%	0.161	0.11	31.70%	92	91	1
	Decr. 50%	-0.10%	0.38%	385.98	337	12.70%	0.161	0.13	19.30%	92	91	1
	Decr. 25%	-0.14%	0.30%	385.98	339	12.20%	0.161	0.141	12.40%	92	90	2
	Caso Base	-0.19%	0.28%	385.98	340	11.90%	0.161	0.148	8.10%	92	90	2
	Incr. 25%	-0.23%	0.31%	385.98	341	11.70%	0.161	0.154	4.30%	92	90	2
	Incr. 50%	-0.27%	0.33%	385.98	341	11.70%	0.161	0.158	1.90%	92	90	2
	Incr. 75%	-0.31%	0.33%	385.98	342	11.40%	0.161	0.162	-0.60%	92	90	2
	Incr. 100%	-0.35%	0.35%	385.98	342	11.40%	0.161	0.166	-3.10%	92	90	2

A continuación se presenta el análisis de ajuste de datos correspondiente a los hidrogramas anteriormente mostrados.

Tabla 4-26 Nivel Macro, Coeficientes de ajuste de datos para todos los eventos de lluvia del estudio.

Test aplicados a discretización Micro										
Datos		W Manual SWMM			W Di Giano			W Guo		
Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Fidel	Qobs-Qbase	0.829	0.025	0.33%	0.766	0.03	0.62%	0.78	0.029	0.81%
	Qobs-Q-75%	0.616	0.038	1.10%	0.474	0.044	5.63%	0.51	0.043	5.34%
	Qobs-Q+100%	0.869	0.022	-0.06%	0.836	0.025	0.42%	0.847	0.024	0.33%
Efrén	Qobs-Qbase	0.675	0.037	-0.80%	0.753	0.032	-0.95%	0.724	0.034	-0.21%
	Qobs-Q-75%	0.764	0.031	0.54%	0.666	0.037	2.92%	0.691	0.036	3.37%
	Qobs-Q+100%	0.566	0.043	-1.55%	0.656	0.038	-0.95%	0.627	0.039	-1.10%
Jordi	Qobs-Qbase	0.653	0.085	-1.92%	0.565	0.095	-1.92%	0.602	0.091	-1.86%
	Qobs-Q-75%	0.414	0.11	-1.32%	0.309	0.12	1.17%	0.347	0.116	1.52%
	Qobs-Q+100%	0.744	0.073	-1.32%	0.668	0.083	-1.74%	0.7	0.079	-2.27%
Susana	Qobs-Qbase	0.708	0.067	9.97%	0.57	0.081	12.24%	0.628	0.076	12.06%
	Qobs-Q-75%	0.331	0.102	20.10%	0.184	0.113	28.50%	0.215	0.111	28.50%
	Qobs-Q+100%	0.83	0.102	6.99%	0.739	0.113	8.57%	0.775	0.111	9.27%
Santa Cecilia	Qobs-Qbase	0.629	0.038	0.84%	0.455	0.046	1.95%	0.513	0.043	2.79%
	Qobs-Q-75%	0.205	0.055	7.24%	0.075	0.06	16.43%	0.109	0.059	15.04%
	Qobs-Q+100%	0.797	0.028	0.56%	0.667	0.036	-0.28%	0.719	0.033	0.84%
Elías	Qobs-Qbase	0.36	0.058	54.56%	0.255	0.062	55.15%	0.29	0.061	55.15%
	Qobs-Q-75%	0.099	0.069	58.10%	0.024	0.072	60.76%	0.035	0.071	61.05%
	Qobs-Q+100%	0.479	0.052	53.67%	0.391	0.056	53.67%	0.425	0.055	54.26%
Martina	Qobs-Qbase	0.738	0.024	13.57%	0.669	0.027	15.44%	0.684	0.026	15.44%
	Qobs-Q-75%	0.509	0.032	18.08%	0.374	0.037	23.67%	0.406	0.036	23.36%
	Qobs-Q+100%	0.803	0.02	13.57%	0.756	0.023	13.73%	0.773	0.022	13.88%

Fuente: Elaboración propia

## 5. Capítulo Quinto: Análisis de resultados.

### 5.1. Análisis variabilidad en el cálculo del ancho de subcuena W con las tres metodologías estudiadas.

En el presente trabajo de título, se consideran tres metodologías para el cálculo del ancho de subcuena W, aplicadas a los tres niveles de discretización, con el fin de comparar los resultados obtenidos, respecto a datos reales.

El primer análisis consiste en calcular la diferencia en el cálculo del ancho de subcuena W entre las tres metodologías. Para esto se utiliza el cálculo de error porcentual, ecuación 5-1:

$$E_W = \frac{W_{MS} - W_0}{W_{MS}} \times 100 \quad \text{Error en cálculo de W} \quad (\text{Ec. 5-1})$$

Se utiliza como referencia el valor de W calculado según la metodología propuesta en el manual de SWMM 5, comparando respecto a este valor, el valor obtenido con las dos otras metodologías.

Se considera cálculo del error por subcuena y en base a la totalidad de los errores se calcula un error promedio para cada metodología estudiada.

## 5.2. Influencia del ancho de subcuena $W$ en el tiempo de respuesta.

El ancho de subcuena  $W$ , según define el manual de SWMM 5, como un parámetro de calibración, es decir, un valor que debe ser modificado según las necesidades del modelador para generar modelos que emulen la realidad de manera correcta. La influencia de este parámetro en los hidrogramas de escorrentía es retardar o acelerar el comportamiento de la cuenca y esto se traduce en atenuar o incrementar el hidrograma de la misma.

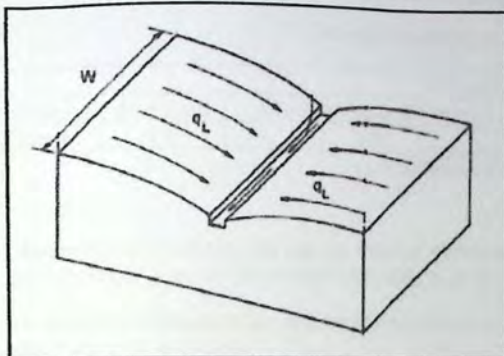


Figura 5-1, Esquema Ancho subcuena  $W$ .

Un ejemplo de esto es considerar una cuenca teórica cuadrada de lado  $A$ . Si se considera el aumento un lado al doble de su dimensión original, se debe disminuir el lado perpendicular a la mitad para conservar el área. Este efecto es el que sufren las cuencas modeladas al momento de aumentar o disminuir su ancho.

La influencia del ancho de de subcuena  $W$ , se presenta en el tiempo de respuesta de una cuenca, ya que anchos mayores representan tiempos de respuesta más cortos y por lo tanto cuencas con anchos más pequeños tienen un mayor tiempo de respuesta, lo que se refleja en una atenuación de los hidrogramas.

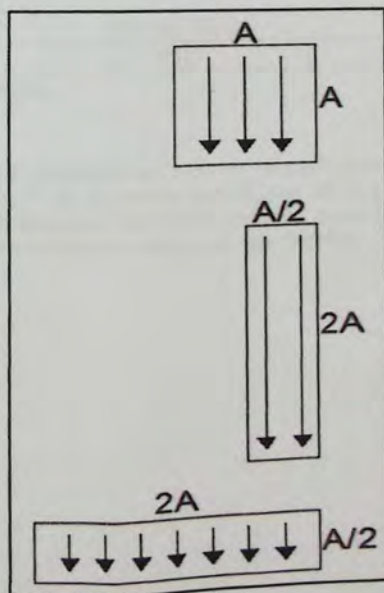


Figura 5-2, Esquema influencia del ancho en tiempo de respuesta.

### 5.3. Análisis de error de W para las tres metodologías en estudio.

#### 5.3.1. Nivel Macro:

El nivel de discretización Macro se compone de 4 subcuencas. El cuadro siguiente muestra los valores de W medios para las distintas metodologías.

Tabla 5-1, Nivel Macro, Valores W medio.

Escala	Área (hás)	Subcuencas		
		W medio Manual SWMM(m)	W medio Di Giano(m)	W medio Guo(m)
Macro	4.5	1208	206	284

Fuente: Elaboración propia

Una primera impresión, es que los valores obtenidos con la metodología propuesta en el Manual de SWMM 5, genera valores de W mayores que las otras dos metodologías.

La tabla 5-2 representa las diferencias calculadas en forma de error porcentual con la metodología anteriormente explicada.

Tabla 5-2, Nivel Macro, Error W medio, Metodología Di Giano y Guo respecto a Manual SWMM 5.

Nivel Macro Error %	
MSWMM 5-DI GIANO	MSWMM 5-GUO
82%	76%

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que el error porcentual en el caso de la metodología de Di Giano, respecto a la metodología del manual de SWMM 5 es muy alto. Un 82% de diferencia implica que las dos metodologías no generarán bajo ningún punto de vista hidrogramas similares, como se explicó anteriormente, ya que para una misma cuenca, se tienen dos tiempos de respuesta muy distintos.

El gráfico siguiente representa de manera esquemática las diferencias anteriormente mencionadas.

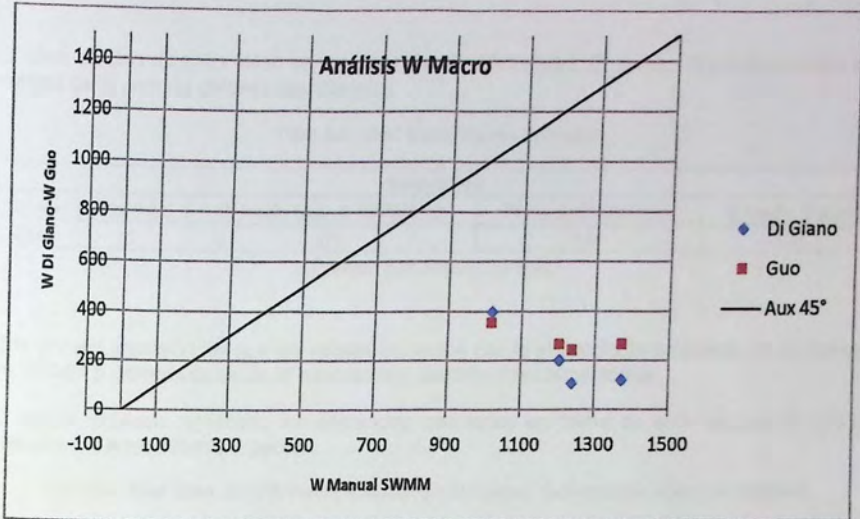


Figura 5-3, Nivel Macro, Comparativa W Manual SWMM 5 respecto a métodos de Guo y Di Giomo.

Con la ayuda de una recta auxiliar de 45%, se logra apreciar de manera visual que la concentración de puntos en el gráfico se sitúa bajo la misma, lo que indica que los valores de W obtenidos por la metodología indicada en el Manual de SWMM 5 son mayores a los obtenidos con las otras metodologías.

Si se analiza la formulación propuesta por el Manual de SWMM 5, se puede inferir que para este caso particular los valores de W son tan altos porque se discretiza la cuenca en subcuencas de superficies grandes.

### 5.3.2. Nivel Meso:

El nivel de discretización Meso se compone de 18 subcuencas. El cuadro siguiente muestra los valores de W para las distintas metodologías.

Tabla 5-3, Nivel Meso, Valores W medio.

Subcuencas				
Escala	Área (hás)	W medio Manual SWMM(m)	W medio Di Giano(m)	W medio Guo(m)
Meso	1	372	144	132

Fuente: Elaboración propia

Una primera impresión, es que los valores obtenidos con la metodología propuesta en el Manual de SWMM 5, genera valores de W mayores que las otras dos metodologías.

El cuadro siguiente representa las diferencias calculadas en forma de error porcentual con la metodología anteriormente explicada.

Tabla 5-4, Nivel Meso, Error W medio, Metodología Di Giano y Guo respecto a Manual SWMM 5.

Nivel Meso Error%	
MSWMM 5-Di Giano	MSWMM 5-Guo
60%	64%

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 5-4, se puede apreciar que si bien el error porcentual en el caso de la discretización Meso, es menor que en el caso de la discretización Macro, aun así es muy alto, un error sobre el 60%, es una diferencia sustancial, que hace incomparables los resultados obtenidos entre la metodología del Manual de SWMM respecto a las otras dos metodologías estudiadas

El gráfico siguiente representa de manera esquemática las diferencias anteriormente mencionadas.

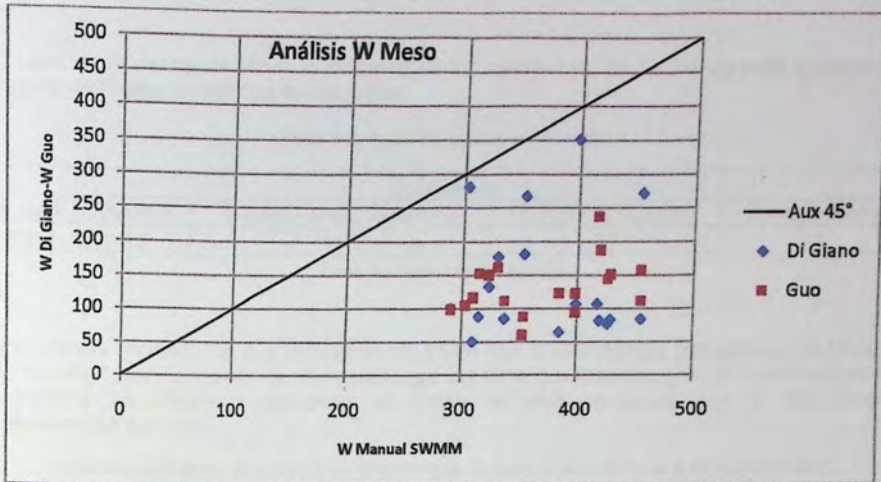


Figura 5-4, Nivel Meso, Comparativa W Manual SWMM 5 respecto a métodos de Guo y Di Giano.

Con la ayuda de una recta auxiliar de 45%, se logra apreciar de manera visual que la concentración de puntos en el gráfico se sitúa bajo la misma, lo que indica que los valores de W obtenidos por la metodología indicada en el Manual de SWMM 5 son mayores a los obtenidos con las otras metodologías.

Si se analiza la metodología de cálculo para el ancho de subcuena W de la metodología propuesta por el Manual de SWMM, se entiende esta diferencia en los valores de W, respecto a las otras diferencias. Se puede apreciar que la diferencia es menor respecto a la discretización Macro, debido a que la superficie de las subcuencas es menor, lo que indica una tendencia a disminuir las diferencias al considerar áreas menores.

### 5.3.3. Nivel Micro:

El nivel de discretización Micro se compone de 90 subcuencas. El cuadro siguiente muestra los valores de W para las distintas metodologías.

Tabla 5-5, Nivel Micro, Valores W medio.

Subcuencas				
Escala	Área (hás)	W medio Manual SWMM(m)	W medio Di Giano(m)	W medio Guo(m)
Micro	0.2	117	67	68

Fuente: Elaboración propia

Una primera impresión, es que los valores obtenidos con la metodología propuesta en el Manual de SWMM 5, genera valores de W mayores que las otras dos metodologías. El cuadro siguiente representa las diferencias calculadas en forma de error porcentual con la metodología anteriormente explicada.

Tabla 5-6, Nivel Micro, Error W medio, Metodología Di Giano y Guo respecto a Manual SWMM 5.

Nivel Micro Error %	
MSWMM 5-Di Giano	MSWMM 5-Guo
41%	33%

Fuente: Elaboración propia

Analizando la tabla 5-6, se puede apreciar que en el caso de la discretización Micro, se dan los errores más bajos en el cálculo del ancho de subcuena W, respecto a los otros dos niveles de discretización. Aun considerando lo anterior, se observa que las diferencias son altas, llegando casi al 50% para el caso del método de Di Giano.

El gráfico siguiente representa de manera esquemática las diferencias anteriormente mencionadas.

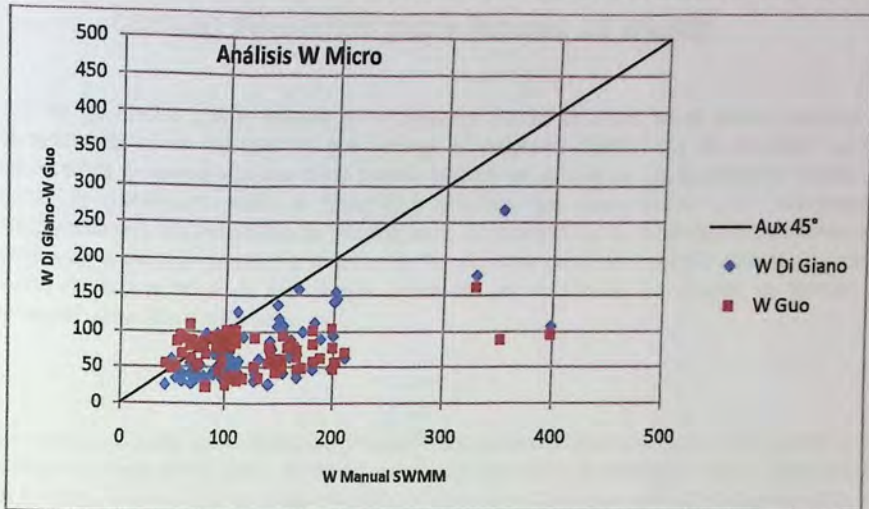


Figura 5-5, Nivel Micro, Comparativa W Manual SWMM 5 respecto a métodos de Guo y Di Giano.

Con la ayuda de una recta auxiliar de 45%, se puede apreciar que para el presente caso y a diferencia de los casos anteriores, en este caso hay una serie de puntos que se ubican sobre la misma, es decir, el valor de W, para una serie de casos, es mayor para las metodologías de Di Giano y Guo, que para la metodología propuesta en el Manual de SWMM, pero éste no es el general de los casos. Esto confirma lo anteriormente mencionado, entendiéndose que para un mayor nivel de discretización (considerando subcuencas de superficies muy pequeñas), las diferencias en el cálculo de W se hacen menores, indicando a un parámetro de características físicas, dejando de lado su calidad de parámetro de ajuste propuesta en el Manual de SWMM.

Se aprecia al analizar en función del nivel de discretización de la cuenca, que éste determina directamente el grado de simplificación de los datos y de concentración de los parámetros de las subcuencas.

A partir de los resultados, la escala espacial influye significativamente en los resultados de la simulación con el modelo SWMM (Macor y Pedraza, 2005) [3].

Además se hace evidente el efecto de atenuación de hidrogramas en el caso de la discretización Micro. La red de drenaje adiciona almacenamiento al sistema, atenuando y retardando los caudales peak. A medida que aumenta la escala una parte de la red es removida y en consecuencia se empuntan los hidrogramas y se anticipan los peak. Para que el modelo represente, con una escala mayor, una función de respuesta similar a la obtenida con una escala de detalle, es necesario compensar la pérdida de almacenamiento. Para ello, se debe reducir el ancho total de la cuenca, es decir, aumentar la longitud de escurrimiento [3].

#### 5.4. Análisis efecto del nivel de discretización en el cálculo de caudal para lluvias de ajuste.

Uno de los efectos que se estudia en el presente trabajo de título, es el efecto del nivel de discretización en los hidrogramas que entrega el programa SWMM 5 y su similitud con los hidrogramas generados con los datos reales medidos en la cuenca. En el presente estudio se realiza la comparación entre el hidrograma obtenido con datos reales y los hidrogramas computados para los tres niveles de discretización, comparándolos en un gráfico para analizar los efectos de la situación anteriormente descrita. Se considera como metodología de cálculo para el ancho de subcuenca  $W$ , la metodología propuesta por el manual de usuario de SWMM 5, considerándose solo el caso base.

$$w = \frac{A}{L}$$

Se vuelve a destacar que la diferencia principal entre las discretizaciones Macro, Meso y Micro, es el nivel de simplificación, yendo de las 4 cuencas que forman la discretización Macro hasta las 90 de la micro y de los 756 m de la discretización Macro a los 3.295 m de colectores considerados en la discretización Micro. A continuación se presentan los gráficos comparativos con los hidrogramas correspondientes a las 4 lluvias de ajuste que forman el presente estudio.

### 5.4.1. Evento de lluvia Fidel:

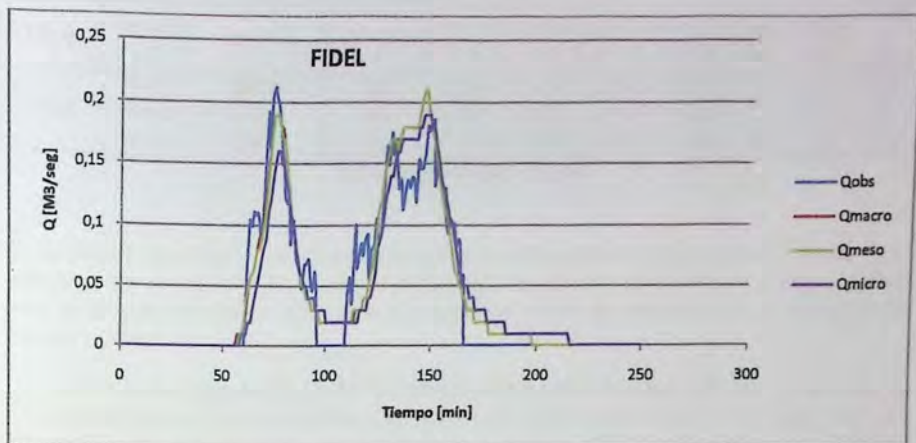


Figura 5-6, Comparación de hidrogramas, Evento Fidel, Distintos niveles de discretización.

El presente gráfico esquematiza el comportamiento de la cuenca modelada para los tres niveles de discretización considerados, mostrando fenómenos como los que se describen a continuación: en todos los casos modelados, se muestra la inversión de los peaks de caudal, es decir, el máximo caudal peak observado para ser el segundo mayor computado. La explicación de este efecto se puede ver en el intervalo en que el hidrograma observado alcanza caudal nulo alrededor del minuto 100 del evento y los hidrogramas computados, no logran llegar a este nivel, efecto que posteriormente tiene una repercusión en el segundo peak de caudal.

Se observa a partir del gráfico, que el nivel de discretización meso, es el que produce el hidrograma mayor, es decir, se muestra una atenuación en el caso del hidrograma de la discretización macro y una atenuación aun mayor en el caso de la discretización micro. Este fenómeno se explica bajo las siguientes condiciones.

**Nivel Macro:** Es el nivel mas agregado de los tres y engloba una serie de parámetros que no logran caracterizar de manera adecuada el comportamiento real de la cuenca. Para el presente caso, se trabaja con una pendiente única y representativa para zonas de 4.5 hectáreas, situación que no refleja la realidad y supone una escorrentía superficial constante en un sentido, logrando de esta manera esquematizar el comportamiento de las subcuenca de manera deficiente.

**Nivel Micro:** Es el nivel de discretización más detallado en el presente estudio y por lo tanto, logra acentuar fenómenos que los otros niveles no alcanzan, como es por ejemplo el efecto de almacenamiento de agua en lo largo de la red de colectores, efecto que produce de por si atenuación en los hidrogramas, reflejándose esto en que el grafico del nivel micro sea el que presenta valores más bajos de los 3.

Tabla 5-7, Evento Fidel, Comparativa errores para los distintos niveles de discretización.

Análisis de datos										
Lluvia	Variación W	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error % Vol.	Qpeak obs	Qpeak calc	Error % Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error % Tpeak
Fidel	Macro	622.44	658	4.30%	0.212	0.19	10.40%	73	75	-2
	Meso	622.44	654	4.30%	0.212	0.19	10.40%	73	73	0
	Micro	622.44	632	1.10%	0.212	0.16	24.50%	73	75	-2

Fuente: Elaboración propia

Según muestra la tabla 5-7, se hace notorio que en el primer peak de caudal que es el mayor peak alcanzado por el evento de lluvia real, es similar para las discretizaciones Macro y Meso y menor para la discretización micro, esto es el resultado del efecto de almacenamiento en la red de colectores Micro.

Observando lo mostrado en la tabla 5-7, se hace evidente que en la estimación del caudal peak se producen errores mínimos, los cuales son propios de cada modelamiento. Para este caso, se considera que el error es mínimo y se atribuye principalmente a las características de los distintos niveles de discretización.

Si se analiza el volumen total generado por el evento de lluvia, se puede apreciar que para la discretización Micro se obtiene un error del 1.1%, cuatro veces menor que el obtenido para las discretizaciones Macro y Meso. Lo acertado en la estimación del volumen, se debe al nivel de detallamiento de nivel Micro, que logra representar de una manera más realista el comportamiento de la cuenca, como un conjunto Hidrológico-Hidráulico.

### 5.4.2. Evento de lluvia Efrén:

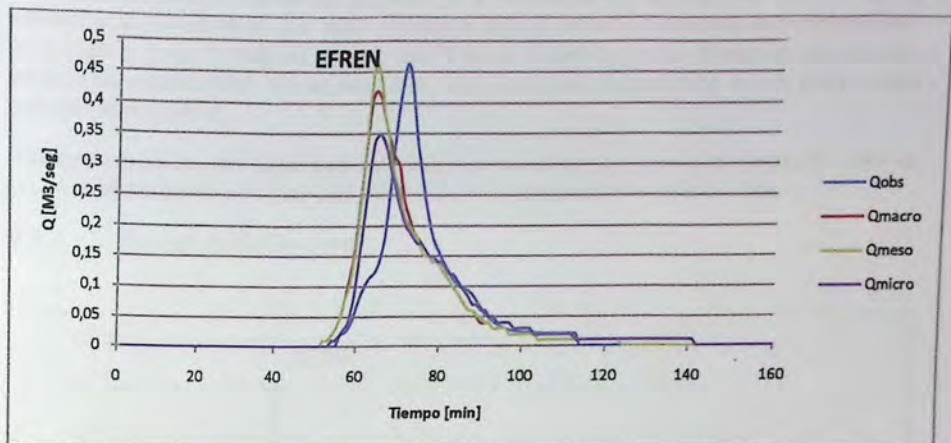


Figura 5-7, Comparación de hidrogramas, Evento Efrén, Distintos niveles de discretización.

El presente gráfico esquematiza el comportamiento de la cuenca modelada para los tres niveles de discretización considerados, mostrando fenómenos como los que se describen a continuación: lo primero que se observa y que se puede concluir es que existe un adelantamiento de la ocurrencia del caudal peak para los tres niveles de discretización, el cual está en un intervalo entre 6 y 8 minutos de adelantamiento. Esto ocurre debido a la discretización y la metodología del cálculo de pérdidas. Se entiende que el método de pérdidas lineales constantes, si bien representa de una buena manera la realidad, no es necesariamente el método de funcionar de ésta si no una idealización. Se aprecia que la cuenca necesita esos 7 minutos que forman la diferencia entre los caudales peak, para comenzar a generar escorrentía. Salvo por éste punto en general, el comportamiento de los modelos es correcto, como se explica posteriormente.

Se observa a partir del gráfico, que el nivel de discretización meso, es el que produce el hidrograma mayor, es decir, se muestra una atenuación en el caso del hidrograma de la discretización macro y una atenuación aun mayor en el caso de la discretización micro. Este fenómeno se explica bajo las siguientes condiciones.

Niveles Macro y Micro, mismo comportamiento que en el caso del evento Fidel.

Tabla 5-8, Evento Efrén, Comparativa errores para los distintos niveles de discretización.

Análisis de datos										
Lluvia	Variación W	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error % Vol.	Qpeak obs	Qpeak calc	Error % Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error % Tpeak
Efrén	Macro	402.96	442	9.70%	0.463	0.423	8.60%	70	63	7
	Meso	402.96	440	9.20%	0.463	0.469	-1.30%	70	62	8
	Micro	402.96	418	3.70%	0.463	0.352	24.00%	70	64	6

Fuente: Elaboración propia

Analizando el volumen total generado por el evento de lluvia, se puede apreciar que para la discretización Micro se obtiene un error del 3.7%, un tercio que el obtenido para las discretizaciones Macro y Meso. Lo acertado en la estimación del volumen, se debe al nivel de detallamiento de nivel Micro, que logra representar de una manera más realista el comportamiento de la cuenca, como un conjunto Hidrológico-Hidráulico. Si bien todos los niveles de discretización generan un volumen total, con un error bajo, para este caso en particular, es sin duda el más acertado, el nivel Micro.

Analizando el caudal peak (único para este caso), se puede apreciar, que la discretización meso es la que genera el menor error para este parámetro, alcanzando un error de solo 1.3%.

### 5.4.3. Evento de lluvia Jordi:

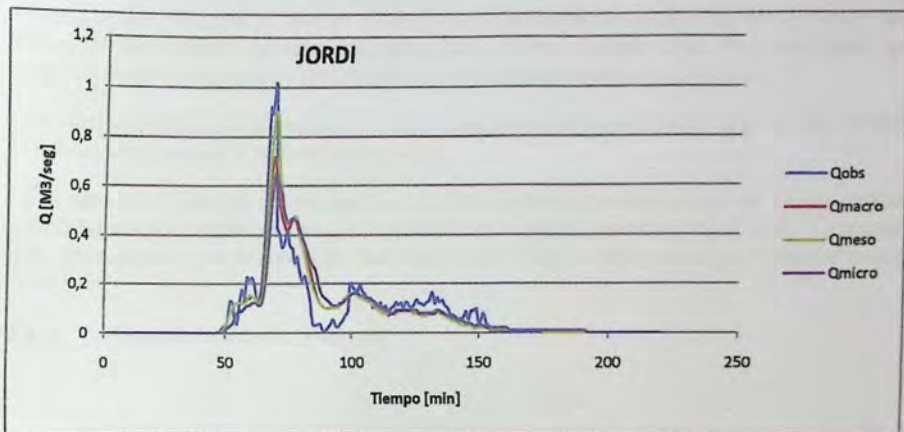


Figura 5-8, Comparación de hidrogramas, Evento Jordi, Distintos niveles de discretización.

El presente gráfico esquematiza el comportamiento de la cuenca modelada para los tres niveles de discretización considerados, mostrando fenómenos como los que se describen a continuación: se observa del gráfico que para los tres niveles de discretización, todos generan hidrogramas de forma similar al hidrograma observado, siendo en todos los casos, una atenuación del mismo. Si bien el programa no logra representar de manera perfecta el comportamiento de la cuenca, ya que no logra representar todos los peaks generados, si lo logra de manera correcta.

Se observa a partir del gráfico, que el nivel de discretización meso, es el que produce el hidrograma mayor, es decir, se muestra una atenuación en el caso del hidrograma de la discretización macro y una atenuación aun mayor en el caso de la discretización micro. Este fenómeno se explica bajo las siguientes condiciones.

Niveles Macro y Micro, mismo comportamiento que en el caso del evento Fidel.

Tabla 5-9, Evento Jordi, Comparativa errores para los distintos niveles de discretización.

Análisis de datos										
Lluvia	Variación W	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error % Vol.	Qpeak obs	Qpeak calc	Error % Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error % Tpeak
Jordi	Macro	1011.42	1016	0.50%	1.014	0.717	29.30%	69	69	0
	Meso	1011.42	1065	5.30%	1.014	0.926	8.70%	69	69	0
	Micro	1011.42	1043	3.10%	1.014	0.665	34.40%	69	69	0

Fuente: Elaboración propia

Al analizar el caso del volumen total generado por el evento de lluvia respecto a los modelos, se denota que para este caso el nivel de discretización más certero es el Macro, pero, los otros dos niveles de discretización, generan volúmenes con un error también bajo. Para este caso, se considera que los tres niveles de discretización, generan valores de volumen correctos.

Al analizar el tiempo al que se produce el caudal peak, se aprecia que en este caso los tres niveles de discretización, logran un error temporal nulo.

En el caso del cálculo del caudal peak, se genera el mismo fenómeno que en los dos casos anteriormente mencionados, que es que la discretización Meso, genera el caudal peak con menor error, siendo el único que se encuentra dentro del rango menor al 10%, siendo por lo tanto el mejor de los tres.

#### 5.4.4. Evento de lluvia Susana:

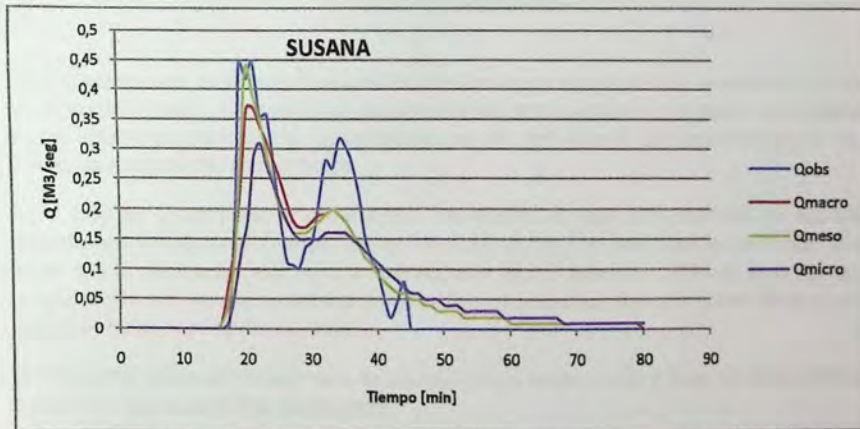


Figura 5-9, Comparación de hidrogramas, Evento Susana, Distintos niveles de discretización.

El presente gráfico esquematiza el comportamiento de la cuenca modelada para los tres niveles de discretización considerados, mostrando fenómenos como los que se describen a continuación: a partir del gráfico, se puede concluir que para el presente caso, existe una atenuación muy marcada

por el efecto de almacenamiento de la red de colectores para el nivel Micro, el cual se presenta claramente en el hidrograma, mostrándose notoriamente más atenuado que los otros tres. En el caso de la discretización Macro, se muestra más atenuada que la discretización meso por los efectos anteriormente expuestos.

En el caso del evento de lluvia Susana, se aprecia que en el segundo peak de caudal, que se produce alrededor del minuto 35 en el hidrograma observado, no se genera de manera tan prominente para ninguno de los otros hidrogramas que representan los distintos niveles de discretización. Para el caso de Macro y Meso, se aprecia que se produce el mismo caudal peak (segundo mayor), los cuales son mucho menores al observado y en el caso micro, este caudal, corresponde a una atenuación de los 2 anteriormente mostrados. Para el caso del segundo caudal peak, se considera que la representación del programa es deficiente.

Se observa a partir del gráfico, que el nivel de discretización meso, es el que produce el hidrograma mayor, es decir, se muestra una atenuación en el caso del hidrograma de la discretización macro y una atenuación aun mayor en el caso de la discretización micro. Este fenómeno se explica bajo las siguientes condiciones.

Niveles Macro y Micro, mismo comportamiento que en el caso del evento Fidel.

Tabla 5-10, Evento Susana, Comparativa errores para los distintos niveles de discretización.

Análisis de datos										
Lluvia	Variación W	Vol. Obs.	Vol. Calc.	Error % Vol.	Qpeak obs	Qpeak calc	Error % Qpeak	Tpeak obs	Tpeak calc	Error % Tpeak
Susana	Macro	343.2	355	3.40%	0.446	0.387	13.20%	21	20	1
	Meso	343.2	352	2.60%	0.446	0.442	0.90%	21	20	1
	Micro	343.2	330	3.80%	0.446	0.31	30.50%	21	21	0

Fuente: Elaboración propia

En el presente caso, se observa que para los tres niveles de discretización, se generan errores en el cálculo del volumen, menores al 4%, considerándose esto muy bueno y al existir una variabilidad en los resultados menor al 1%, se considera que los tres valores correspondientes a los tres niveles de discretización son correctos.

En el caso del caudal peak, se observa que nuevamente el valor más acertado corresponde al obtenido con la discretización Meso, con un error bajo el 1% y en este caso en particular, el error en el cálculo del caudal peak para la discretización Micro, posee un 30% de error, lo que se considera muy alto, ya que subestimar un caudal en un porcentaje tan alto, puede llevar a errores graves en términos de diseño de redes.

En relación al cálculo del tiempo peak, se ocurre para los casos macro y meso un error máximo de 1 minuto, lo que se considera despreciable.

## **5.5. Análisis de ajuste de datos observados versus calculados para los tres niveles de discretización y las tres metodologías de cálculo de ancho de subcuena W.**

### **5.5.1. Definición de test de ajuste a estudiar:**

#### **5.5.1.1. *E (Nash) o Coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe:***

El coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe puede ir desde  $-\infty$  a 1. Una eficiencia de 1 ( $E = 1$ ) corresponde a una combinación perfecta de la descarga modelada a los datos observados. Una eficiencia de 0 ( $E = 0$ ) indica que las predicciones del modelo son tan precisas como la media de los datos observados, mientras que una eficacia menor que cero ( $E < 0$ ) se produce cuando la media observada es un mejor predictor que el modelo o, en otras palabras, cuando la varianza residual es mayor que la varianza de los datos. Esencialmente, cuanto más cerca la eficiencia del modelo a 1, más preciso será el modelo es.

#### **5.5.1.2. $\sigma$ o Error Estándar**

La desviación típica o error estándar (denotada con el símbolo  $\sigma$ ) es una medida de dispersión para variables de razón (variables cuantitativas o cantidades racionales) y de intervalo. Se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

#### **5.5.1.3. %BIAS**

En las estadísticas, el sesgo (BIAS) de un estimador es la diferencia entre el valor esperado de este estimador y el valor verdadero del parámetro que se calcula. El indicador %BIAS se define como la sumatoria de las diferencias entre los valores observados y calculados, dividido por el número de datos, todo esto dividido por el valor medio observado y llevado a porcentaje. Un mayor valor de %BIAS, indica que la comparación del ajuste de los valores calculados a los observados es peor. Es decir mientras más bajo sea el %BIAS, mejor será el ajuste.

## 5.5.2. Análisis de ajuste de datos de las cuatro lluvias de ajuste.

### 5.5.2.1. Evento de lluvia Fidel

#### Análisis Macro para las tres metodologías de cálculo del ancho de subcuena W

La tabla 5-11 a continuación mostrada presenta en resumen el análisis de ajuste de datos que compara las 3 metodologías de cálculo de ancho de subcuena W que forman este estudio.

Tabla 5-11, Nivel Macro, Evento Fidel, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W.

Análisis de ajuste de datos del cálculo de caudal-Nivel Macro					
Metodología Calc. W	Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Manual SWMM	Fidel	Qobs-Qbase	0.885	0.021	-4.78%
		Qobs-Q-75%	0.704	0.033	-2.47%
		Qobs-Q+100%	0.874	0.022	-4.97%
Di Giano	Fidel	Qobs-Qbase	0.593	0.039	2.64%
		Qobs-Q-75%	0.193	0.056	24.91%
		Qobs-Q+100%	0.756	0.03	-2.76%
Guo	Fidel	Qobs-Qbase	0.688	0.034	-2.08%
		Qobs-Q-75%	0.285	0.052	13.15%
		Qobs-Q+100%	0.825	0.025	-3.62%

Fuente: Elaboración propia

E (Nash):

Como primer paso del análisis, se observa que para las 3 metodologías de cálculo del ancho de subcuena W, la disminución de un 75% del valor base entregado por las 3 metodologías, es el que presenta el peor coeficiente de eficiencia, siendo el más lejano a 1.

Analizando a nivel global, para las 3 metodologías de cálculo de W y los tres valores analizados para cada una, correspondientes a el caso base, que corresponde al valor entregado por cada metodología y sus respectivos aumentos en un 100% y disminuciones de un 75%, se observa que en el caso de las metodologías de Di Giano y Guo, los valores con mejor coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe son los correspondientes a un incremento de un 100% del W base. En el caso de la metodología del Manual de SWMM, el mejor caso es el que corresponde al W Base.

$\sigma$  o Error Estándar:

Al analizar todos los casos expuestos en la tabla, se denota que para el caso de la metodología propuesta por el Manual de SWMM, se tienen los errores estándar más bajos, por lo tanto, comparativamente es la metodología que mejor se ajusta a los datos observados.

%BIAS:

Al analizar de manera global los valores de %BIAS mostrados por las distintas metodologías, se observa que la metodología de Di Giano presenta los % más bajos para los casos Base y Q+100%, indicando de esta manera que la acumulación de errores es más baja para esta metodología.

En base a lo observado, los valores con mejor ajuste para los 3 niveles de discretización son los entregados por el W calculado con la metodología propuesta en el manual de SWMM 5.

### Análisis Meso para las tres metodologías de cálculo del ancho de subcuenca W

La tabla 5-12 a continuación mostrada muestra en resumen el análisis de ajuste de datos que compara las 3 metodologías de cálculo de ancho de subcuenca W que forman este estudio.

Tabla 5-12, Nivel Meso, Evento Fidel, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W.

Análisis de ajuste de datos del cálculo de caudal-Nivel Meso					
Metodología Calc. W	Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Manual SWMM	Fidel	Qobs-Qbase	0.885	0.021	-4.30%
		Qobs-Q-75%	0.72	0.032	-1.99%
		Qobs-Q+100%	0.882	0.021	-4.01%
Di Giano	Fidel	Qobs-Qbase	0.78	0.029	-2.56%
		Qobs-Q-75%	0.444	0.046	9.58%
		Qobs-Q+100%	0.87	0.022	-3.43%
Guo	Fidel	Qobs-Qbase	0.781	0.028	-2.27%
		Qobs-Q-75%	0.439	0.046	8.33%
		Qobs-Q+100%	0.867	0.022	-3.34%

Fuente: Elaboración propia

E (Nash):

Aplica mismo análisis que a nivel Macro.

$\sigma$  o Error Estándar:

Aplica mismo análisis que a nivel Macro.

%BIAS:

Al analizar de manera global los valores de %BIAS mostrados por las distintas metodologías, se observa que la metodología de Guo presenta los % más bajos, indicando de esta manera que la acumulación de errores es más baja para esta metodología.

En base a lo observado, los valores con mejor ajuste para los 3 niveles de discretización son los entregados por el W calculado con la metodología propuesta en el manual de SWMM 5.

### Análisis Micro para las tres metodologías de cálculo del ancho de subcuena W

La tabla 5-13 a continuación mostrada muestra en resumen el análisis de ajuste de datos que compara las 3 metodologías de cálculo de ancho de subcuena W que forman este estudio.

Tabla 5-13, Nivel Micro, Evento Fidel, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W.

Análisis de ajuste de datos del cálculo de caudal-Nivel Micro					
Metodología Calc. W	Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Manual SWMM	Fidel	Qobs-Qbase	0.829	0.025	0.33%
		Qobs-Q-75%	0.616	0.038	1.10%
		Qobs-Q+100%	0.869	0.022	-0.06%
Di Giano	Fidel	Qobs-Qbase	0.766	0.03	0.62%
		Qobs-Q-75%	0.474	0.044	5.63%
		Qobs-Q+100%	0.836	0.025	0.42%
Guo	Fidel	Qobs-Qbase	0.78	0.029	0.81%
		Qobs-Q-75%	0.51	0.043	5.34%
		Qobs-Q+100%	0.847	0.024	0.33%

Fuente: Elaboración propia

E (Nash):

Aplica mismo análisis que a nivel Macro.

$\sigma$  o Error Estándar:

Aplica mismo análisis que a nivel Macro.

%BIAS:

Al analizar de manera global los valores de %BIAS mostrados por las distintas metodologías, se observa que la metodología propuesta por el manual de SWMM 5 presenta los % más bajos, indicando de esta manera que la acumulación de errores es más baja para esta metodología.

En base a lo observado, los valores con mejor ajuste para los 3 niveles de discretización son los entregados por el W calculado con la metodología propuesta en el manual de SWMM 5.

## Análisis Global Lluvia Fidel

La tabla 5-14 a continuación mostrada presenta en resumen el análisis de ajuste de datos que compara los datos de mejor ajuste entre las diferentes metodologías de cálculo de W para los 3 niveles de discretización. Se aprecia que para los tres niveles de discretización la metodología de cálculo de W que entrega mejores resultados es la propuesta en el manual de SWMM 5.

Tabla 5-14, Nivel Global, Evento Fidel, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W.

Análisis de ajuste de datos del cálculo de caudal-Global						
Nivel Discretización	Metodología Calc. W	Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Macro	Manual SWMM	Fidel	Qobs-Qbase	0.885	0.021	-4.78%
			Qobs-Q-75%	0.704	0.033	-2.47%
			Qobs-Q+100%	0.874	0.022	-4.97%
Meso	Manual SWMM	Fidel	Qobs-Qbase	0.885	0.021	-4.30%
			Qobs-Q-75%	0.72	0.032	-1.99%
			Qobs-Q+100%	0.882	0.021	-4.01%
Micro	Manual SWMM	Fidel	Qobs-Qbase	0.829	0.025	0.33%
			Qobs-Q-75%	0.616	0.038	1.10%
			Qobs-Q+100%	0.869	0.022	-0.06%

Fuente: Elaboración propia

E (Nash):

Analizando los tres niveles de discretización, se observa que el nivel Meso es el que presenta el mejor coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe, para los tres casos de W (Base, -75%, +100%), siendo el que mejor ajusta el caso base para la discretización Meso.

$\sigma$  o Error Estándar:

Al analizar todos los casos expuestos en la tabla, se denota que para el caso Meso y la metodología de cálculo de W propuesta por el manual de SWMM 5, se tienen los errores estándar más bajos, por lo tanto, comparativamente es el nivel de discretización que mejor se ajusta a los datos observados.

%BIAS:

Al analizar de manera global los valores de %BIAS mostrados por los distintos niveles de discretización, se observa que el nivel micro presenta los % más bajos, indicando de esta manera que la acumulación de errores es más baja para éste nivel.

### 5.5.2.2. Evento de lluvia Efrén

#### Análisis Macro para las tres metodologías de cálculo del ancho de subcuena W

La tabla 5-15 a continuación mostrada muestra en resumen el análisis de ajuste de datos que compara las 3 metodologías de cálculo de ancho de subcuena W que forman este estudio.

Tabla 5-15, Nivel Macro, Evento Efrén, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W.

Análisis de ajuste de datos del cálculo de caudal-Nivel Macro					
Metodología Calc. W	Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Manual SWMM	Efrén	Qobs-Qbase	0.549	0.043	-7.80%
		Qobs-Q-75%	0.79	0.03	-4.82%
		Qobs-Q+100%	0.314	0.054	-6.46%
Di Giano	Efrén	Qobs-Qbase	0.69	0.036	-2.29%
		Qobs-Q-75%	0.304	0.054	7.09%
		Qobs-Q+100%	0.763	0.031	-4.97%
Guo	Efrén	Qobs-Qbase	0.777	0.031	-4.53%
		Qobs-Q-75%	0.414	0.049	1.73%
		Qobs-Q+100%	0.737	0.033	-6.61%

Fuente: Elaboración propia

Antes de realizar el análisis de ajuste de datos del presente evento de lluvia, se debe recordar que éste, presenta un desfase del hidrograma calculado de 7 minutos (6 a 8 minutos dependiendo del caso), lo que altera los resultados, haciendo parecer que el modelamiento es erróneo. Se analizará el evento de lluvia teniendo lo anteriormente mencionado en consideración.

Discretización Macro-Evento Efrén, Ejemplo desfase temporal del caudal peak.

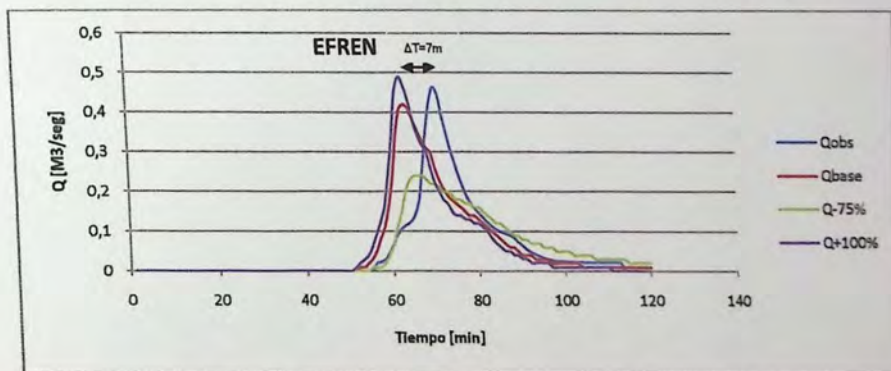


Figura 5-10, Desfase temporal del caudal peak, Evento Efrén.

E (Nash):

Al analizar la tabla de ajuste de datos, se observa que para el caso de la metodología de cálculo del ancho de subcuenca W del Manual de SWMM, el caso de disminución de 75% del W base, es la que tiene el mejor coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe, pero se asume que este resultado se ve afecto al desfase temporal, por lo que se ignorará en este caso. Por otro lado, si se observan las dos otras metodologías (Di Giano y Guo), siguen la misma tendencia del evento de lluvia Fidel, mostrando mejores coeficientes de eficiencia de Nash y Sutcliffe para los casos W base e incremento del 100% del W base, teniendo el mejor ajuste el caso base de la metodología de Guo.

$\sigma$  o Error Estándar:

Al analizar todos los casos expuestos en la tabla, se denota que para el caso de la metodología de Guo, se tienen los errores estándar más bajos, por lo tanto, comparativamente es la metodología que mejor se ajusta a los datos observados.

%BIAS:

Al analizar de manera global los valores de %BIAS mostrados por las distintas metodologías, se observa que la metodología de Guo presenta los % más bajos, indicando de esta manera que la acumulación de errores es más baja para esta metodología.

En base a lo observado, los valores con mejor ajuste para los 3 niveles de discretización son los entregados por el W calculado con la metodología de Guo.

### Análisis Meso para las tres metodologías de cálculo del ancho de subcuena W

La tabla 5-16 a continuación mostrada muestra en resumen el análisis de ajuste de datos que compara las 3 metodologías de cálculo de ancho de subcuena W que forman este estudio.

Tabla 5-16, Nivel Meso, Evento Efrén, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W.

Análisis de ajuste de datos del cálculo de caudal-Nivel Meso					
Metodología Calc. W	Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Manual SWMM	Efrén	Qobs-Qbase	0.48	0.047	-6.61%
		Qobs-Q-75%	0.781	0.03	-4.23%
		Qobs-Q+100%	0.207	0.058	-8.10%
Di Giano	Efrén	Qobs-Qbase	0.753	0.032	-4.23%
		Qobs-Q-75%	0.577	0.042	1.43%
		Qobs-Q+100%	0.625	0.04	-5.72%
Guo	Efrén	Qobs-Qbase	0.766	0.031	-5.12%
		Qobs-Q-75%	0.576	0.042	0.54%
		Qobs-Q+100%	0.62	0.04	-6.31%

Fuente: Elaboración propia

E (Nash):

Aplica mismo análisis que a nivel Macro.

$\sigma$  o Error Estándar:

Aplica mismo análisis que a nivel Macro.

%BIAS:

Aplica mismo análisis que a nivel Macro.

En base a lo observado, los valores con mejor ajuste para los 3 niveles de discretización son los entregados por el W calculado con la metodología de Guo.

## Análisis Micro para las tres metodologías de cálculo del ancho de subcuena W

La tabla 5-17 a continuación mostrada muestra en resumen el análisis de ajuste de datos que compara las 3 metodologías de cálculo de ancho de subcuena W que forman este estudio.

Tabla 5-17 Nivel Micro, Evento Efrén, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W.

Análisis de ajuste de datos del cálculo de caudal-Nivel Micro					
Metodología Calc. W	Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Manual SWMM	Efrén	Qobs-Qbase	0.675	0.037	-0.80%
		Qobs-Q-75%	0.764	0.031	0.54%
		Qobs-Q+100%	0.566	0.043	-1.55%
Di Giano	Efrén	Qobs-Qbase	0.753	0.032	-0.95%
		Qobs-Q-75%	0.666	0.037	2.92%
		Qobs-Q+100%	0.656	0.038	-0.95%
Guo	Efrén	Qobs-Qbase	0.724	0.034	-0.21%
		Qobs-Q-75%	0.691	0.036	3.37%
		Qobs-Q+100%	0.627	0.039	-1.10%

Fuente: Elaboración propia

E (Nash):

Al analizar la tabla 5-17 de datos de ajuste de datos, se observa que para el caso de la metodología de cálculo del ancho de subcuena W del Manual de SWMM, el caso de disminución de 75% del W base, es la que tiene el mejor coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe, pero se asume que este resultado se ve afecto al desfase temporal, por lo que se ignorará en este caso. Por otro lado, si se observan las dos otras metodologías (Di Giano y Guo), siguen la misma tendencia del evento de lluvia Fidel, mostrando mejores coeficientes de eficiencia de Nash y Sutcliffe para los casos W base e incremento del 100% del W base, teniendo el mejor ajuste el caso base de la metodología de Di Giano, siendo muy cercano a los valores de la metodología de Guo.

$\sigma$  o Error Estándar:

Al analizar todos los casos expuestos en la tabla, se denota que para el caso de la metodología de Di Giano, se tienen los errores estándar más bajos, por lo tanto (siendo muy similares a los de Guo), comparativamente es la metodología que mejor se ajusta a los datos observados.

%BIAS:

Al analizar de manera global los valores de %BIAS mostrados por las distintas metodologías, se observa que la metodología de Guo presenta los % más bajos, indicando de esta manera que la acumulación de errores es más baja para esta metodología.

En base a lo observado, los valores con mejor ajuste para los 3 niveles de discretización son los entregados por el W calculado con la metodología de Guo.

## Análisis Global Lluvia Efrén

La tabla 5 -18 a continuación mostrada presenta en resumen el análisis de ajuste de datos que compara los datos de mejor ajuste entre las diferentes metodologías de cálculo de W para los 3 niveles de discretización. Se aprecia que para los 3 niveles de discretización la metodología de cálculo de W que entrega mejores resultados es la de Guo.

Tabla 5-18, Nivel Global, Evento Efrén, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W.

Análisis de ajuste de datos del cálculo de caudal-Global						
Nivel Discretización	Metodología Calc. W	Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Macro	Guo	Efrén	Qobs-Qbase	0.777	0.031	-4.53%
			Qobs-Q-75%	0.414	0.049	1.73%
			Qobs-Q+100%	0.737	0.033	-6.61%
Meso	Guo	Efrén	Qobs-Qbase	0.766	0.031	-5.12%
			Qobs-Q-75%	0.576	0.042	0.54%
			Qobs-Q+100%	0.62	0.04	-6.31%
Micro	Guo	Efrén	Qobs-Qbase	0.724	0.034	-0.21%
			Qobs-Q-75%	0.691	0.036	3.37%
			Qobs-Q+100%	0.627	0.039	-1.10%

Fuente: Elaboración propia

E (Nash):

Analizando los tres niveles de discretización, se observa que el nivel Macro es el que presenta el mejor coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe, para los casos de W (Base,+100%), siendo el que mejor ajusta el caso base para la discretización Macro.

$\sigma$  o Error Estándar:

Al analizar todos los casos expuestos en la tabla, se denota que para el caso Micro, se tienen los errores estándar más bajos, por lo tanto, comparativamente es la metodología que mejor se ajusta a los datos observados.

%BIAS:

Al analizar de manera global los valores de %BIAS mostrados por los distintos niveles de discretización, se observa que la discretización micro presenta los % más bajos, indicando de esta manera que la acumulación de errores es más baja para este nivel.

### 5.5.2.3. Evento de lluvia Jordi

#### Análisis Macro para las tres metodologías de cálculo del ancho de subcuenca W

La tabla 5-19 a continuación mostrada muestra en resumen el análisis de ajuste de datos que compara las 3 metodologías de cálculo de ancho de subcuenca W que forman este estudio.

Tabla 5-19, Nivel Macro, Evento Jordi, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W.

Análisis de ajuste de datos del cálculo de caudal-Nivel Macro					
Metodología Calc. W	Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Manual SWMM	Jordi	Qobs-Qbase	0.799	0.064	0.10%
		Qobs-Q-75%	0.503	0.101	-3.34%
		Qobs-Q+100%	0.873	0.051	1.76%
Di Giano	Jordi	Qobs-Qbase	0.462	0.106	-0.79%
		Qobs-Q-75%	0.159	0.132	15.47%
		Qobs-Q+100%	0.608	0.09	-3.99%
Guo	Jordi	Qobs-Qbase	0.51	0.101	-3.58%
		Qobs-Q-75%	0.199	0.129	6.57%
		Qobs-Q+100%	0.672	0.082	-2.21%

Fuente: Elaboración propia

E (Nash):

Como primer paso del análisis, se observa que para las 3 metodologías de cálculo del ancho de subcuenca W, la disminución de un 75% del valor base entregado por las 3 metodologías, es el que presenta el peor coeficiente de eficiencia, siendo el más lejano a 1.

Analizando a nivel global, para las 3 metodologías de cálculo de W y los tres valores analizados para cada una, correspondientes a el caso base, que corresponde al valor entregado por cada metodología y sus respectivos aumentos en un 100% y disminuciones de un 75%, se observa que para todas las metodologías, los valores con mejor coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe son los correspondientes a un incremento de un 100% del W base. El caso con mejor ajuste para este parámetro es el caso de 100% de aumento para la metodología propuesta en el Manual de SWMM

$\sigma$  o Error Estándar:

Al analizar todos los casos expuestos en la tabla, se denota que para el caso de la metodología propuesta por el Manual de SWMM, se tienen los errores estándar más bajos, por lo tanto, comparativamente es la metodología que mejor se ajusta a los datos observados.

%BIAS:

Al analizar de manera global los valores de %BIAS mostrados por las distintas metodologías, se observa que la metodología propuesta en el Manual de SWMM presenta los % más bajos, indicando de esta manera que la acumulación de errores es más baja para esta metodología.

### Análisis Meso para las tres metodologías de cálculo del ancho de subcuenca W

La tabla 5-20 a continuación mostrada muestra en resumen el análisis de ajuste de datos que compara las 3 metodologías de cálculo de ancho de subcuenca W que forman este estudio.

Tabla 5-20, Nivel Meso, Evento Jordi, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W.

Análisis de ajuste de datos del cálculo de caudal-Nivel Meso					
Metodología Calc. W	Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Manual SWMM	Jordi	Qobs-Qbase	0.791	0.066	-4.35%
		Qobs-Q-75%	0.543	0.097	-3.16%
		Qobs-Q+100%	0.851	0.056	-4.41%
Di Giano	Jordi	Qobs-Qbase	0.629	0.088	-3.70%
		Qobs-Q-75%	0.326	0.118	4.19%
		Qobs-Q+100%	0.746	0.073	-4.17%
Guo	Jordi	Qobs-Qbase	0.619	0.089	-3.52%
		Qobs-Q-75%	0.308	0.12	3.19%
		Qobs-Q+100%	0.743	0.073	-4.17%

Fuente: Elaboración propia

E (Nash):

Aplica mismo análisis que a nivel Macro

$\sigma$  o Error Estándar:

Aplica mismo análisis que a nivel Macro %BIAS:

Al analizar de manera global los valores de %BIAS mostrados por las distintas metodologías, se observa que la metodología de Guo presenta los % más bajos, indicando de esta manera que la acumulación de errores es más baja para esta metodología. Se debe tener en consideración que para las tres metodologías los valores tienen menos de 1% de variación.

### Análisis Micro para las tres metodologías de cálculo del ancho de subcuena W

La tabla 5-21 a continuación mostrada muestra en resumen el análisis de ajuste de datos que compara las 3 metodologías de cálculo de ancho de subcuena W que forman este estudio.

Tabla 5-21, Nivel Micro, Evento Jordi, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W.

Análisis de ajuste de datos del cálculo de caudal-Nivel Micro					
Metodología Calc. W	Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Manual SWMM	Jordi	Qobs-Qbase	0.653	0.085	-1.92%
		Qobs-Q-75%	0.414	0.11	-1.32%
		Qobs-Q+100%	0.744	0.073	-1.32%
Di Giano	Jordi	Qobs-Qbase	0.565	0.095	-1.92%
		Qobs-Q-75%	0.309	0.12	1.17%
		Qobs-Q+100%	0.668	0.083	-1.74%
Guo	Jordi	Qobs-Qbase	0.602	0.091	-1.86%
		Qobs-Q-75%	0.347	0.116	1.52%
		Qobs-Q+100%	0.7	0.079	-2.27%

Fuente: Elaboración propia

E (Nash):

Aplica mismo análisis que a nivel Macro.

$\sigma$  o Error Estándar:

Aplica mismo análisis que a nivel Macro.

%BIAS:

Al analizar de manera global los valores de %BIAS mostrados por las distintas metodologías, se observa que la metodología propuesta en el manual de SWMM 5 presenta los % más bajos, indicando de esta manera que la acumulación de errores es más baja para esta metodología. Se debe tener en consideración que para las tres metodologías los valores tienen menos de 1% de variación.

## Análisis Global Lluvia Jordi

La tabla 5-22 a continuación mostrada presenta en resumen el análisis de ajuste de datos que compara los datos de mejor ajuste entre las diferentes metodologías de cálculo de W para los 3 niveles de discretización. Se aprecia que para los tres niveles de discretización la metodología de cálculo de W que entrega mejores resultados es la propuesta en el manual de SWMM 5.

Tabla 5-22, Nivel Global, Evento Jordi, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W.

Análisis de ajuste de datos del cálculo de caudal-Global						
Nivel Discretización	Metodología Calc. W	Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Macro	Manual SWMM	Jordi	Qobs-Qbase	0.799	0.084	0.10%
			Qobs-Q-75%	0.503	0.101	-3.34%
			Qobs-Q+100%	0.873	0.051	1.76%
Meso	Manual SWMM	Jordi	Qobs-Qbase	0.791	0.066	-4.35%
			Qobs-Q-75%	0.543	0.097	-3.16%
			Qobs-Q+100%	0.851	0.056	-4.41%
Micro	Manual SWMM	Jordi	Qobs-Qbase	0.653	0.085	-1.92%
			Qobs-Q-75%	0.414	0.11	-1.32%
			Qobs-Q+100%	0.744	0.073	-1.32%

Fuente: Elaboración propia

E (Nash):

Analizando los tres niveles de discretización, se observa que el nivel Macro es el que presenta el mejor coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe, para los tres casos de W (Base, -75%, +100%), siendo el que mejor ajusta el caso Q+100% para la discretización Macro.

$\sigma$  o Error Estándar:

Al analizar todos los casos expuestos en la tabla, se denota que para el caso Macro, se tienen los errores estándar más bajos, por lo tanto, comparativamente es la metodología que mejor se ajusta a los datos observados.

%BIAS:

Al analizar de manera global los valores de %BIAS mostrados por los distintos niveles de discretización, se observa que el nivel de discretización Macro presenta los % más bajos, indicando de esta manera que la acumulación de errores es más baja para el nivel Macro.

#### 5.5.2.4. Evento de lluvia Susana

#### Análisis Macro para las tres metodologías de cálculo del ancho de subcuenca W

La tabla 5-23 a continuación mostrada muestra en resumen el análisis de ajuste de datos que compara las 3 metodologías de cálculo de ancho de subcuenca W que forman este estudio.

Tabla 5-23, Nivel Macro, Evento Susana, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W.

Análisis de ajuste de datos del cálculo de caudal-Nivel Macro					
Metodología Calc. W	Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Manual SWMM	Susana	Qobs-Qbase	0.861	0.046	-1.05%
		Qobs-Q-75%	0.474	0.09	11.19%
		Qobs-Q+100%	0.894	0.09	0.70%
Di Giano	Susana	Qobs-Qbase	0.337	0.102	22.73%
		Qobs-Q-75%	0.037	0.128	57.17%
		Qobs-Q+100%	0.559	0.128	10.84%
Guo	Susana	Qobs-Qbase	0.451	0.092	12.41%
		Qobs-Q-75%	0.054	0.125	45.80%
		Qobs-Q+100%	0.707	0.125	3.67%

Fuente: Elaboración propia

E (Nash):

Como primer paso del análisis, se observa que para las 3 metodologías de cálculo del ancho de subcuenca W, la disminución de un 75% del valor base entregado por las 3 metodologías, es el que presenta el peor coeficiente de eficiencia, siendo el más lejano a 1.

Analizando a nivel global, para las 3 metodologías de cálculo de W y los tres valores analizados para cada una, correspondientes a el caso base, que corresponde al valor entregado por cada metodología y sus respectivos aumentos en un 100% y disminuciones de un 75%, se observa que en el caso de las metodologías de Di Giano y Guo, los valores con mejor coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe son los correspondientes a un incremento de un 100% del W base. En el caso de la metodología del Manual de SWMM, el mejor caso es el que corresponde al Q+100%, siendo esta metodología la que muestra el mejor ajuste de las 3.

$\sigma$  o Error Estándar:

Al analizar todos los casos expuestos en la tabla, se denota que para el caso de la metodología propuesta por el Manual de SWMM, se tienen los errores estándar más bajos, por lo tanto, comparativamente es la metodología que mejor se ajusta a los datos observados.

%BIAS:

Al analizar de manera global los valores de %BIAS mostrados por las distintas metodologías, se observa que la metodología propuesta por el Manual de SWMM presenta los % más bajos, indicando de esta manera que la acumulación de errores es más baja para esta metodología.

En base a lo observado, los valores con mejor ajuste para los 3 niveles de discretización son los entregados por el W calculado con la metodología propuesta en el manual de SWMM 5.

### Análisis Meso para las tres metodologías de cálculo del ancho de subcuenca W

La tabla 5-24 a continuación mostrada muestra en resumen el análisis de ajuste de datos que compara las 3 metodologías de cálculo de ancho de subcuenca W que forman este estudio.

Tabla 5-24, Nivel Meso, Evento Susana, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W.

Análisis de ajuste de datos del cálculo de caudal-Nivel Meso					
Metodología Calc. W	Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Manual SWMM	Susana	Qobs-Qbase	0.888	0.041	0.52%
		Qobs-Q-75%	0.5	0.088	11.89%
		Qobs-Q+100%	0.89	0.088	-0.70%
Di Giano	Susana	Qobs-Qbase	0.623	0.076	9.44%
		Qobs-Q-75%	0.175	0.115	35.31%
		Qobs-Q+100%	0.823	0.115	3.67%
Guo	Susana	Qobs-Qbase	0.616	0.077	9.09%
		Qobs-Q-75%	0.16	0.116	34.09%
		Qobs-Q+100%	0.824	0.116	2.45%

Fuente: Elaboración propia

E (Nash):

Aplica mismo análisis que a nivel Macro.

$\sigma$  o Error Estándar:

Aplica mismo análisis que a nivel Macro.

%BIAS:

Aplica mismo análisis que a nivel Macro.

### Análisis Micro para las tres metodologías de cálculo del ancho de subcuena W

La tabla 5-25 a continuación mostrada muestra en resumen el análisis de ajuste de datos que compara las 3 metodologías de cálculo de ancho de subcuena W que forman este estudio.

Tabla 5-25, Nivel Micro, Evento Susana, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W.

Análisis de ajuste de datos del cálculo de caudal-Nivel Micro					
Metodología Calc. W	Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Manual SWMM	Susana	Qobs-Qbase	0.708	0.067	9.97%
		Qobs-Q-75%	0.331	0.102	20.10%
		Qobs-Q+100%	0.83	0.102	6.99%
Di Giano	Susana	Qobs-Qbase	0.57	0.081	12.24%
		Qobs-Q-75%	0.184	0.113	28.50%
		Qobs-Q+100%	0.739	0.113	8.57%
Guo	Susana	Qobs-Qbase	0.628	0.076	12.06%
		Qobs-Q-75%	0.215	0.111	28.50%
		Qobs-Q+100%	0.775	0.111	9.27%

Fuente: Elaboración propia

E (Nash):

Aplica mismo análisis que a nivel Macro.

$\sigma$  o Error Estándar:

Aplica mismo análisis que a nivel Macro.

%BIAS:

Aplica mismo análisis que a nivel Macro.

## Análisis Global Lluvia Susana

La tabla 5-26 a continuación mostrada presenta en resumen el análisis de ajuste de datos que compara los datos de mejor ajuste entre las diferentes metodologías de cálculo de W para los 3 niveles de discretización. Se aprecia que para los tres niveles de discretización la metodología de cálculo de W que entrega mejores resultados es la propuesta en el manual de SWMM 5.

Tabla 5-26, Nivel Global, Evento Susana, Comparativa análisis de ajuste de datos, cálculo de W.

Análisis de ajuste de datos del cálculo de caudal-Global						
Nivel Discretización	Metodología Calc. W	Lluvia	Variable	E (Nash)	$\sigma$ (Error est.)	%BIAS
Macro	Manual SWMM	Susana	Qobs-Qbase	0.861	0.046	-1.05%
			Qobs-Q-75%	0.474	0.09	11.19%
			Qobs-Q+100%	0.894	0.09	0.70%
Meso	Manual SWMM	Susana	Qobs-Qbase	0.888	0.041	0.52%
			Qobs-Q-75%	0.5	0.088	11.89%
			Qobs-Q+100%	0.89	0.088	-0.70%
Micro	Manual SWMM	Susana	Qobs-Qbase	0.708	0.067	9.97%
			Qobs-Q-75%	0.331	0.102	20.10%
			Qobs-Q+100%	0.83	0.102	6.99%

Fuente: Elaboración propia

### E (Nash):

Analizando los tres niveles de discretización, se observa que el nivel Meso es el que presenta el mejor coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe, para los tres casos de W (Base, -75%, +100%), siendo el que mejor ajusta el caso base para la discretización Meso.

### $\sigma$ o Error Estándar:

Al analizar todos los casos expuestos en la tabla, se denota que para el caso Meso, se tienen los errores estándar más bajos, por lo tanto, comparativamente es la metodología que mejor se ajusta a los datos observados.

### %BIAS:

Al analizar de manera global los valores de %BIAS mostrados por los distintos niveles de discretización, se observa que el nivel Meso presenta los % más bajos, indicando de esta manera que la acumulación de errores es más baja para este nivel.

## 6. Capítulo Sexto: Conclusiones y Recomendaciones.

### 6.1. Comentario

Se basa el presente estudio en una cuenca de baja superficie (18.3 há), de alto nivel de urbanización, uso de suelo uniforme, sistema de drenaje dual, pendiente media bajo el 5% y alto porcentaje de impermeabilidad efectiva cercana al 90%. Dicha cuenca en base a todo lo anteriormente mencionado, se analiza para los 504 modelos que forman el presente trabajo de título, considerando el método de Pérdidas Lineales Constantes, el cual se recomienda para cuencas de uso de suelo uniforme y baja superficie, que cumplan con el supuesto principal del método, que enuncia que toda la cuenca se comporta de manera homogénea. Por consiguiente los resultados y las conclusiones de este estudio, son extrapolables solo a cuencas de similares características.

Luego de estas aclaraciones generales, se enuncian a continuación las principales conclusiones de éste trabajo de título:

## 6.2. Conclusiones:

1. Del método de Pérdidas Lineales constantes, se concluye:

- El método de las pérdidas lineales constantes, representa de manera adecuada el funcionamiento de cuencas con las características de la que forma el presente estudio.
- En las 4 lluvias de ajuste, el máximo error obtenido en el cálculo de volumen, es menor a un 14% respecto a los datos observados, por lo que se considera correcto su uso.

2. Comparando las 3 metodologías para el cálculo de ancho de subcuenca  $W$ , respecto a los tres niveles de discretización que forman este estudio, se concluye:

- Para un nivel de discretización menor, es decir, que considere subcuencas muy grandes como es el caso del nivel macro; los valores en la estimación del cálculo de  $W$  presentan diferencias muy grandes, debido a que para las metodologías de cálculo de Di Giano y Guo (mayores superficies implican mayores longitudes de escurrimiento). Valor que para la metodología de Guo es inversamente proporcional a  $W$  y para la metodología de Di Giano, restringe el valor máximo de  $W$  a la longitud antes mencionada.

En el caso de la metodología del Manual de SWMM, se utiliza un longitud que si bien es inversamente proporcional al valor de  $W$ , es menor que la utilizada por las otras metodologías.

Como conclusión se define a la metodología del Manual de SWMM, que genera valores de  $W$  altos y que a su vez logran mejores ajustes en los hidrogramas para éste nivel de discretización.

- En base a los resultados anteriormente expuestos, se hace evidente que al disminuir la superficie de las subcuencas, (considerar un mayor nivel de discretización), estas diferencias se hacen menores.
- Se entiende de lo anteriormente mencionado que al disminuir las diferencias en el valor del cálculo de  $W$  para las 3 metodologías, cuando se logra un nivel de discretización muy detallado,  $W$  toma características físicas de la cuenca, debido a que considerar subcuencas muy pequeñas, se apunta hacia la regularidad geométrica de las mismas. A pesar de que al considerar un nivel de discretización mayor, las diferencias en los valores de  $W$  para las tres metodologías de cálculo estudiadas se hacen menores.

Como conclusión se define a la metodología del Manual de SWMM, como la que genera mejores valores iniciales de  $W$ , que a su vez logran mejores ajustes en los hidrogramas para éste nivel de discretización.

- Finalmente concluye que a nivel global para los tres niveles de discretización, la metodología de cálculo que genera los mejores valores iniciales de estimación del ancho de subcuenca  $W$  es la metodología propuesta en el Manual de SWMM.

3. Al observar el comportamiento de los hidrogramas de de la cuenca en estudio para los distintos niveles de discretización, las variaciones en el valor base de  $W$  y para las tres metodologías de cálculo se concluye:
- Para valores muy bajos de  $W$ , como es el correspondiente a una disminución de un 75% del valor obtenido por las formulaciones estudiadas, ocurre el fenómeno de atenuación de los hidrogramas, ya que cumpliendo el principio de conservación del área, respecto al aumento del ancho, se impone a las subcuencas, considerar un mayor recorrido del agua, hasta llegar a los puntos de captación. Se recomienda la reducción del ancho de subcuenca  $W$ , para discretizaciones muy agregadas, que debido a su simpleza no logran representar el fenómeno de almacenamiento de la red.
  - Contrario al punto anterior, se recomienda el uso de valores de  $W$  más altos para modelamientos que contengan redes extensas de colectores que tiendan a atenuar los hidrogramas. En el presente estudio, en el caso de la discretización micro, se obtuvieron los mejores resultados con aumento de 100% del  $W$  base, logrando aun así hidrogramas atenuados respecto a los observados.
  - Comparando las tres metodologías de cálculo de  $W$ , para los tres niveles de discretización, se concluye que el mejor valor base de  $W$ , en todos los casos corresponde al entregado por la metodología propuesta en el Manual de SWMM, siendo esta la que requiere de menos iteraciones para lograr un ajuste óptimo de los hidrogramas observados y calculados.
  - Se recomienda tener en cuenta el efecto de almacenamiento generado por la red de colectores.
4. En base al análisis global, comparando solamente los tres niveles de discretización que forman el presente estudio, se concluye:
- Un nivel de discretización muy agregado no logra representar de manera correcta el funcionamiento de una cuenca urbana. Por otra parte considerar datos muy agregados, genera incertidumbre por parte de quien realiza el modelamiento.
  - Un nivel de discretización grande, que implique muchos detalles y genere una incertidumbre muy baja, es ideal, pero al considerarse el área de la Ingeniería Civil, un rubro en el que los proyectos poseen plazos de tiempo acotados, este nivel de discretización se ve perjudicado, ya que un modelo de éstas características, requiere de un tiempo de desarrollo mucho mayor que uno más agregado.
  - Un nivel de discretización de mediana agregación como el nivel meso, logra representar de manera adecuada el funcionamiento de una cuenca urbana, generando un bajo nivel incertidumbre. Si bien este nivel se ve en desventaja en cuanto a detallamiento respecto a un nivel micro, se ve en ventaja en cuanto al tiempo de desarrollo del mismo.
  - En el presente estudio, se obtuvieron los mejores resultados a nivel global con la discretización meso.
  - En base a todo lo anterior se concluye que un nivel de discretización meso, representa de manera correcta y eficiente una cuenca urbana.

5. En base al análisis de ajuste de datos de ajuste y error en el cálculo de caudales peak, se concluye:

- Considerando el coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe (E), se concluye que comparando los resultados obtenidos para las tres metodologías que forman el presente estudio, la metodología propuesta por el Manual de SWMM, es la que presenta un valor de E, más alto, considerándose por consiguiente como la metodología con mejor ajuste en cuanto a los hidrogramas calculados respecto a los observados.
- Analizando los datos para el caso del error estándar, la metodología propuesta por el Manual de SWMM, es la que genera el error más bajo y por lo tanto es la que mejor representa los eventos de lluvia en estudio.
- En el caso de %BIAS, la metodología propuesta por el Manual de SWMM es la que presenta los valores más bajos, indicando que la diferencia promedio en cuanto a los datos observados y calculados la genera esta metodología de cálculo de W.
- A nivel general que la metodología propuesta por el Manual de SWMM, es la que genera los mejores resultados en el cálculo del caudal peak. Implícitamente se entiende que los valores calculados por esta metodología logran los mejores valores en el cálculo de caudal ya que éste, está en función de manera directamente proporcional de W, entre otras variables.

6. Como conclusión general se presenta lo siguiente :

- Considerando el ajuste de hidrogramas observados y calculados para los tres niveles de discretización, el cálculo de caudales y tiempos peak, para los cuatro eventos de lluvia de calibración, la metodología propuesta por el manual de SWMM, es la que genera los mejores resultados en todos los escenarios que forman este estudio.
- Al ser la metodología del Manual de SWMM la que genera los W más grandes y siendo estos los que generan mejores resultados globales, para el tipo de cuenca que forma este estudio, un W mayor, el cual implica un tiempo de respuesta menor por parte de la cuenca, es lo que representa de mejor manera el comportamiento de una cuenca de estas características ante eventos de lluvia de corta duración y mediana intensidad, es decir, como los analizados en este estudio.
- En función del tiempo de desarrollo de un modelo y la calidad de los resultados, se concluye que para trabajos de ingeniería, se considera como el más adecuado, el nivel de discretización meso. Desde el punto de vista de la investigación sin embargo, se recomienda un nivel de discretización más detallado como lo es el nivel de discretización micro, el cual posee menor incertidumbre y representa de manera más acertada fenómenos físicos, que con niveles de agregación mayores no se logran representar.

### 6.3. Recomendaciones para futuras investigaciones:

En función a las conclusiones anteriormente expuesta y considerando futuras investigaciones, se presentan a continuación una serie de recomendaciones con la intención de orientar de quienes decidan tomar como referencia éste documento.

1. Se recomienda el uso del método de Pérdidas Lineales Constantes para cuencas con las características que posee la cuenca estudiada en este trabajo. Se debe considerar que al aplicar el método se debe realizar una serie de pruebas a modo de calibración, previo a su aplicación final a los modelos.
2. Se recomienda considerar el efecto de almacenamiento generado por las redes de colectores, el cual genera atenuación de los hidrogramas y puede conllevar a un subdimensionamiento en caso de modelamientos que no posean datos de lluvia observados.
3. Se recomienda para la estimación del valor inicial del cálculo de ancho de subcuenca  $W$ , la metodología propuesta por el manual de SWMM, siendo para el caso del presente estudio, el cual requiere de menos iteraciones para lograr un ajuste óptimo entre datos observados y calculados.
4. Se recomienda para trabajos de ingeniería en función del tiempo, el uso de una discretización meso al momento de modelar una cuenca de estas características.
5. Se recomienda por otra parte, para fines de estudio, una discretización micro, la cual acentúa fenómenos que niveles más sencillos de discretización no son capaces de representar.

## 7. Índice De Referencias

### Referencias Bibliográficas:

- [1] Direccion de obras Hidráulicas "Manual de Drenaje Urbano", Octubre 2013 ..... 16
- [2] Jorge Gironás et al, "Storm Water Management Model Applications Manual", 2009 ..... 34
- [3] Macor J, Pedraza R "Efectos de la discretización en la hidrología urbana", Julio 2005 ..... 37
- [4] Lewis A, Rossman "Storm Water Management Model User's Manual 5.0", Julio 2010 ..... 37
- [5] Guo et al, "Field Test on Conversion of Natural Watershed into Kinematic Wave Rectangular Plane", 2012 ..... 38
- [6] Pedraza "Efectos de escala sobre la simulación del flujo de agua superficial en áreas urbanas usando modelos basados en la onda cinemática", Abril 2007 ..... 61
- [7] " World Environmental and Water Resources Congress 2008", disponible en <https://books.google.cl>, consultado el 12/12/2014 15:35 pm ..... 64
- [8] Wayne C. Huber "Storm water management model, Version 4, 1988 ..... 32

## Anexos

I.	Propiedades de subcuencas y Lluvias.....	16
II.	Tablas de capítulos .....	16
III.	Test de ajuste de datos .....	16
IV.	Gráficos del informe .....	16
V.	Archivo AutoCad La Riereta (tres discretizaciones).....	16