

Nadia Ingrid  
Alburquerque  
González

*Propuesta de reglamentación para el manejo de  
aguas pluviales, bajo el concepto de drenaje pluvial  
sustentable*

2015



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería

***Propuesta de reglamentación para el manejo de aguas  
pluviales, bajo el concepto de drenaje pluvial  
sustentable***

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Ingeniero

Civil

Presenta

Nadia Ingrid Alburquerque González

Santiago de Querétaro, Querétaro a abril del 2015



## Portada Interna de Tesis

Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Licenciatura

*Propuesta de reglamentación para el manejo de aguas pluviales, bajo el concepto de drenaje pluvial sustentable*

### TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de la

Licenciatura en Ingeniería Civil.

#### Presenta:

Albuquerque González Nadia Ingrid

#### Dirigido por:

Martin Alfonso Gutiérrez López

Alfonso Gutiérrez López.

Presidente

\_\_\_\_\_  
Firma

Israel Ruíz González

Secretario

\_\_\_\_\_  
Firma

Emiliano Rodríguez Briceño

Vocal

\_\_\_\_\_  
Firma

Pablo Talamantes Contreras

Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

Filiberto Luna Zuñiga

Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

\_\_\_\_\_  
Aurelio Domínguez González

Nombre y Firma

Director de la Facultad

\_\_\_\_\_  
Omar Chávez Alegría

Nombre y Firma

Coordinador de carrera.

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
14 de abril del 2015

México

## RESUMEN

El presente documento se basa en la investigación en territorio Nacional en primera instancia acerca de los avances tecnológicos en materia de drenaje pluvial en México. De esta manera analiza que consideraciones son de importancia y urgencia para los tiempos modernos. Se desarrolla en la ciudad de Querétaro y pensando en ella, como una ciudad de crecimiento acelerado en infraestructura, por ello se presenta como recomendaciones que se incluyan en el código urbano de la ciudad. Las técnicas de drenaje pluvial sustentable son conocidas a nivel mundial de muchas maneras, ya sea como WSUDS (Water sensitive Urban Design), Best Management Practices (BMPs) o SuDS por sus siglas en inglés Sustainable urban\* Drainage Systems como se consideraron en este documento. La propuesta del tipo de tecnologías se basa en bibliografía de Inglaterra, Estados Unidos, Australia, Alemania y Francia. Una vez hecha la propuesta a incluirse en el código urbano, se analiza una zona urbanizada en la ciudad de Querétaro, se trata de las microcuencas Cuesta China, Estadio, El Tángano, y diversas áreas de aportación que contribuyen al dren Cimatario, dren que ha presentado fallas y desbordamientos en múltiples ocasiones. La zona en cuestión es analizada utilizando el método de transformación de lluvia-escorrentía del Soil Conservation Service USA o método del número de curva. Se plantea el uso de Técnicas SuDS en la microcuenca de la Cuesta China en base a la normatividad propuestas y se generan modelos de simulación para los estados natural, urbanizado e intervenido con técnicas de drenaje sustentable en HEC-HMS 3.5.

(Palabras clave: **Drenaje Pluvial Sustentable, HEC-HMS 3.5, Microcuenca Cuesta China, SuDS, WSUDS, BMPs, Método Del Número De Curva, Lluvia-Escorrentía.**)

## SUMMARY

This paper is based on a research in the national territory, in the first instance about the technological advances in storm drainage in Mexico. It analyzes which considerations must be taken because of his importance and urgency for modern times. It takes place in the city of Querétaro and thinking of a city of accelerated growth in infrastructure, it is presented as recommendations to be included in the urban city code. The techniques of sustainable stormwater drainage are known worldwide in many ways, either as WSUDS (Water Sensitive Urban Design), Best Management Practices (BMPs) or SuDS for its acronym in English, Sustainable urban \* Drainage Systems as it is considered in this document. The proposal of such technologies is based on literature from England, America, Australia, Germany and France. Once the proposal is done and ready to be included in the urban code, an area of Queretaro city is analyzed, it refers to the Cuesta China basin, Stadium basin, Tangano basin and a number of areas of contribution to the drain Cimatario, a drain with structural failures and overflow on multiple occasions. The area in question is analyzed using the method of transformation of rainfall-runoff of the Soil Conservation Service USA or method of curve number. The use of SuDS techniques in the watershed of the Cuesta China based on the given regulations is proposed and simulation models in HEC-HMS 3.5 for the natural state, built-up state and intervened with sustainable drainage techniques state are generated.

**(Key words: sustainable stormwater drainage, HEC-HMS 3.5, watershed of the Cuesta China, SuDS, WSUDS, BMPs, method of curve number, rainfall-runoff.)**

**Dedicatorias**

A Elisa y Jaime

A mis hermanos

Norman, Denisse, Marco y Livier.

A todos mis amigos y mi familia, porque uno es la suma de todas las causas.

Gracias quiero dar al divino Laberinto de los efectos y de las causas; Por la diversidad de las criaturas que forman este singular universo; por la razón, que no cesará de soñar con un plano del laberinto/ Por el firme diamante y el agua suelta, por el álgebra, palacio de precisos cristales, por las místicas monedas de Ángel Silesio, Por Schopenhauer, que acaso descifró el universo/Por los ríos secretos e inmemoriales que convergen en mí, por el idioma que, hace siglos, hablé en Nortumbria/Por el mar, que es un desierto resplandeciente y una cifra de cosas que no sabemos/ Por las rayas del tigre, por las altas torres de San Francisco y de la isla de Manhattan/Por la tortuga de Zenón y el mapa de Royce, por el olor medicinal de los eucaliptos/Por el lenguaje, que puede simular la sabiduría/Por el olvido, que anula o modifica el pasado/Por la costumbre, Que nos repite y nos confirma como un espejo/ Por la mañana, que nos depara la ilusión de un principio/Por la noche, su tiniebla y su astronomía/ Por el valor y la felicidad de los otros/Por el hecho de que el poema es inagotable y se confunde con la suma de las criaturas y no llegará jamás al último verso/Por el sueño y la muerte, Esos dos tesoros ocultos, Por los íntimos dones que no enumero, Por la música, misteriosa forma del tiempo.

**Jorge Luis Borges**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecimientos a mi Familia cuya genética me determina. Papá, mamá la vida me alcanzara para agradecerles. A mis hermanos Livier, Marco, Denisse, Norman, Leonardo y Carolina con quienes he vivido las mejores aventuras de la vida y con quienes se prolonga este absurdo de vivir, del cual extraemos sentimientos nobles e intenciones esplendidas.

A mi Fabien que me dio su mano y camino conmigo de vuelta a una esencia que creía que no existía.

A mis amigos Luis y Alma de la universidad que me dieron su apoyo desinteresado y su comprensión que era tan nuestra. A julio y a Daniel que me privaron, sin saber, de dedicarme a las artes, y cuya influencia perduro hasta ahora y perdurara siempre, las sonrisas inolvidables.

A mi director de tesis Alfonso, que creyó en mí y que me apoyo contra viento y marea, me hablo de la vida, compartió su humanidad conmigo, y que es un ejemplo para mí. A mis revisores Pablo Talamantes e Israel Ruíz, maestro y compañero de este viaje maravilloso en la ingeniería. A Emiliano Rodriguez Briseño por su entusiasmo en los temas de ingeniería en gestión de aguas y autentica sustentabilidad que hacen crecer a México y su población. A las compañeras y compañeros del la red CIAQ, que han colaborado activamente en este logro, y en especial al equipo Delfín del verano de la ciencia 2014, Mayra Silva y Wendy Garcia por compartir conmigo el interés y el trabajo.

A Angel, Rox, Alejandra, Rafael, Fernando, Juan Carlos, Liliana, y todos los jóvenes MRJ cuyos pasos inspiran, gracias por ser, por caminar, por resistir cada uno en su trinchera y junto a mí.

# INDICE

RESUMEN.....	3
SUMMARY .....	4
Dedicatorias.....	5
AGRADECIMIENTOS .....	7
INDICE.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	14
1 INTRODUCCIÓN .....	19
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	21
2.1 La Cuenca Como Unidad De Gestión Del Agua. ....	21
2.2 La Gestión Integrada De Los Recursos Hídricos GIRH .....	22
2.3 Concepto De Afectaciones Aguas Arriba Y Aguas Abajo. .	22
2.4 En Materia De Normatividad Aplicable México. ....	23
2.4.1 Manual De Captación De Aguas De Lluvia Para Centros Urbanos.....	23
2.4.2 Manual De Agua Potable, Alcantarillado Y Saneamiento (MAPAS). ....	24
2.4.3 Norma Mexicana NMX-Drenaje Pluvial Urbano- Criterios Generales Para El Diseño De Proyectos Acapulco.....	24
2.4.4 Normas Técnicas Complementarias Para El Diseño Y Ejecución De Obras E Instalaciones Hidráulicas Del Distrito Federal.....	27
2.4.5 Ley De Aguas Del Distrito Federal.....	27
2.4.6 Norma De Alcantarillado Pluvial, CEA, Querétaro. ....	28
2.5 Sobre El Desarrollo Tecnológico En Materia De Drenaje Pluvial En México. ....	28
2.6 Sobre Las Técnicas SUDS. ....	29
2.7 Los Impactos De La Urbanización. ....	30
2.8 Filosofía De Las SUDS .....	31
2.9 Gestión De SUDS. ....	33
2.10 Criterio De Selección. ....	34
1.1.1 Uso de suelo. ....	35
1.1.2 Características De Sitio.....	38
1.1.3 Características De La Cuenca. ....	40
1.1.4 Control De La Cantidad Y Calidad De Escorrentia. ....	41
2.10.1 Control De Calidad.....	42

	2.11 Norma Técnica Para Incluirse En Los Códigos Urbanos Municipales Del Estado De Querétaro. ....	43
	2.12 Sobre El Código Urbano .....	43
3	METODOLOGÍA.....	47
	3.1 Objetivo General .....	47
	3.2 Objetivos Indirectos: .....	47
	3.3 Objetivos Particulares: .....	47
	3.4 Hipótesis .....	47
	3.5 Aportaciones A La Reglamentación.....	48
	3.6 Cambio Climático.....	48
	3.7 Aplicación De Lo Analizado En Un Consejo De Reglamentación. ....	51
	3.8 Aportación A La Reglamentación Para Drenaje Sustentable 53	
	Acciones Correctivas O Remediarias (AR). ....	53
	Acciones Para Bajos Volúmenes De Escorrentía (BV). ....	54
	Acciones Para Medios Volúmenes De Escorrentía (MV). ....	55
	Acciones Para Medio Alto Volumen De Escorrentía (MAV). ....	56
	Acciones Para Altos Volúmenes De ESCORRENTÍA (AV).....	57
	Prontuario De Técnicas Suds.....	60
	Acciones Correctivas:.....	60
	3.9 Ejercicio de aplicación.....	70
	3.9.1 El Sitio.....	70
	3.9.2 El Dren Cimatario.....	71
	3.9.3 Análisis y procesamiento de información Geográfica Y Topográfica. ....	72
	3.9.4 Bordos.....	79
	3.9.5 Simulación De La Cuenca Con El Apoyo Del Programa HEC HMS 3.5.....	81
	3.9.6 Lluvia De Diseño.....	84
	3.9.7 Simulación Para Microcuencas En Estado Natural. ....	85
	3.9.8 Simulación Para Microcuencas Con Desarrollo Urbano, Situación Actual. ....	88
	3.9.9 Simulación Para Microcuencas Con Técnicas SuDS.....	94
	3.9.10 Simulación De Microcuencas Urbanas Con Técnicas SuDS Para La Tormenta Del 25 De Mayo Del 2014. ....	102
	3.9.11 Simulación De Microcuencas Urbanas Para La Tormenta Del 25 De Mayo Del 2014. ....	107
4	Discusión.....	109

4.1	Discusión y análisis de los modelos de simulación para la cuenca en estado urbanizado y no urbanizado intervenido con técnicas SuDS, para la tormenta del 25 de mayo del 2014.....	114
5	CONCLUSIONES.....	117
	Literatura citada.....	118
	Apéndice.....	120
5.1	Memoria de cálculo.....	120
5.1.1	Datos de las microcuencas y áreas de aportación.....	120
5.1.2	Intensidad- precipitación-periodo de retorno.....	121
5.1.3	Parámetros de entrada para el método SCS, números de curva. 122	
5.1.4	Para la simulación con técnicas SuDS en la Cuesta China. 125	
5.1.5	Ejemplos del comportamiento de las obras SuDS .....	129
5.1.6	Lluvia del 25 de mayo del 2014 .....	133
5.1.7	Simulación con las obras SuDS incorporadas al modelo. 134	

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2-1 Impactos del uso de la tierra en función del tamaño de la cuenca, (X) implica presencia (adaptado de Kiersch, 2000) .....	21
Cuadro 2-2 La visión del paso natural para la total sustentabilidad de los sistemas de drenaje. Cuadro adaptado de los papeles de visión SuDS, 2011. ....	32
Cuadro 2-3 para selección de técnicas SuDS de acuerdo al Uso de suelo, extracto del manual de SuDS CIRIA C697. ....	37
Cuadro 2-4 para selección de técnicas SUDS según características extracto del manual de SuDS CIRIA C697.....	39
Cuadro 2-5 Vulnerabilidad de las cuencas de acuerdo con el uso y la ocupación del suelo, extracto del manual de SuDS CIRIA C697. ....	40
Cuadro 2-6 Mecanismo de remoción para cada categoría de contaminante (adaptado de Wilson et al, 2004).....	42
Cuadro 3-1 análisis de volumen de escurrimiento en exceso por el método de numero de curva, para el estado actual al año 2014 de 14 cuencas urbanas en el Valle de México, incluyendo la escorrentía aumentada en un 10% por cambio climático.....	49
Cuadro 3-2 Cuadro resumen de los valores de interés para observar el comportamiento de las cuencas urbanas.....	50
Cuadro 3-3. Recomendaciones para sitio A que afecta a sitio B, tomando en cuenta su categoría de escurrimiento en exceso para reglamento de drenaje urbano....	52
Cuadro 3-4. Recomendaciones para sitio B que es afectado por sitio A, tomando en cuenta su categoría de escurrimiento en exceso para reglamento de drenaje urbano. ....	52
Cuadro 3-5 Recomendaciones para sitio B que es afectado por sitio A, y que su vez afecta a un tercer desarrollo aguas abajo, tomando en cuenta su categoría de escurrimiento en exceso para reglamento de drenaje urbano. ....	52
Cuadro 3-6 Polígonos de áreas urbanas y áreas disponibles para técnicas SuDS. ....	76
Cuadro 3-7 Capacidad del embalse. ....	79
Cuadro 3-8 Humedad antecedente del Servicio de conservación del suelo. ....	82
Cuadro 3-9 Numero de curva para el grupo II( según humedad antecedente). 83	
Cuadro 3-10 Datos para hietogramas para la estación Cimatario y Milenio, método de bloques alternos, periodo de retorno de 10 años.....	84

Cuadro 3-11 Magnitudes de importancia por microcuenca de aportación para la condición actual de urbanización para todas las microcuencas que convergen en el dren Cimatario y con la microcuenca Cuesta China en condiciones naturales. ....	86
Cuadro 3-12 Magnitudes de importancia para los nodos donde se ubicarían los bordos de la microcuenca Cuesta China, en condiciones naturales. ....	86
Cuadro 3-13 Magnitudes de importancia por microcuenca de aportación para la condición actual de urbanización para todas las microcuencas que convergen en el dren Cimatario. ....	88
Cuadro 3-14 Magnitudes de importancia para los bordos de la microcuenca Cuesta China, en condiciones urbanizadas. ....	88
Cuadro 3-15 Áreas urbanas de aportación para el bordo II en la microcuenca Cuesta China. ....	97
Cuadro 3-16 Áreas urbanas de aportación para el bordo III en la microcuenca Cuesta China. ....	97
Cuadro 3-17 Áreas de urbanas de aportación para el bordo IV en la microcuenca Cuesta China. ....	98
Cuadro 3-18 Áreas de urbanas de aportación para el bordo I en la microcuenca Cuesta China. ....	98
Cuadro 3-19 Magnitudes de importancia por microcuenca de aportación para la condición actual de urbanización para todas las microcuencas que convergen en el dren Cimatario y con la microcuenca Cuesta China intervenida con Técnicas SuDS. ....	102
Cuadro 3-20 Precipitación del 25 de mayo del 2014. ....	103
Cuadro 3-21 Magnitudes de importancia por microcuenca de aportación para la condición actual de urbanización para todas las microcuencas que convergen en el dren Cimatario, con la microcuenca Cuesta China intervenida por técnicas SuDS, para la tormenta del 25 de mayo del 2014. ....	104
Cuadro 3-22 Magnitudes de importancia por microcuenca de aportación para la condición actual de urbanización para todas las microcuencas que convergen en el dren Cimatario, para la tormenta del 25 de mayo del 2014. ....	107
Cuadro 4-1 Comparativa de las simulaciones para los modelos; natural, urbanizado, intervenido con técnicas SuDS. ....	113
Cuadro 4-2 Comparativa de las simulaciones para los modelos; natural, urbanizado, intervenido con técnicas SuDS. Tormenta del 25 de mayo del 2014. ....	116
Cuadro 5-1 Escorrentía Directa para la microcuenca Cuesta China. ....	117

Cuadro 0-1 Datos de la microcuenca Cuesta China. ....	120
Cuadro 0-2 Datos de la microcuenca Estadio. ....	120
Cuadro 0-3 Datos de la microcuenca Tángano. ....	120
Cuadro 0-4 Datos de las áreas de aportación parte 4. ....	121
Cuadro 0-5 Datos de Intensidad para duraciones de 10, 30, 60,120 y 240 minutos, Tr 10 años. ....	121
Cuadro 0-6 Método de Numero de Curva para microcuenca Cuesta China Estado Natural. ....	122
Cuadro 0-7 Método de Numero de Curva para microcuenca Cuesta China Estado Urbanizado.....	123
Cuadro 0-8 Método de Numero de Curva para microcuenca Estadio. Estado Urbanizado.....	123
Cuadro 0-9 Método de Numero de Curva para área Quintas del Marqués. Estado Urbanizado.....	123
Cuadro 0-10 Método de Numero de Curva para microcuenca El Tángano. Estado Urbanizado.....	124
Cuadro 0-11 Método de Numero de Curva área parte 4. Estado Urbanizado.	124
Cuadro 0-12 Longitud y análisis con Muskingum para los drenes que conectan el bordo II y III con el bordo IV, y este último con el bordo I, en la Cuesta China. ....	125
Cuadro 0-13 Áreas de urbanas de aportación para el bordo II en la microcuenca Cuesta China.....	125
Cuadro 0-14 Áreas de urbanas de aportación para el bordo III en la microcuenca Cuesta China .....	126
Cuadro 0-15 Áreas de urbanas de aportación para el bordo IV en la microcuenca Cuesta China .....	127
Cuadro 0-16 Áreas de urbanas de aportación para el bordo I en la microcuenca Cuesta China.....	127
Cuadro 0-17 Precipitación del 25 de mayo del 2014. ....	133

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Hidrogramas de escorrentía para pre y post desarrollo para un evento de lluvia en un área urbana. ....	31
Figura 2-2 El tren de gestión de SuDS (Adaptado de Berry, 2002).....	34
Figura 3-1 Barreras vivas, siguiendo las curvas de nivel. ....	61
Figura 3-2 Barreras con árboles. ....	62
Figura 3-3 Swales convergentes tipo.....	63
Figura 3-4 Swales secos tipo. ....	63
Figura 3-5 Swales convergentes con capa húmeda. ....	64
Figura 3-6 Zanjas de infiltración tipo.....	65
Figura 3-7 Esquemas de un sistema de bioretención típico, adaptado de The SuDS Manual.....	66
Figura 3-8 Típico perfil de pavimento poroso.....	67
Figura 3-9 Perfil típico de un techo verde. ....	68
Figura 3-10 Microcuencas CONAGUA en Querétaro, Querétaro. ....	71
Figura 3-11 Drenes de la ciudad de Querétaro y zona metropolitana. El dren Cimatario se identifica con color azul claro. ....	72
Figura 3-12 Acercamiento a las microcuencas de aportación y al dren cimatario. ....	72
Figura 3-13 Carga del archivo .TIFF del continuo de elevaciones mexicano de las cartas F14C65 Y F14C66 y curvas de nivel, capas vectoriales. ....	73
Figura 3-14 Archivo tipo raster de las cartas F14C65 Y F14C66.....	74
Figura 3-15 Delimitación de la microcuenca cuesta china por Quantum Gis con las herramientas raster, se pueden observar también los segmentos de corriente. ....	74
Figura 3-16 Polígonos de zonas urbanas, delimitadas en Google Earth para exportar a Quantum Gis.....	75
Figura 3-17 Polígonos de áreas urbanas (áreas con transparencia) y áreas delimitadas para uso de técnica SuDS (en color azul solido)en Quantum Gis. También se observan algunos cauces principales que serán importantes para el modelo HEC-HMS. ....	75
Figura 3-18 Simulación para la cuenca en estado natural. ....	85

Figura 3-19 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del nodo correspondiente al bordo Tángano I. Condiciones Naturales.....	87
Figura 3-20 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Tángano II. Condiciones Naturales. ....	87
Figura 3-21 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China II. Condiciones urbanizadas. ....	90
Figura 3-22 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China III. Condiciones urbanizadas.....	90
Figura 3-23 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China IV. Condiciones urbanizadas. ....	91
Figura 3-24 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China I. Condiciones urbanizadas. ....	91
Figura 3-25 Simulación con Técnicas SuDS en HEC HMS 3.5. ....	94
Figura 3-26 Acercamiento a la zona correspondiente a la Cuesta China en el Simulación con Técnicas SuDS en HEC HMS 3.5. ....	95
Figura 3-27 Acercamiento a la zona correspondiente al bordo II en la Cuesta China en el Simulación con Técnicas SuDS en HEC HMS 3.5. ....	95
Figura 3-28 Acercamiento a la zona correspondiente al bordo III en la Cuesta China en el Simulación con Técnicas SuDS en HEC HMS 3.5. ....	96
Figura 3-29 Acercamiento a la zona correspondiente al bordo IV en la Cuesta China en el Simulación con Técnicas SuDS en HEC HMS 3.5. ....	96
Figura 3-30 Acercamiento a la zona correspondiente al bordo I en la Cuesta China en el Simulación con Técnicas SuDS en HEC HMS 3.5. ....	97
Figura 3-31 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China II. Condición urbanizada intervenida con técnicas SuDS. ....	100
Figura 3-32 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China III. Condición urbanizada intervenida con técnicas SuDS.....	100
Figura 3-33 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China IV. Condición urbanizada intervenida con técnicas SuDS. ....	101
Figura 3-34 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China I. Condición urbanizada intervenida con técnicas SuDS. ....	101
Figura 3-35 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Tángano II. Condición urbanizada intervenida con técnicas SuDS. Tormenta del 25/05/2014. ....	105

Figura 3-36 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Tángano I. condición urbanizada intervenida con técnicas SuDS. Tormenta del 25/05/2014.....	105
Figura 3-37 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China I. condición urbanizada intervenida con técnicas SuDS. Tormenta del 25/05/2014.....	106
Figura 3-38 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China I. condición urbanizada. Tormenta del 25 de mayo del 2014. ....	108
Figura 4-1 Hidrograma para el Punto Problemático en el dren Cimatario, considerándose este el tramo aquel en que convergen todas las aportaciones de las microcuencas estudiadas. Condición Natural. ....	110
Figura 4-2 Hidrograma para el Punto Problemático en el dren Cimatario, considerándose este el tramo aquel en que convergen todas las aportaciones de las microcuencas estudiadas. Condición Urbana. ....	110
Figura 4-3 Hidrograma para el Punto Problemático en el dren Cimatario, para condiciones urbanas, con la microcuenca Cuesta China intervenida con técnicas de Drenaje Sustentable. ....	113
Figura 4-4 Hidrograma para el Punto Problemático en el dren Cimatario, condiciones urbanas, para la tormenta del 25 de mayo del 2014. ....	115
Figura 4-5 Hidrograma para el Punto Problemático en el dren Cimatario, para condiciones urbanas, para la tormenta del 25 de mayo del 2014. ....	115
Figura 0-1 Curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno, estación Milenio y estación Cimatario. ....	121
Figura 0-2 Lluvia de Diseño por el método de bloques alternos.....	122
Figura 0-3 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS Residencial del Parque.....	126
Figura 0-4 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS Subárea de aportación. ....	126
Figura 0-5 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS Expocentro.....	126
Figura 0-6 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS carr57_1. ....	126
Figura 0-7 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS carr57_2. ....	127

Figura 0-8 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS carr57_3. .....	127
Figura 0-9 Datos para curvas elevación-almacenamiento de los SuDS correspondientes a las áreas que contribuyen al bordo IV de la Cuesta China. ....	127
Figura 0-10 Datos para curvas elevación-almacenamiento de los SuDS correspondientes a las áreas que contribuyen al bordo I de la Cuesta China. ....	128
Figura 0-11 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS Milenio 1_AU1. ....	128
Figura 0-12 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS Milenio 1_AU5. ....	128
Figura 0-13 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS Milenio 1_AU7. ....	129
Figura 0-14 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS Milenio 1_AU9. ....	129
Figura 0-15 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS Milenio 2_AU1. ....	129
Figura 0-16 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS Milenio 1_AU6. ....	129
Figura 0-17 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS de la subárea de aportación. ....	129
Figura 0-18 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS de la subárea de aportación. ....	130
Figura 0-19 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS del área urbana carretera 57_1.....	130
Figura 0-20 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS del área urbana carretera 57_1.....	130
Figura 0-21 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS del área urbana Mirador _1.....	131
Figura 0-22 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS del área urbana Mirador _1.....	131
Figura 0-23 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS del área urbana Cuesta Bonita _1. ....	131
Figura 0-24 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS del área urbana Cuesta Bonita _1. ....	132

Figura 0-25 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS del área urbana Milenio II parte 1, obra SuDS 9.....	132
Figura 0-26 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS del área urbana Milenio II parte 1, obra SuDS 9.....	132
Figura 0-27 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS del área urbana Milenio II parte 2, obra SuDS 5.....	133
Figura 0-28 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS del área urbana Milenio II parte 2, obra SuDS 5.....	133
Figura 0-29 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS de la subárea de aportación.....	134
Figura 0-30 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS de la subárea de aportación.....	134
Figura 0-31 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS del área urbana carretera 57_1.....	135
Figura 0-32 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS del área urbana carretera 57_1.....	135
Figura 0-33 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS del área urbana Mirador _1.....	135
Figura 0-34 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS del área urbana Mirador _1.....	136
Figura 0-35 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS del área urbana Milenio III parte 1, obra SuDS 9.....	136
Figura 0-36 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS del área urbana Milenio III parte 1, obra SuDS 9.....	136
Figura 0-37 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS del área urbana Milenio III parte 2, obra SuDS 5.....	137
Figura 0-38 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS del área urbana Milenio III parte 2, obra SuDS 5.....	137

## 1 INTRODUCCIÓN

Las primeras civilizaciones se asentaron por norma general en las márgenes de los grandes ríos y cuerpos de agua, la posibilidad de cubrir las necesidades del recurso hídrico permitió el desarrollo de grandes civilizaciones e imperios, sin embargo, como es sabido, los asentamientos humanos cerca de los cuerpos de agua son, y serán siempre, susceptibles frente a los eventos extremos de lluvia y a las condiciones propias de estos ecosistemas. Ante estas circunstancias, desde la antigüedad, se empezaron a idear y construir los primeros elementos de conducción de agua pluvial y de protección marginal de las propiedades materiales, edificios y cultivos de la sociedad, así como los seres vivos que las habitan.

Los sistemas de drenaje sanitario se pensaron como una necesidad de salubridad pública, los primeros ejemplos del mismo datan desde tiempos precristianos en civilizaciones tan antiguas como Babilonia, Egipto, Roma, Grecia y Jerusalén. En otros lugares de la tierra, pasaron centenares de años sin sistemas de drenaje en la mayor parte del mundo, lo cual provoca graves problemas de salud, baja calidad de vida y muertes tempranas (Vladimir Novotny et al, 2010).

Siguiendo la línea de la historia, a partir de la revolución industrial, las ciudades comenzaron a expandirse, comenzó la pavimentación y la impermeabilización expansiva de grandes territorios para dar cabida a las crecientes civilizaciones. Estas nuevas ciudades contemplaron sistemas de drenaje que condujeran las aguas pluviales rápidamente hacia el exterior evitando inundaciones y daños en la propiedad privada, así como la protección de manera marginal de los bienes, ignorando en la mayoría de los casos el drenaje natural de las cuencas. Los sistemas de drenaje eran prioritariamente sistemas combinados. Dichas tecnologías se importaron a tierra latinoamericana. De esta manera se arrastraron costumbres antiecológicas, los errores eran múltiples, desde la urbanización en sitios susceptibles a las inundaciones y la interrupción brusca del drenaje natural de las cuencas hasta conjugar el transporte de las aguas servidas con las aguas pluviales (más limpias que las primeras) y descargar ambas a las corrientes de agua, aumentando la presión en las corrientes al descargar volúmenes mayores de agua contaminada.

El sistema de transporte hidráulico como se conoce ahora se aprobó y ejecutó en París en 1820, en un experimento fallido que significó una epidemia de cólera en 1832. Sin embargo, de manera similar se comenzaron a desarrollar tecnologías en el Reino Unido y en los Estados Unidos de América.

En materia de drenaje pluvial la tecnología se desarrolló de manera tan lenta, que hasta finales del siglo XX de manera general alrededor del mundo; hablar de drenaje pluvial era hablar de drenaje combinado con el drenaje sanitario.

Existe una serie de daños ambientales que se ignoraban hasta hace muy pocos años, hoy día es de primordial preocupación las consecuencias en el aumento del volumen y de la velocidad de descarga del agua servida combinada con agua que solía ser limpia, en los ríos que en muchas latitudes se encuentran saturados, y cuya capacidad de disolución es cada vez menos sostenible, así mismo, se hizo evidente el gravísimo desequilibrio entre la recarga natural o inducida de acuíferos y su rápido vaciado por extracción.

No se puede seguir ignorando que es el agua de lluvia la que constituye la principal recarga de las aguas subterráneas o acuíferos, puesto que tiene un papel predominante en la salud de la cuenca, en la conservación de los suelos y de la capa vegetal, así como en el mantenimiento del flujo base de la corriente de los ríos y que la impermeabilización de grandes extensiones territoriales afecta la capacidad de absorción del suelo de las cuencas.

Este estudio pretende entonces cumplir con los objetivos de la actividad ingenieril, utilizar el ingenio para crear, y en este caso se tratara de; estímulos, soluciones, propuestas para adaptarnos a las nuevas dificultades.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 La Cuenca Como Unidad De Gestión Del Agua.

**Definición:** Una cuenca hidrográfica es una zona limitada topográficamente que desagua mediante un sistema fluvial, es decir, la superficie total de tierras que desaguan en un cierto punto de un curso de agua o río. Una cuenca hidrográfica es una unidad hidrológica que ha sido descrita y utilizada como una unidad físico biológica y también, en muchas ocasiones, como una unidad socio-económico-política para la planificación y ordenación de los recursos naturales. La cuenca de captación se utiliza con frecuencia como sinónimo de cuenca hidrográfica, no hay un tamaño definido de cuenca, puede tener una dimensiones de miles de kilómetros cuadrados hasta la de unos pocos kilómetros cuadrados (T.C.Sheng, 1992).

En cuanto a la cuenca como unidad socio-económica-política se dice que el impacto del uso del agua dependerá de la cantidad y la calidad que se distribuya y que se regrese a las afluentes, teniendo entonces que a mayor tamaño menor impacto, puesto que existe mayor posibilidad de amortiguar los efectos, mientras que en cuencas pequeñas, las características del caudal, se verán notoriamente modificadas.

Cuadro 2-1 Impactos del uso de la tierra en función del tamaño de la cuenca, (X) implica presencia (adaptado de Kiersch, 2000)

Impacto observable del uso de la tierra en:	Tamaño de la cuenca		
	Pequeña (0.1- 10km <sup>2</sup> )	Mediano (10- 100km <sup>2</sup> )	Grande (>100km <sup>2</sup> )
Caudal Promedio	X	-	-
Caudal Punta	X	-	-
Caudal Base	X	-	-
Recarga de Acuíferos	X	-	-
Carga de Sedimentos	X	-	-
Patógenos.	X	-	-
Nutrientes	X	X	X
Salinidad	X	X	X
Pesticidas.	X	X	X

La FAO recomienda tratar el problema de manera jerárquica, así, toda intervención local se considerara en el contexto de la situación general de la cuenca y se debe elaborar una metodología de planificación que considere varios niveles: cuenca, subcuenca y microcuenca. (FAO, 2007).

Por lo tanto el manejo de la cuenca es naturaleza compleja, puesto que las variables y los actores son muchos, así como la interdependencia entre los mismos.

Entre las variables se encuentran; extensión y número de propiedades, usos de suelo, diversidad y complejidad de los problemas ambientales de la cuenca.

## **2.2 La Gestión Integrada De Los Recursos Hídricos GIRH**

En el mundo, la introducción de la gestión integrada en recursos hídricos llega a finales del siglo XX, después de un periodo de desarrollismo, en el que el consumo de agua como insumo básico se disparó y así lo hicieron también los índices de contaminación ambiental, a nivel internacional la pérdida de los recursos hídricos comenzó a ser alarmante y en 1992 en Irlanda , más de 500 expertos crearon la declaración de Dublín cuyos principios giran alrededor de la protección de los recursos hídricos y el uso sustentable de los mismos.

En México, se hacen modificaciones al marco jurídico y al ente administrador a nivel federal; así mismo se introduce la participación ordenada de los usuarios.

Para enfatizar, hoy día tenemos dos pilares para la GIRH

- 1.Ley de Aguas Nacionales, publicada en 1992, reformada en el mes de abril de 2004 y recientemente modificada y aprobada en marzo del 2015.
- 2.La Comisión Nacional del Agua, como órgano superior con carácter técnico, normativo y consultivo de la Federación, en materia de GIRH.  
(Valencia Vargas et al).

Es precisamente en la ley de aguas nacionales donde se publica oficialmente que la política hídrica nacional tiene como base la gestión integrada de los recursos hídricos en la cuenca hidrológica.

La Comisión Nacional del Agua ha visualizado a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos a nivel cuenca, como un proceso en el que se deben considerar los siguientes aspectos:

- 1.Usos del agua integrados
- 2.Interacción agua superficial y subterránea
- 3.Disponibilidad de agua en cantidad y calidad
- 4.Relaciones entre el agua y otros recursos naturales de la cuenca
- 5.Los recursos naturales y su relación con el desarrollo económico y social.

Todo esto en un marco de transversalidad de políticas que impliquen el esfuerzo conjunto de los diversos organismos de la administración pública federal, estatal y municipal (Valencia Vargas et al, s.f.)

## **2.3 Concepto De Afectaciones Aguas Arriba Y Aguas Abajo.**

En las consideraciones para el desarrollo urbano, toda afectación en algún sitio de la cuenca implicara consecuencias en el total de la cuenca, regularmente las afectaciones más graves suceden aguas abajo, hablamos de asentamiento humanos o hábitats naturales cuya vida normal se ve modificada por los cambios en el caudal, y en el tránsito de agua, identificando estos cambios como; contaminación, aumento de volumen, aumento de velocidad, arrastre de sedimentos, desborde por superación de la capacidad de los canales o conductos, etc.

Esto no sucede de la misma manera con los sitios aguas arriba, puesto que difícilmente se verán afectados por las acciones que se ejerzan aguas abajo.

Difícilmente los gestores y usuarios aguas arriba toman conciencia sobre esta situación, es por ello que ciertos organismos deben actuar como defensores de los intereses de todos los habitantes de la cuenca y como protector de los recursos naturales existentes. Es así como la normatividad es otra herramienta en la gestión integral de los recursos hídricos.

## **2.4 En Materia De Normatividad Aplicable México.**

En este capítulo se revisara brevemente algunas de las normas, manuales y reglamentos vigentes con la finalidad de rescatar las aportaciones en materia de sustentabilidad y en menor medida en materia de normas técnicas puesto que este no es el tema que corresponde, se revisara qué puntos esenciales hacen falta y se introducirá la visión de afectaciones globales de la cuenca (afectaciones aguas arriba y aguas abajo) así como las técnicas de drenaje pluvial sustentable.

Las normatividades, manuales y reglamentos en materia de drenaje, son de uso casi regional, sin embargo las más completas a nivel nacional son:

- Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) en su libro Alcantarillado Pluvial.
- Manual De Captación De Aguas De Lluvia Para Centros Urbanos.
- Norma Mexicana NMX-Drenaje Pluvial Urbano- Criterios Generales Para El Diseño De Proyectos ACAPULCO.
- Normas Técnicas Complementarias Para El Diseño Y Ejecución De Obras e Instalaciones Hidráulicas, DISTRITO FEDERAL.
- Ley De Aguas De Distrito Federal.
- Norma De Alcantarillado Pluvial, CEA, Querétaro.

### **2.4.1 Manual De Captación De Aguas De Lluvia Para Centros Urbanos.**

El PNUMA en conjunto con el International Renewable Resources Institute México, elaboró en el año 2008 el Manual De Captación De Aguas De Lluvia Para Centros Urbanos. En este Manual de Captación de Agua Pluvial se enfoca en la problemática urbana y hace hincapié en alternativas para los ciudadanos, que como individuos y grupos organizados pueden hacer para ampliar y/o generar el abastecimiento de agua potable, ya se toca el tema de afectaciones aguas abajo por las poblaciones aguas arriba y las acciones para regenerar su armonía, también se pone especial atención a una técnica SuDS muy antigua, que es el almacenamiento de agua de lluvia de manera particular en los domicilios.

### **El manual aborda varios puntos importantes:**

- El hecho de los sistemas municipales o estatales se abastecen por medio de pozos de agua subterránea, y sus efectos en el subsuelo y falta de recarga.
- La antigüedad y poca efectividad de las tuberías actuales de drenaje. Dado que siguen ocurriendo derrames de aguas negras, que terminan por contaminar el manto freático y suele suceder también, que contamina el agua potable por fisuras en los conductores de la misma.
- El problema de escasez de agua limpia, puesto que el agua potable se extrae de fuentes limpias y se devuelve contaminada.
- Afectación a la biodiversidad.
- Afectaciones y conflictos entre pobladores aguas abajo y pobladores aguas arriba. Siendo los primeros siempre los más afectados.

Son varios los retos que este manual y la aplicación misma de los sistemas de captación de agua de lluvia se pretenden alcanzar. Partiendo de lo general a lo particular se piensa que si la creciente urbanización es un proceso normal del desarrollo económico, las metas del manual son las de hacer que este crecimiento sea sustentable, eficiente y equitativo.

#### **2.4.2 Manual De Agua Potable, Alcantarillado Y Saneamiento (MAPAS).**

El principal documento utilizado como recomendación para el diseño de obras pluviales urbanas aplicadas en México es el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) en su libro Alcantarillado Pluvial, con última edición publicada en el año 2007, la cual fue contratada con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

En este trabajo se pretende cubrir los principales aspectos relacionados con el alcantarillado pluvial. Por tal motivo, se incluyen principios básicos de Hidráulica y de Hidrología para el diseño y revisión de redes de alcantarillado pluvial.

El manual destaca que la metodología empleada para el diseño de los nuevos sistemas de alcantarillado está cambiando, puesto que en cierto momento se recomendaron los sistemas de alcantarillado combinado. Sin embargo, la tendencia actual es construir sistemas de alcantarillado separados. Menciona las ventajas de la separación tales como el tratamiento de menores volúmenes de aguas residuales, así como el posible reúso o aprovechamiento de las aguas pluviales. De esta forma, se invierte en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales de menor tamaño, pues los volúmenes de aguas pluviales son muy superiores a los correspondientes a las aguas residuales domésticas e industriales según el manual.

#### **2.4.3 Norma Mexicana NMX-Drenaje Pluvial Urbano- Criterios Generales Para El Diseño De Proyectos Acapulco.**

La norma mexicana NMX-Drenaje Pluvial Urbano- criterios generales para el diseño de proyectos, nace del cabal cumplimiento del plan nacional de desarrollo 2007-2012 y el programa nacional hídrico 2007-2012, los cuales buscaron enfrentar los efectos derivados del crecimiento, la demanda, sobreexplotación y escasez del agua.

Citando los objetivos de este anteproyecto de norma:

Este documento se enfoca en 3 prácticas globales para el mejor entendimiento del manejo del agua de lluvia, los proyectos deseables, la forma de construir y los requisitos mínimos por cumplir.

- Control cuantitativo.
- Control cualitativo.
- Control al exterior del predio.

### **Control cuantitativo.**

○Es necesario mantener el valor del coeficiente del escurrimiento natural, reducir zonas impermeables, y mantener los escurrimientos del predio tales como arroyos y causes conservando o mejorando sus condiciones actuales .de acuerdo con lo establecido en la ley de aguas nacionales.

○Aprovechar los volúmenes generados por la precipitación para aplicaciones de consumo de agua no potable (habitacional, comercial, industrial, y otras permisibles según la normatividad vigente)

○Promover la infiltración, conforme a la NOM-015-CONAGUA.

○Controlar la formación y salida de escurrimientos causados por la precipitación que provoquen daños o inundaciones en el sitio y zona de influencia aguas abajo, el gasto máximo calculado para el proyecto no debe superar el gasto máximo para las condiciones naturales del predio.

### **Control cualitativo.**

○Disminuir la contaminación por residuos sólidos o líquidos que se suman al agua de lluvia al escurrir.

○Evitar el ingreso de grasas y aceites, así como de solidos arrastrados en la infraestructura de conducción, de infiltración, de control de crecientes y del cuerpo receptor. Apoyándose en la norma vigente.

○Eliminar al menos 80% de solidos suspendidos totales SST del agua destinada a infiltración o a cuerpo de agua receptor.

### **Control al exterior del predio.**

○Reforestaciones aguas arriba. Repoblar árboles y arbustos endémicos.

○Estructuras de control aguas arriba, estructuras rompe picos de tormentas y de control de azolves.

○Evitar el desalojo de excedencias.

### **La norma también nos da una sección sobre infraestructura ideal.**

- Escurrimientos superficiales en vialidades con el fin de coleccionar y dirigir el volumen hacia los elementos de captación viales tales como cuneta o bocas de tormenta.
- Captación bocas de tormenta. Estructura de captación y tratamiento primario.
- Conexiones o descargas domiciliarias, pretenden interceptar el agua de los techos y patios, y usar rejillas y coladeras para evitar el ingreso de residuos sólidos.
- Conducción en red subterránea y/o canales de superficie. Colectan y dirigen el agua al sitio de tratamiento y vertido, con un mínimo de arrastre de sedimentos.
- Estructuras para infiltraciones. Estructuras que permiten la recarga artificial de un acuífero. La norma establece que para caudales superiores a 60 litros por segundo (lps) se deben seguir los lineamientos de la NOM-015-CONAGUA.
- Estructura para el control de crecientes. Estructuras cuyo propósito es reducir el gasto pico de un escurrimiento.
- Estructuras de descarga en cuerpo receptor.
- Estructura de control de contaminantes. Habla específicamente de tratamientos primarios.

Para lograr los objetivos la norma establece 5 conceptos como fundamentales en materia de:

- Mantenimiento del valor natural del coeficiente de escurrimiento; Se sabe que es una medida deseable pero que puede no ser compensatoria, lo que se busca es reducir el efecto aguas abajo por un gasto excesivo.
- Almacenamiento para aplicaciones de consumo de agua no potable e infiltración.
- Se propone en la norma que todo volumen de precipitación para eventos de duración de 60min y periodo de retorno (Tr) de 2 años, debe almacenarse para aplicaciones de consumo de agua no potable, mientras que para la infiltración solicita un volumen entre un Tr de 2 a 5 años.
- Propone algunas técnicas SuDS, cuya construcción cumpla cabalmente con lo establecido en la norma NOM-015-CONAGUA-(vigente)-sobre Infiltración artificial de agua en los acuíferos.

### **Control, reducción o eliminación de contaminantes.**

Establece 5 categorías:

- Materiales flotantes
- Materiales disueltos
- Materiales suspendidos
- Materiales sedimentables
- Grasas y aceites.

Hace notar el incremento en el escurrimientos debido a la urbanización, sugiere que la mayor parte de la contaminación se va a deber a minerales, arenas y limos, el escurrimiento seguramente también arrastra orgánicos, aceites y grasas en cualquier zona urbana. También toma en cuenta los sólidos grandes, puesto que todos estos factores en conjunto disminuyen la capacidad hidráulica y la vida útil de la infraestructura de drenaje pluvial.

#### **La conducción.**

- Todos los colectores, emisores, atarjeas y conductores deben ser herméticos y concordar con la NOM-001-CONAGUA (vigente)
- Establece el periodo de retorno acorde con el uso de suelo

#### **Control de crecientes.**

La norma ofrece las siguientes alternativas o la combinación de ellas.

- Áreas de retraso.
- Tanques tormenta
- Estanques de retención
- Embalses sobre cauces
- Planicies de inundación
- El responsable del diseño debe estimar crecientes para 5, 20, 50 y 100 años de periodo de retorno y calcular las superficies libres en diversas secciones transversales del proyecto, con las que se dibujara planicies de inundación sobre cauces, depresiones y terrenos bajos dentro del predio para condiciones sin urbanizar y condición urbana.

Sin embargo aún no contempla el cambio climático o el soporte para eventos históricos extremos.

### **2.4.4 Normas Técnicas Complementarias Para El Diseño Y Ejecución De Obras E Instalaciones Hidráulicas Del Distrito Federal.**

Es un documento que contiene todos los lineamientos técnicos, pero poco en materia de sustentabilidad.

### **2.4.5 Ley De Aguas Del Distrito Federal**

En el 2003 la ley de aguas del distrito federal aprobó la exigencia de captación de agua de lluvia en nuevas edificaciones en la capital del país, así mismo incluyo una serie de lineamientos que promueven la implementación de estos sistemas en todas las construcciones, del sector privado, en ejidos, comunidades, barrios y pueblos rurales.

A raíz de la cual se han derivado nuevas leyes como la ley de mitigación y adaptación al cambio climático y desarrollo sustentable del Distrito Federal, 2011 e incentivos financieros.

#### **2.4.6 Norma De Alcantarillado Pluvial, CEA, Querétaro.**

Manual para las instalaciones de agua potable, agua tratada, drenaje sanitario y drenaje pluvial de los fraccionamientos y condominios de la ciudad de Querétaro y zona conurbada por parte de la CEA.

Esta norma es importante puesto que es la que opera en el área de estudio de esta tesis.

En la parte de drenaje pluvial habla acerca de lo que es un proyecto de drenaje sanitario, los datos que requiere, tocando conceptos generales de hidrología. Y en seguida comienza a calcular los mismos datos que en casi todos los documentos citados. Así tenemos:

- Gasto por método racional
- Periodo de retorno y riesgo
- Intensidad de la lluvia, duración y periodo de retorno

Y de ahí procede a los requerimientos técnicos para el cálculo de diámetro de las tuberías, velocidades máximas y mínimas para tuberías y canales.

Enseguida sugiere que la red pluvial puede formarse por:

- Las vialidades para un escurrimiento superficial
- Las tuberías para un escurrimiento oculto
- Canal para escurrimiento superficial
- Una combinación de las tres mencionadas
- Estructuras hidráulicas complementarias
- Cuerpo o estructura hidráulica receptora.

Se encuentra nuevamente un enfoque en la desviación de los escurrimientos excesivo, sin consideración de mantener la condición hidrológica en la cuenca antes de la urbanización.

#### **2.5 Sobre El Desarrollo Tecnológico En Materia De Drenaje Pluvial En México.**

En México no fue hasta 1965 que se construyó el primer sistema de drenaje separado en Xochimilco (Martínez, Pedro, 1967), sin embargo desde los 50 ya se había comenzado a expandir el uso de colectores aunado a alcantarilla en sistemas combinados, para 1960 ya 6 500 000 habitantes en 1460 localidades en todo el país tenían acceso a drenaje sanitario combinado (Martínez, Pedro, 1967). Sin embargo pasaron muchos años para que esta visión de separar ambos productos fuera tomada en cuenta en los nuevos desarrollos de las ciudades.

En Querétaro a través de la investigación para el plan maestro de drenaje pluvial para la ciudad y su zona conurbada en el 2003, se estimó que el porcentaje de construcciones que cuentan con descargas pluviales hacia el drenaje sanitario (drenaje combinado) es de 60% además que se observó que algunas alcantarillas y bocas de tormentas de la ciudad se conectan al drenaje sanitario, sin poder determinar el número de ellas. Estas estimaciones provienen de la información catastral, sin embargo existen algunos asentamientos que no tienen sus papeles en regla y por lo cual su estado actual es difícil de conocer.

Y en aquel momento se seleccionaron 7 sitios con problemas de contaminación de aguas de lluvia por conexión con aguas sanitarias, no obstante habiendo algunos más. (Ventura, 2009)

Cabe señalar que esta situación es muy parecida a la de otras localidades en la república mexicana.

## **2.6 Sobre Las Técnicas SUDS.**

En la mayoría de países de la unión europea se conoce a las técnicas de drenaje pluvial sustentable como SuDS por sus siglas en inglés Sustainable urban\* Drainage Systems. En Australia se les conoce como WSUDS (Water sensitive Urban Design) y en estados unidos como Best Management Practices (BMPs). Siendo así Inglaterra, Australia, Estados Unidos y Francia los países con mayor tecnología e historia en materia de sustentabilidad y mejores prácticas para la gestión del agua de lluvia y el manejo de las aguas servidas.

Sin embargo son muchos los países de Europa y de Latinoamérica que también se han inclinado por el uso de estas filosofías en la construcción de algunos proyectos, entre ellos Italia, España, Holanda, Chile etc.

Estas técnicas tiene como propósito el mejoramiento y saneamiento de la cuenca y de la calidad de las aguas.

Se dice así que el tratamiento, el uso y la retención de aguas pluviales en la zona de captación reduce no solo el impacto que esta genera en los ríos y cuerpos de agua, sino también en la urbanización. Asegurando así el mantenimiento saludable del sitio y disminuyendo de manera significativa los riesgos a los que la población es propensa. Se trata de técnicas que funcionan como pequeñas unidades de tratamiento, absorción, filtración y detención, configuradas de tal manera que su eficiencia sea máxima, así su mejor provecho se logra controlando el recurso desde la fuente, en la medida de lo posible.

La aplicación de las SuDS tiene que ser por definición sensible con la cuenca de manera individual, debido a la variabilidad infinita de situaciones posibles alrededor del mundo.

En estas normatividades se contemplan no solo opciones alternativas en infraestructura, sino también en conceptualización para modelar el sistema de la cuenca. Así, contempla incrementos en eventos transformados por el cambio climático, golpes de calor, aumento en el nivel del mar, lluvias torrenciales, entre otros y norma la necesidad de usar registros históricos de los eventos más importantes en un sitio, salvaguardando la seguridad en infraestructura y la de la población.

La contaminación difusa, fenómeno presente en todos los asentamientos, pero sobre todo en aquellos con mayor actividad industrial, es la causa por la cual la colección y posterior descarga de las aguas pluviales sin tratamiento sea inviable. Hoy día las aguas pluviales pueden lavar compuestos muy peligrosos como Fosforo, nitrógeno, sulfuros, metales pesados (plomo, cadmio, cobre, níquel, zinc, mercurio) hidrocarburos, detergentes, insecticidas, glicoles, alcoholes, virus, bacterias, y materia orgánica.

Se propone el uso de series de SuDS con buena relación costo-tamaño-efectividad, a fin de reducir el acarreo de agua a las planta de tratamiento regionales, aumentando la demanda en las mismas, y descargando excedencias por falta de capacidad, o lo que es igual dañino; verter las aguas sin tratar a los cuerpos de agua sin capacidad de auto limpiarse, como es el caso en muchos estados del país. (Normas SuDS, WSuDS, BMPS, UK, AU, USA)

Las típicas componentes SuDS son:

- Swales.** Canaletas con vegetación
- Lagunas de infiltración temporales.**
- Humedales** (wet ponds). tienen un nivel de agua más o menos constante en el año, es una laguna de almacenamiento que además permite el tratamiento primario de la escorrentía.
- Cuencas de detención extendida** (extended detention basins); una extensión de la laguna estará seca normalmente, sin embargo tendrá un nivel de agua permanente en los puntos de entrada y los puntos de salida a fin de detener un cierto volumen de escorrentía y proporcionar a la vez tratamiento de agua.
- Humedales contruidos** (constructed wetlands); son humedales con poca profundidad y vegetación de humedal, cuya finalidad es mejorar la remoción de contaminantes y beneficiar la fauna local.
- Drenes infiltrantes y tuberías perforadas** (filter drains and perforated pipes). son zanjas que estas rellenas de material permeable, de esta manera el agua escurrida por las zonas pavimentadas convergerán a estas zanjas, para colectar dicha escorrentía, se colocara una tubería perforada.
- Dispositivos de infiltración** (infiltration devices). Son pequeños almacenamientos de escorrentía para un desarrollo, cuyos materiales permiten la infiltración de la misma.
- Pavimentos porosos.** Superficies con poco tráfico que son pavimentadas con materiales porosos que permiten el paso del agua a través de ellos, el agua se almacenara en una capa inferior para su posterior infiltración o se colectara parcialmente a través de tuberías perforadas.
- Techos verdes.** Los techos verdes son sistemas que cubren los solares de lo edificio con vegetación. Con otras capas proveyendo así protección, impermeabilidad y aislación.

(The SuDS manual, 2007).

## 2.7 Los Impactos De La Urbanización.

El aumento de áreas impermeables es proporcional a la pérdida de agua que antiguo se infiltraría en el acuífero, lo es así, al aumento de escorrentía en las tuberías y conductos, y finalmente también será proporcional al aumento de volumen de agua en el cuerpo o cauce receptor.

Obsérvese la Figura 2-1 sobre las alteraciones en los patrones del flujo natural.

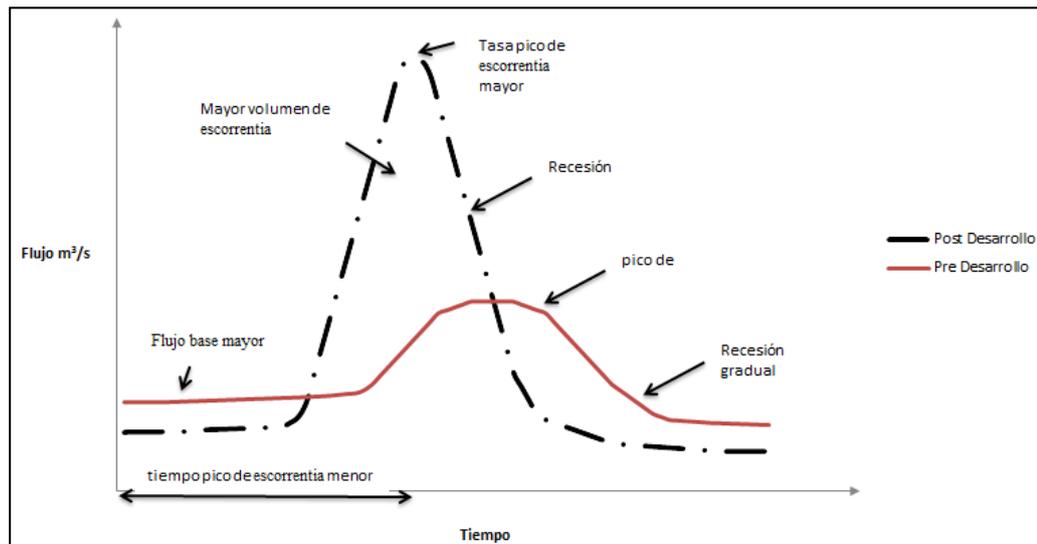


Figura 2-1 Hidrogramas de escorrentía para pre y post desarrollo para un evento de lluvia en un área urbana.

Se enumeran las siguientes alteraciones:

- 1.El volumen mayor de escorrentía pico provoca sobresaturación en los conductos cerrados, desbordamiento de los almacenamientos y cauces de agua, ya sean naturales o artificiales.
- 2.La mayor rapidez y el volumen de escorrentía golpean con mayor fuerza los bordes de los cauces, y arrastran mayor cantidad de sedimentos, erosionando ciertas secciones y azolvando otras.
- 3.El volumen disminuido de agua infiltrada en el suelo se refleja en la falta de recarga del acuífero y;
- 4.También en la reducción del flujo base en los cursos naturales de agua, esto afecta la acción de disolución de contaminante, el hábitat natural y altera el ciclo hidrológico.

## 2.8 Filosofía De Las SUDS

Las tecnologías SuDS no solo deben cumplir un objetivo de funcionamiento sustentable, también deben ser congruentes en su sustentabilidad desde el diseño, durante su construcción y para su mantenimiento.

Los papeles de visión SuDS, el paso natural, 2011, resume su concepto de drenaje totalmente sostenible en él Cuadro 2-2 La visión del paso natural para la total sustentabilidad de los sistemas de drenaje. Cuadro adaptado de los papeles de visión SuDS, 2011.

Cuadro 2-2 La visión del paso natural para la total sustentabilidad de los sistemas de drenaje. Cuadro adaptado de los papeles de visión SuDS, 2011.

Objetivos de sustentabilidad	Criterio SuDS
Alto a los incrementos sistemáticos de las concentraciones de sustancias extraídas de la corteza terrestre	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bajo o nulo uso del consumo de energía, extrayéndola a través de recursos renovables.</li> <li>▪ Los agregados deben provenir de fuentes recicladas.</li> <li>▪ Los contaminantes procedentes de la corteza terrestre deben ser minimizados desde la fuente.</li> <li>▪ Mínima emisión de contaminantes de degradación lenta (como aceites, forros de frenos, etc)</li> </ul>
Alto al incremento sistemático de las concentraciones de sustancias producidas por la sociedad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Las tuberías sintéticas deben provenir del reciclaje.</li> <li>▪ No se debe incrementar la contribución de insumos químicos en las plantas de tratamientos de aguas residuales.</li> </ul>
Alto al incremento sistemático de la degradación de los medios físicos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumentar la recarga natural de los acuíferos.</li> <li>▪ Mejorar, mantener acrecentar la biodiversidad.</li> <li>▪ Restaurar los procesos hidrológicos naturales.</li> <li>▪ Reutilizar el agua cuando sea posible.</li> <li>▪ Restaurar los procesos hidrológicos naturales.</li> <li>▪ Minimizar las áreas impermeables.</li> </ul>
Cubrir las necesidades humanas en todo el mundo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alentar la expectativa social para una solución más sostenible para el drenaje urbano.</li> <li>▪ Fomentar acuerdos para la gestión del sistema de drenaje a largo plazo en el sitio.</li> <li>▪ Mejorar los servicios siempre que sea posible, agregando valor comunitario.</li> <li>▪ Minimizar los riesgos (humanos y ambientales).</li> </ul>

## **2.9 Gestión De SUDS.**

Inicialmente el manual de CIRIA para técnicas SuDS jerarquiza 4 técnicas en pos de que el diseño de SuDS sea exitoso:

- 1.Prevenición- la infraestructura debe ser benéfica para las condiciones del sitio y además se deben fomentar prácticas de limpieza correctas, tanto para el sitio como para el hogar, esto previene la contaminación de la escorrentía (como barrer para eliminar el polvo superficial y el detritus de los aparcamientos), y favorece el reusó de agua de lluvia o su almacenamiento. Las políticas de prevención generalmente deben incluirse en el plan de manejo del sitio.
- 2.Control de la fuente.- el control de la escorrentía en o muy cerca de la fuente. (por ejemplo, pozos de absorción, otros métodos de infiltración, techos verdes o pavimentos impermeables).
- 3.Control de sitio.- gestión del agua en un área o sitio local (por ejemplo, dirigir el agua de cubiertas de edificios y aparcamientos a un gran pozo de absorción, infiltración o cuenca de retención).
- 4.Control regional. Gestión de la escorrentía de un sitio o varios sitios, por lo general en un equilibrio de estanque o de humedal.

Si se diseña para hacer converger las aguas a un solo punto, regularmente estas aguas recorrerán grandes distancias, arrastrando contaminantes y sedimentos. Así, la mejor manera para evitar que el agua de lluvia se contamine y para lograr que retarde con mayor eficiencia el pico de escorrentía es siguiendo la jerarquía de fuente-sitio-región, el ahorro en tratamiento y el ahorro en conductos es regularmente muy significativo (Wilson et al, 2004).

En el manual se maneja también el concepto de tren de gestión, que consiste precisamente en acomodar varias técnicas SuDS mejorando su rendimiento. Observemos la Figura 2-2, donde se esquematiza como se debe crear ese tren de gestión de aguas pluviales.

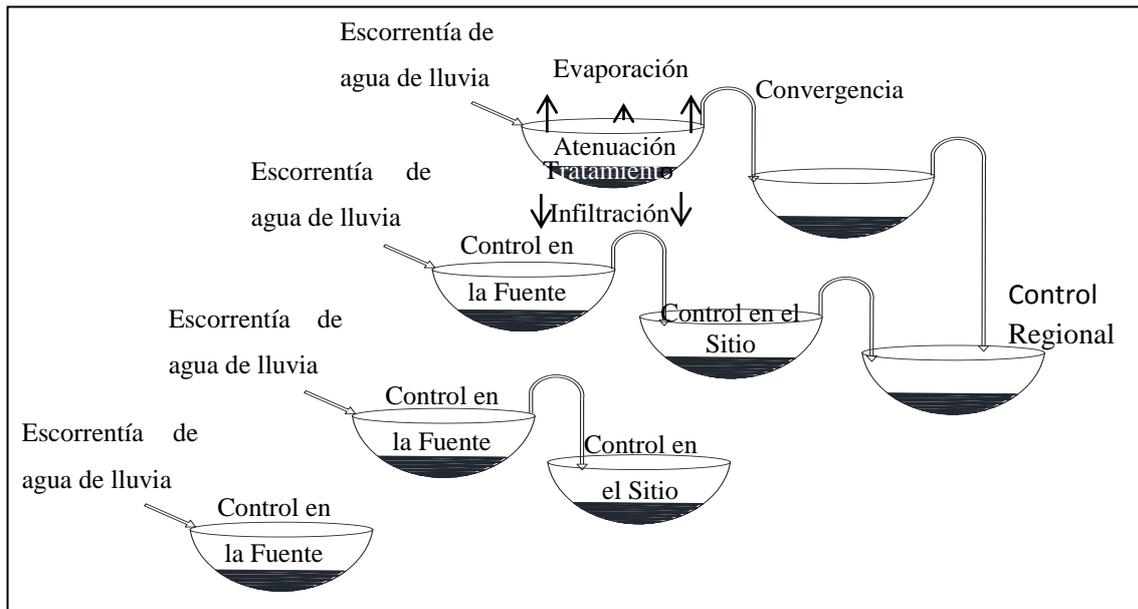


Figura 2-2 El tren de gestión de SuDS (Adaptado de Berry, 2002)

En general a mayor número de técnicas SuDS trabajando en la fuente mayor desempeño del sistema en general y de menor riesgo.

Así mismo los conectores entre técnicas deben ser en la medida de lo posible sistemas de transportes naturales, como las canaletas con vegetaciones y las franjas de infiltración, por ello el mantenimiento adecuado de las mismas es de suma importancia.

No se puede recomendar un mismo tren de gestión o un mismo proceso de gestión para variadas ubicaciones en el mundo, puesto que cada sitio tendrá sus particularidades, variaran las condiciones climáticas y las condiciones hidrológicas. Habrá sitios donde el riesgo será alto, en los que la permanencia y calidad del caudal ecológico tendrán un plus de importancia por lo que más componentes serán necesarios. A su vez habrá sitios con menor desarrollo o cuya implicaciones sean de moderada importancia y entonces se pensara en crear un tren de gestión simplificado.

A mayor cantidad de componentes se tendrán más beneficios entre ellos:

- Más grande el tren de tratamiento mayor calidad del agua.
- Los primeros componentes detendrán la mayor cantidad de contaminantes, protegiendo la corriente aguas abajo.
- Las técnicas de conducción se prestan con facilidad a la combinación con las de tratamiento o las de almacenamiento.
- La protección potencial para la vida silvestre (Wilson et al, 2004).

## 2.10 Criterio De Selección.

El criterio de Selección, ya se ha mencionado que el tren de gestión de técnicas de drenaje sustentable se determina por el comportamiento, la geografía física de la cuenca, así como de los desarrollos existentes y proyectados.

Por lo que la mayoría de los manuales sugieren líneas esenciales para evaluar las posibilidades y hacer una correcta selección.

Directrices para la selección de técnicas SuDS.

1. Uso de suelo.
2. Características del sitio.
3. Características de la cuenca de manera global.
4. Requerimientos de desempeño en cantidad y calidad.
5. Requerimientos ambientales.

### **1.1.1 Uso de suelo.**

En cuanto al uso de suelo según el manual de SuDS CIRIA C697 se debe considerar lo siguiente:

i. En áreas de densidad de desarrollo muy bajo tendremos una problemática menor, puesto que regularmente el sitio sufrirá pocas modificaciones y actuara de manera natural, sin grandes incrementos en escorrentía superficiales y tampoco erosión grave, en estos casos será recomendable usar una técnica de drenaje sustentable y concentrarse en el mantenimiento o mejoramiento de la vegetación, el suelo, y los cauces naturales del sitio.

Sus principales alteraciones se deberán a la escorrentía aumentada por efecto de los techos, las calles y carreteras con pavimentos impermeables si las hay. Bajo estas circunstancias, una etapa de pretratamiento para la calidad del agua proveniente de techos es suficiente; y para las vialidades hay que considerar las condiciones de tráfico y la vulnerabilidad de los cauces receptores.

La problemática es mínima para carga pequeñas y cauces no particularmente vulnerables para los cuales se recomienda:

- Que el suelo a los bordes de la carretera no se sature, mucho menos si existen estacionamientos a los costados.
- Que el diseño sea congruente con el drenaje natural del suelo, en suelos con mal drenaje que guarden agua se pueden dar expansiones o pérdida de capacidad de carga.

ii. Para uso de suelo comercial. En estos desarrollos es posible detectar sitios específicos de riesgo, por ejemplo los contenedores de basura, los tanques de combustibles, los lugares destinados a la recarga de combustibles o de otras sustancias contaminantes, los sitios de carga y descarga, etc. por lo tanto se recomienda el control en la fuente seguido de un control de sitio o un control regional toda vez que el cauce no sea particularmente vulnerable.

iii. Desarrollos industriales. Se trata de áreas de riesgo por las actividades que se desarrollan en él, por lo que se requiere la misma detección de sitios de riesgo como en se hace en áreas de uso de suelo comercial, pero además se recomiendan el uso extensivo de técnicas de contención para puntos de riesgo, así mismo se recomienda drenar todas esas aguas a una alcantarilla especial para

aguas con contaminación alta. Los manuales sugieren 3 etapas de tratamiento y conectar las siguientes aportaciones directamente a la alcantarilla de aguas contaminadas:

- a) Patios donde productos químicos y aceites puedan ser derramados.
- b) Sitios de carga o descarga con alto riesgo de derrame.
- c) Áreas de lavado a presiones designadas.
- d) Áreas de recarga de combustible.

iv. Uso de suelo temporal para construcción, durante las actividades de construcción, podemos encontrar mayor cantidad de contaminantes, sobre todo como producto del movimiento de tierras y del uso de máquinas. Muchas veces será necesario proteger los sistemas de drenaje existentes del aumento de sedimentos arrastrados y de aceites, resinas, combustibles.

v. Para locaciones donde actividades industriales se realizaron en otros tiempos y ahora están abandonadas, no es raro encontrar sitios como estos que son focos de contaminación, se indica un tratamiento mínimo para la escorrentía que producen antes de pasar al drenaje separado o combinado.

vi. Para locaciones contaminadas. Es posible la reurbanización de un sitio contaminado y también es posible el uso de técnicas SuDS siempre que no sean de infiltración y tampoco converjan sus aguas de manera regional, puesto que pueden provocar afectaciones ambientales removiendo los contaminantes por largas distancias, en estos casos se recomiendan, técnicas de detención y de almacenamiento para reusó, técnicas para la fuente o de sitio directamente.

El manual de SuDS CIRIA C697 propone el siguiente cuadro orientativo para la selección de técnicas de drenaje sustentable de acuerdo con los sitios ya explicados.

Cuadro 2-3 para selección de técnicas SuDS de acuerdo al Uso de suelo, extracto del manual de SuDS CIRIA C697.

Tipo de SuDS	Técnica	Baja densidad	Residencial	Carreteras locales	Uso comercial	Sitios de riesgo	Uso temporal construcción	Uso industrial abandonado	Sitio contaminado.
Retención	Estanque de retención	S	S	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>3</sup>	S	S <sup>2</sup>
	Almacenamiento bajo la superficie.	S	S	S	S	S	S <sup>3</sup>	S	S
Humedales	Humedal poco profundo	S	S	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	N	S	S <sup>2</sup>
	Humedal de detención extendida	S	S	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	N	S	S <sup>2</sup>
	Estanque/humedal	S	S	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	N	S	S <sup>2</sup>
	Humedal con capa de grava sumergida (células rellenas de grava)	S	Y	Y <sup>1</sup>	Y <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	N	Y	Y <sup>2</sup>
	Humedal de canal	S	S	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	N	S	S <sup>2</sup>
Infiltración	Zanja de infiltración	S	S	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	N	N	S	S <sup>4</sup>
	Cuenca de infiltración	S	S	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	N	N	S	S <sup>4</sup>
	Pozo de infiltración	S	S	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	N	N	S	S <sup>4</sup>
Filtración	Filtro de arena superficial	M	S	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	N	S	S <sup>2</sup>
	Filtro de arena bajo subsuperficial	N	S	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	N	S	S <sup>2</sup>
	Filtro de arena perimetral	N	N	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	N	S	S <sup>2</sup>
	Bioretención	S	S	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	N	S	S <sup>2</sup>
	Zanja de filtración.	S	S	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	N	S	S <sup>2</sup>
Detención	Almacenamiento de detención	S	S	S <sup>1</sup>	S <sup>1.2</sup>	S <sup>1.2</sup>	S <sup>3</sup>	S	S <sup>1.2</sup>
Canales abiertos	Swale de convergencia	S	S	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>3</sup>	S	S <sup>2</sup>
	Swale seco	S	S	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>3</sup>	S	S <sup>2</sup>
	Swale húmedo	S	S	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>3</sup>	S	S <sup>2</sup>
Control de fuente	Techo verde	S	S	N	S <sup>2</sup>	S <sup>1</sup>	N	S	S
	Almacenamiento de agua de lluvia.	S	S	N	S <sup>2</sup>	S	N	S	S
	Pavimento permeable.	S	S	N	S <sup>2</sup>	N	N	S	S <sup>2</sup>

S= Si

N=No.

1.Puede requerir 2 etapas de tratamiento, dependiendo del tipo y la intensidad de tránsito de la carretera y de la vulnerabilidad de la cuenca.

2.Puede requerir 3 etapas de tratamiento dependiendo de la vulnerabilidad de la cuenca.

- 3.Requerirá rehabilitación después de las actividades de construcción, antes de ser utilizado como un sistema de drenaje permanente.
- 4.Siempre que se tomen acciones preventivas contra la remoción de contaminantes.

### **1.1.2 Características De Sitio.**

Según los manuales se pueden clasificar las características del sitio con mayor influencia de la siguiente manera:

- 1.Tipo de Suelo.
  - 2.Algunas prácticas, como aquellas de infiltración, se verán beneficiadas para un tipo de suelo con alta permeabilidad. Sin embargo existirán otras prácticas para las que se encontraran dificultades con este mismo tipo de suelos como aquellas que tengan que ver con la detención o almacenamiento, los humedales que requieran un nivel mínimo de agua, etc.
  - 3.Profundidad del manto freático. La diferencia de nivel mínima entre la base del dispositivo de infiltración y el nivel del manto freático es de 1 metro, eso para asegurar el correcto funcionamiento durante los periodos de mayor humedad.
  - 4.Área drenada por componente SuDS. Para áreas pequeñas se sugieren swales y zanjas de infiltración. Para áreas mayores se vuelve muy rentable el uso de estanques y humedales, combinado con el uso de otras técnicas de conducción y detención, puesto que el flujo de escorrentía es mayor y más veloz.
  - 5.Pendiente de drenaje contribuyente. Para pendientes pronunciadas no son factibles los almacenamientos, los sistemas de biofiltración requieren que el agua se estanque por cierto tiempo, y así mismo sucede con algunas prácticas de infiltración de agua. Cabe decir que la saturación de las laderas puede provocar inestabilidad. Por ello para localidades con pendiente se recomiendan swales o zanjas de infiltración con dique que se orienten siguiendo las curvas de nivel, y no cortándolas perpendicularmente.
  - 6.Presión. Muchas SuDS funcionan con gravedad. Esta altura se puede corregir mediante excavaciones con muros de contención.
  - 7.Disponibilidad de uso de suelo. Algunas SuDS como los humedales requieren usar extensiones de suelo mayores, muchas veces no existe esa disponibilidad. Sin embargo se deben considerar todos los espacios de recreación como candidatos para la ubicación de los componentes del tren de gestión o como sitios de inundaciones para eventos extremos bajo regulación.
- (CIRIA SuDS MANUAL 697, 2007)

Cuadro 2-4 para selección de técnicas SUDS según características extracto del manual de SuDS CIRIA C697.

Tipo de SuDS	Técnica	Tipo de suelo		Áreas drenando a un SuDS		Profundidad al manto freático		Pendiente del terreno		Altura de Presión disponible		Espacio disponible.	
		impermeable	permeable	0-2 horas	> 2 horas	0-1 m	> 1 m	0-5%	> 5%	0 - 1 m	1 - 2 m	bajo	alto
Retención	Estanque de retención	S	S <sup>1</sup>	S	S <sup>5</sup>	S	S	S	S	S	S	N	S
	Almacenamiento bajo la superficie.	S	S	S	S <sup>5</sup>	S	S	S	S	S	S	S	S
Humedales	Humedal poco profundo	S <sup>2</sup>	S <sup>4</sup>	S <sup>4</sup>	S <sup>6</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	S	N	S	S	N	S
	Humedal de detención extendida	S <sup>2</sup>	S <sup>4</sup>	S <sup>4</sup>	S <sup>6</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	S	N	S	S	N	S
	Estanque/humedal	S <sup>2</sup>	S <sup>4</sup>	S <sup>4</sup>	S <sup>6</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	S	N	S	S	N	S
	Humedal con capa de grava sumergida (células rellenas de grava)	S <sup>2</sup>	S <sup>4</sup>	S <sup>4</sup>	S <sup>6</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	S	N	S	S	N	S
	Humedal de canal	S <sup>2</sup>	S <sup>4</sup>	S <sup>4</sup>	S <sup>6</sup>	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	S	N	S	S	N	S
Infiltración	Zanja de infiltración	N	S	S	N	N	S	S	S	S	N	S	S
	Cuenca de infiltración	N	S	S	S <sup>5</sup>	N	S	S	S	S	N	N	S
	Pozo de infiltración	N	S	S	N	N	S	S	S	S	N	S	S
Filtración	Filtro de arena superficial	S	S	S	S <sup>5</sup>	N	S	S	N	N	S	N	S
	Filtro de arena bajo subsuperficial	S	S	S	N	N	S	S	N	N	S	S	S
	Filtro de arena perimetral	S	S	S	N	N	S	S	N	S	S	S	S
	Bioretención	S	S	S	N	N	S	S	N	S	S	N	S
	Zanja de filtración.	S	S <sup>1</sup>	S	N	N	S	S	N	S	S	S	S
Detención	Almacenamiento de detención	S	S <sup>1</sup>	S	S <sup>5</sup>	N	S	S	S	N	S	N	S

S= Si  
N=No.  
1.En línea.

2. Con flujo base superficial.
3. Sí solo sí sigue los contornos.
4. En línea con flujo base superficial, o nivel alto de manto freático.
5. Posible, pero no recomendable, puesto que implica tren de gestión apropiado que no está en el sitio.
6. Donde los flujos altos divergen alrededor de los componentes SuDS.

### 1.1.3 Características De La Cuenca.

Según las características de la cuenca sus usos potenciales pueden variar, así para:

1. Cuencas de agua fresca, o con designación ecológica; hay que mantener la calidad del hábitat, mantener la recarga natural, prevenir de erosión de cauces y bancos, preservar el corredor natural, prevenir contra contaminación y controlar los cambios de temperatura de los flujos que llegan a la corriente.
2. Cuencas cuyo acuífero se usa como fuente de abastecimiento de agua pública; hay que diseñar dispositivos de infiltración que no contaminen las aguas subterráneas.
3. Cuencas cuyas aguas superficiales sean utilizadas para el abastecimiento de agua; hay que diseñar un tratamiento que elimine un grado alto de contaminantes; bacterias, patógenos, nutrientes, sedimentos y metales.
4. Cuencas costeras o aguas de estuario; se consideran de bajo riesgo, puesto que la disolución es muy alta y el riesgo de inundación es mínimo, sin embargo hay riesgo por contaminantes coliformes, fecales, petróleo, metales que arrastra la escorrentía de los asentamientos urbanos. Las afectaciones son directamente para los ecosistemas costeros y para la calidad de las áreas de baño y recreación.
5. Cuencas que actúan como áreas de recreación o de esparcimiento, nuevamente hay que remover bacterias patógenas, nutrientes, sedimentos y metales.
6. Hábitat dependiente del régimen de flujo; aquí entra la norma sobre el caudal mínimo ecológico, conociéndolo podremos saber si la retención es necesaria.
7. Cuencas con riesgo de inundación; se deberá limitar el volumen y la tasa de flujo de escorrentía a sus equivalentes para un sitio no desarrollado.

(CIRIA SuDS MANUAL 697, 2007)

El manual CIRIA establece 2 hectáreas como el área máxima que podrá drenar sus aguas superficiales a un solo componente SuDS. En el manual se proporciona la siguiente tabla que nos dice de manera muy general el mínimo de componentes SuDS que se necesitan según la vulnerabilidad del cauce receptor y de las características del sitio, sin embargo se presta a subjetividades y es algo que hay que regular.

Cuadro 2-5 Vulnerabilidad de las cuencas de acuerdo con el uso y la ocupación del suelo, extracto del manual de SuDS CIRIA C697.

Características del área de captación.	Vulnerabilidad de la corriente receptora.		
	Bajo	Medio	Alto
Techos solamente.	1	1	1
Calles, estacionamientos, zonas comerciales.	2	2	3
Zonas industriales, autopistas, áreas de carga.	3	3	4

#### **1.1.4 Control De La Cantidad Y Calidad De Escorrentia.**

La Norma Mexicana MX-AA-159-SCFI-2012 establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas. Señala que el reto será elegir el método que mejor aplique, siempre y cuando cumpla con dos fundamentos básicos:

- 1) el régimen hidrológico natural.
- 2) el gradiente de la condición biológica-ecológica.

De esta forma, ambos fundamentos forman parte de la NMX como instrumento de gestión del agua.

Para controlar la cantidad de escorrentía contamos con las siguientes opciones:

a) **Infiltración.** Es el proceso de transmisión de agua a través del suelo, es diferente de la conducción y de la detención, ya que transmite el agua a una parte diferente del medio ambiente y que puede reducir físicamente el volumen de la escorrentía drenada. Donde no haya riesgo de contaminación, el proceso puede ser utilizado para recargar las fuentes subyacentes de agua subterránea y alimentar el flujo base de los cuerpos locales de agua. Esta es la solución más deseable para la gestión de aguas pluviales porque restaura los procesos hidrológicos naturales. Sin embargo las tasas de infiltración varían con el tipo de suelo y de las condiciones del mismo, su historia o antecedentes y con el tiempo. En general, la infiltración no puede ser usada en áreas donde los acuíferos son vulnerables, so riesgo de contaminación.

b) **Detención o atenuación.** Es la ralentización de los flujos de superficie antes de que sean transmitidos aguas abajo. Usualmente se logra a través del uso de almacenamiento y de salidas restringidas. El volumen de almacenamientos se puede ubicar dentro de una cuenca seca, por encima de un volumen de agua estancada permanente o debajo de la tierra en estructuras dentro del subsuelo. En general, aunque el almacenamiento pueda ayudar a reducir la tasa de flujo máximo de escorrentía, la duración de la escorrentía se extenderá y el volumen total de flujo va a permanecer igual.

c) **Conducción.** Es la transferencia de la escorrentía superficial de un lugar a otro. Dicho objetivo se puede lograr a través de sistemas varios que incluyen, canales abiertos, tuberías y zanjas.

La conducción incontrolada a un punto de descarga en el medio ambiente no es considerada sustentable. La conducción controlada es todavía una herramienta esencial para la gestión del flujo y de la vinculación de los componentes de SuDS.

d) **Recolección de agua.** Se trata de la captura directa y del uso de la escorrentía en el sitio, la escorrentía de agua de lluvias puede ser extraída para uso doméstico, irrigación o para paisajes urbanos. La contribución al manejo del riesgo de inundaciones de estos sistemas va a depender en la escala de recolección de agua del sistema. El diseño debe asegurar que el espacio para almacenamiento de escorrentía esta siempre disponible, y hay un riesgo

aceptable en el cual el sistema estará lleno (y el almacenamiento ocupara un bypass cuando una inundación ocurra).

Definiciones extraídas de THE SuDS Manual CIRIA C697.

### 2.10.1 Control De Calidad.

La corriente que reciba las descargas de agua debe protegerse de la contaminación, y este es quizás una de las fallas más importantes a nivel nacional.

Los métodos de tratamiento de las aguas son ampliamente conocidos y se pueden adaptar a las técnicas de drenaje sustentable en mayor o menor medida. Considérense los siguientes:

- Sedimentación.
- Filtración y biofiltración
- Absorción
- Biodegradación
- Volatización
- Precipitación
- Absorción por plantas

A continuación, la tabla que permite conocer qué tipo de tratamiento es mejor para cada contaminante.

Mecanismo de remoción para cada categoría de contaminante (adaptado de Wilson et al, 2004)

Cuadro 2-6 Mecanismo de remoción para cada categoría de contaminante (adaptado de Wilson et al, 2004)

Contaminante	Mecanismo de remoción en SuDS.
Nutrientes. Fosforo y nitrógeno	Sedimentación, biodegradación, precipitación, de-nitrificación.
Sedimentos Total de solidos suspendidos	Sedimentación, filtración.
Hidrocarburos TPH, PAH, VOC, MTBE	Biodegradación, fotólisis, filtración y absorción.
Metales Plomo, cobre, cadmio, mercurio, zinc, cromo, aluminio.	Sedimentación, absorción, filtración, precipitación, absorción por plantas.
Pesticidas.	Biodegradación, absorción, volatización.
Cloruros.	Prevención.
Cianuros.	Volatización, fotólisis.
Basura de hojarasca	Trampas, remoción durante el mantenimiento de rutina.
Materia orgánica. BOD	Filtración, sedimentación, biodegradación.

Para diseñar es importante tomar en cuenta que la contaminación será más grave en usos de suelo industrial que en los usos comerciales, dependiendo del giro, o de vivienda.

Otras variables que son importantes es el tiempo de duración de las secas, en la primera lluvia entre periodos secos, los contaminantes y los sedimentos que se asentaron en el sitio se lavan en un primer arrastre, este punto es relevante puesto que además, el cauce no tendrá un gran volumen de agua en la cual diluir estos contaminantes. Los efectos de este fenómeno se pueden regular a través de la limpieza de las calles y usando componentes de fuente o de sitio.

También se recomiendan los siguientes puntos (The manual SuDS CIRIA 697):

1. Tratamiento de agua de lluvia usando infiltración (almacenamientos interceptores de agua de lluvia). se diseñaran para eventos pequeños (5mm mínimo, 10 mm de manera ideal) con la intención que el agua de escorrentía no llegue al cauce. También se recomienda incentivar la cultura de almacenamiento de agua para los hogares, y el almacenamiento en techo verdes, pavimentos, zanjas, swales.
2. Tratamiento de agua de lluvias usando detención. De esta manera se incentivara la sedimentación.
3. Tratamiento de agua de lluvia usando humedales con volumen permanente. El volumen permanente es el mínimo que ocupan el sistema de tratamiento (las plantas tratadoras) para asegurar la calidad del agua, el humedal se diseñara para acomodar 10 mm de profundidad de lluvia para áreas impermeables de los alrededores, así se permite nuevamente la sedimentación, pero también la absorción y la biodegradación.

## **2.11 Norma Técnica Para Incluirse En Los Códigos Urbanos Municipales Del Estado De Querétaro.**

### **2.12 Sobre El Código Urbano**

En el código urbano se establece que facultades corresponden a cada organismo con respecto a la planeación estatal, y como se ordenara y regulara esta.

El artículo 28 del título segundo de planeación urbana del estado de Querétaro dice que:

La ordenación y regulación de los asentamientos humanos en el territorio del estado se llevara a cabo a través de:

- I. El plan estatal de desarrollo urbano
- II. Los planes municipales.
- III. Los planes que ordenen las zonas conurbadas en los que participe el estado con una o más entidades federativas.
- IV. Los planes que ordenen y regulen las zonas conurbadas dentro del territorio del estado.

V. Además de los planes que son derivaciones o modalidades de los previstos en las fracciones anteriores:

- a) Los planes regionales en los que participe el Estado en los términos del convenio que para tal efecto celebre.
- b) Los planes sub-regionales que establezcan la acción coordinada de varios Municipios.
- c) Los planes directores urbanos que ordenen y regulen el área comprendida en el perímetro de los centros de población.
- d) Los planes parciales de aplicación de un área determinada o distrito, de un centro de población.
- e) Los planes sectoriales que definan las acciones en campos específicos tales como el transporte, la vivienda, el equipamiento y otros de naturaleza semejante a nivel estatal, intermunicipal o circunscrito en cualquier área urbana, y
- f) Los programas.

Asimismo el artículo 29 nos dice que:

*Los planes de desarrollo urbano a que se refiere este código son el conjunto de normas y disposiciones administrativas y técnicas para alcanzar los objetivos previstos en el ordenamiento del territorio y fundación de los centros de población en la entidad.*

Los planes se integrarán por la identificación de la situación existente, sus problemas y sus tendencias; la determinación de los objetivos por alcanzar y por las estrategias, políticas, programas, zonificación del territorio y normas técnicas que orienten y regulen las acciones para su logro.

En el *capítulo II del plan estatal, el artículo 31* no dice que el plan estatal de desarrollo urbano atenderá el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y de los sistemas urbanos y de los sistemas urbanos intermunicipales en la entidad. Y que contendrá entre otros puntos los siguientes:

**VI** descripción de la alternativa seleccionada que incluya cuando menos:

- A. Áreas geográficas y sectores prioritarios.
- B. Propuestas de acción inmediata a corto, mediano y largo plazo, relativas a:
  - a. La distribución general de la población y de las actividades económicas.
  - b. El patrón general que incluya como mínimo:
    - Sistema de ciudades.
    - La infraestructura básica.

- El equipamiento primario.
- Los procesos de fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población.
  - c. Los usos del suelo.
  - d. El programa de inversiones y los mecanismos financieros previstos dentro del estudio de viabilidad económica.
  - e. Los mecanismos de aplicación en cuanto a acciones:
    - Directas.
    - Jurídicas.
    - Inductivas y fiscales.
    - Informativas.
  - f. Estructura organizativa y de coordinación para la realización del plan.

En el *capítulo III de los planes municipales el artículo 32* nos dice que el plan municipal contendrá entre otros puntos:

I.- Las bases y congruencia con la planeación estatal;

Y qué;

III.- La definición de los objetivos para el ordenamiento de los asentamientos humanos en el territorio del Municipio;

Que incluye en su inciso d y e;

- Construir, mejorar o ampliar la infraestructura, equipamiento y servicios públicos del Municipio, y
- Preservar las áreas naturales, agrícolas, pecuarias y forestales que contribuyan al equilibrio ecológico y al desarrollo de las actividades productivas.

El uso de esta norma técnica puede servir para el mejoramiento de ciertas áreas, según el artículo 73:

*Las zonas deterioradas física o funcionalmente en forma total o parcial podrán ser declaradas por el Ayuntamiento espacios dedicados al mejoramiento con el fin de reordenarlos, renovarlos o protegerlos, y lograr el mejor aprovechamiento de su ubicación, infraestructura, suelo y elementos de acondicionamiento del espacio, integrándolas al desarrollo urbano, particularmente en beneficio de los habitantes en dichas zonas.*

Y podrá participar dentro del control que el municipio tiene según el artículo 84;

La solicitud para instalar, construir o modificar en todo o en parte algunos de los sistemas de infraestructura o el equipamiento urbano, deberá formularse ante la

Secretaría de Desarrollo Urbano, Obras Públicas y Ecología, y deberá acompañarse de:

I.- Un plano de conjunto de la zona afectada señalándose la ubicación y extensión de la Obra.

II.- La memoria descriptiva del proyecto III.- El régimen financiero para la ejecución de la obra.

IV.- Las obligaciones a cargo de Gobierno del Estado, del Municipio o de los usuarios, y

V.- Los plazos de iniciación, revisión y terminación de las obras.

Y finalmente sabemos a través del código urbano que la autoridad que se hará cargo de los sistemas de agua potable, drenaje y alcantarillado, ente otros, cuando las instalaciones se encuentren en las vías públicas serán; el ayuntamiento del municipio. Así mismo las instalaciones comprendidas dentro de territorio particular estarán sujetas al ayuntamiento también. (Artículo 125)

Además según el artículo 24, será la Comisión Estatal de Aguas, el organismo que servirá como coordinador y coadyuvante con autoridades federales, estatales o municipales en todas las actividades que de una manera u otra participen en la planeación, estudios, proyectos, construcción y operación de sistemas o instalaciones de agua potable, drenaje y alcantarillado, para beneficio de los habitantes del Estado.

### **3 METODOLOGÍA**

#### **3.1 Objetivo General**

Proponer una Norma Técnica para incluirse en los códigos urbanos municipales, en materia de diseño, construcción y operación de drenaje pluvial sustentable, aplicable para desarrollos habitacionales, comerciales, industriales de carácter público y privado en zonas urbanas y zonas aledañas; a fin de reducir los riesgos de inundación sobre las personas y los bienes.

#### **3.2 Objetivos Indirectos:**

- Contar con un ejemplo detallado de la aplicabilidad de esta Norma Técnica en la región problemática correspondiente a las cuencas urbanas de Cuesta China, el Tángano y microcuenca Estadio, regiones cuyas aguas confluyen al dren Cimatario en el Estado de Querétaro, que recientemente ha sido sobrepasado en su capacidad provocando daños a la propiedad pública y privada.
  
- Evaluar en la condición actual de las cuencas urbanas analizadas, la posibilidad de implementar el uso de tecnologías SuDS (Sustainable Urban Drainage System); con el fin de mitigar los daños por inundación en esta zona urbana.

#### **3.3 Objetivos Particulares:**

- Establecer consejos de gestión pluvial efectiva, con consideraciones globales del estado de la cuenca para el buen manejo de aguas pluviales enfocándonos en las futuras normas técnicas a desarrollar para la CONAGUA.
- Realizar un catálogo de técnicas viables para la gestión pluvial y consejos de aplicación de las mismas.
- Análisis de la magnitud de los efectos positivos o negativos de la implementación del uso de tecnologías SuDS (Sustainable Urban Drainage System); con el fin de mitigar los daños por inundación en esta zona urbana.

#### **3.4 Hipótesis**

El uso de alternativas sustentables (técnicas de colección, detención, tratamiento y recarga) al drenaje pluvial tradicional de colección, conducción y descarga de agua de lluvia a corrientes o cuerpos de agua, significara una reducción importante en manejo de riesgos por eventos extremos en el dren Cimatario, si sus microcuencas de aportación son tratadas bajo la norma propuesta. Y este resultado se podrá generalizar para el aglomerado que componen Humilpan, Corregidora, y Querétaro como zona urbana. Así como el incremento notable en calidad del agua vertida y saneamiento de los cauces que reciben las descargas de agua de lluvia.

### **3.5 Aportaciones A La Reglamentación.**

Se propuso clasificar por magnitud de volumen el escurrimientos directo de la cuenca. En ese momento se visualizó que las clases debían abarcar desde las intervenciones urbanas más simples, como naves, carreteras, y construcciones de dimensiones pequeñas y aisladas, que generan un incremento pequeño en la escorrentía directa; hasta las clases que abarquen desarrollos urbanos de moderada o de alta ocupación. Por lo que se establecieron lo siguiente:

- Clase 1 (10-100m<sup>3</sup>)
- Clase 2 (100-1000 m<sup>3</sup>)
- Clase 3 (1000-10,000 m<sup>3</sup>)
- Clase 4 (10,000-100,000m<sup>3</sup>)
- Clase 5 (100,000 – 1, 000,000 m<sup>3</sup>)
- Clase 6 (<10 000 000 m<sup>3</sup>)

Después de la amplia investigación bibliográfica acerca de las técnicas SuDS. Apoyándose en el análisis de 14 microcuencas urbanas en el valle de México, por parte del instituto de Ingeniería, de la UNAM para ilustrar la clasificación establecida en uno de las regiones con mayor registro de lluvia en el país sin ser costera, en situación similar a la de los estados del centro del país como Querétaro.

Así, en el estudio Cálculo De Coeficientes De Escurrimiento En Cuencas Del Valle De México Usando Métodos Estadísticos, (Esteban Calderón et al, 2014). Se registraron las áreas, la lluvia simultanea para un periodo de retorno de 10 años, 100 años, 1000 años, y bajo el análisis de las variables de uso, vegetación y tipo de suelo en cada cuenca se calcularon los números de curva correspondientes, y la precipitación en exceso.

A partir de estos valiosos datos, se calculó para motivos de visualización de los volúmenes de escorrentía en zonas urbanas, los volúmenes de escorrentía directa para el periodo de retorno de 10 años puesto que además de la necesidad de amortiguar eventos extremos en zonas vulnerables ( Tr recomendado de 5 años, para interceptar e volumen base) también se trata de un área con superficie impermeable muy extendida, por lo que se pensó en diseñar dispositivos que puedan soportar la escorrentía de tormentas de gravedad en áreas muy pequeñas con respecto al tamaño de la cuenca (Tr de 10 años para interceptar parte del volumen en el pico de escorrentía), esto justificado bajo la base que los sistemas de drenaje urbano sustentables, buscan interceptar, detener, infiltrar, evaporar los excesos de escorrentía directa por efectos de la urbanización para eventos no extremos, y una de las bases de la sustentabilidad dicta que los sistemas deben estar funcionando a su máxima capacidad la mayor parte del tiempo.

### **3.6 Cambio Climático.**

La norma preparada por el equipo RED-CIAQ. Ya visualiza un método para tomar en cuenta el cambio climático, en la parte 7.2.16 sobre Estimación Del Escurrimiento Considerando El Impacto De Cambio Climático. Sin embargo la literatura inglesa en el manual de técnicas SuDS, aconseja un incremento de 10% de la

escorrentía por efectos del cambio climático, por facilidad se adoptó este incremento para analizar una segunda vez las 14 cuencas del valle de México.

Cuadro 3-1 análisis de volumen de escurrimiento en exceso por el método de numero de curva, para el estado actual al año 2014 de 14 cuencas urbanas en el Valle de México, incluyendo la escorrentía aumentada en un 10% por cambio climático.

Cuenca	Area(km <sup>2</sup> )(m <sup>2</sup> )	CN	Ps(Tr10)	Ps(Tr100)	Tr(años)	10	100	Tr(años)	10	100
26071	43.0	81.79	39.99	56.61	Pe(CN) [mm]	9.64	20.10	Pe Aumentada (CN) [mm]	10.6	22.1
	42980000.0				Ce(CN)	0.24	0.36	Ve(m <sup>3</sup> )	455646.0	950124.7
26178	57.4	84.98	41.5	60.18	Pe(CN) [mm]	13.65	27.26	Pe Aumentada (CN) [mm]	15.0	30.0
	57430000.0				Ce(CN)	0.33	0.45	Ve(m <sup>3</sup> )	862532.6	1722193.3
26183	18.1	79.45	40.08	55.67	Pe(CN) [mm]	7.82	16.70	Pe Aumentada (CN) [mm]	8.6	18.4
	18050000.0				Ce(CN)	0.20	0.30	Ve(m <sup>3</sup> )	155178.7	331598.4
26184	59.1	77.99	38.93	55.59	Pe(CN) [mm]	6.27	15.06	Pe Aumentada (CN) [mm]	6.9	16.6
	59060000.0				Ce(CN)	0.16	0.27	Ve(m <sup>3</sup> )	407189.3	978705.6
26193	195.3	80.4	37.41	51.57	Pe(CN) [mm]	7.22	15.16	Pe Aumentada (CN) [mm]	7.9	16.7
	195320000.0				Ce(CN)	0.19	0.29	Ve(m <sup>3</sup> )	1551259.4	3257495.8
26194	504.2	82.22	32.52	45.07	Pe(CN) [mm]	6.08	13.07	Pe Aumentada (CN) [mm]	6.7	14.4
	504170000.0				Ce(CN)	0.19	0.29	Ve(m <sup>3</sup> )	3372576.6	7248618.5
26195	52.4	74.42	40.05	56.76	Pe(CN) [mm]	4.65	12.20	Pe Aumentada (CN) [mm]	5.1	13.4
	52390000.0				Ce(CN)	0.12	0.22	Ve(m <sup>3</sup> )	267732.8	703269.7
26274	16.9	77.31	40.08	55.67	Pe(CN) [mm]	6.37	14.42	Pe Aumentada (CN) [mm]	7.0	15.9
	16870000.0				Ce(CN)	0.16	0.26	Ve(m <sup>3</sup> )	118258.6	267564.7
26275	308.3	76.62	40.29	54.73	Pe(CN) [mm]	6.00	13.19	Pe Aumentada (CN) [mm]	6.6	14.5
	308260000.0				Ce(CN)	0.15	0.24	Ve(m <sup>3</sup> )	2035604.5	4472520.6
26276	125.5	80.5	44.44	65.16	Pe(CN) [mm]	11.02	24.44	Pe Aumentada (CN) [mm]	12.1	26.9
	125460000.0				Ce(CN)	0.25	0.38	Ve(m <sup>3</sup> )	1520980.7	3372176.6
26309	321.2	78.22	42.91	59.4	Pe(CN) [mm]	8.32	17.64	Pe Aumentada (CN) [mm]	9.2	19.4
	321210000.0				Ce(CN)	0.19	0.30	Ve(m <sup>3</sup> )	2941318.0	6233394.8
26352	35.6	87.96	48.03	63.12	Pe(CN) [mm]	22.24	34.72	Pe Aumentada (CN) [mm]	24.5	38.2
	35590000.0				Ce(CN)	0.46	0.55	Ve(m <sup>3</sup> )	870591.2	1359096.7
26360	35.7	87.56	51	64.89	Pe(CN) [mm]	24.02	35.49	Pe Aumentada (CN) [mm]	26.4	39.0
	35690000.0				Ce(CN)	0.47	0.55	Ve(m <sup>3</sup> )	943040.4	1393491.5
26412	194.9	70.37	46.47	60.51	Pe(CN) [mm]	4.74	10.47	Pe Aumentada (CN) [mm]	5.2	11.5
	194880000.0				Ce(CN)	0.10	0.17	Ve(m <sup>3</sup> )	1016091.5	2244053.5

En la siguiente tabla vemos los datos resumidos del número de cuenca, área de aportación, numero de curva CN, precipitación de exceso (aquella que contribuye a la escorrentía directa) y los volúmenes de precipitación para un evento de lluvia con Tr de 10 años, y su clasificación de acuerdo a la propuesta.

Cuadro 3-2 Cuadro resumen de los valores de interés para observar el comportamiento de las cuencas urbanas.

Cuenca	Area(km <sup>2</sup> )(m <sup>2</sup> )	CN	Tr 10, Ve(m <sup>3</sup> )	CLASE
26071	43.0	81.79	10.601349	5
	42980000.0		455645.98	100 000-1 000 000
26178	57.4	84.98	15.01885	5
	57430000.0		862532.5555	100 000-1 000 000
26183	18.1	79.45	8.59716	5
	18050000.0		155178.738	100 000-1 000 000
26184	59.1	77.99	6.894503	5
	59060000.0		407189.3472	100 000-1 000 000
26193	195.3	80.4	7.942143	6
	195320000.0		1551259.371	>1 000 000
26194	504.2	82.22	6.689364	6
	504170000.0		3372576.648	>1 000 000
26195	52.4	74.42	5.11038	5
	52390000.0		267732.8082	100 000-1 000 000
26274	16.9	77.31	7.009992	5
	16870000.0		118258.565	100 000-1 000 000
26275	308.3	76.62	6.603531	6
	308260000.0		2035604.466	>1 000 000
26276	125.5	80.5	12.123232	6
	125460000.0		1520980.687	>1 000 000
26309	321.2	78.22	9.156994	6
	321210000.0		2941318.043	>1 000 000
26352	35.6	87.96	24.461679	5
	35590000.0		870591.1556	100 000-1 000 000
26360	35.7	87.56	26.4231	5
	35690000.0		943040.439	100 000-1 000 000
26412	194.9	70.37	5.213934	6
	194880000.0		1016091.458	>1 000 000

Las conclusiones a las que se pudo llegar con este análisis, fueron que:

1. Un número más grande el número de curva, implica una mayor cantidad es escurrimiento directo, la forma de evaluar el número de curva ya envuelve las variables, de tipo y uso de suelo (incluyendo la densidad poblacional), pendientes y tipo de vegetación. De este argumento nace la reglamentación de calcular para dos escenarios;

- a. El del escurrimiento de la cuenca en su forma natural, y;
- b. El del escurrimiento de la cuenca cuando esta urbanizada.

A través de estos dos valores podemos saber qué cantidad de escorrentía debe ser interceptada, infiltrada, almacenada o detenida para lograr la ausencia de afectaciones ambientales o a las poblaciones, propiedades y actividades aguas debajo del sitio.

2. De inmediato se observa que los efectos de la urbanización colocaran las aportaciones de la cuenca en las categorías más altas.
3. También se observa la importancia del área de aportación. Puede haber una gran diferencia entre el número de curva más amable y el más grave que rondaría entre las magnitudes de CN 90 -100. Sin embargo si el área de aportación es grande, el volumen de escurrimiento también puede ser de mucho riesgo.

### **3.7 Aplicación De Lo Analizado En Un Consejo De Reglamentación.**

Se busca la manera de condensar la información en un formato de fácil uso, para guiar la selección de técnicas SuDS tomando en cuenta su complejidad, sus dimensiones, su capacidad como gestores de aguas urbanas, y así mismo *ofrecer una manera de visualizar con mayor claridad las interacciones de las sitios aguas arriba y aguas debajo de la cuenca.*

En este mismo rubro se identificaron 3 casos posibles de interacción en la cuenca para un desarrollo urbano específico.

- c. Para las obras que afecten que se ubiquen aguas arriba y afecten localidades aguas abajo.
- d. Para las obras ubicadas aguas abajo que sean afectadas por un desarrollo urbano aguas arriba.
- e. Para las obras ubicadas aguas abajo que sean afectadas por un desarrollo urbano aguas arriba, y que afecten a su vez un segundo asentamiento aguas abajo.

Una cuenca puede poseer un cierto número de microcuencas y que esa clasificación hace posible, analizar las aportaciones de cada una, existirán casos también en los que una cuenca se vea afectada por 2 o más cuencas aguas arriba, y también puede existir el caso, que esta misma cuenca sea el canal hacia otros puntos más bajos de la cuenca, estos casos son de fácil visualización con el procedimiento que se describirá más adelante.

Después bajo la unificación de las experiencias, se propone las siguientes matrices de interacción de puntos en la cuenca, respecto al uso de las mejores opciones de técnicas SuDS de acuerdo al volumen.

Cuadro 3-3. Recomendaciones para sitio A que afecta a sitio B, tomando en cuenta su categoría de escurrimiento en exceso para reglamento de drenaje urbano.

RECOMENDACIONES PARA SITIO A QUE AFECTA A SITIO B						
Sitio A	Sitio B					
	1	2	3	4	5	6
	10-100	100-1000	1000-10000	10 000-100 000	100 000-1 000 000	>1 000 000
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	AR	AR	AR
3	AR	AR	BV	BV	BV	BV
4	BV	MV	MV	MAV	MAV	MAV
5	MV	MV	MV	MAV	MAV	AV
6	MAV	MAV	MAV	AV	AV	AV

Cuadro 3-4. Recomendaciones para sitio B que es afectado por sitio A, tomando en cuenta su categoría de escurrimiento en exceso para reglamento de drenaje urbano.

RECOMENDACIONES PARA SITIO B QUE ES AFECTADO POR SITIO A						
Sitio A	Sitio B					
	1	2	3	4	5	6
	10-100	100-1000	1000-10000	10 000-100 000	100 000-1 000 000	>1 000 000
1	-	AR	BV	MV	MAV	MAV
2	-	AR	BV	MV	MAV	AV
3	AR	BV	BV	MV	MAV	AV
4	BV	BV	BV	MV	AV	AV
5	BV	BV	MV	MAV	AV	AV
6	BV	BV	MAV	MAV	AV	AV

Cuadro 3-5 Recomendaciones para sitio B que es afectado por sitio A, y que su vez afecta a un tercer desarrollo aguas abajo, tomando en cuenta su categoría de escurrimiento en exceso para reglamento de drenaje urbano.

RECOMENDACIONES PARA SITIO B QUE ES AFECTADO POR SITIO A, Y A SU VEZ AFECTA UN 3 <sup>ER</sup> SITIO AA						
Sitio A	Sitio B					
	1	2	3	4	5	6
	10-100	100-1000	1000-10000	10 000-100 000	100 000-1 000 000	>1 000 000
1	-	AR	MV	MV	MAV	AV
2	BV	BV	BV	MAV	MAV	AV
3	BV	BV	BV	MAV	AV	AV
4	BV	MV	MV	MAV	AV	AV
5	BV	MV	MAV	AV	AV	AV
6	BV	MV	MAV	AV	AV	AV

Dónde:

AR.- Acciones correctivas (recomendadas para todos los desarrollos, pero obligatoria para los casos que se especifique con AR y no un ‘-‘, obligatoria así mismo para los casos que correspondan a BV, MV, MAV).

BV.- Uso de técnicas SuDS para bajos volúmenes de escorrentía y acciones correctivas, el porcentaje de reducción de escurrimientos directo por efectos de urbanización con respecto al escurrimiento directo natural no debe ser inferior al 80% del volumen.

MV.- Uso de técnicas SuDS para volúmenes medianos de escorrentía y acciones correctivas, el porcentaje de reducción de escurrimientos directo por efectos de urbanización con respecto al escurrimiento directo natural no debe ser inferior al 90% del volumen.

MAV.- Uso de técnicas SuDS para volúmenes medio altos de escorrentía, y acciones correctivas, el porcentaje de reducción de escurrimientos directo por efectos de urbanización con respecto al escurrimiento directo natural debe ser total (100%).

AV.- Uso de técnicas SuDS para altos volúmenes de escorrentía, y acciones correctivas, el porcentaje de reducción de escurrimientos directo por efectos de urbanización con respecto al escurrimiento directo natural debe ser total (100%). Se usara un Tr 10 años para la lluvia de diseño.

La categorización de las técnicas Suds se realiza de manera cualitativa, que se basa en la complejidad, el costo, el mantenimiento y las oportunidades de espacio que se puedan encontrar.

Así mismo, se creó un anexo que explica con mayor detalle las categorías de SuDS.

BV.- Uso de técnicas SuDS para bajos volúmenes de escorrentía.

MV.- Uso de técnicas SuDS para volúmenes medianos de escorrentía.

MAV.- Uso de técnicas SuDS para volúmenes medio altos de escorrentía

AV.- Uso de técnicas SuDS para altos volúmenes de escorrentía.

Y por supuesto las AR, acciones remediativas o correctivas.

### **3.8 Aportación A La Reglamentación Para Drenaje Sustentable**

#### **Acciones Correctivas O Remediarias (AR).**

Para zonas de uso ecológico, pecuario, de alojamiento temporal, forestal.

- Presas rompe picos y de azolve.
- Estabilización de cárcavas.
- Estabilización de los cauces naturales.
- Terrazas de muros vivos con filtros de sedimentos.

Para zonas urbanizadas.

- Recubrir de vegetación el suelo y asegurar su estabilización.
- Presas rompe picos y de azolve.
- Estabilización de cárcavas.
- Estabilización de los cauces naturales.
- Terrazas de muros vivos con filtros de sedimentos.

### **Acciones Para Bajos Volúmenes De Escorrentía (BV).**

Para zonas urbanizadas.

Recomendaciones generales:

- Controlar desde la fuente o en el sitio, puesto que esto puede disminuir los costos al usar técnicas de mayor sencillez y elevar su rendimiento.

### AGUAS ARRIBA.

Uso de técnicas SuDS para bajos volúmenes de escorrentía y acciones correctivas, el porcentaje de reducción de escurrimientos directo por efectos de urbanización con respecto al escurrimiento directo natural no debe ser inferior al 80% del volumen. Se admiten dos opciones: que se colecte gran parte del escurrimiento base o que se intercepte la primera parte del escurrimiento provocado por el evento de lluvia.

Para zonas con lluvia intensa, lluvias torrenciales, se recomienda diseñar para interceptar el escurrimiento base. Propósito que se logra con obras de retención diseñadas especialmente para un periodo de retorno de 2 años y duración adecuada al comportamiento hidrológico de la cuenca y las características del proyecto.

Acciones:

- Desconexión de alto impacto de áreas impermeables.
- Uso de tanques para el aprovechamiento del agua de lluvia.
- Recubrir de vegetación el suelo y asegurar su estabilización.

Para zonas con lluvias de menor intensidad se recomienda interceptar las primeras partes de las tormentas. Propósito que es logrado con dispositivos de capacidad limitada (reducción de diámetros como un ejemplo) con periodo de retorno de 10 años y duración adecuada al comportamiento hidrológico de la cuenca y las características del proyecto.

Acciones:

- Desconexión de bajo impacto de áreas impermeables.
- Uso de zanjas de infiltración.
- Uso de swales.

### AGUAS ABAJO.

Podemos distinguir dos situaciones, si el sitio aguas arriba tiene un volumen de escorrentía alto entonces lo consideraremos una situación crítica para el sitio aguas abajo, caso contrario se considerara un caso no crítico.

Crítico. Se diseña para interceptar en su totalidad el escurrimiento por tormentas pequeñas, es decir el escurrimiento máximo para un periodo de retorno de 2 años. Además se evaluara la necesidad o no, de interceptar también una parte de la crecida por eventos extremos, como en caso de lluvias intensas.

No crítico. Se diseña para interceptar las crecidas del caudal por efectos de la urbanización para un Tr 10 años, las obras que retengan el volumen de escurrimiento se pueden ubicar en cualquier punto de la red.

Acciones:

- Desconexión de alto impacto de áreas impermeables.
- Uso de zanjas de infiltración.
- Uso de swales.

### **Acciones Para Medios Volúmenes De Escorrentía (MV).**

#### Acciones generales.

- Estabilización de taludes con vegetación, así mismo se recomienda escalonamiento.
- Usar bordos perimetrales para protección.
- Se recomienda el control en la fuente y el control en el sitio, para ambas situaciones de ubicación, aguas arriba y aguas abajo. Sin embargo no se desalienta el uso de control regional.

#### Para zonas urbanizadas.

##### AGUAS ARRIBA.

Uso de técnicas SuDS para volúmenes medianos de escorrentía, el porcentaje de reducción de escurrimientos directo por efectos de urbanización con respecto al escurrimiento directo natural no debe ser inferior al 90% del volumen. Se admiten dos opciones: que se colecte gran parte del escurrimiento base o que se intercepte la primera parte del escurrimiento provocado por la tormenta.

Para zonas con lluvia intensa, lluvias torrenciales, se recomienda diseñar para interceptar la mayor parte del escurrimiento base. Propósito que se logra con obras de retención diseñadas especialmente para un periodo de retorno de 5 años y duración adecuada al comportamiento hidrológico de la cuenca y las características del proyecto.

Para zonas con lluvias de menor intensidad se recomienda interceptar las primeras partes de las tormentas. Propósito que es logrado con dispositivos de capacidad limitada (reducción de diámetros como un ejemplo) con periodo de retorno de 10 años y duración adecuada al comportamiento hidrológico de la cuenca y las características del proyecto.

Acciones:

- Desconexión de bajo impacto de áreas impermeables.
- Estanque de infiltración.
- Zanja de infiltración completa.
- Trampas de contaminantes gruesos.
- Swales.

Pavimentos porosos de infiltración en el sitio o de infiltración en drenes para su disposición final en estanques, pozos de infiltración, drenaje pluvial, obras de tratamiento.

##### AGUAS ABAJO.

Crítico. Se diseña para interceptar en su totalidad el escurrimiento por tormentas pequeñas, es decir el escurrimiento máximo para un periodo de retorno de 5 años. Además se evaluara la necesidad o no, de interceptar también una parte de la crecida por eventos extremos, como en caso de lluvias intensas.

No crítico. Se diseña para interceptar las crecidas del caudal por efectos de la urbanización para un Tr 10 años, las obras que retengan el volumen de escurrimiento se pueden ubicar en cualquier punto de la red.

Acciones:

- Desconexión de bajo impacto de áreas impermeables.
- Estanques de infiltración.
- Zanja de infiltración completa.
- Swales.

### **Acciones Para Medio Alto Volumen De Escorrentía (MAV).**

Acciones generales.

Zonas urbanas y semiurbanas, Industrial y de servicios.

- Estabilización de taludes con vegetación, así mismo se recomienda escalonamiento.
- Usar bordos perimetrales para protección.
- Se recomienda el control en la fuente y el control en el sitio, para ambas situaciones de ubicación, aguas arriba y aguas abajo. Sin embargo se acepta el uso de control regional, si el sitio está en una situación de afectación por actividades aguas arriba, y afectando a un tercer sitio aguas abajo.

### AGUAS ARRIBA.

Uso de técnicas SuDS para volúmenes medio altos de escorrentía, y acciones correctivas, el porcentaje de reducción de escurrimientos directo por efectos de urbanización con respecto al escurrimiento directo natural debe ser total (100%). Se admiten dos opciones: que se intercepte gran parte del escurrimiento base o que se intercepte la primera parte del escurrimiento provocado por la tormenta.

Para zonas con lluvia intensa, lluvias torrenciales, se recomienda diseñar para interceptar el escurrimiento base. Propósito que se logra con obras de retención diseñadas especialmente para un periodo de retorno de 5 años y duración adecuada al comportamiento hidrológico de la cuenca y las características del proyecto.

Para zonas con lluvias de menor intensidad se recomienda interceptar las primeras partes de las tormentas. Propósito que es logrado con dispositivos de capacidad limitada (reducción de diámetros como un ejemplo) con periodo de retorno de 10 años y duración adecuada al comportamiento hidrológico de la cuenca y las características del proyecto.

Acciones:

- Desconexión de bajo impacto de áreas impermeables.
- Zanja de infiltración completa.
- Humedales.
- Estanques de infiltración
- Pozos de infiltración con decantador, sistema de retención de contaminantes metales, aceites, grasa y solidos suspendidos. Además un sistema de rebase.

- Pavimentos porosos de infiltración en el sitio o de infiltración en drenes para su disposición final en estanques, pozos de infiltración, drenaje, obras de tratamiento, humedales o lagunas de retención.
- Trampas de contaminantes gruesos.

#### AGUAS ABAJO.

Crítico. Se diseña para interceptar en su totalidad el escurrimiento por tormentas pequeñas, es decir el escurrimiento máximo para un periodo de retorno de 5 años. Además se evaluara la necesidad o no, de interceptar también una parte de la crecida por eventos extremos, como en caso de lluvias intensas.

No crítico. Se diseña para interceptar las crecidas del caudal por efectos de la urbanización para un Tr 10 años, las obras que retengan el volumen de escurrimiento se pueden ubicar en cualquier punto de la red.

Acciones:

- Desconexión de bajo impacto de áreas impermeables.
- Zanja de infiltración completa.
- Pozos de infiltración con decantador, sistema de retención de contaminantes metales, aceites, grasa y solidos suspendidos. Además de sistema de rebase.
- Trampas de contaminantes gruesos.
- Estanques de infiltración

#### **Acciones Para Altos Volúmenes De ESCORRENTÍA (AV)**

##### Todos los usos.

- Estabilización de taludes con vegetación, así mismo se recomienda escalonamiento.
- Usar bordos perimetrales para protección.
- Construcción de vasos para almacenamiento, recarga de acuíferos, regulación de avenida, con cortinas menores a 35 m según reglamento y para 1.5 millones de m<sup>3</sup> por cada módulo de corona como máximo según calculo trimestral.
- Se recomienda el control en la fuente y el control en el sitio, para ambas situaciones de ubicación, aguas arriba y aguas abajo. Sin embargo se acepta el uso de control regional, si el sitio está en una situación de afectación por actividades aguas arriba, y afectando a un tercer sitio aguas abajo. Se desalienta el control regional si el volumen de escurrimiento aguas arriba es muy grande y pueda afectar la seguridad de los habitantes, las propiedades y las actividades productivas aguas abajo.

##### Zonas para uso ecológico, pecuario, de alojamiento temporal, forestal.

- Análisis de posible aprovechamiento de agua pluvial.
- Si cuenta con grandes planicies con bordos de 1.5m a 3m los reglamentos alientan el uso de lagunas de regulación.

##### Zonas de uso agrícola.

- Si cuenta con grandes planicies con bordos de 1.5m a 3m los reglamentos alientan el uso de lagunas de regulación.

##### Zonas urbanizadas.

Uso de técnicas SuDS para altos volúmenes de escorrentía, y acciones correctivas, el porcentaje de reducción de escurrimientos directo por efectos de urbanización con respecto al escurrimiento directo natural debe ser total (100%). Se admiten dos opciones: que se intercepte gran parte del escurrimiento base o que se intercepte la primera parte del escurrimiento provocado por la tormenta.

Para zonas con lluvia intensa, lluvias torrenciales, se recomienda diseñar para interceptar el escurrimiento base y una parte de las crecidas por tormentas intensas. Propósito que se logra con obras de retención diseñadas especialmente para un periodo de retorno de 5 años y duración adecuada al comportamiento hidrológico de la cuenca y las características del proyecto.

Para zonas con lluvias de menor intensidad se recomienda interceptar la primera parte de las tormentas de manera considerable. Propósito que es logrado con dispositivos de capacidad limitada (reducción de diámetros como un ejemplo) con periodo de retorno de 10 años y duración adecuada al comportamiento hidrológico de la cuenca y las características del proyecto.

Acciones:

- Desconexión de alto impacto de áreas impermeables.
- Humedales.
- Estanques de infiltración.
- Zanjas de infiltración completa.
- Pozos de infiltración con decantador, sistema de retención de contaminantes metales, aceites, grasa y solidos suspendidos. Además de sistema de rebase.
- Pavimentos porosos de infiltración en el sitio o de infiltración en drenes para su disposición final en estanques, pozos de infiltración, drenaje, obras de tratamiento, humedales o lagunas de retención.
- Pavimentos celulares.
- Trampas de contaminantes gruesos.

#### AGUAS ABAJO.

**Crítico.** Se diseña para interceptar en su totalidad el escurrimiento por tormentas pequeñas, es decir el escurrimiento máximo para un periodo de retorno de 5 años. Se interceptara también una parte de la crecida por eventos extremos, como en caso de lluvias intensas, puesto que se espera que un gran volumen extra proveniente de aguas arriba llegue a la red en cierto momento.

**No crítico.** Se diseña para interceptar las crecidas del caudal por efectos de la urbanización para un Tr 10 años, las obras que retengan el volumen de escurrimiento se pueden ubicar en cualquier punto de la red.

Acciones:

- Combinación de Desconexión de áreas impermeables de bajo y medio impacto
- Estanques de infiltración.
- Zanjas de infiltración completa.
- Pozos de infiltración con decantador, sistema de retención de contaminantes metales, aceites, grasa y solidos suspendidos. Además de sistema de rebase.
- Pavimentos celulares.
- Humedales.

El segundo anexo como aportación al proyecto de reglamentación para drenaje pluvial sustentable es un prontuario de técnicas SuDS, basado en las experiencias y reglamentos recopilados de distintas partes del mundo, y las valoraciones apropiadas para su aplicación en México, país de amplia diversidad climática.

## Prontuario De Técnicas Suds

Requerimientos para la construcción de obras alternativas sustentables para drenaje pluvial.

### Acciones Correctivas:

#### 3.8.1.1 Estabilización de los cauces naturales

Mantenimiento y mejoramiento de cauces, des azolvamiento y revestimiento con vegetación en la curvas para evitar la pérdida por erosión.

#### 3.8.1.2 Estabilización de cárcavas

Se recomienda cercar las cárcavas en relación 3:1, 3 veces la distancia del cerco a la cárcava por 1 unidad de longitud de profundidad en las mismas.

Se recomienda uso de pastos, los pastos ofrecen una resistencia a la erosión incluso cuando la biomasa aérea se vio afectada por incendios o eventos climáticos.

Deben establecerse barreras biofísicas de control en cárcavas y en taludes para favorecer la sedimentación y el crecimiento de la vegetación (de preferencia nativa).

#### 3.8.1.3 Bordos perimetrales

Se recomienda el uso de bordos perimetrales. La configuración de los mismos dependerá del estudio topográfico, y el tipo de dique dependerá de la capacidad y características de los suelos.

El bordo deberá rodear completamente al poblado o sitio a proteger cuando la topografía sea plana.

Se desalienta el uso de bordos marginales o longitudinales puesto que modifican de manera importante los escurrimientos durante las avenidas tanto en el sitio de la obra como aguas arriba de la misma. De ser necesarios, se espera la mayor separación entre ellos.

Se contemplara la alternativa de construir cauces de alivio o desvíos temporales hacia lagunas artificiales.

#### 3.8.1.4 Desconexión De Áreas Impermeables

Condición que antepone la evacuación de escorrentía proveniente de zonas impermeables hacia estanques de infiltración principalmente, a humedales, lagunas, jardines y áreas verdes, bermas y zanjas permeables o de infiltración, antes que conectar a la red de drenaje pluvial.

Por comprensión del nivel de impacto ubicamos tres escalones principales, lo llamaremos en adelante desconexión de bajo, mediano y alto impacto.

- a. Las desconexiones de bajo impacto. Obras que desconecten los techos y demás zonas impermeables, desviando el flujo a traspatios, áreas verdes, en edificios públicos a los jardines y zonas paisajísticas. Dicho desvío debe aumentar la longitud del drenaje, y reducirla velocidad por medio de superficies rugosas.

Las obras para reducir la velocidad o fomentar la infiltración del caudal que ha sido desviada del drenaje a zonas abiertas, debe tomar en cuenta el periodo de secas.

Se recomienda captar agua de lluvia para usos de los habitantes y riego de áreas verdes y recreativas. Se sugiere el uso de vegetación endémica del sitio y pastos adecuados. Es posible que las características del ciclo hidrológico de la cuenca no permitan el uso de vegetación, entonces se recomienda el uso de granos, gravillas, piedras, por mencionar alguno.

Se consideran estanques de infiltración o zanjas infiltrantes para recibir el caudal no evaporado o infiltrado en su curso.

- b. Desconexiones de mediano impacto. Acciones que consideraran, siempre que sea posible, la evacuación del agua de lluvia no a través de cunetas tradicionales sino por medio de bermas y zanjas de infiltración o permeables en el arreglo de calles, accesos, caminos rurales.

Se operara de manera sustentable en las calles principales hasta que la comparación de escurrimiento colectado y amortiguado sea tal para una tormenta de 24 horas y periodo de retorno de 2 años.

- c. Desconexiones de alto impacto. Acción combinada de las alternativas de medio y bajo impacto.

### 3.8.1.5 Barreras Vivas

Según las condiciones climáticas y topográficas.

Se recomienda para zonas con pendiente menor al 15%. Mientras más frondosa sea la especie, mayor será la reducción de la velocidad del viento. Sin embargo al momento de elegir la planta, ha de juzgarse su resistencia ante las plagas, a la sequía, entre otras particularidades.

- a. Dependiendo por lo tanto de las condiciones climáticas se pueden usar: árboles frutales. Sistema que se recomienda para intercalar con maíz y otras especies que necesiten protección ante la velocidad de esorrentía, se suelen sembrar dentro o aguas arriba del bordo.

La separación entre hileras ronda los 15 metros, a su vez en las hileras, los árboles se colocan a 4 metros de distancia. Aguas arriba de cada hilera se crea un filtro de escurrimientos que es un camellón de un metro de ancho compuesto con la materia orgánica desechada en cada poda, o al recoger el cultivo.



Figura 3-1 Barreras vivas, siguiendo las curvas de nivel.

- b. Uso de magueyes. En zonas de difícil enraizamiento son extremadamente útiles, la nopaleras también tienen esa facultad, se levantan bordos en curvas

de nivel o se plantan en donde se acumula el agua aguas abajo del bordo, debe respetar una distancia de 2.5 m al menos.

c. Uso de árboles. en lugares con vientos muy intensos, arboles con mucho follaje pueden reducirlos hasta un 60 o 80 %, para tener una idea clara, la velocidad del viento para iniciar el movimiento del suelo puede oscilar entre los 19 km/h y 24 km/h.

Para distancias de protección de 10 a 14 veces la altura, se requiere una separación entre arbusto de 0.6 m a 2m, y entre arboles de 2m a 4m, las hileras deben colocarse en posición diagonal o a tres bolillos.

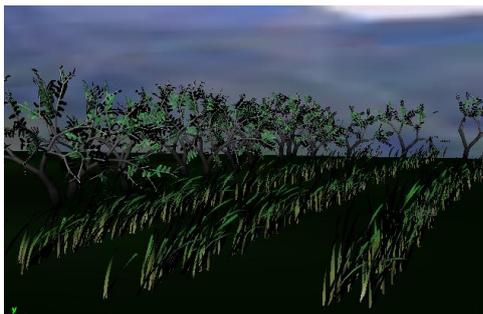


Figura 3-2 Barreras con árboles.

### 3.8.1.6 Swales

En camellones, o siguiendo el trazo de las carreteras de bajo tránsito, se debe considerar el uso de Swales.

Los swales son una depresión, se asemeja a un canal natural de poca profundidad, el cual debe estar revestido de vegetación densa. De esta manera su objetivo es canalizar agua disminuyendo su velocidad, atenuando el pico de escorrentía, favoreciendo al asentamiento de sedimentos y facilitando la infiltración del agua en su longitud.

El tiempo de contacto con la escorrentía dependerá de la vegetación y el tipo de suelo, así como de la pendiente, la velocidad y volumen de flujo.

Claves de diseño.

- La velocidad se estima ideal entre 1 y 2 m/s.
- la pendiente máxima es 1:3.
- el ancho mínimo es 0.5m.
- La calidad del agua debe cumplir con la normatividad vigente NOM-015-CONAGUA-2007.
  - La lámina de agua máxima es 100 mm para velocidad de 1 m/s, la lámina no puede ser mayor a 50 mm para una velocidad de 2m/s.
  - En cuanto a vegetación se recomiendan especies endémicas, densas, y la manutención de las mismas a una altura de 100 mm.
  - Los Swales aseguran una reducción del volumen de medio impacto, pero una alta calidad de tratamiento de agua sobre todo en la remoción de solidos suspendidos, con una calidad media en la remoción de metales pesados y nutrientes, así mismo reporta beneficios ecológicos y de estética y paisajismo.
  - Es un sistema de control de fuente o de sitio, apto para zonas residenciales, comerciales o industriales. No se recomienda para sitios con alta densidad, no a lo largo de calles o carreteras en las cuales haya estacionamiento al costado. Su mantenimiento es importante puesto que puede bloquear las tuberías.

**Tipos de Swales:**

f. Swales que convergen, se usaran para canalizar el agua a otra fase del tren de tratamiento SuDS, se pueden diseñar para la infiltración o para la detención siempre teniendo en cuenta el nivel de encharcamiento que permita la seguridad pública y las características de la escorrentía. En sitios con riesgo de contaminación, también se pueden usar Swales pero se deberá usar una capa impermeable que proteja de la infiltración en el suelo ( esto para swales de detención).

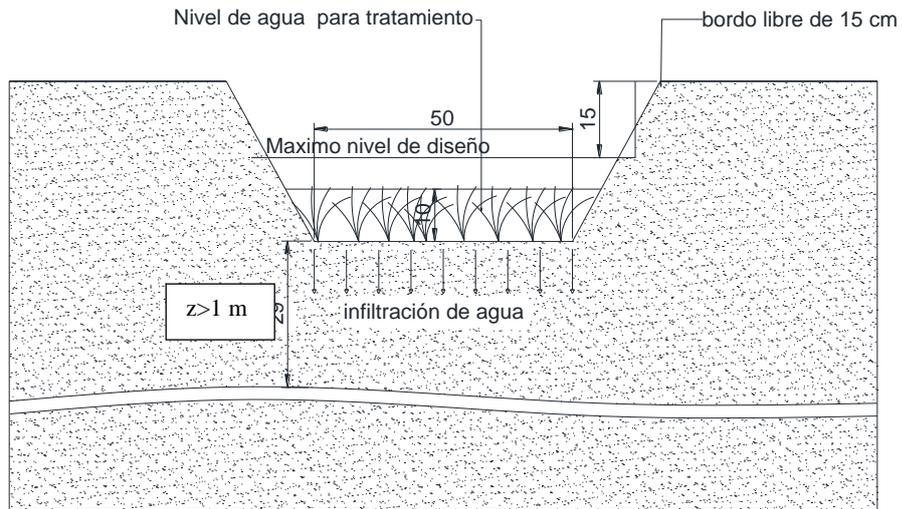


Figura 3-3 Swales convergentes tipo.

g. Los swales secos: contarán con una capa confinada de material filtrante, de manera que la parte superficial del canal estará seco. También existirán swales secos para infiltración, donde el agua retenida pasara directamente al suelo. o de detención, donde el agua se contendrá en la capa porosa (gravas y arenas) entre la canaleta vegetada y una capa impermeable.

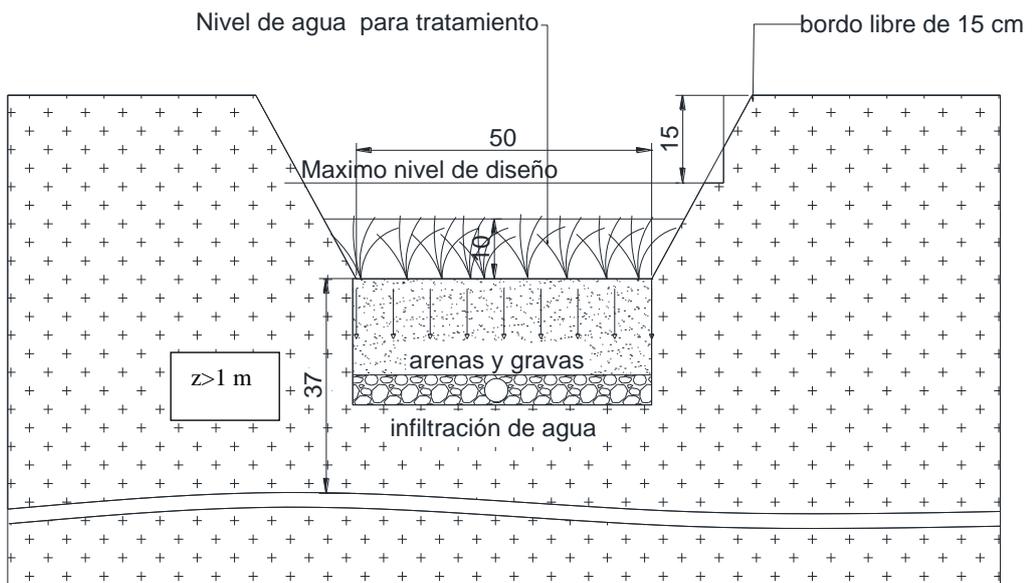


Figura 3-4 Swales secos tipo.

h. Swales convergentes que mantienen una capa húmeda en el tope: la intención es favorecer el tratamiento de la vegetación y favorecer la evapotranspiración, se logra a través de la colocación gradual de capas poco permeables hasta permeables. Se usara esta técnica en suelos con poca capacidad de drenaje o con un nivel freático muy cercano a la superficie.

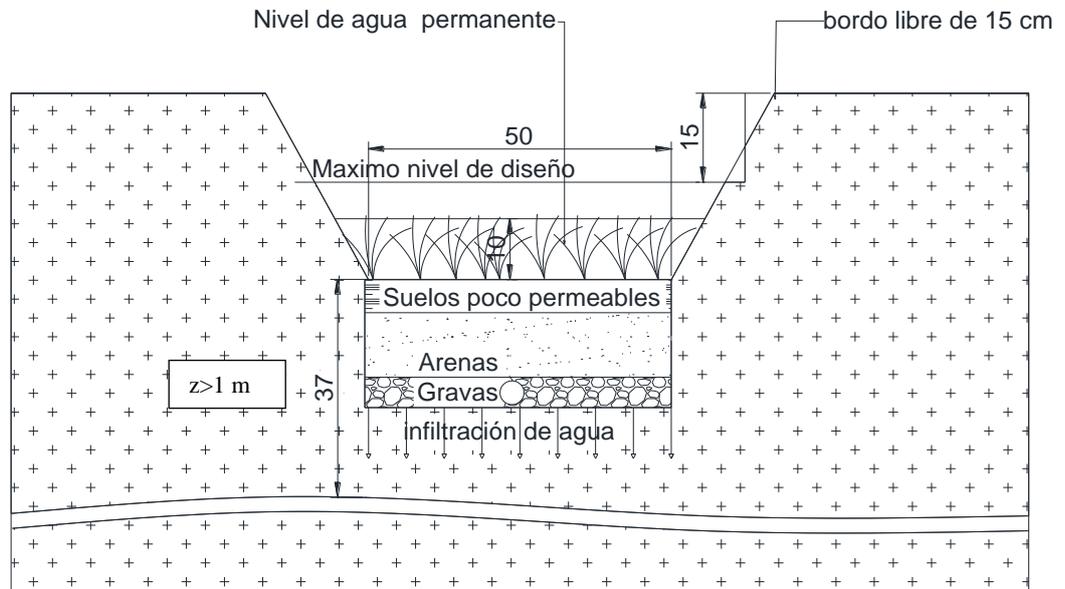


Figura 3-5 Swales convergentes con capa húmeda.

### 3.8.1.7 Zanjas De Infiltración

Toda zanja de infiltración se diseña para un periodo de retorno de 5 o 10 años, el primero en caso de contar con un sistema de drenaje aguas abajo, y el segundo de caso contrario. Permita infiltrar el agua escurrida, se recomienda sobre todo su uso en zona residencial.

Claves para su diseño:

- Como Longitud mínima debe contar con 6 metros.
- La entrada de agua debe ser distribuida, al menos un acceso cada 6 metros.
- La pendiente mínima será del 2%, la máxima del 6%
- La lámina de agua no debe exceder 50 mm
- La calidad del agua debe cumplir con la normatividad vigente NOM-015-CONAGUA-2007.
- La vegetación debe ser endémica de la región y con alta adaptabilidad.

Según su diseño, las zanjas de infiltración pueden ser:

a. Zanjas de infiltración completa. El diseño contemplara el amortiguamiento de la tormenta en su totalidad. El agua solo puede entrar y salir de la zanja por infiltración, todo exceso será rechazado.

b. Zanjas de infiltración parcial. La zanja está diseñada para un volumen menor que el de la tormenta de diseño, por lo que el exceso se desvía al drenaje superficial o alcantarillado pluvial.

c. Zanjas de infiltración inicial. Se diseña para interceptar los primeros 10-15 mm del escurrimiento por evento de lluvia, cuando su capacidad esta plena, desviara el exceso al drenaje superficial o alcantarillado pluvial.

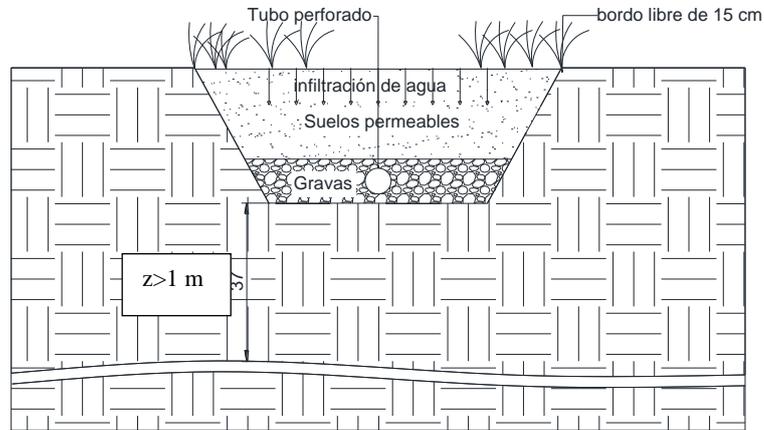


Figura 3-6 Zanjas de infiltración tipo.

### 3.8.1.8 Sistemas De Bioretención

Se trata de áreas deprimidas en el paisaje, que permitirán el estancamiento de aguas en pequeñas huellas en la superficie urbana cuya infiltración será lenta, proveyendo de un tratamiento de remoción de contaminantes eficiente en sólidos suspendidos y en metales pesados.

Claves para su diseño:

- La profundidad máxima es 150 mm.
- La vegetación y las capas inferiores de los jardines de bioretención deberán seleccionarse y diseñarse en función de la capacidad para drenar 150 mm de profundidad de agua en 24 horas.
- Para eventos extraordinarios el jardín debe contar con un bypass por sobresaturación.
- Los sistemas de bioretención no se usaran en sitios donde el nivel freático este a menos de 1m de la superficie y se atenderá a la norma de calidad de agua para infiltración NOM-015-CONAGUA-2007.

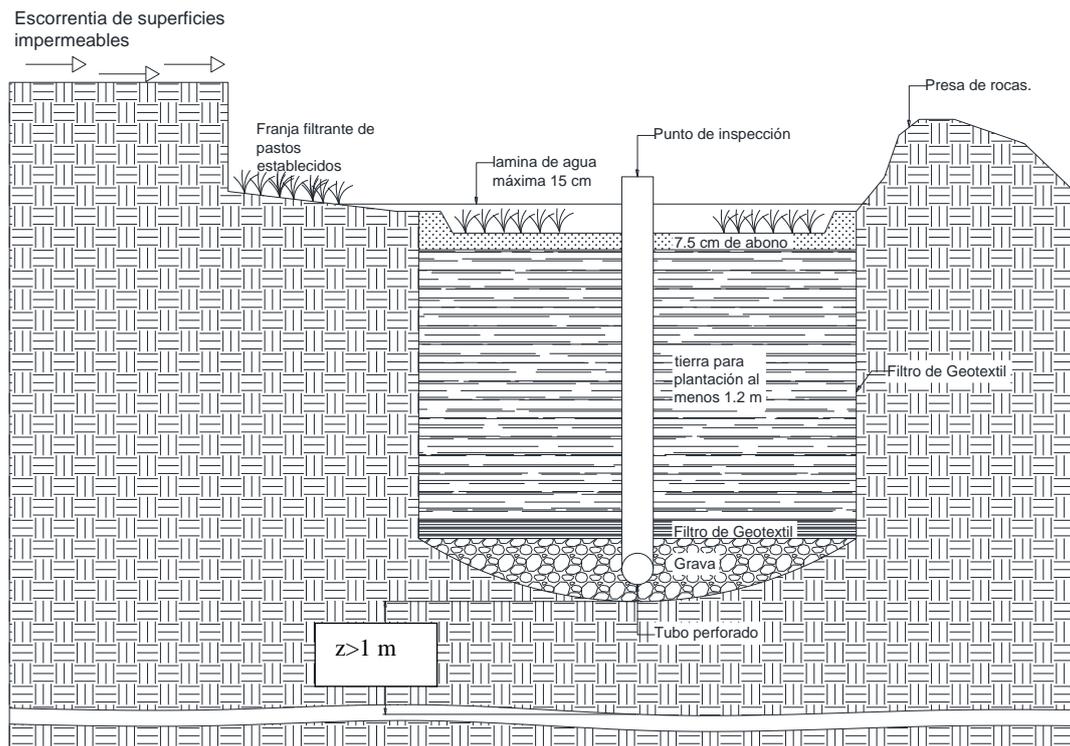


Figura 3-7 Esquemas de un sistema de bioretención típico, adaptado de The SuDS Manual.

### 3.8.1.9 Pavimentos porosos

Pavimentos porosos serán aquellos que no drenen el agua superficial a cunetas y posteriormente al drenaje pluvial, sino que permitirán el paso del agua a capas inferiores del suelo, o que detendrán volúmenes de agua entre sus componentes para atenuar el pico de escorrentía.

En la actualidad se manejan 3 tipos:

a. Asfaltos porosos especiales: el agua se retendrá en la subbase y se infiltrará de apoco a poco en el suelo, en el caso que sea apropiado. Si no es apropiado infiltrar el agua por su carga contaminante (esto dependerá del tráfico vehicular y el mantenimiento de la carretera) entonces funcionara como sistema de atenuación al drenar lentamente a un sistema conductor comunicado con la tubería de drenaje pluvial.

b. Adocretos, son rejillas de concreto, cuyos espacio se llenan con arena, grava o pasto, también contarán con una capa filtrante inferior de materiales gruesos. Podrán ser de infiltración o de detención, si de detención, el agua se infiltrará a zanjás que posteriormente redirigirán sus contenidas a los sistemas de drenaje.

c. Adoquines modulares de plástico, son similares a los adocretos pero su matriz es de plástico también. Existirán de filtración o de detención.

Claves para su diseño y su colocación:

- Solo apto para pendientes medianas o bajas.

- Solo apto para cargas de tráfico bajas.
- Selección del medio poroso tomando en cuenta las condiciones climáticas del sitio, el concreto suele retener más calor.
- La filtración según el diseño debe ser mayor que aquella necesaria para la lluvia de diseño.
- Considérese el uso de almacenamientos subterráneos con pretratamiento para la infiltración de agua,
- Uso de geo textiles como componentes de pretratamiento en las capas superiores del pavimento.
- Si bien diseño y construido la remoción de contaminantes, desde solidos suspendidos, nutrientes, y metales pesados es de muy alta calidad.

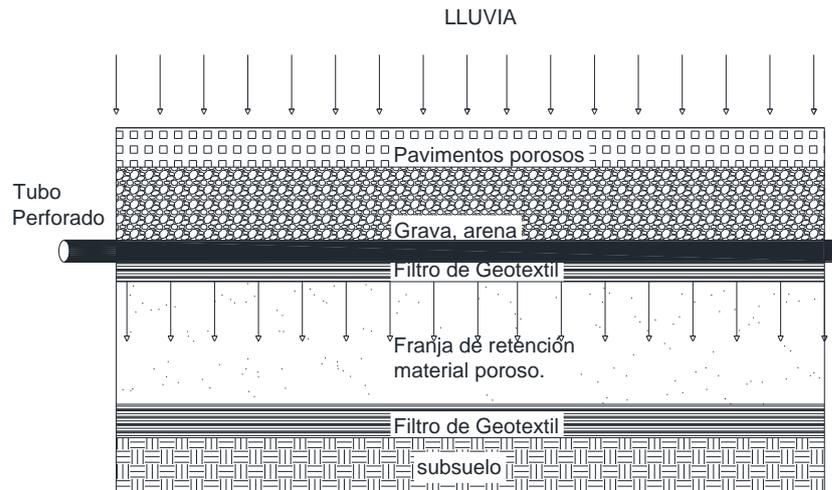


Figura 3-8 Típico perfil de pavimento poroso.

### 3.8.1.10 Techos Verdes.

Los techos verdes son jardines que cubren una capa de drenaje, así la cobertura puede ser vegetal o con pavimentos porosos. Su función será interceptar el agua de lluvia y retenerla, atenuando así los caudales máximos y el pico de escorrentía.

También reporta beneficios ecológicos y beneficios en el clima interior del edificio. Pudiéndose diseñar para propiciar calor o frío (con una cámara de aire entre el aislamiento y la primera membrana impermeable del techo verde) al interior de la estructura.

Considérense los siguientes puntos para su diseño y construcción:

- Pendiente mínima 1:80 y máxima 1:3 (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau, FLL, 2002, Alemania).
- La capacidad de carga de la estructura, suponiendo un techo verde totalmente saturado.
- Sistemas de bypass para eventos extremos.
- Suficientes salidas para el agua en el diseño del techo
- Suelo para plantación debe ser liviano. Y su capacidad de retener volumen de agua no debe superar el 65% del volumen del suelo. Así mismo el máximo contenido orgánico será el 20%.
- La vegetación debe ser endémica, o de bajo mantenimiento, rápida colonización, y con densidad de raíces. El sustrato debe ser mayor a 30 mm

- Un adecuado diseño del depósito de almacenamiento, necesario para evitar que el sistema pierda humedad, evitando también en lo posible la necesidad de irrigación.
- En caso de necesitar sistemas de irrigación, estos deberán enfocarse en humedecer el médium de crecimiento y no en el riego superficial.
- Diseño del techo verde en función de la capacidad de atenuar el volumen de agua de lluvia para una lluvia de diseño con Tr 2 años.
- Estudio de la resistencia del jardín a las fuerzas del viento, uso de barreras de ser necesario.
- Pruebas de eficiencia de la capa impermeable anteriores a la colocación del médium de crecimiento, esta medida puede prevenir de remodelación por falla de la membrana impermeable.
- Losas corta fuegos o franjas de grava cada 40 metros.

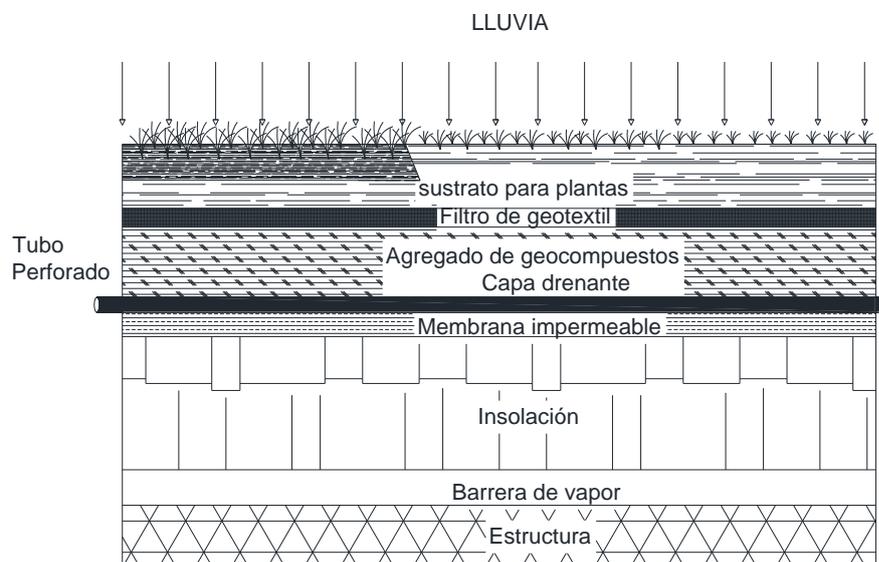


Figura 3-9 Perfil típico de un techo verde.

### 3.8.1.11 Humedales Artificiales.

Los humedales son prácticamente ecosistemas acuáticos artificiales, atenuar el volumen de escorrentía. Favorece tanto la infiltración, como el tratamiento, la evapotranspiración, y la diversidad biológica, puesto que algunas especies tienden a colonizarlas para su beneficio. El humedal contara con una capa húmeda todo el año.

Son sistemas regionales, puesto que el costo y el mantenimiento son mayores que para otras técnicas SuDS que se consideran de control en la fuente o en el sitio.

El humedal consta fundamentalmente de 5 zonas:

- a. Elementos de conducción de agua de escorrentía al humedal.
- b. Trampa de solidos suspendidos, en las entradas del humedal.
- c. Trampa de absorción de contaminantes (partículas finas, comúnmente la vegetación misma del humedal, fijación de contaminantes en el sustrato, conversión a gas nitrógeno y desinfección)
- d. Zona de reducción de la probabilidad de re arrastre (vegetación densa que disminuya la velocidad significativamente, para que las plantas puedan

absorber biológica y químicamente) y comúnmente también esta es la zona de salida a cursos de agua naturales.

Es posible usar zanjas de infiltración o swales como sistemas conductores.

Claves para el diseño:

- Mantener una capa húmeda todo el año.
- Tratamiento del agua, tanto de la capa húmeda permanente como del volumen extra por eventos de lluvia.
- Almacenamiento de atenuación.
- Relación longitud- ancho idealmente de 3:1
- Un sistema de remoción de sedimentos en las entradas del humedal.
- La profundidad por seguridad no debe exceder los 2 m, y deben existir áreas de transición entre las zonas más profundas y las orillas del humedal.
- Las pendientes de transición deben ser suaves.
- se atenderá a la norma de calidad de agua para infiltración NOM-015-CONAGUA-2007.

#### **3.8.1.12 Estanque De Infiltración.**

Diseñados para una precipitación máxima para una lluvia de 24 horas de duración y 10 años de periodo, se trata de áreas inundables, dentro de los límites de riesgo y afectaciones a la población, son ideales los usos de suelo para recreación y paisajismo

La calidad del agua debe cumplir con la normatividad vigente NOM-015-CONAGUA-2007.

Claves de diseño:

- El área disponible para el estanque de infiltración debe ser mayor a 0.05 del total de área drenada, si el control es en la fuente.
- Se recomiendan para suelos gruesos.
- Pendiente menor al 7%
- Vegetación sana o pastos establecidos, altura mínima 100 mm.
- El nivel freático se debe encontrar a más de 1 m bajo el nivel del estanque.
- Asegurar la entrada de agua sin contaminantes gruesos y bajo volumen de sedimentos.
- El agua que llegue al estanque debe provenir de las zonas impermeables más cercanas a la obra.

### **3.9 Ejercicio de aplicación.**

**Ejercicio de aplicación del concepto de técnicas SuDS y de esta norma técnica en la región problemática correspondiente a las cuencas urbanas de cuesta china, el tângano y microcuenca estadio, regiones cuyas aguas confluyen al dren cimatarío, que recientemente ha sido sobrepasado en su capacidad provocando daños a la propiedad pública y privada.**

**Recopilación de información geográfica e hidrológica del sitio de aplicación de ejemplo (zona del dren Cimatarío, en la cuenca de Santiago de Querétaro).**

#### **3.9.1 El Sitio**

El sitio de interés se encuentra en el estado de Querétaro, en la capital Querétaro, sobre el río del mismo nombre.

La cuenca del río Querétaro pertenece a la vertiente del Pacífico y vierte sus aguas al río Laja. Esta vertiente del Pacífico ocupa una superficie de 2917 km<sup>2</sup> y tiene escurrimientos anuales medios de 49 millones de m<sup>3</sup> (Nieto, 1995). Tiene una superficie de 2,255 km<sup>2</sup> y geográficamente se ubica dentro del cuadro de coordenadas 20° 30' a 20° 56' de latitud norte y los 100° 17' a 100° 36' de longitud oeste. Se encuentra delimitada por las siguientes regiones y cuencas hidrológicas: Al norte por la cuenca Río La Laja 1, al Sur por las cuencas Río Lerma 3 y Río Lerma 4, al Este por la región Hidrológica Número 26 Pánuco y al Oeste por la cuenca Río La Laja 2. (Gobierno del Municipio de Querétaro).

El Río Querétaro se origina en el cerro del Astillero, en el estado del mismo nombre, que fluye en dirección Oeste y hasta donde se localiza la Estación Hidrométrica Ameche tiene como principales aportadores el Río El pueblito y al Arroyo Jurica (Diario Oficial, Poder Ejecutivo, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003).

La CONAGUA reconoce las siguientes divisiones de microcuencas para Querétaro Capital.

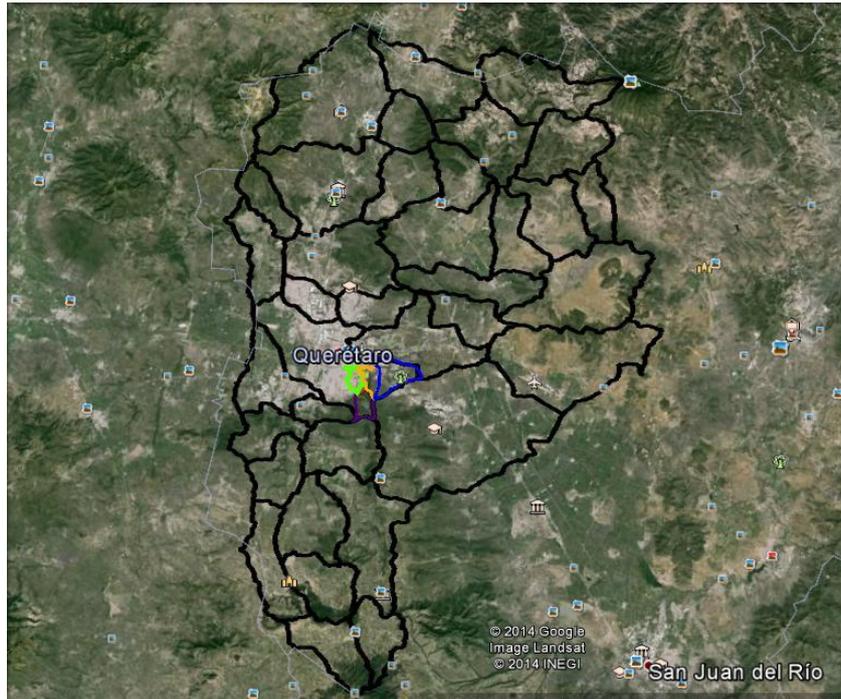


Figura 3-10 Microcuencas CONAGUA en Querétaro, Querétaro.

Se pueden observar Figura 3-10 en amarillo (microcuenca Central y Estadio), verde (microcuenca de aportación denominada simplemente 4, parte de la microcuenca Santiago de Querétaro, identificada por el equipo Delfín del verano de ciencias, FI, UAQ), rojo (microcuenca de aportación Tánganos I, parte de la microcuenca Santiago de Querétaro), morado subcuenca de aportación Tánganos II, parte de la microcuenca Santiago de Querétaro), y azul (microcuenca Cuesta China). Las microcuencas de aportación para el sitio problemático en el dren Cimatario.

### 3.9.2 El Dren Cimatario.

Se seleccionó el dren Cimatario debido a las repetidas ocasiones en que su capacidad se ha visto sobrepasada, de esta manera ha colapsado el pasado 28 de agosto del 2014, de manera posterior al primer estudio que se hizo tomando como referente la fuerte tormenta del 25 de mayo por el equipo Delfín de verano de la ciencia en la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Se reconoce que hay tres microcuencas de aportación para el dren Cimatario de importancia que son microcuenca Cuesta China, microcuenca Estadio, microcuenca 4, microcuenca Tánganos, cuya escorrentía produce los desbordamientos y los colapsos aguas abajo.

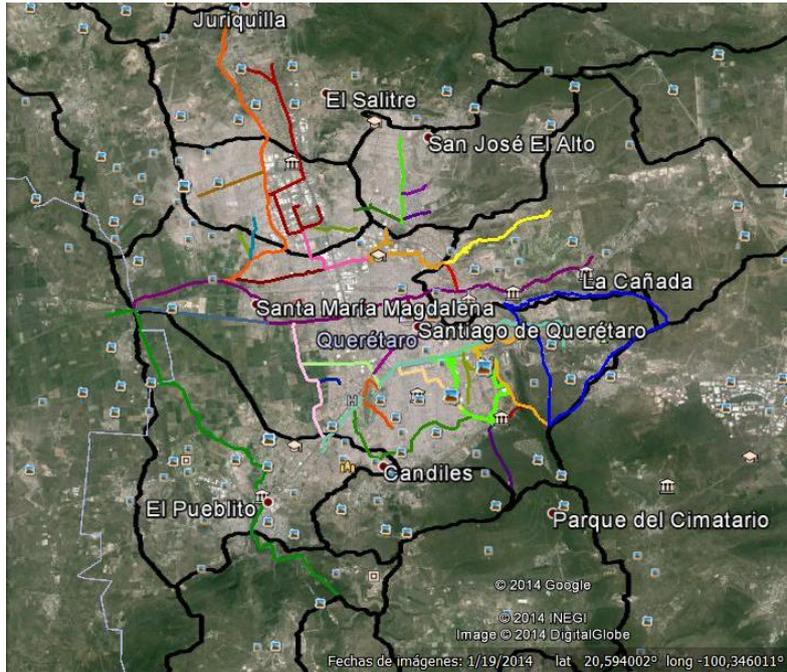


Figura 3-11 Drenes de la ciudad de Querétaro y zona metropolitana. El dren Cimatario se identifica con color azul claro.

Cabe decir que en el reconocimiento de estudio del sitio se documenta un salón de eventos sobre el inicio del cauce principal y constantes disminuciones de la capacidad del dren con el objetivo de acomodar pasos vehiculares.

Y mediante el uso de HEC-HMS con un modelo distribuido analizan el comportamiento del dren con un evento de tormenta de importancia, que sucede el 25 de mayo del 2014 y concluyen que la capacidad del dren es suficiente.



Figura 3-12 Acercamiento a las microcuencas de aportación y al dren cimatario.

### 3.9.3 Análisis y procesamiento de información Geográfica Y Topográfica.

Para obtener información geográfica del sitio se hizo uso del continuo de elevaciones mexicano 3.0 (CEM 3.0) del INEGI. Las planillas del continuo de

elevaciones representan estas últimas a través de puntos de superficie de terreno y elevaciones en coordenadas. El espaciamiento de los puntos es de manera distribuida y de forma regular. (INEGI, pagina web oficial).

La imagen que es posible descargar puede tener características distintas dependiendo del proyecto que se pretenda, sin embargo para este cargo descargamos las imágenes correspondientes a la carta topográfica ESC. 1:50 000, que se encuentra en Proyección Universal Transversa de Mercator y con equidistantes curvas de nivel de 15 m, la cobertura es de 15' de latitud y 20' de longitud, con una área de 1 000 km<sup>2</sup>. Las cartas para esta zona fueron: F14C65 Y F14C66.

El formato de las descargas es tipo .TIFF, formato aceptable para los software tipo SIG (Sistemas de información Geográfica).

En efecto el software utilizado para el procesamiento de información fue el q Quantum Gis de código libre.

Dado que las microcuencas de aportación que contribuían a los fenómenos de excedencia de la capacidad del dren Cimatario, ya estaban identificadas, el siguiente paso fue analizar el comportamiento de una microcuenca cuyo drenaje pluvial se adaptara a los esquemas de sustentabilidad y de disminución de riesgos por inundación, y picos extremos de escorrentía para tormentas fuertes, a partir de técnicas SuDS. Para la cual se seleccionó la microcuenca Cuesta China, de magnitudes territoriales comparativamente mayores que las demás microcuencas, con pendientes de terreno pronunciadas y con una alta y creciente densidad urbana.

A continuación observaremos el procesamiento de la información geográfica, topográfica, hidrología de la microcuenca Cuesta China .

Carga del archivo .TIFF del continuo de elevaciones mexicano de las cartas F14C65 Y F14C66, proyectados en North American Datum 1927, para poder utilizar su proyección horizontal y no en Geoide WGS84. De esta imagen vectorial se extrajeron curvas de nivel a cada 10 metros, las cuales por supuesto no son exactas, pero permiten analizar el comportamiento hidrológico de la cuenca a través de esta topografía.

Aun así en adelante nos apoyaremos en Google Earth.

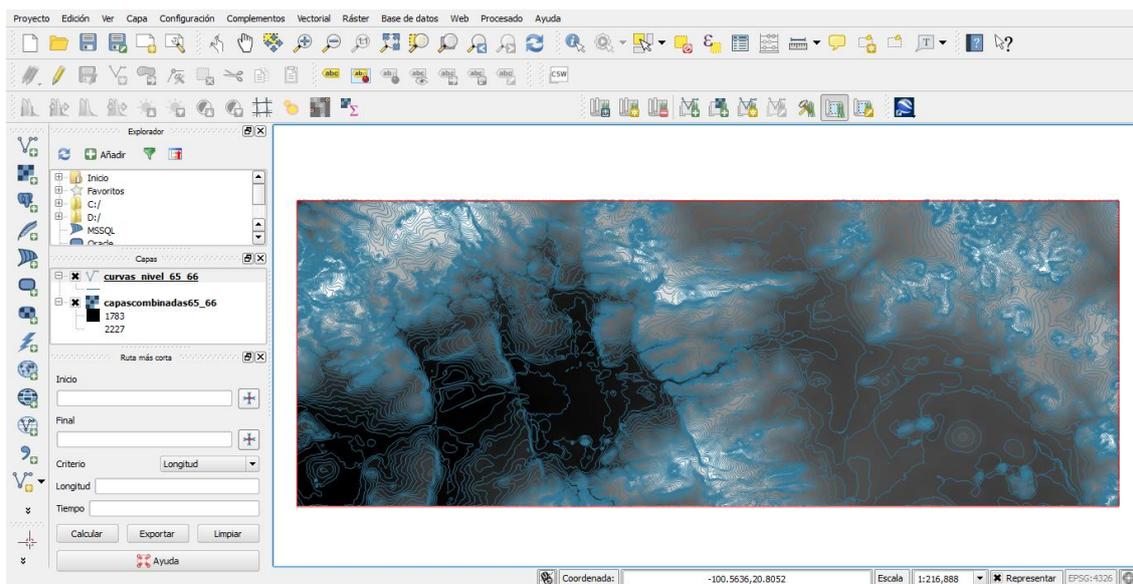


Figura 3-13 Carga del archivo .TIFF del continuo de elevaciones mexicano de las cartas F14C65 Y F14C66 y curvas de nivel, capas vectoriales.

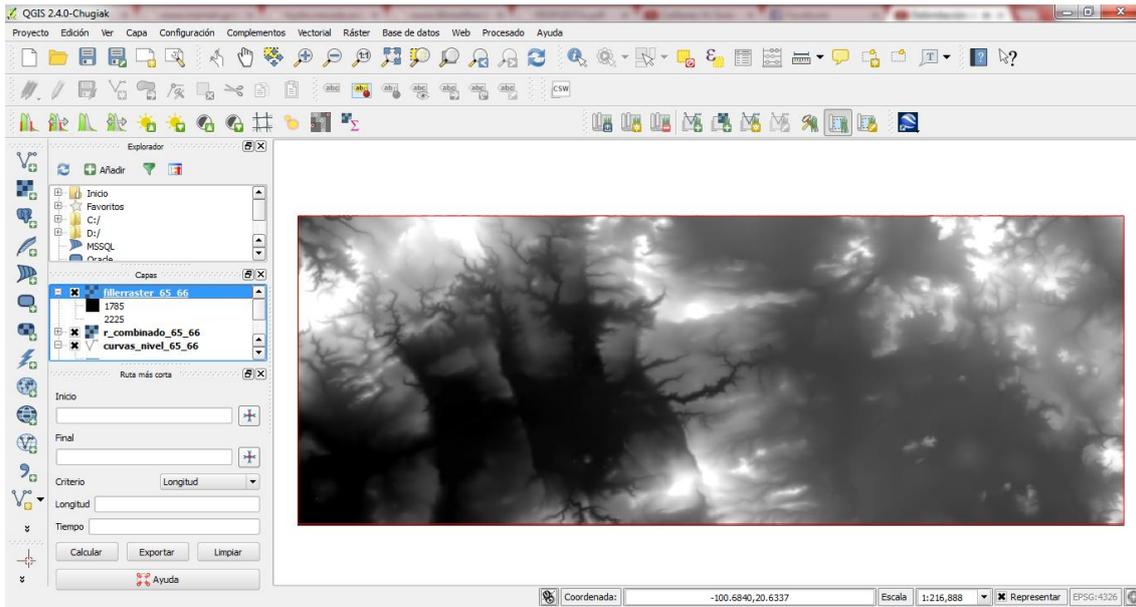


Figura 3-14 Archivo tipo raster de las cartas F14C65 Y F14C66.

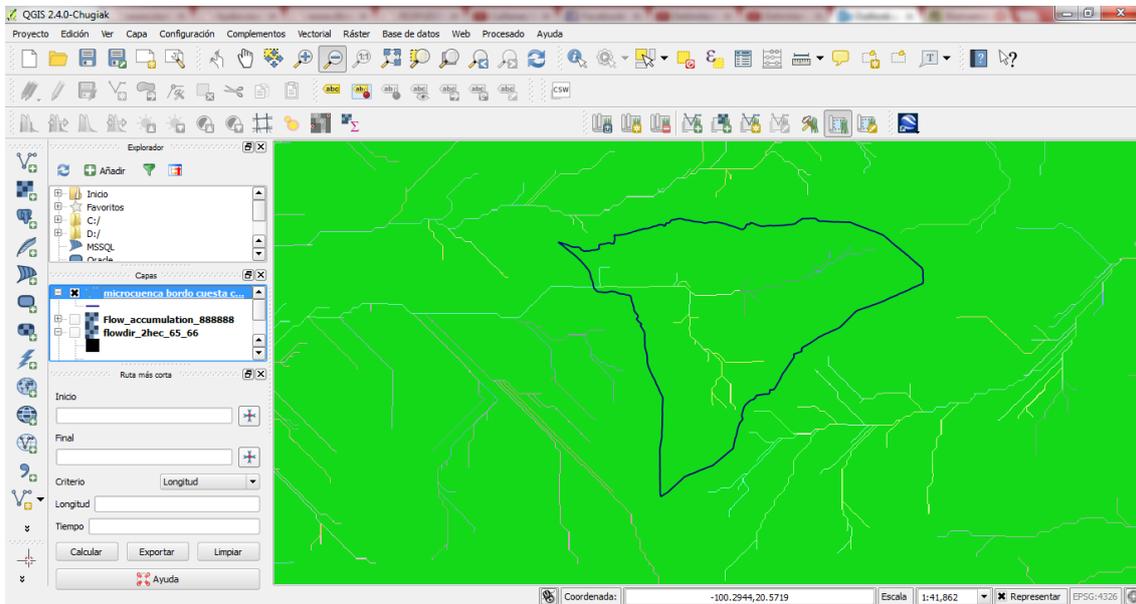


Figura 3-15 Delimitación de la microcuenca cuesta china por Quantum Gis con las herramientas raster, se pueden observar también los segmentos de corriente.

En seguida se delimitaron áreas urbanas compactas, tomando en cuenta las curvas de nivel que se obtuvieron del CEM para las cartas F14C65 Y F14C66 , la capa vectorial curvas de nivel se transformó en archivo klm proyección WGS84 para Google EARTH.

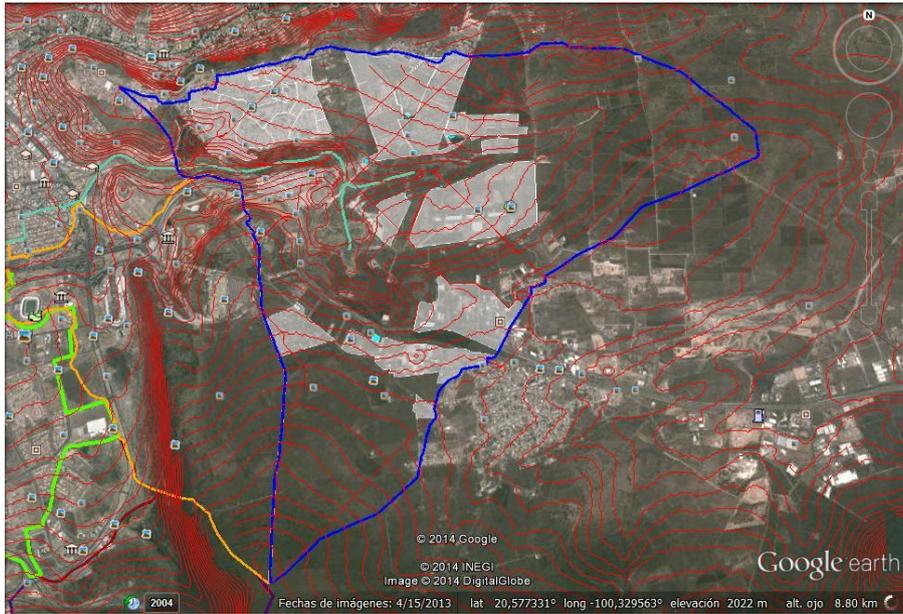


Figura 3-16 Polígonos de zonas urbanas, delimitadas en Google Earth para exportar a Quantum Gis.

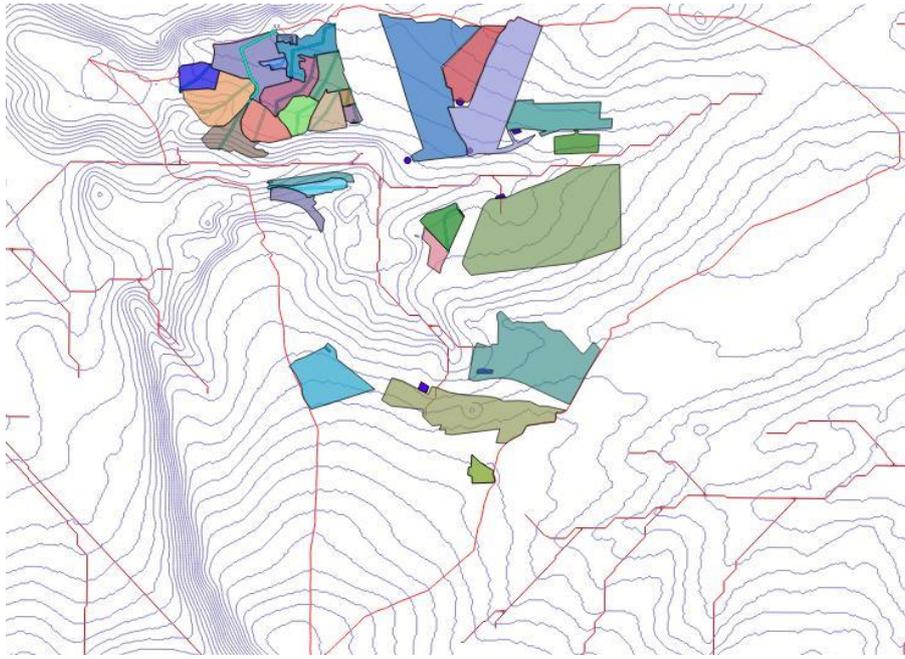
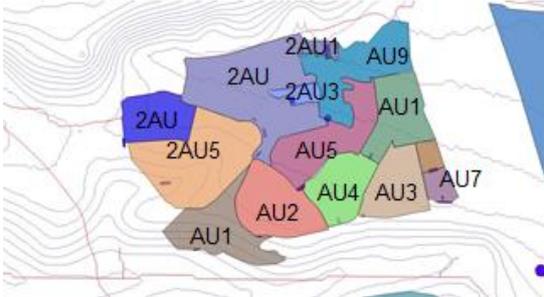


Figura 3-17 Polígonos de áreas urbanas (áreas con transparencia) y áreas delimitadas para uso de técnica SuDS (en color azul solido) en Quantum Gis. También se observan algunos cauces principales que serán importantes para el modelo HEC-HMS.

*Observemos también los siguientes polígonos:*

Cuadro 3-6 Polígonos de áreas urbanas y áreas disponibles para técnicas SuDS.



Milenio III, parte 1.

Área Urbana 1,2,3,4,5,7,8,13.

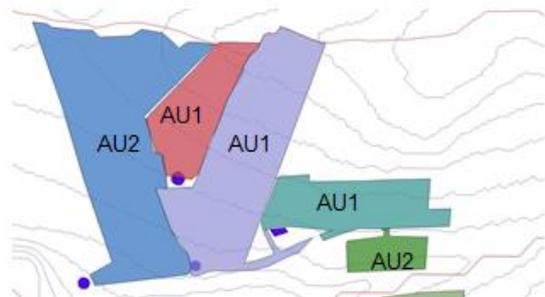
SuDS 1,2,3,4,5,6,7,8,13.

Milenio III, parte 2.

Área Urbana 1(Morado claro),3(Azul claro),4(morado claro),5(Naranja),6(Azul rey)

SuDS 1,3,4,5,6.

Una técnica SuDS para cada área urbana.



El Mirador 1(Morado claro)

Área urbana (AU)1.

SuDS 1.

El Mirador 2.

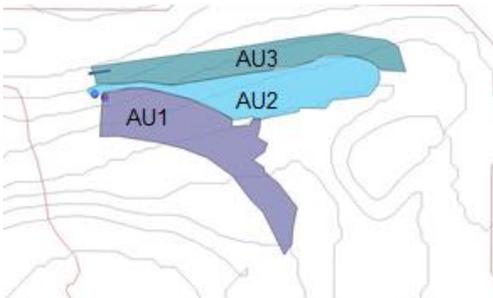
Área urbana (AU)1.

SuDS 1.

Subárea de aportación (azul verdoso y verde)

Área urbana (AU)1,2.

SuDS 1.

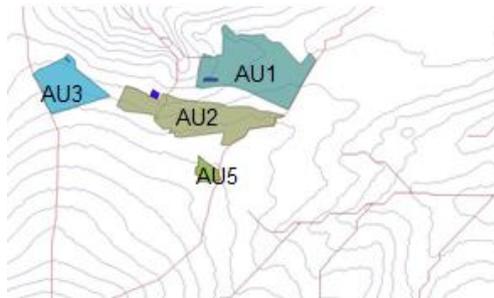


Cuesta Bonita.

Área urbana (AU)1,2,3.

SuDS 1,2,3.

Una técnica SuDS para cada área urbana.



Áreas urbanas a los alrededores del tramo de la carretera 57.

Área urbana (AU)1,2,3,5

SuDS 1,2(al que descargan áreas 2 y 5) y 3.



ExpoCentro (Verde OLIVO)

Área urbana (AU)1.

SuDS 1.

Residencial del parque Norte (Verde)

Área urbana (AU)1.

SuDS 1.

Áreas urbanas a los alrededores del tramo de la carretera 57.

Área urbana (AU)4

SuDS 4.

En la tabla a continuación se resumen todos los valores áreas, longitud de cauce, elevaciones para conocer el tiempo de concentración y el tiempo de retraso para cada área urbana. Nota: los cauces deberían seguir una alineación de acuerdo a los sistemas de drenaje que se han creado a partir de la urbanización pero eso implicaría un estudio mucho más profundo de las zonas urbana, por tiempo y recursos, se hace una simplificación de los mismos.

	Áreas Urbanas km <sup>2</sup>	Áreas disponibles para SuDS km <sup>2</sup>	Longitud del cauce km	Elev max	Elev min	Smedia	la	tc (horas)	tr(min)	%impermeable
Cuesta Bonita_AU1	0.042	0.0002	1.33	1960	1921	0.070	5.64	0.616	22.19	0.03
Cuesta Bonita_AU2	0.034	0.0002	1.33	1935	1917	0.070	5.64	0.616	22.19	0.02
Cuesta Bonita_AU3	0.032	0.0001	1.33	1935	1908	0.070	5.64	0.616	22.19	0.02
El Mirador AU1	0.325	0.0013	2.27	2020	1965	0.077	5.64	0.910	32.76	0.21
El Mirador 2 AU1	0.123	0.0023	2.27	2020	1985	0.077	5.64	0.910	32.76	0.08
El Mirador 2 AU2	0.401	0.0017	2.27	2000	1946	0.077	5.64	0.910	32.76	0.26
Expocentro AU1	0.662	0.0014	3.34	2005	1950	0.078	5.64	1.219	43.88	0.43
Milenio 1_AU1	0.072	0.0001	1.78	1958	1900	0.100	5.64	0.721	25.96	0.05
Milenio 1_AU2	0.075	0.0001	1.78	1960	1939	0.100	5.64	0.721	25.96	0.05
Milenio 1_AU3	0.059	0.0001	1.78	1969	1953	0.100	5.64	0.721	25.96	0.04
Milenio 1_AU4	0.056	0.0002	1.78	1965	1949	0.100	5.64	0.721	25.96	0.04
Milenio 1_AU5	0.077	0.0004	1.78	1978	1958	0.100	5.64	0.721	25.96	0.05
Milenio 1_AU7	0.014	0.0004	1.78	1967	1962	0.100	5.64	0.721	25.96	0.01
Milenio 1_AU8	0.010	0.0005	1.78	1970	1966	0.100	5.64	0.721	25.96	0.01
Milenio 1_AU9	0.083	0.0006	1.78	1989	1967	0.100	5.64	0.721	25.96	0.05
Milenio 1_AU13	0.062	0.0002	1.78	1981	1965	0.100	5.64	0.721	25.96	0.04
Milenio 2_AU1	0.009	0.0019	1.78	1979	1978	0.100	5.64	0.721	25.96	0.01
Milenio 2_AU3	0.012	0.0005	1.78	1974	1970	0.100		0.721	25.96	0.01
Milenio 2_AU4	0.151	0.0004	1.78	1977	1959	0.100	5.64	0.721	25.96	0.10
Milenio 2_AU5	0.127	0.0005	1.78	1964	1931	0.100	5.64	0.721	25.96	0.08
Milenio 2_AU6	0.051	0.0003	1.78	1966	1949	0.100	5.64	0.721	25.96	0.03
Residencial del parque Norte AU1	0.060	0.0010	1.62	1971	1957	0.076	5.64	0.707	25.45	0.04
Subarea de aportación AU1	0.142	0.0015	3.34	1986	1977	0.078	5.64	1.219	43.88	0.09
CARR57_AU1	0.351	0.0032	2.76	2033	2014	0.070	5.64	1.074	38.66	0.23
CARR57_AU2	0.285	0.0034	2.76	2030	2015	0.070	5.64	1.074	38.66	0.19
CARR57_AU5	0.025	descarga a SuDS2	2.76	2055	2020	0.070	5.64	1.074	38.66	0.02
CARR57_AU3	0.155	0.0008	2.76	2045	2015	0.070	5.64	1.074	38.66	0.10
CARR57_AU4	0.030	0.0002	2.76	1975	1959	0.070	5.64	1.074	38.66	0.02

Tabla 3-1 . Resumen de valores de áreas, longitud de cauce, elevaciones para conocer el tiempo de concentración y el tiempo de retraso para cada área urbana.

Además las áreas que contribuyen a cada Bordo en la cuenca de la Cuesta China se distribuyen de la siguiente manera:

CUESTA CHINA I                      Área=1.85 km<sup>2</sup>

Bordo al que converge el bordo IV, y al que contribuyen las áreas:

	Áreas Urbanas (km <sup>2</sup> )	Áreas disponibles para SuDS (km <sup>2</sup> )
Cuesta Bonita_AU1	0.042	0.0002
Cuesta Bonita_AU2	0.034	0.0002
Cuesta Bonita_AU3	0.032	0.0001
Milenio 1_AU1	0.072	0.0001
Milenio 1_AU2	0.075	0.00009
Milenio 1_AU3	0.059	0.00011

Milenio 1_AU4	0.056	0.00018
Milenio 1_AU5	0.077	0.00043
Milenio 1_AU7	0.014	0.00044
Milenio 1_AU8	0.010	0.00050
Milenio 1_AU9	0.083	0.00056
Milenio 1_AU13	0.062	0.00018
Milenio 2_AU1	0.009	0.00192
Milenio 2_AU2	0.005	0.00074
Milenio 2_AU3	0.012	0.00052
Milenio 2_AU4	0.151	0.00044
Milenio 2_AU5	0.127	0.00046
Milenio 2_AU6	0.051	0.00026

Área Urbanizada	0.97 km <sup>2</sup>
Área Verde	0.88 km <sup>2</sup>

CUESTA CHINA II      Área=3.7421 km<sup>2</sup>

Bordo al que contribuyen las áreas:

	Áreas Urbanas (km <sup>2</sup> )	Áreas disponibles para SuDS (km <sup>2</sup> )
Residencial del parque Norte AU1	0.0597	0.0010
Subarea de aportación AU1	0.1419	0.0015
Expocentro AU1	0.6623	0.0014

Área Urbanizada	0.86 km <sup>2</sup>
Área Verde	2.88 km <sup>2</sup>

CUESTA CHINA III      Área= 3.96 km<sup>2</sup>

Bordo al que contribuyen las áreas:

	Áreas Urbanas (km <sup>2</sup> )	Áreas disponibles para SuDS (km <sup>2</sup> )
CARR57_AU1	0.3513	0.0032
CARR57_AU2	0.2853	0.0034
CARR57_AU5	0.025	Descarga a SuDS2

CARR57_AU3	0.1547	0.0008
------------	--------	--------

Área Urbanizada	0.82 km <sup>2</sup>
Área Verde	3.14 km <sup>2</sup>

CUESTA CHINA IV                      Área= 2.78 km<sup>2</sup>  
 Bordo al que convergen los bordos II y III, y al que contribuyen las áreas:

	Áreas Urbanas (km <sup>2</sup> )	Áreas disponibles para SuDS (km <sup>2</sup> )
CARR57_AU4	0.0300	0.0002
El Mirador AU1	0.3250	0.0013
El Mirador 2 AU1	0.1233	0.0023
El Mirador 2 AU2	0.4010	0.0017

Área Urbanizada	0.88 km <sup>2</sup>
Área Verde	1.90 km <sup>2</sup>

### 3.9.4 Bordos

El embalse es de difícil estudio, por lo que para fines didácticos y basándose en que mayores alcances implican contar con los planos de los mismos y estudios que por profesionales son costosos y sobresalen de las posibilidades de esta tesis, por lo tanto a base de observaciones en campo se ajustó a las siguientes características, así mismo se determina que para efectos de la modelación todos los bordos serán iguales.

Altura: 15 metros

Con el supuesto de que cuenta con un área de orificio con compuerta en el fondo de 2.4m<sup>2</sup> y considerando un coeficiente de contracción de 0.7.

Para graficar su curva Altura-Almacenamiento tenemos que:

$$\Delta V = \frac{\Delta h}{3} (A_i + A_s + \sqrt{A_i * A_s})$$

Ecuación 3-1

Sea:

$\Delta V$ .-Incremento de volumen de almacenamiento entre curvas consecutivas.

$\Delta h$ .- Diferencia de nivel entre curvas de nivel consecutivas.

$A_i$ .-Area correspondiente al nivel inferior.

$A_s$ .- area correspondiente al nivel superior.

Cuadro 3-7 Capacidad del embalse.

EMBALSE			
h	ÁREA M2	$\Delta$ Volumen (m3)	Volumen (m3)
0	0	--	0.00

<b>1</b>	80	26.667	26.67
<b>2</b>	100	89.814	116.48
<b>3</b>	200	147.140	263.62
<b>6</b>	280	716.643	980.26
<b>9</b>	370	971.870	1952.13
<b>10</b>	780	562.405	2514.54
<b>13</b>	820	2399.750	4914.29
<b>15</b>	900	1719.380	6633.67

Vol. Max Mm3= 6.63

Así mismo para la descarga del orificio de fondo se tendrá una carga o caudal definida por la Ecuación 3-2:

$$Q = m * S \sqrt{2gh}$$

Ecuación 3-2

Sea:

*Q*.- Caudal de descarga.

*m*.- Coeficiente de contracción.

*S*.- Área del orificio

*g*.- Gravedad.

*h*.- altura.

$$= \underline{8.8 \text{ m}^3/\text{s}}$$

### 3.9.5 Simulación De La Cuenca Con El Apoyo Del Programa HEC HMS 3.5

#### 3.9.5.1 EL Programa HEC-HMS

EL programa HEC-HMS 3.5 desarrollado por el cuerpo de ingenieros de la armada de Estados Unidos Americanos (US Army Corps of Engineers) funciona de manera distribuida en herramientas que representan elementos discretizados tales como reservorios, canales, cuencas, herramientas de desviación, puntos de salida de cuencas y elementos puntuales que nos dan la posibilidad de conocer el hidrograma en un punto cualquiera del modelo. Recuérdese que existe un punto especialmente conflictivo y por supuesto tomara relevancia al momento de la simulación.

Es como se crean 3 modelos representativos del comportamiento hidráulico e hidrológico a nivel cuenca. Para una misma cuenca, la Cuesta China, se tiene el comportamiento en forma natural como si no existiese desarrollo urbano alguno. Así mismo el comportamiento con el desarrollo urbano actual y en seguida uno más con los elementos SuDS incluidos, el modelo lluvia-escorrimento seleccionada para el análisis de la cuenca es el método de curva del servicio de conservación de suelo en Estados Unidos de América.

El modelo lluvia-escorrimento escogido para estos modelos y aplicable según la norma propuesta fue el método del Soil Conservation Service.

#### 3.9.5.2 El método del Soil Conservation Service o Método De Curva Para Modelos De Lluvia Escorrimento.

El método considera una abstracción inicial, es decir, el escurrimento directo comenzara a producirse una vez que las condiciones de humedad del suelo se vean saturadas, y considera por lo tanto mediante estudios empírico que este abstracción será del 20% de la abstracción máxima que el suelo puede alcanzar. De esta manera la relación entre la abstracción inicial y la total posible es directamente proporcional a la precipitación efectiva o directa con respecto a la precipitación máxima.

Entonces desarrollaron la siguiente ecuación:

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

Ecuación 3-3

Sean:

$\sum P$ .-Precipitación total.

$S$ .- Abstracción Máxima.

$\sum P_n$ .- Precipitación Neta.

Así mismo para representar gráficamente la ecuación anterior para distintos valores de  $S$  existe la siguiente ecuación.

$$CN = \frac{1000}{10 + S}$$

Ecuación 3-4

Sin embargo este numero de curva (CN) dependera de 4 factores:

- Grupo hidrológico de suelo.
- Condición hidrológica.
- Uso de suelo.
- Humedad antecedente.

Para lo cual el Soil Conservation Service otorga tres tablas para las condiciones de humedad antecedentes siguientes:

Cuadro 3-8 Humedad antecedente del Servicio de conservación del suelo.

Grupo	Precipitación total en los 5 días antecedentes (mm)	
	Temporada sin cultivos	Temporada de cultivos
I	< 12.7	< 35.6
II	12.7 a 27.9	35.6 a 53.3
III	> 27.9	> 53.3

Sean de interés especialmente para estos muestreos los valores de CN para el grupo dos, útiles para la aplicación específica en la tormenta del 25 de mayo del 2014 cuyas condiciones de humedad antecedentes se colocan en el grupo II.

Cuadro 3-9 Numero de curva para el grupo II( según humedad antecedente).

Uso del suelo o cubierta vegetal		TIPO DE SUELO			
		A	B	C	D
Bosques (sembrados y cultivados)	Ralo, baja transpiración	45	66	77	83
	Normal, transpiración media	36	60	73	79
	Espeso o alta transpiración	25	55	70	77
Calles y caminos	De terracería	72	82	87	89
	Superficie dura	74	84	90	92
	De grava	76	85	89	91
	Pavimentos	98	98	98	98
Bosques naturales	Muy ralo con baja transpiración	56	75	86	91
	Ralo con baja transpiración	46	68	78	84
	Normal con transpiración media	36	60	70	76
	Espeso con alta transpiración	26	52	62	69
	Muy espeso con alta transpiración	15	44	54	61
Descanso (sin cultivo)	Surcos rectos	77	86	91	94
Cultivos de surco	Surcos rectos	70	80	87	90
	Surcos en curvas de nivel	67	77	83	87
	Terrazas	64	73	79	82
Cereales	Surcos rectos	64	76	84	88
	Surcos en curvas de nivel	62	74	82	85
	Terrazas	60	71	79	82
Leguminosas (sembradas con máquina o a volteo) o potreros de rotación	Surcos rectos	62	75	83	87
	Surcos en curvas de nivel	60	72	81	84
	Terrazas	57	70	78	82
Pastizal	Pobre	68	79	86	89
	Normal	49	69	79	84
	Bueno	39	61	74	80
	Curvas de nivel, pobre	47	67	81	88
	Curvas de nivel, normal	25	59	75	83
	Curvas de nivel, bueno	16	35	70	79
Potrero (permanente)	Normal	30	58	71	78
Espacios abiertos, parques, campos de golf, cementerios, etc.	Buenas condiciones: Pasto en más del 75% de la superficie	39	61	74	80
	Condición regular: pasto den 50% a 75% de la superficie	49	69	79	84
Zonas comerciales	85% de la superficie impermeable	89	92	94	95

Cuadros adaptados de V.T.Chow, D.R. Maidment y L.W. Mays 1988 "hidrologia aplicada, McGraw-Hill, Nueva York, NY.

Se ocupa calcular la abstracción inicial y la máxima abstracción posible para la cual son efectivas las ecuaciones siguientes:

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

Ecuación 3-5

$$I_a = 0.2S$$

Ecuación 3-6

El tiempo de concentración y el tiempo de retraso también son necesarios como parámetros de entrada en el modelo del HEC-HMS 3.5.

$$t_c = 0.3 \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Ecuación 3-7

Sean:

*L*.- Longitud del cauce principal (Km)

*t<sub>c</sub>*.- Tiempo de concentración (horas)

*S*.- Pendiente media (m/m)

$$t_{retraso} = 0.6t_c(\text{horas})$$

Ecuación 3-8

### 3.9.6 Lluvia De Diseño.

Para una lluvia de diseño con periodo de retorno de 10 años utilizando el método de bloques alternos y con la ayuda de la red CIAQ y las mediciones en las estaciones se obtuvo la siguiente distribución lluvia en dos horas.

Cuadro 3-10 Datos para hietogramas para la estación Cimatario y Milenio, método de bloques alternos, periodo de retorno de 10 años.

Para hietograma Cimatario	
Minuto	mm
15	2.0
30	5.2
45	7.1
60	30.3
75	7.8
90	6.1
105	4.7
120	0.8

Para hietograma Milenio	
Minuto	mm
15	2.0
30	5.4
45	6.0
60	30.0
75	6.6
90	5.7
105	4.5
120	1.5

### 3.9.7 Simulación Para Microcuencas En Estado Natural.

Es necesario conocer el comportamiento hidrológico e hidráulico en estado natural para estimar los incrementos tanto en el escurrimiento neto, especialmente en el pico de esorrentía. De esta manera es posible acercarse a un diseño que devuelva la microcuenca Cuesta China, desarrollada urbanamente, a las condiciones de su estado natural. Para ello se distribuyen las áreas naturales de las subcuencas: Cuesta china, Cuenca Estadio, Tánganos I y Tánganos II y el área de aportación caracterizada como el número 4. Y para efectos de modelación también se agregan aquellas subáreas de aportación correspondientes a las áreas urbanas identificadas. Se colocan elementos junction entre cada subárea urbana, que será tratado por un SuDS, y cada reservorio (Bordo de la Cuesta China). Los parámetros utilizados serán aquellos que correspondan a los de bosque natural ralo con las condiciones de lluvia antecedentes que impliquen lluvias ligeras colocando la cuenca en la condición II, usando las tablas II para el numero curva, así mismo para efectos de diseño se utiliza el evento de lluvia con probabilidad de 1 en 10 años (puesto que se pretende diseñar para SuDS con este periodo de retorno que permita interceptar el escurrimiento base y parte de la crecida), y la duración de 2 horas.

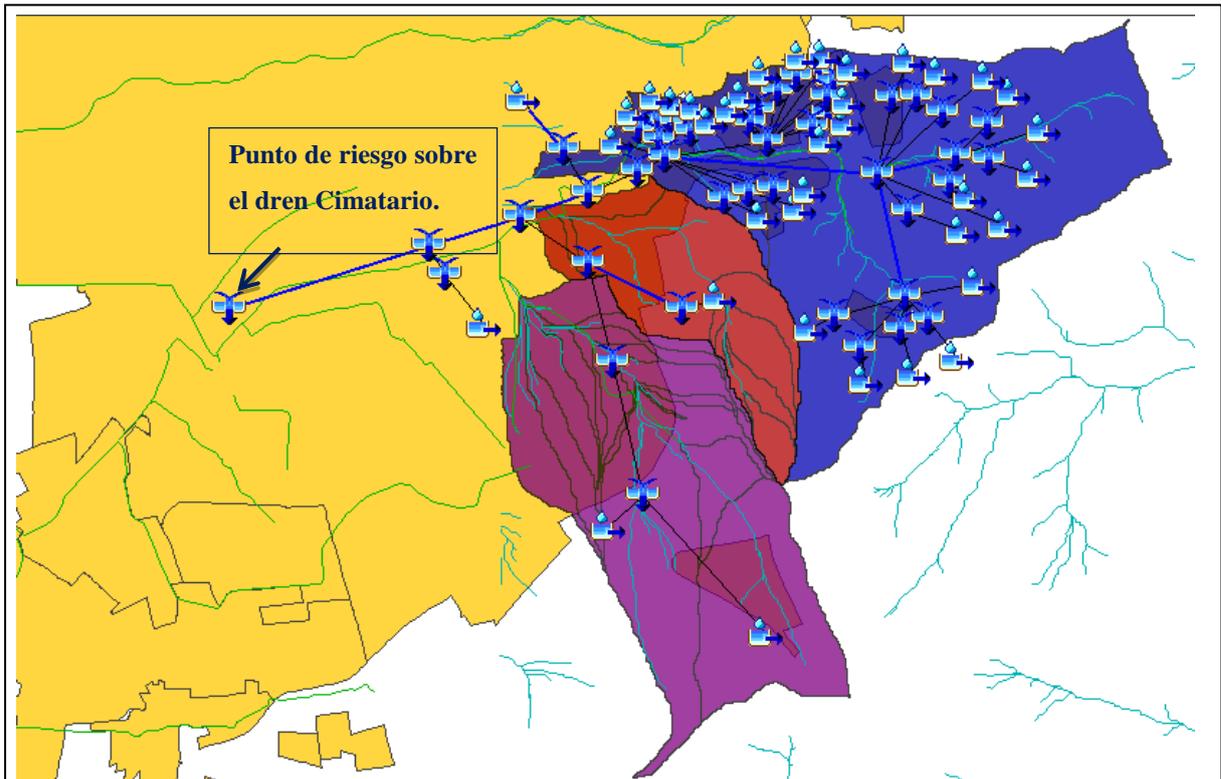


Figura 3-18 Simulación para la cuenca en estado natural.

El junction observado al extremo izquierdo de la imagen representa el escurrimiento en el punto de colapso del dren Cimatario.

Para la operación de los bordos en las microcuencas Tángano I y Tángano II, se utiliza el orificio abierto al 90% y 80% respectivamente cuando el nivel supera los 10 metros.

Al correr la simulación, se observan los siguientes valores de importancia en el Cuadro 3-11.

Cuadro 3-11 Magnitudes de importancia por microcuenca de aportación para la condición actual de urbanización para todas las microcuencas que convergen en el dren Cimatario y con la microcuenca Cuesta China en condiciones naturales.

Elemento	Área	Volumen de salida total(Mm <sup>3</sup> )	Flujo de entrada pico(m <sup>3</sup> /s)	Flujo de salida pico(m <sup>3</sup> /s)	Hora
Estadio	5.087	320.3	-	38.2	20:45
Quintas del Marqués	1.026	70.9	-	7.3	21:45
Central Park, SEP y centro expositor, Villas del Marqués y Villas	3.476	256.8	-	21.1	21:00
Cuesta China	12.33	440.8	-	30.6	21:45
Con rejilla ABIERTA al 90% cuando el nivel supera los 10 metros					
Bordo Tangano I	6.09	361.6	26.4	25.5	21:15
Bordo Tangano II	5.39	319.6	23.7	23.2	21:00
Punto problemático (Dren Cimatario)	28	1099.4	-	41.7	22:45

En cuanto a los nodos donde se encontrarían los bordos que hoy día existen, tenemos que los siguientes valores son de importancia para el estudio hidrológico de la Cuesta China.

Cuadro 3-12 Magnitudes de importancia para los nodos donde se ubicarían los bordos de la microcuenca Cuesta China, en condiciones naturales.

Elemento	Área drenada	Volumen de salida total(Mm <sup>3</sup> )	Flujo de entrada pico(m <sup>3</sup> /s)	Flujo de salida pico(m <sup>3</sup> /s)	Hora
Cuesta China I	12.33	440.8	-	30.6	21:45
Cuesta China II	1.026	130.1	-	13	21:00
Cuesta China III	3.476	136.8	-	11.1	21:15
Cuesta China IV	11	380.2	-	30.7	21:15

A continuación se observa en la Figura 3-19 y Figura 3-20 el comportamiento de los bordos tângano I y Tângano II, este último conectado aguas abajo con el primero.

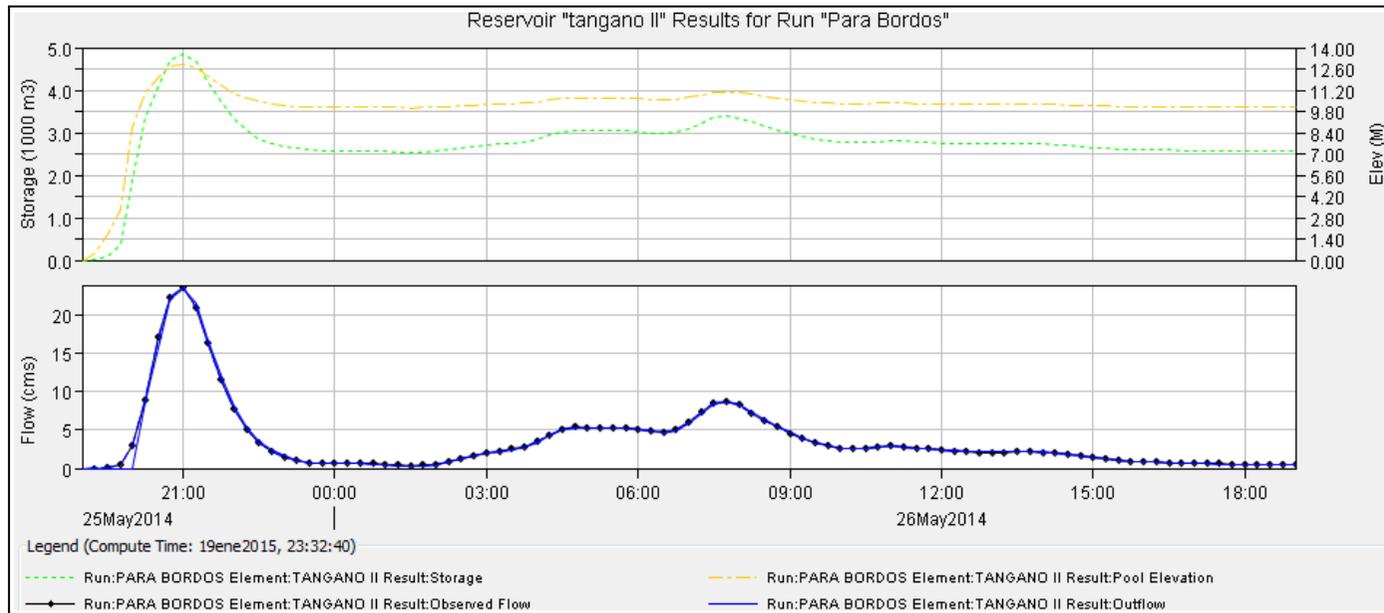


Figura 3-19 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del nodo correspondiente al bordo Tángano I. Condiciones Naturales.

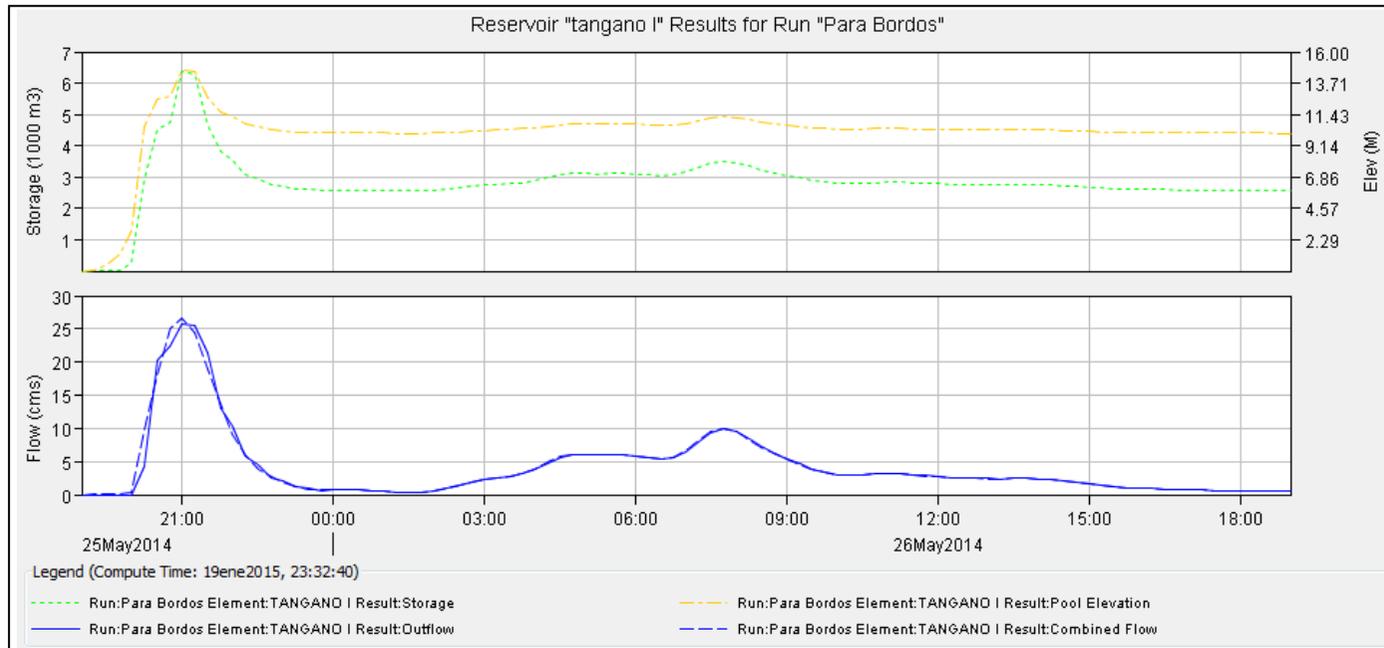


Figura 3-20 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Tángano II. Condiciones Naturales.

### 3.9.8 Simulación Para Microcuencas Con Desarrollo Urbano, Situación Actual.

Para conocer el comportamiento hidrológico e hidráulico en esta zona del Estado de Querétaro, compuesta por microcuencas urbanizadas, el modelo es similar al de la zona en estado natural, sin embargo ahora la cuesta china tendrá 4 elementos reservorio para representar los bordos. Nuevamente se utiliza el evento de lluvia con periodo de retorno de 10 años y duración de 2 horas.

Para la operación de los bordos en las microcuencas Tángano I y Tángano II, se utiliza el orificio abierto al 90% y 80% respectivamente cuando el nivel supera los 10 metros.

Cuadro 3-13 Magnitudes de importancia por microcuenca de aportación para la condición actual de urbanización para todas las microcuencas que convergen en el dren Cimatario.

Elemento	Área	Volumen de salida total(Mm <sup>3</sup> )	Flujo de entrada pico(m <sup>3</sup> /s)	Flujo de salida pico(m <sup>3</sup> /s)	Hora
Estadio	5.087	320.3	-	38.2	20:45
Quintas del Marqués	1.026	70.9	-	7.3	21:45
Central Park, SEP y centro expositor, Villas del Marqués y Villas del sol	3.476	256.8	-	21.1	21:00
Cuesta China	12.33	560.7	-	39	21:15
Tangano I con orificio ABIERTO al 90%					
Tangano II con orificio ABIERTO al 80% cuando el nivel supera los 10 metros					
Bordo Tangano I	6.09	359	25.6	24.9	21:15
Bordo Tangano II	5.39	317.1	22.5	23.7	21:00
Punto problemático (Dren Cimatario)	28	1527.9	-	73.9	22:45

También es importante analizar a más detalle los elementos de la Cuesta China pues es esta la zona en la que se proyectaran las obras de drenaje sustentable. Observese el Cuadro 3-14.

Cuadro 3-14 Magnitudes de importancia para los bordos de la microcuenca Cuesta China, en condiciones urbanizadas.

Elemento	Área drenada	Volumen de salida total(Mm <sup>3</sup> )	Flujo de entrada pico(m <sup>3</sup> /s)	Flujo de salida pico(m <sup>3</sup> /s)	Hora
Cuesta China I	12.33	560.7	39.2	39	21:15
Cuesta China II	1.026	164.2	17.8	16.6	21:00
Cuesta China III	3.476	168.9	14.6	13.4	20:45
Cuesta China IV	11	462	38.3	37.8	21:15

Así para el bordo Cuesta China II resulta conveniente abrir la el orificio al 60% cuando el nivel supere los 9 metros. Se muestra el comportamiento del bordo en la Figura 3-21, almacenando alrededor de 1000 m<sup>3</sup> y llegando a un pico de caudal de 16.6 m<sup>3</sup>/s., una amortiguación mínima del pico por solo 1 m<sup>3</sup>/s.

Para el bordo Cuesta China III resulta conveniente abrir el orificio al 60% cuando el nivel supere los 6 metros. Se observa el comportamiento del bordo en la Figura 3-22, almacenando alrededor de 1000 m<sup>3</sup> y llegando a un pico de caudal de 13.4 m<sup>3</sup>/s., una amortiguación mínima del pico por solo 1.2 m<sup>3</sup>/s.

Para el bordo Cuesta China IV, que recibe así mismo las aguas de los bordos II y III, resulta insuficiente el orificio propuesta de 2.4 m<sup>2</sup> de área, y se sugiere que exista para la modelación un orificio de 50% más grande es decir 3.6 m<sup>2</sup>, entonces se sugiere abrir el orificio 100% cuando el nivel supere los 9 metros. Se observa el comportamiento del bordo en la Figura 3-23, almacenando alrededor de 1000 m<sup>3</sup> y llegando a un pico de caudal de 37.8 m<sup>3</sup>/s., una amortiguación mínima del pico por solo 0.5 m<sup>3</sup>/s.

Para el bordo Cuesta China I, que recibe así mismo las aguas de los bordos II, III y IV, resulta insuficiente el orificio propuesto de 2.4 m<sup>2</sup> de área, y se sugiere que exista para la modelación un orificio 50% más grande es decir 3.6 m<sup>2</sup>, entonces se sugiere abrir el orificio 100% durante todo el evento o al alcanzar el nivel los 3 metros. . Se observa el comportamiento del bordo en la Figura 3-24, almacenando alrededor de 1000 m<sup>3</sup> y llegando a un pico de caudal de 39 m<sup>3</sup>/s., una amortiguación mínima del pico por solo 0.2 m<sup>3</sup>/s

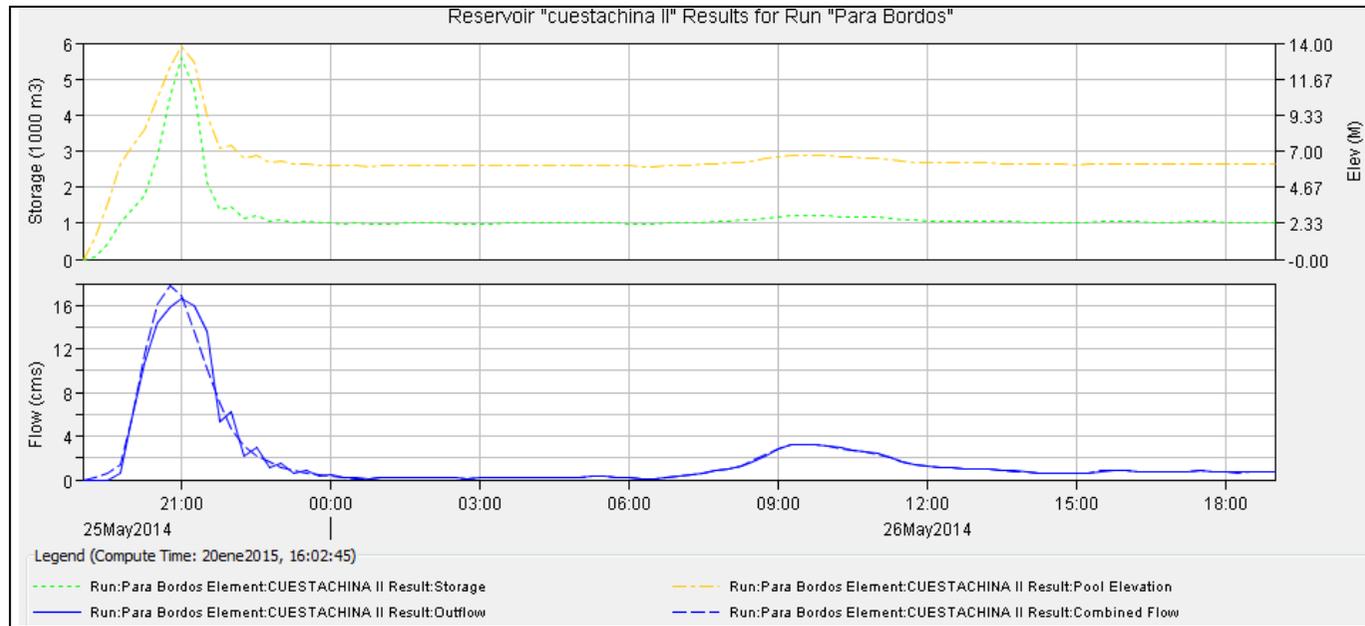


Figura 3-21 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China II. Condiciones urbanizadas.

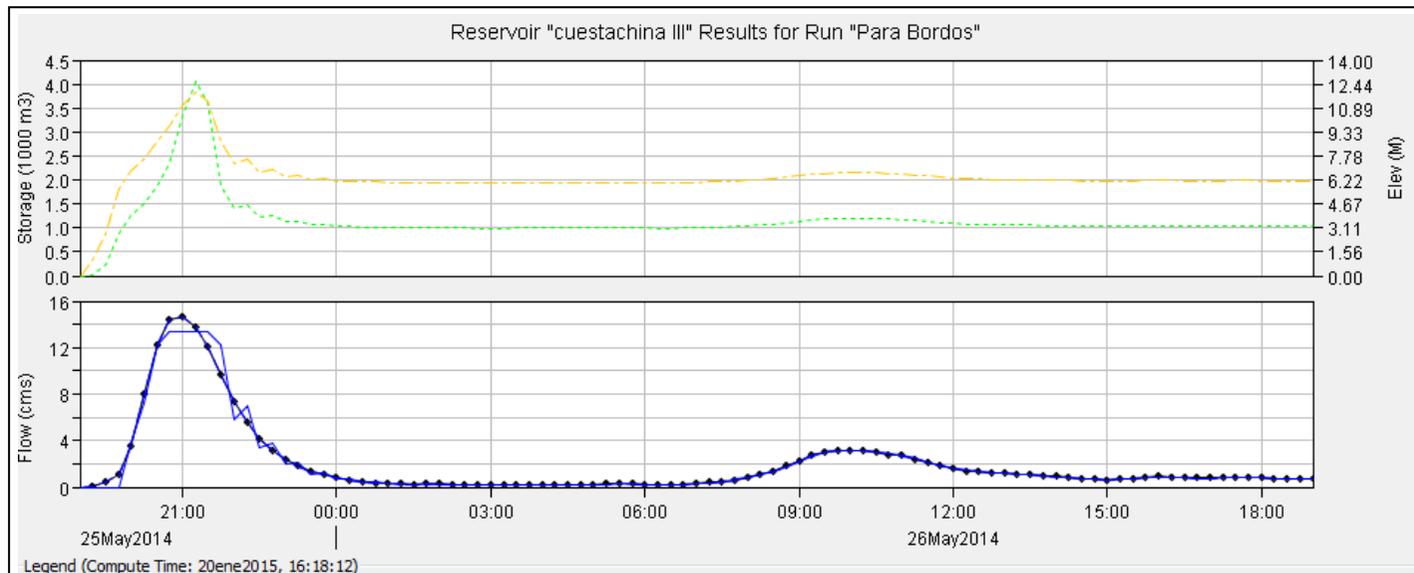


Figura 3-22 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China III. Condiciones urbanizadas.

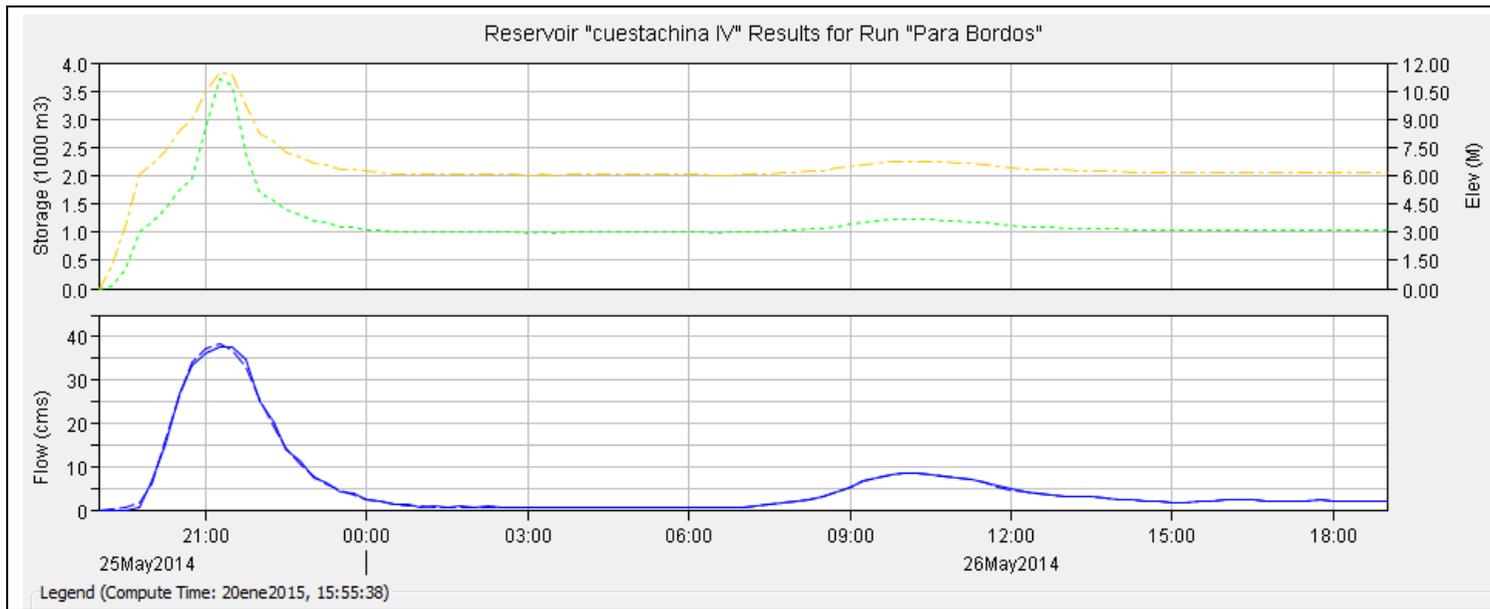


Figura 3-23 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China IV. Condiciones urbanizadas.

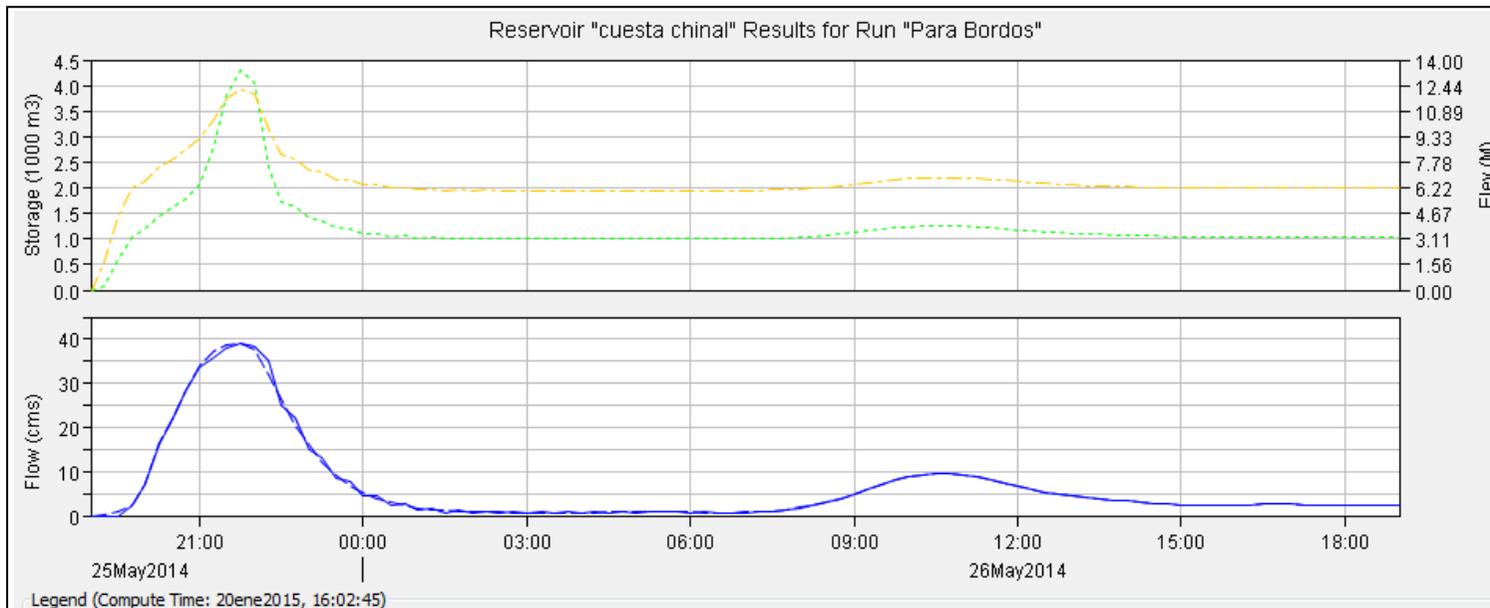


Figura 3-24 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China I. Condiciones urbanizadas.

### 3.9.8.1 Aplicación de la normatividad:

Usando el Cuadro 3-3. Recomendaciones para sitio A que afecta a sitio B, tomando en cuenta su categoría de escurrimiento en exceso para reglamento de drenaje urbano.

RECOMENDACIONES PARA SITIO A QUE AFECTA A SITIO B						
Sitio A	Sitio B					
	1	2	3	4	5	6
	10-100	100-1000	1000-10000	10 000-100 000	100 000-1 000 000	>1 000 000
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	AR	AR	AR
3	AR	AR	BV	BV	BV	BV
4	BV	MV	MV	MAV	MAV	MAV
5	MV	MV	MV	MAV	MAV	AV
6	MAV	MAV	MAV	AV	AV	AV

AR.- Acciones correctivas(recomendadas para todos los desarrollos, pero obligatoria para los casos que se especifique con AR y no un '-', obligatoria así mismo para los casos que correspondan a BV,MV,MAV).

BV.- Uso de técnicas SuDS para bajos volúmenes de escorrentía y acciones correctivas, el porcentaje de reducción de escurrimientos directo por efectos de urbanización con respecto al escurrimiento directo natural no debe ser inferior al 80% del volumen.

MV.- Uso de técnicas SuDS para volúmenes medianos de escorrentía y acciones correctivas, el porcentaje de reducción de escurrimientos directo por efectos de urbanización con respecto al escurrimiento directo natural no debe ser inferior al 90% del volumen.

MAV.- Uso de técnicas SuDS para volúmenes medio altos de escorrentía, y acciones correctivas, el porcentaje de reducción de escurrimientos directo por efectos de urbanización con respecto al escurrimiento directo natural debe ser total (100%).

AV.- Uso de técnicas SuDS para altos volúmenes de escorrentía, y acciones correctivas, el porcentaje de reducción de escurrimientos directo por efectos de urbanización con respecto al escurrimiento directo natural debe ser total (100%).

En la Simulación sin desarrollo urbano, la microcuenca Cuesta China genera 440 800 m<sup>3</sup> de escorrentía directa, lo cual lo coloca en la categoría 5, también las microcuencas inmediatas aguas abajo, Estadio y Quintas del Marqués cuentan con una escorrentía directa total de 391 200 m<sup>3</sup>, por lo cual las acciones a emplear son aquellas para volúmenes medio altos de escorrentía.

#### ACCIONES PARA MEDIO ALTO VOLUMEN DE ESCORRENTÍA (MAV).

##### Acciones generales.

##### Zonas urbanas y semiurbanas, Industrial y de servicios.

- Estabilización de taludes con vegetación, así mismo se recomienda escalonamiento.
- Usar bordos perimetrales para protección.
- Se recomienda el control en la fuente y el control en el sitio, para ambas situaciones de ubicación, aguas arriba y aguas abajo. Sin embargo se acepta el uso de control regional, si el sitio está en una situación de afectación por actividades aguas arriba, y afectando a un tercer sitio aguas abajo.

### AGUAS ARRIBA.

Uso de técnicas SuDS para volúmenes medio altos de escorrentía, y acciones correctivas, el porcentaje de reducción de escurrimientos directo por efectos de urbanización con respecto al escurrimiento directo natural debe ser total (100%). Se admiten dos opciones: que se intercepte gran parte del escurrimiento base o que se intercepte la primera parte del escurrimiento provocado por la tormenta.

Para zonas con lluvia intensa, lluvias torrenciales, se recomienda diseñar para interceptar el escurrimiento base. Propósito que se logra con obras de retención diseñadas especialmente para un periodo de retorno de 5 años y duración adecuada al comportamiento hidrológico de la cuenca y las características del proyecto.

Para zonas con lluvias de menor intensidad se recomienda interceptar las primeras partes de las tormentas. Propósito que es logrado con dispositivos de capacidad limitada (reducción de diámetros como un ejemplo) con periodo de retorno de 10 años y duración adecuada al comportamiento hidrológico de la cuenca y las características del proyecto.

Acciones:

- Desconexión de bajo impacto de áreas impermeables.
- Zanja de infiltración completa.
- Humedales.
- Estanques de infiltración
- Pozos de infiltración con decantador, sistema de retención de contaminantes metales, aceites, grasa y solidos suspendidos. Además un sistema de rebase.
- Pavimentos porosos de infiltración en el sitio o de infiltración en drenes para su disposición final en estanques, pozos de infiltración, drenaje, obras de tratamiento, humedales o lagunas de retención.
- Trampas de contaminantes gruesos.

### AGUAS ABAJO.

**Crítico.** Se diseña para interceptar en su totalidad el escurrimiento por tormentas pequeñas, es decir el escurrimiento máximo para un periodo de retorno de 5 años. Además se evaluara la necesidad o no, de interceptar también una parte de la crecida por eventos extremos, como en caso de lluvias intensas.

**No crítico.** Se diseña para interceptar las crecidas del caudal por efectos de la urbanización para un Tr 10 años, las obras que retengan el volumen de escurrimiento se pueden ubicar en cualquier punto de la red.

Acciones:

- Desconexión de bajo impacto de áreas impermeables.
- Zanja de infiltración completa.
- Pozos de infiltración con decantador, sistema de retención de contaminantes metales, aceites, grasa y solidos suspendidos. Además de sistema de rebase.
- Trampas de contaminantes gruesos.
- Estanques de infiltración.

Ya se cuenta con 4 embalses o bordos que regulan el flujo de agua aguas abajo, y proponemos también una serie de técnicas SuDS que funjan como bordos pequeños y almacenamientos permanentes del agua para su infiltración o utilización dentro de la cuenca. Así mismo se recomienda un mejoramiento del total de las áreas no urbanizadas de tal manera que su número de curva se pueda ajustar a 75 es decir de un bosque natural con mejores capacidad de retención e infiltración, porque si bien la zona es de selva caducifolia con suelo ralo de poca infiltración, se pueden usar técnicas que ayuden a mejorar la retención de los mismos, tales como terrazas de infiltración, estabilización de taludes con vegetaciones, zonas de infiltración específicas, bordos vivos, etc.

### 3.9.9 Simulación Para Microcuencas Con Técnicas SuDS.

Para modelar en HEC HMS 3.5 carece de importancia el tipo de técnica SuDS que se empleara y los requerimientos técnicos de las mismas, puesto que un primer momento lo que se necesita saber es que cantidad de agua es posible almacenar y como modificar los patrones de flujo de tal manera que el pico de escorrentía en el punto afectado disminuya, pues la sobrecapacidad dependerá directamente no del volumen total escurrido sino del caudal máximo que fluya en un momento dado.

Para ello se buscaron áreas en el desarrollo urbano, apoyándose con Google Earth, donde sea posible ubicar posibles obras SuDS regionales. Si bien se ha mencionado que las obras deben ser preferiblemente de sitio, la simulación para un área tan grande se complica. Para efectos de simulación se usaron las mismas tormentas que el modelo natural y el modelo urbano, procediendo a ubicar las células SuDS que recibirán un flujo determinado por un derivador y que almacenan el volumen cuya capacidad les permite a la vez derivar el volumen extra que pudiera sobrepasarlos. El modelo semidistribuido se observa en la figura Figura 3-25.

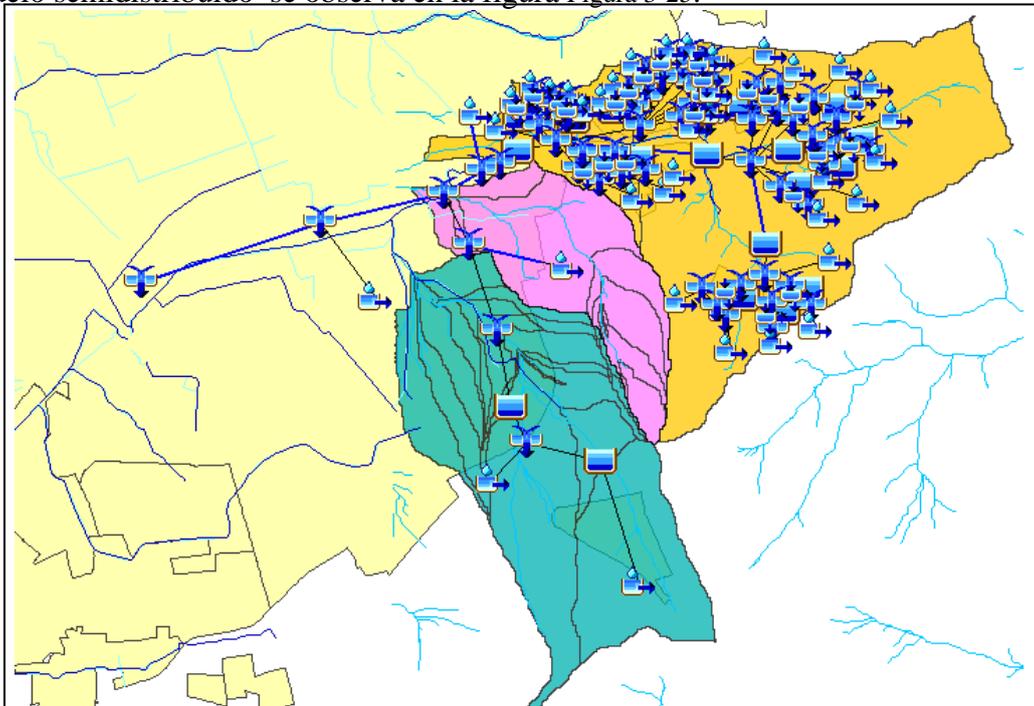


Figura 3-25 Simulación con Técnicas SuDS en HEC HMS 3.5.

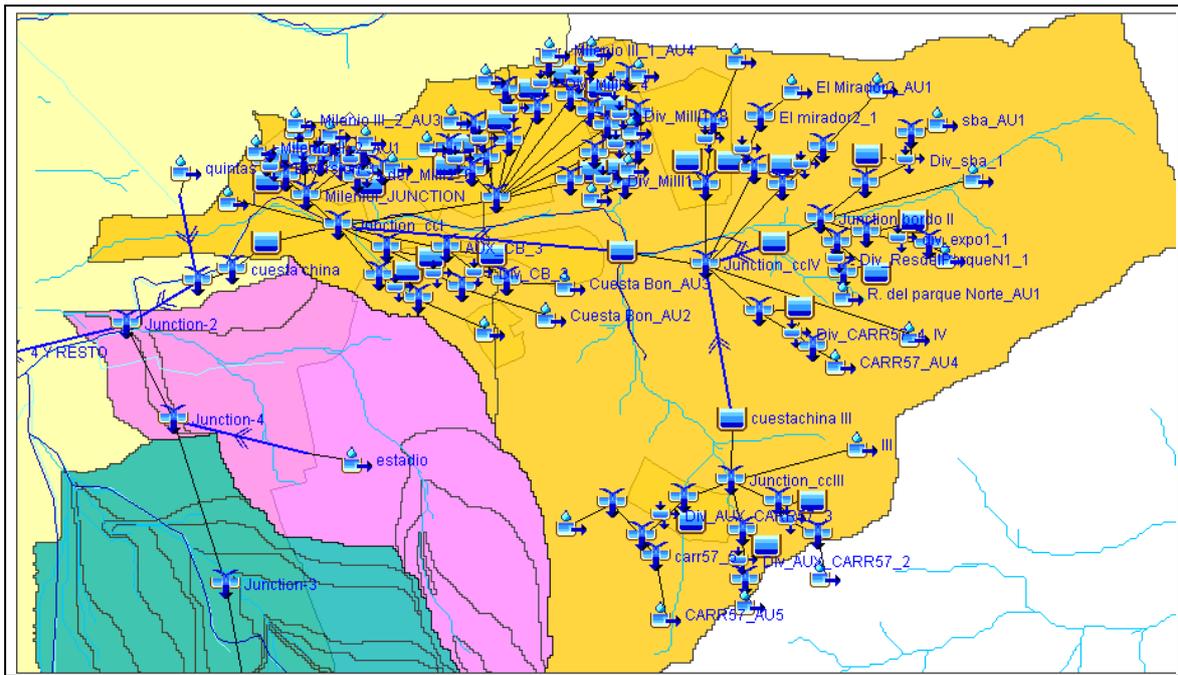


Figura 3-26 Acercamiento a la zona correspondiente a la Cuesta China en el Simulación con Técnicas SuDS en HEC HMS 3.5.

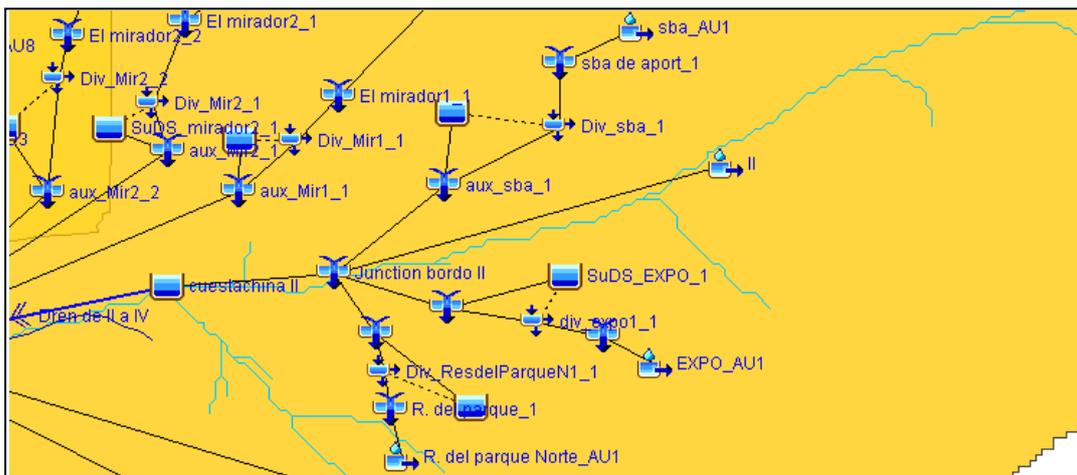


Figura 3-27 Acercamiento a la zona correspondiente al bordo II en la Cuesta China en el Simulación con Técnicas SuDS en HEC HMS 3.5.

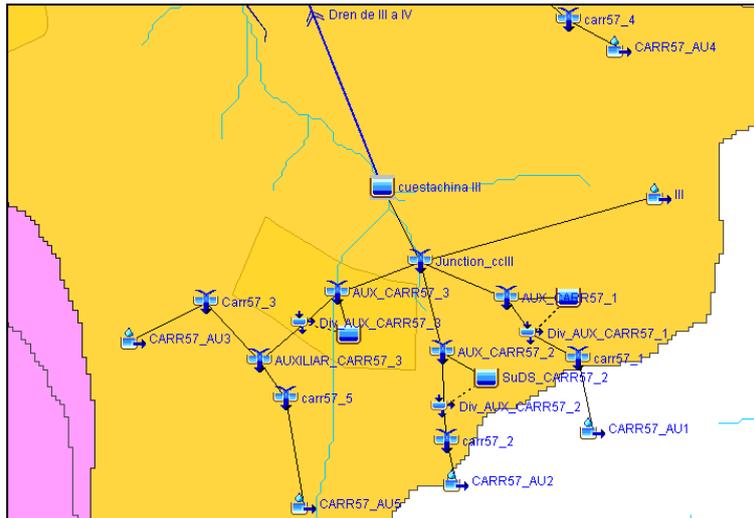


Figura 3-28 Acercamiento a la zona correspondiente al borde III en la Cuesta China en el Simulación con Técnicas SuDS en HEC HMS 3.5.

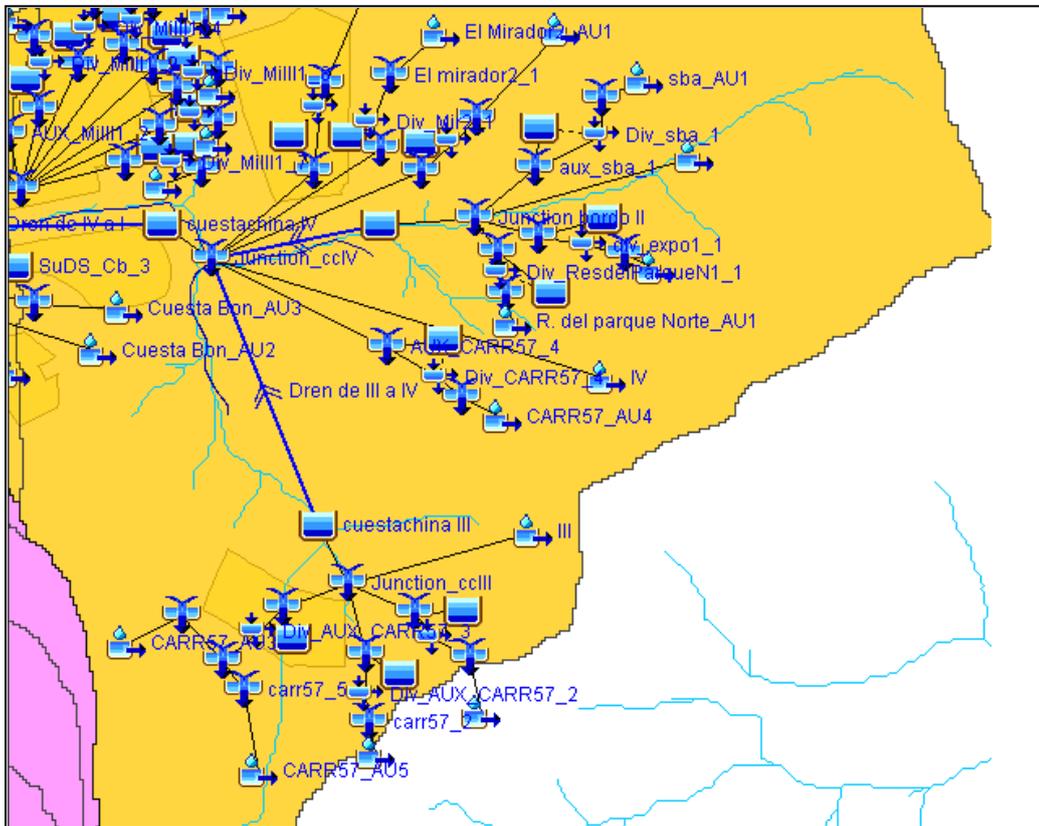


Figura 3-29 Acercamiento a la zona correspondiente al borde IV en la Cuesta China en el Simulación con Técnicas SuDS en HEC HMS 3.5.

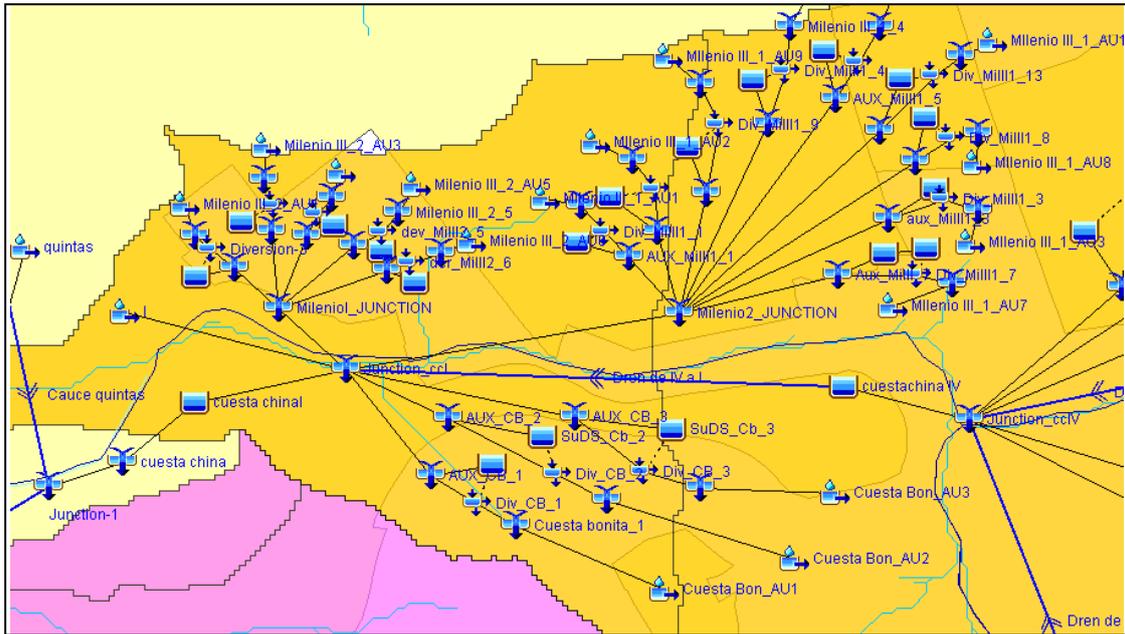


Figura 3-30 Acercamiento a la zona correspondiente al bordo I en la Cuesta China en el Simulación con Técnicas SuDS en HEC HMS 3.5.

### 3.9.9.1 Diseño de las obras estructurales de drenaje pluvial sustentable.

El incremento del pico de escorrentía entre el modelo natural y el modelo urbano, durante un tiempo de 0.7 veces el tiempo de concentración, definió los almacenamientos, sin embargo muchas veces el espacio disponible era insuficiente y se modelaron de tal manera que dejara escurrir excedencias.

Así comenzando aguas arriba de la microcuenca las técnicas SuDS viables se resumen en los siguientes cuadros.

Cuadro 3-15 Áreas urbanas de aportación para el bordo II en la microcuenca Cuesta China.

Cuadro 3-16 Áreas urbanas de aportación para el bordo III en la microcuenca Cuesta China.

CUESTA CHINA II														
Region a la que corresponden las areas:														
	Areas Urbanas m <sup>2</sup>	NATURAL			URBANO			Apico de escorrentia	tc (horas)	tp	V <sub>tiempo pico</sub> (Mm3)	Profundidad necesaria	Profundidad para proyecto	Posible Tipo de SuDS
		Areas disponibles para SuDS m <sup>2</sup>	Areas Urbanas km <sup>2</sup>	Areas disponibles para SuDS km <sup>2</sup>	Pico de escorrentia (m <sup>3</sup> /s)	Flujo de salida total (mm)	Pico de escorrentia (m <sup>3</sup> /s)							
Residencial del parque	59711.393	1028.286	0.0597	0.0010	1.7	23.38	7.7	75.71	6.7	0.707	1781.40	11.94	11.61	4 Estanque
Subarea de aportacion	141935.435	1537.159	0.1419	0.0015	0.8	35.23	2.2	75.91	1.2	1.219	3071.71	3.69	2.40	3 Estanque
Exponentro AU1	662342.692	1381.465	0.6623	0.0014	2.3	34.82	6.5	75.38	5.5	1.219	3071.71	16.89	12.23	4 Estanque

CUESTA CHINA III																
Region a la que corresponden las areas:																
	Areas disponibles para SuDS m <sup>2</sup>	Areas Urbanas km <sup>2</sup>	NATURAL			URBANO			Apico de escorrentia	tc (horas)	tp	V <sub>tiempo pico</sub> (m3)	V <sub>tiempo pico</sub> (Mm3)	Profundidad necesaria para el almacenamiento	Profundidad para proyecto de almacenamiento	Tipo SuDS
			Areas disponibles para SuDS km <sup>2</sup>	Pico de escorrentia (m <sup>3</sup> /s)	Flujo de salida total (mm)	Pico de escorrentia (m <sup>3</sup> /s)	Flujo de salida total (mm)									
CARR57_AU1	3182.9310	0.3513	0.00318	1.3	34.89	3.6	75.47	2.3	1.074	2705.89	6223.55	6.22	1.96	2	sistema de bioretencion	
CARR57_AU2	3424.7250	0.2853	0.00342	1.1	34.89	3	75.47	1.9	1.074	2705.89	5141.20	5.14	1.66	1.5	sistema de bioretencion	
CARR57_AU5		0.0251	descarga a S	0.1	34.89	0.3	75.47	0.2	1.074	2705.89	541.18	0.54				
CARR57_AU3	819.9580	0.1547	0.00082	0.6	34.89	1.6	75.47	1	1.074	2705.89	2705.89	2.71	3.96	3	estanque de filtracion	

Cuadro 3-17 Áreas de urbanas de aportación para el bordo IV en la microcuenca Cuesta China

CUESTA CHINA IV													
Región a la que corresponden las áreas:			NATURAL		URBANO								
	Áreas Urbanas km <sup>2</sup>	Áreas disponibles para SuDS km <sup>2</sup>	Pico de escorrentía (m <sup>3</sup> /s)	Flujo de salida total (mm)	Pico de escorrentía (m <sup>3</sup> /s)	Flujo de salida total (mm)	Apico de escorrentía	tc (horas)	tp	V <sub>tempo pico</sub> (Mm <sup>3</sup> )	Profundidad necesaria para el almacenamiento	Profundidad para proyecto de almacenamiento	Tipo SuDS
CARR57_AU4	0.03004005	0.00022832	0.1	34.98	0.3	75.47	0.2	1.074	2705.89	0.54	2.37		Laguna de retención
El Mirador AU1	0.32503037	0.00131306	1.3	34.98	3.8	75.58	2.5	0.910	2293.35	5.73	4.37	3.5	Estanque de filtración
El Mirador 2 AU1	0.12328604	0.00227747	0.5	34.98	1.4	75.58	0.9	0.910	2293.35	2.06	0.91	1.5	sistema de bioretención
El Mirador 2 AU2	0.40096169	0.00171057	1.6	34.98	4.6	75.58	3	0.910	2293.35	6.88	4.02	3.5	estanque circular

Cuadro 3-18 Áreas de urbanas de aportación para el bordo I en la microcuenca Cuesta China

CUESTA CHINA I													
Región a la que corresponden las áreas:			NATURAL		URBANO								
	Áreas Urbanas km <sup>2</sup>	Áreas disponibles para SuDS km <sup>2</sup>	Pico de escorrentía (m <sup>3</sup> /s)	Flujo de salida total (mm)	Pico de escorrentía (m <sup>3</sup> /s)	Flujo de salida total (mm)	Apico de escorrentía	tc (horas)	tp	V <sub>tempo pico</sub> (Mm <sup>3</sup> )	Profundidad necesaria	Profundidad para proyecto	Tipo SuDS
Cuesta Bonita AU1	0.042	0.00018	0.2	35.07	0.6	75.8	0.4	0.62	1553.56	0.62	0.00		3 estanque
Cuesta Bonita AU2	0.034	0.00020	0.2	35.07	0.5	75.8	0.3	0.62	1553.56	0.47	2.34		2 biofiltro
Cuesta Bonita AU3	0.032	0.00013	0.1	35.07	0.5	75.8	0.4	0.62	1553.56	0.62	4.96		4 estanque
Milenio 1 AU1	0.072	0.00013	0.3	35.07	0.9	75.7	0.6	0.72	1817.35	1.09	8.12		4 estanque
Milenio 1 AU2	0.075	0.00009	0.3	35.07	1	75.7	0.7	0.72	1817.35	1.27	14.13		4 estanque
Milenio 1 AU3	0.059	0.00011	0.3	35.07	0.7	75.7	0.4	0.72	1817.35	0.73	6.71		4 estanque
Milenio 1 AU4	0.056	0.00018	0.2	35.07	0.7	75.7	0.5	0.72	1817.35	0.91	4.96		4 estanque
Milenio 1 AU5	0.077	0.00043	0.3	35.07	1	75.7	0.7	0.72	1817.35	1.27	2.98		2 estanque
Milenio 1 AU7	0.014	0.00044	0.1	35.07	0.2	75.7	0.1	0.72	1817.35	0.18	0.42		0.5 biofiltro
Milenio 1 AU8	0.010	0.00049	0	35.07	0.1	75.7	0.1	0.72	1817.35	0.18	0.37		1 biofiltro
Milenio 1 AU9	0.083	0.00056	0.4	35.07	1.1	75.7	0.7	0.72	1817.35	1.27	2.28		2 biofiltro
Milenio 1 AU13	0.062	0.00018	0.3	35.07	0.8	75.7	0.5	0.72	1817.35	0.91	4.94		4 estanque
Milenio 2 AU1	0.009	0.00192	0	35.07	0.1	75.7	0.1	0.72	1817.35	0.18	0.09		0.5 biofiltro
Milenio 2 AU3	0.012	0.00052	0.1	35.07	0.2	75.7	0.1	0.72	1817.35	0.18	0.35		0.5 biofiltro
Milenio 2 AU4	0.151	0.00044	0.7	35.07	1.9	75.7	1.2	0.72	1817.35	2.18	4.97		3 estanque
Milenio 2 AU5	0.127	0.00046	0.6	35.07	1.6	75.7	1	0.72	1817.35	1.82	3.92		3 estanque
Milenio 2 AU6	0.051	0.00026	0.2	35.07	0.6	75.7	0.4	0.72	1817.35	0.73	2.83		2 biofiltro

Se generó también la información para componer los vasos de almacenamiento de cada obra SuDS, para ingresarlos posteriormente al programa. Toda esta información se encuentra en el apéndice “MEMORIA DE CALCULO”.

Para correr el modelo y diseñar los dispositivos de salida de las técnicas SuDS se utilizó el evento de lluvia con periodo de retorno de 10 años y duración de dos horas. En concordancia con los dos modelos anteriores y con las indicaciones dadas en la norma.

Para la operación de los bordos, los bordos de las microcuencas Tángano I y Tángano II, se conservan como en los modelos natural y urbanizado simple, y para los bordos de la cuesta china se usa como sigue:

Para el bordo Cuesta China II resulta conveniente abrir el orificio al 40% cuando el nivel supere los 9 metros. Se observa el comportamiento del bordo en la Figura 3-31, almacenando alrededor de 2000 m<sup>3</sup> y llegando a un pico de caudal de 10.7 m<sup>3</sup>/s., una amortiguación mínima del pico por solo 0.7 m<sup>3</sup>/s. Sin embargo el almacenamiento de agua es del doble comparado con la cuenca urbanizada con lo que observamos un mejor comportamiento del bordo

Para el bordo Cuesta China III resulta conveniente abrir el orificio al 40% cuando el nivel supere los 10 metros. Se observa el comportamiento del bordo en la Figura 3-34, almacenando alrededor de 2000 m<sup>3</sup> y llegando a un pico de caudal de 10.6 m<sup>3</sup>/s., una amortiguación mínima del pico por solo 0.8 m<sup>3</sup>/s.

Para el bordo Cuesta China IV resulta conveniente abrir el orificio al 100% cuando el nivel supere los 9 metros. Se observa el comportamiento del bordo en la Figura 3-33, almacenando alrededor de 2000 m<sup>3</sup> y llegando a un pico de caudal de 28.4 m<sup>3</sup>/s., una amortiguación mínima del pico por solo 0.3 m<sup>3</sup>/s.

Para el bordo Cuesta China I resulta conveniente abrir el orificio al 100% cuando el nivel supere los 9 metros. Se observa el comportamiento del bordo en la Figura 3-34, almacenando alrededor de 1000 m<sup>3</sup> y llegando a un pico de caudal de 27.7 m<sup>3</sup>/s., una amortiguación mínima del pico por solo 0.6 m<sup>3</sup>/s.

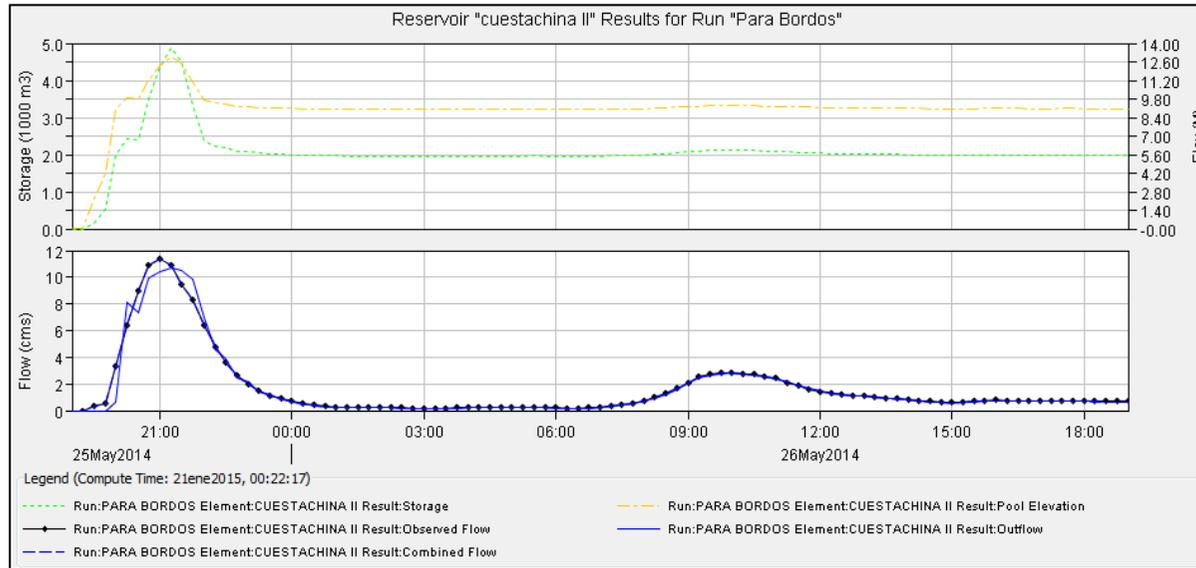


Figura 3-31 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China II. Condición urbanizada intervenida con técnicas SuDS.

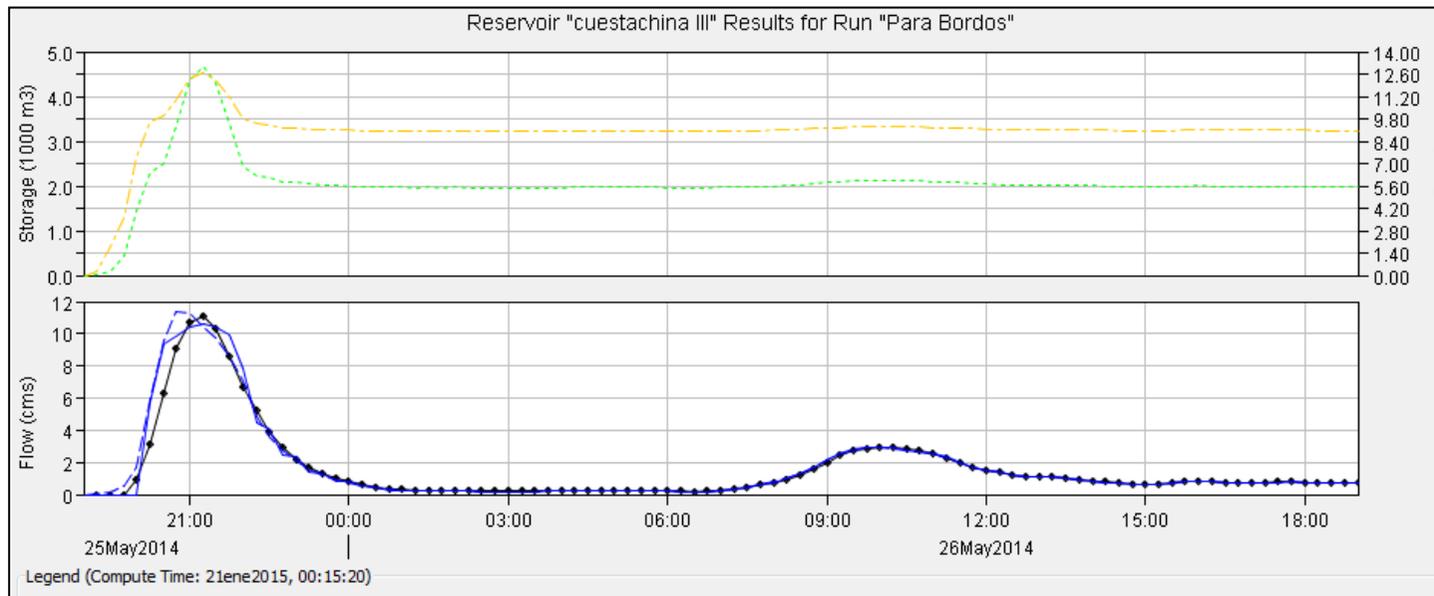


Figura 3-32 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China III. Condición urbanizada intervenida con técnicas SuDS.

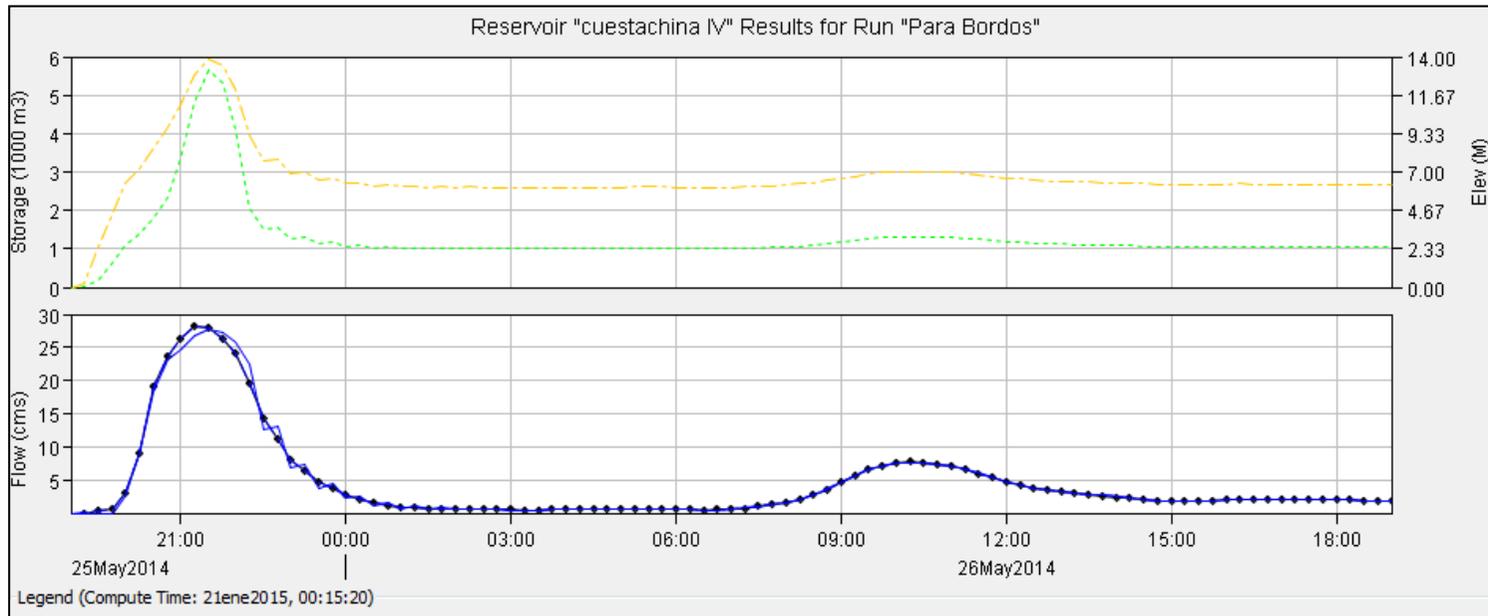


Figura 3-33 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China IV. Condición urbanizada intervenida con técnicas SuDS.

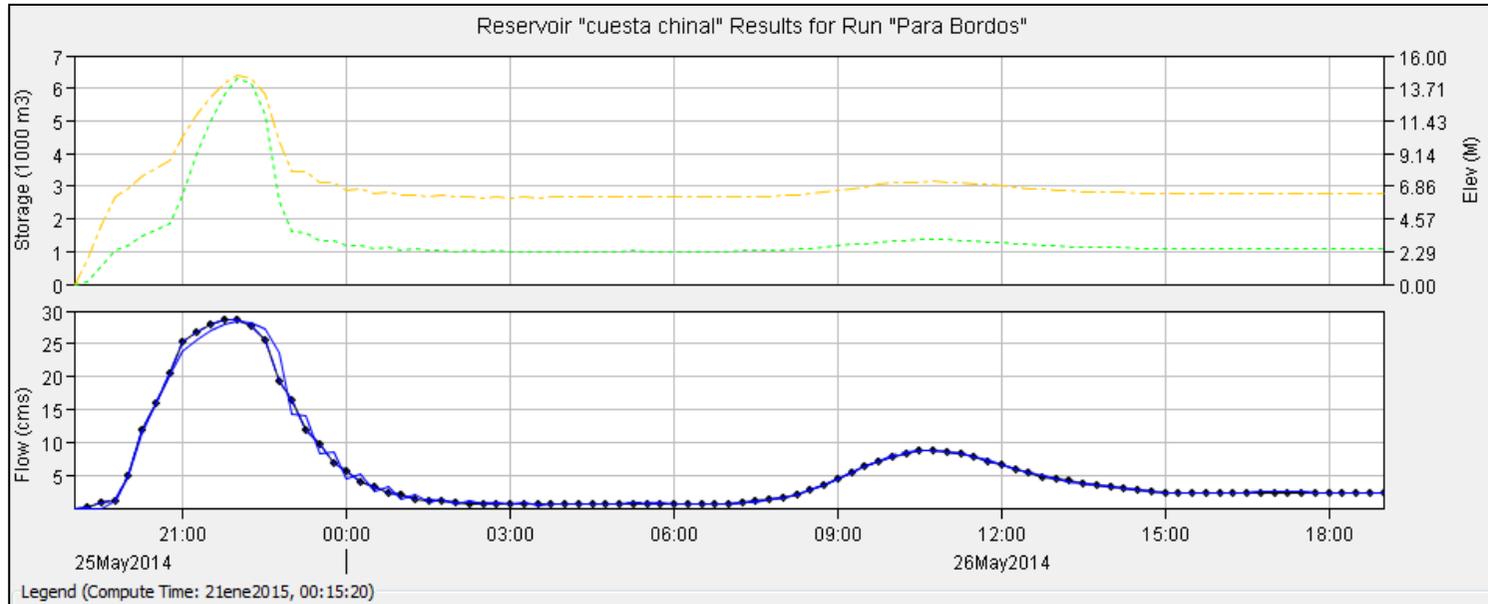


Figura 3-34 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China I. Condición urbanizada intervenida con técnicas SuDS.

Una vez calibrado el modelo para la simulación con técnicas SuDS se rescatan valores fundamentales para el análisis en el cuadro.

Cuadro 3-19 Magnitudes de importancia por microcuenca de aportación para la condición actual de urbanización para todas las microcuencas que convergen en el dren Cimatario y con la microcuenca Cuesta China intervenida con Técnicas SuDS.

Elemento	Área drenada	Volumen de salida total(Mm <sup>3</sup> )	Flujo de entrada pico(m <sup>3</sup> /s)	Flujo de salida pico(m <sup>3</sup> /s)	Hora
Estadio	5.087	560.7	-	39	21:45
Quintas del Marqués	1.026	164.2	-	16.6	21:00
Central Park, SEP y centro expositor, Villas del Marqués y Villas del sol	3.476	168.9	-	13.4	20:45
Tangano I Con orificio ABIERTO al 90%					
Tangano II Con orificio ABIERTO al 80% cuando el nivel supera los 10 metros					
Bordo Tangano I	6.09	359	25.6	24.9	21:15
Bordo Tangano II	5.39	317.1	22.5	23.7	21:00
Cuesta China I con orificio abierto al 100%, a partir del nivel 9m					
Cuesta China II con orificio abierto al 40%, a partir del nivel 10m					
Cuesta China III con orificio abierto al 40%, a partir del nivel 10m					
Cuesta China IV orificio abierto al 100%, a partir del nivel 9m					
Cuesta China I	12.33	481.5	28.7	28.4	22:00
Cuesta China II	1.026	139.6	11.4	10.7	21:15
Cuesta China III	3.476	142.7	11.4	10.6	21:15
Cuesta China IV	11	394.4	28.3	27.7	21:30
Punto problemático (Dren Cimatario)	28	1447.8	-	54.7	23:00

### 3.9.10 Simulación De Microcuencas Urbanas Con Técnicas SuDS Para La Tormenta Del 25 De Mayo Del 2014.

Una vez listo y calibrado el modelo con desarrollo urbano y técnicas SuDS de almacenamiento, es posible observar el comportamiento con tormentas reales como aquella que sucedió el 25 de mayo del 2014 y que fue de impacto en la ciudad de Querétaro.

La distribución del evento de lluvia que aconteció el 25 de mayo del 2014 es la siguiente:

Cuadro 3-20 Precipitación del 25 de mayo del 2014

MILENIO	
Hora	mm
19:00	0
19:15	2.3
19:30	1
19:45	1
20:00	8.899999
20:15	6.600001
20:30	3.299999
20:45	2.299999
21:00	0.200001
21:15	0
21:30	0.299999
21:45	0.200001
22:00	0.799999
22:15	0.799999

CIMATARIO	
hora	mm
19:00	0
19:15	0
19:30	0
19:45	0
20:00	0
20:15	0
20:30	0
20:45	0
21:00	0

Los bordos para este evento de tormenta se operaron de la manera siguiente: bordo Tángano I y Tángano II Abiertos al 40% y 45% respectivamente cuando el nivel supere los 10 metros en cada caso. Los bordos cuesta china: para el bordo I se usa el orificio abierto al 15% a partir del nivel 10 m, para el bordo II se usa la rejilla abierta al 10%, para el bordo III se usa el orificio abierto al 5%, para el bordo IV se usa el orificio abierto al 15 %, en todos los casos se abre el orificio cuando el nivel supera los 10 m.

Cuadro 3-21 Magnitudes de importancia por microcuenca de aportación para la condición actual de urbanización para todas las microcuencas que convergen en el dren Cimatario, con la microcuenca Cuesta China intervenida por técnicas SuDS, para la tormenta del 25 de mayo del 2014

Elemento	Área drenada	Volumen de salida total(Mm <sup>3</sup> )	Flujo de entrada pico(m <sup>3</sup> /s)	Flujo de salida pico(m <sup>3</sup> /s)	Hora
Estadio	5.087	157.5	-	11.9	21:00
Quintas del Marqués	1.026	12.9	-	3.2	20:45
Central Park, SEP y centro expositor, Villas del Marqués y Villas del sol	3.476	314.9	-	34.5	20:15
Tangano I con orificio ABIERTO al 40% cuando el nivel supera los 10 metros					
Tangano II con orificio ABIERTO al 45% cuando el nivel supera los 10 metros					
Bordo Tangano I	6.09	268.6	13	12.2	21:15
Bordo Tangano II	5.39	237.2	13.1	11.4	21:15
Cuesta China I con orificio abierto al 15%, a partir del nivel 10m					
Cuesta China II con orificio abierto al 10%, a partir del nivel 10m					
Cuesta China III con orificio abierto al 5%, a partir del nivel 10m					
Cuesta China IV con orificio abierto al 15%, a partir del nivel 10m					
Cuesta China I	12.33	172.4	4.9	4.8	11:00
Cuesta China II	1.026	48.1	2.2	2.3	20:45
Cuesta China III	3.476	46.9	1.9	1.4	11:15
Cuesta China IV	11	135.7	4.3	4	11:15
Punto problemático (Dren Cimatario)	28	865.6	-	23	20:45

Así mismo el comportamiento en los bordos es mejor para los bordos que se encuentran en el Tángano I y Tángano II para este evento de lluvia.

En el bordo Tángano II la atenuación del pico de escorrentía ya es visible de 1.6 m<sup>3</sup>/s y además se observa una redistribución del hidrograma. El almacenamiento tiene ahora mayor importancia con 2 000 m<sup>3</sup>. En el Tángano I, la disminución del pico es mínima de solo 0.8 m<sup>3</sup>/s, sin embargo el pico se retarda aunque no se observa una redistribución importante. Por otro lado, el almacenamiento nuevamente se observa de 1 000 m<sup>3</sup>. Como se observa en las Figura 3-35y Figura 3-36.

Para el bordo de la Cuesta China I se observa un almacenamiento importante de 2 000 m<sup>3</sup>. Y ninguna atenuación del pico de escorrentía, puesto que cerrar el orificio al 90% implicaría un desbordamiento de aguas, por lo cual es preferible la apertura al 15%.

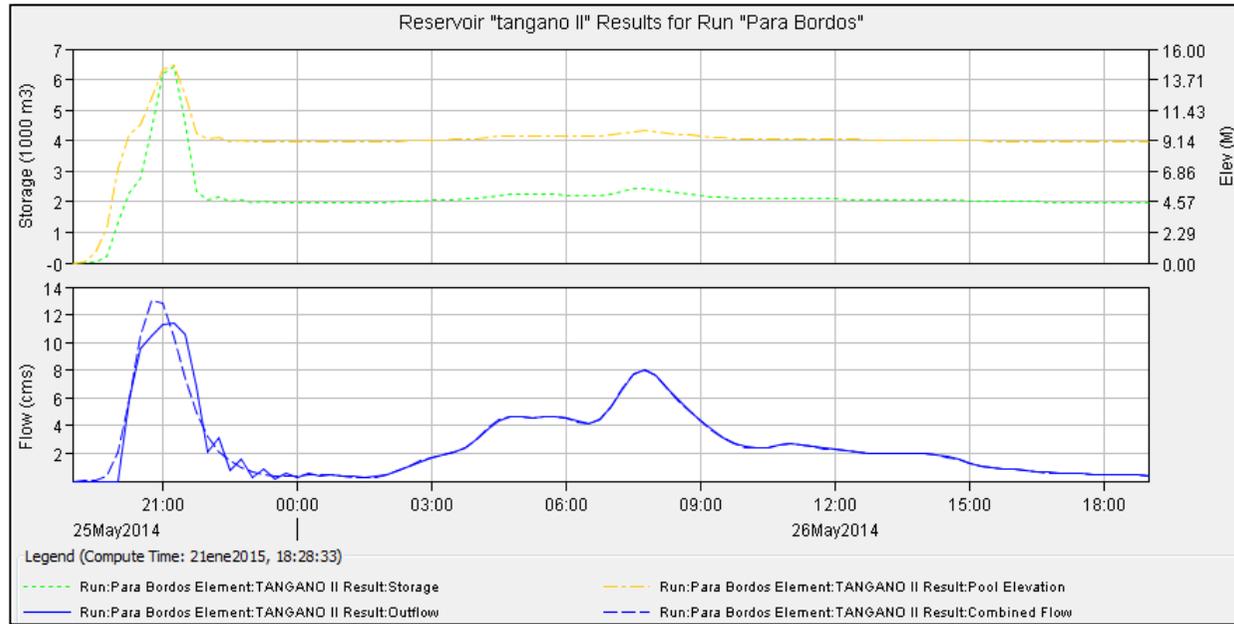


Figura 3-35 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Tángano II. Condición urbanizada intervenida con técnicas SuDS. Tormenta del 25/05/2014.

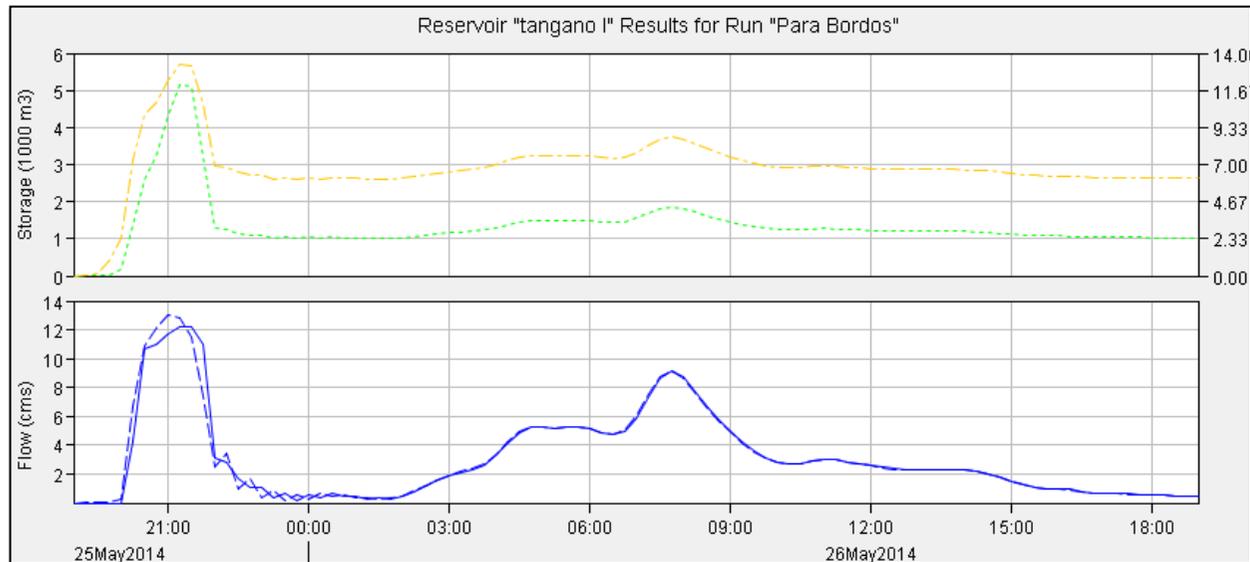


Figura 3-36 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Tángano I. condición urbanizada intervenida con técnicas SuDS. Tormenta del 25/05/2014.

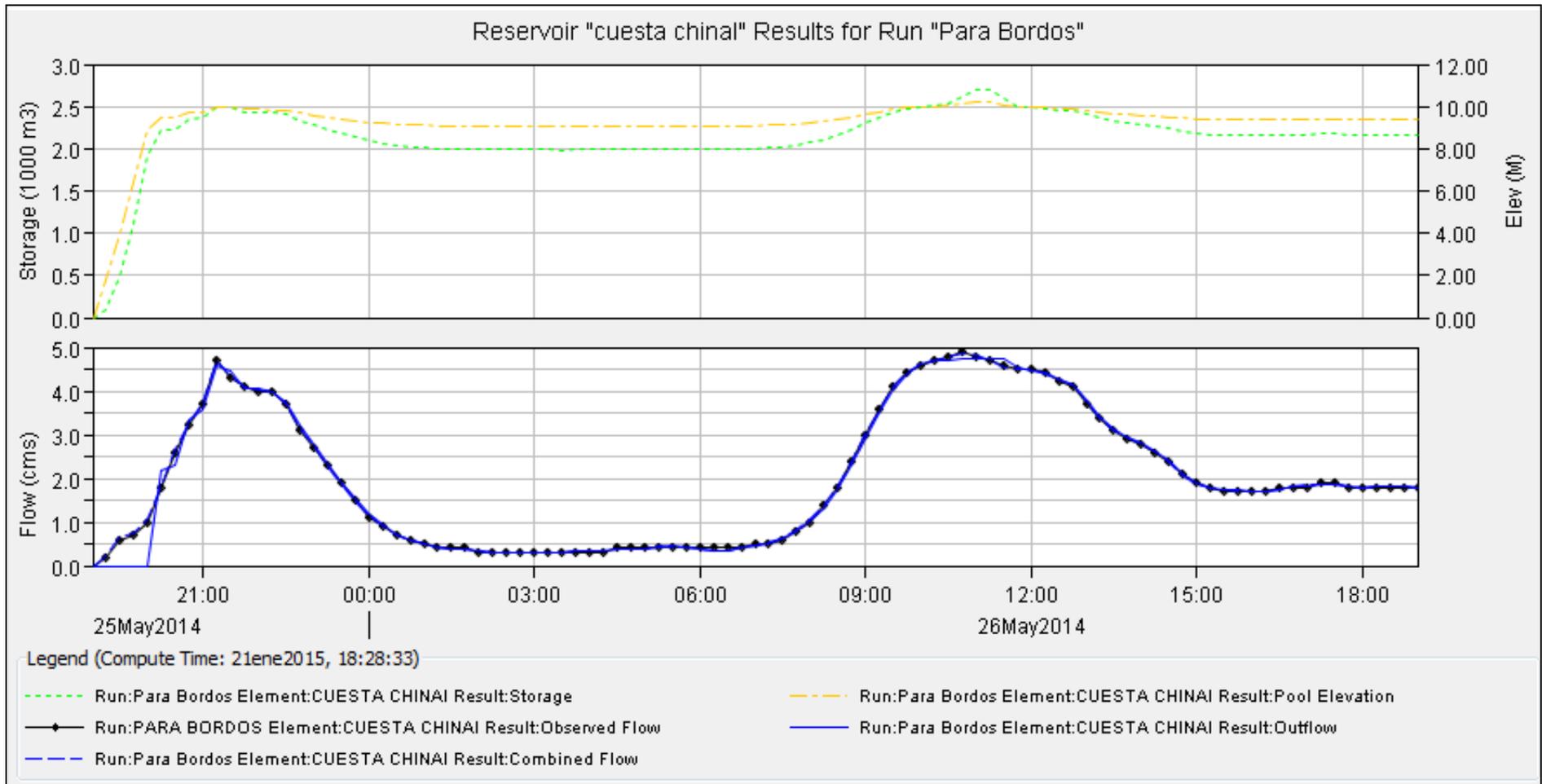


Figura 3-37 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China I. condición urbanizada intervenida con técnicas SuDS. Tormenta del 25/05/2014.

### 3.9.11 Simulación De Microcuencas Urbanas Para La Tormenta Del 25 De Mayo Del 2014.

Es imperativo conocer el comportamiento de la cuenca urbana para efectos de comparación objetiva con el modelo con técnicas SuDS incluidas.

Para operar los bordos en esta ocasión, se hará como en la simulación con técnicas SuDS, pero existirán variaciones por el incremento en volumen y en tasa de escorrentía directa en la Cuesta China. Los bordos de los Tánganos se operan de la misma manera. Los bordos de la Cuesta China se abrirán a partir del nivel 10 m de la siguiente manera; bordo I a 35%, bordo II al 20%, bordo III AL 10% y bordo IV al 35%.

La operación de los bordos se hace con iteraciones en el mismo modelo de simulación en HEC- HMS. Y se busca la mejor eficiencia de los mismos, sin aumentar el pico de escorrentía en el dren Cimatario.

Después de correr el programa, se pueden resumir los siguientes datos relevantes:

Cuadro 3-22 Magnitudes de importancia por microcuenca de aportación para la condición actual de urbanización para todas las microcuencas que convergen en el dren Cimatario, para la tormenta del 25 de mayo del 2014

Elemento	Área drenada	Volumen de salida total(Mm <sup>3</sup> )	Flujo de entrada pico(m <sup>3</sup> /s)	Flujo de salida pico(m <sup>3</sup> /s)	Hora
Estadio	5.087	157.5	-	11.9	21:00
Quintas del Marqués	1.026	12.9	-	3.2	20:45
Central Park, SEP y centro expositor, Villas del Marqués y Villas del sol	3.476	314.9	-	34.5	20:15
Tangano I con orificio ABIERTO al 40% cuando el nivel supera los 10 metros					
Tangano II con orificio ABIERTO al 45% cuando el nivel supera los 10 metros					
Bordo Tangano I	6.09	268.6	13	12.2	21:15
Bordo Tangano II	5.39	237.2	13.1	11.4	21:15
Cuesta China I con orificio abierto al 35%, a partir del nivel 10m					
Cuesta China II con orificio abierto al 20%, a partir del nivel 10m					
Cuesta China III con orificio abierto al 10%, a partir del nivel 10m					
Cuesta China IV con orificio abierto al 35%, a partir del nivel 10m					
Cuesta China I	12.33	248.6	9.6	9.3	22:15
Cuesta China II	1.026	87	5.8	5.1	21:15
Cuesta China III	3.476	65.1	3.4	2.6	21:30
Cuesta China IV	11	204.7	10	9.3	21:45
Punto problemático (Dren Cimatario)	28	983.6	-	24.6	22:45

Así mismo el comportamiento de los bordos ubicados en los Tánganos I y II, es el mismo que para el modelo con Técnicas SuDS. Sin embargo para el bordo de la cuesta china I se pueden observar diferencias.

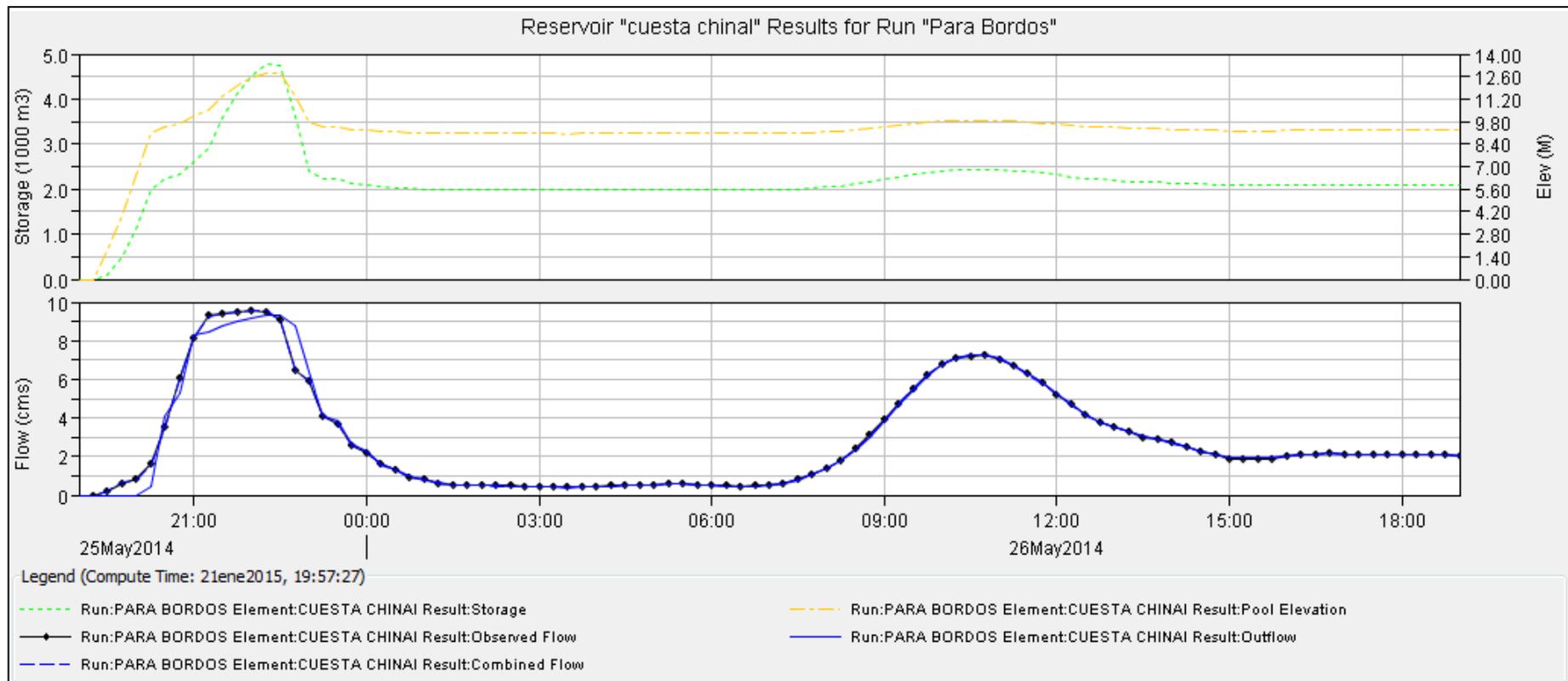


Figura 3-38 Grafica elevación-almacenamiento-tiempo e hidrograma del bordo Cuesta China I. condición urbanizada. Tormenta del 25 de mayo del 2014.

## 4 Discusión

Para el estado natural de la microcuenca Cuesta China y el estado urbanizado actual del resto de la zona de interés se observa un caudal pico que converge al dren Cimatario de  $41.7 \text{ m}^3/\text{s}$ , se trata de un caudal que no implica consecuencias graves en absoluto.

En cuanto a generación de escorrentía directa para distintos usos de suelo se puede notar en el Cuadro 3-11, que la cuesta china que ocupa 41% más territorio que la cuenca del Estadio, genera el volumen un escorrentía directa de 37.5% más lo generado en la primera, la relación no es proporcional porque el tipo de suelo de la Cuesta China en estado natural permite la filtración al encontrarse libre de obstrucciones para la permeabilidad, sin embargo la diferencia podría ser mayor, con respecto al suelo árido con baja transpiración actual, si fuese tratado y mejorado para alcanzar los niveles de infiltración de un bosque natural normal con transpiración media, si bien se trata de una zona semidesértica, es posible crear focos de vegetación espesa, muros vivos de retención, entre otras soluciones. Por ello una de las principales propuestas es la mejora del suelo de la cuenca, ya que la diferencia mínima entre suelo pavimentado y suelo desnudo no es favorable para la salud de la cuenca, dicho cambio se considera en la simulación para el modelo urbanizado intervenido con SuDS.

En la Figura 4-1, en el hidrograma del punto problemático en el dren Cimatario, es decir el tramo en que todas las cuencas vierten sus aguas, se observa el flujo pico de  $41.7 \text{ m}^3/\text{s}$  alrededor de las 22:45 horas, es decir 3 horas 45 minutos después de iniciada la tormenta, esto para un intervalo de análisis para el programa HEC HMS 3.5 de 15 minutos. Después los siguientes picos más pequeños se presentan a las 9 a.m., es decir 14 horas después.

Para el estado urbanizado como señala el Cuadro 3-13, el aumento de escorrentía directa en la Cuesta China es de  $119\,900 \text{ m}^3$  y el aumento del pico de escorrentía es de  $8.4 \text{ m}^3/\text{s}$  sin embargo sucede un incremento notable en el pico de escorrentía en el dren, este fenómeno es un claro ejemplo de la complejidad en el análisis de tránsito de avenidas, dicho aumento es consecuencia del adelanto en el tiempo del pico de escorrentía en la cuesta china que sucede a las 21:15 para el estado urbanizado y a las 21:45 para el estado natural (tómese en cuenta siempre el tiempo de retraso), y que ahora coincide con las tasas pico del bordo tángano I, que a su vez, está próximo a los flujos máximos por efecto de central Park, SEP, centro expositor, Villas del Marqués y Villas del Sol, y también con la cuenca estadio, esto implica un aumento significativo del caudal riesgoso en el dren Cimatario por la nueva distribución del volumen de agua en el tiempo, por la proximidad de los grandes efectos, aumentando de  $41.7 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $74 \text{ m}^3/\text{s}$  es decir 43% extra alrededor de las 11 de la noche o entre 2.5-3 horas después nuevamente, Generando así también un riesgo para la integridad física del dren. También ello explica que el aumento de escorrentía en los siguientes picos sean menores, alrededor de  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  extra.

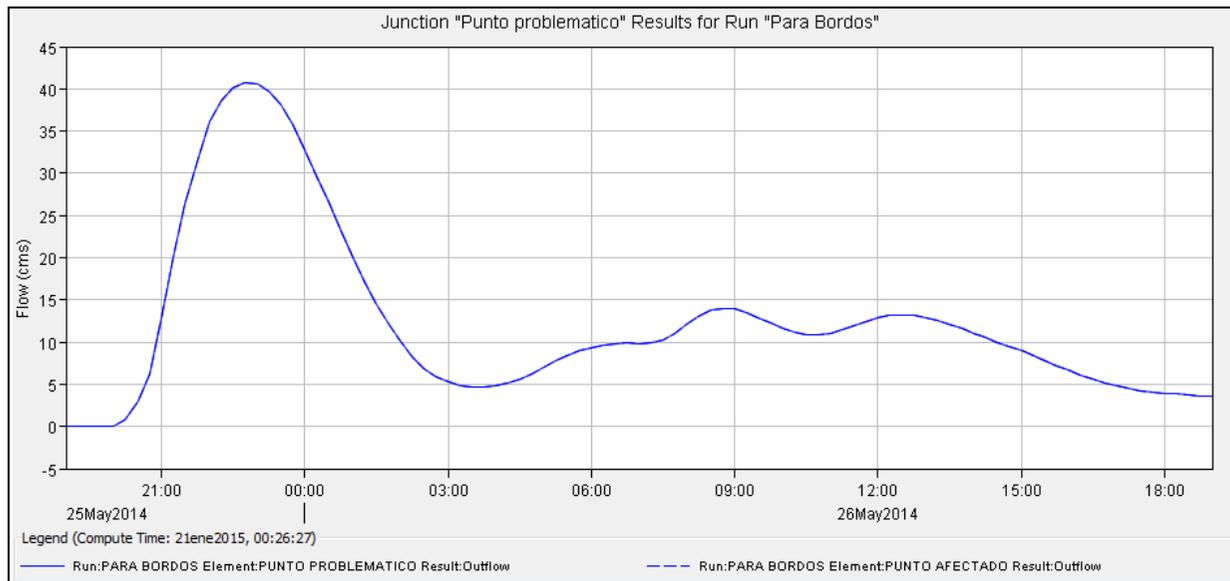


Figura 4-1 Hidrograma para el Punto Problemático en el dren Cimatarío, considerándose este el tramo aquel en que convergen todas las aportaciones de las microcuencas estudiadas. Condición Natural.

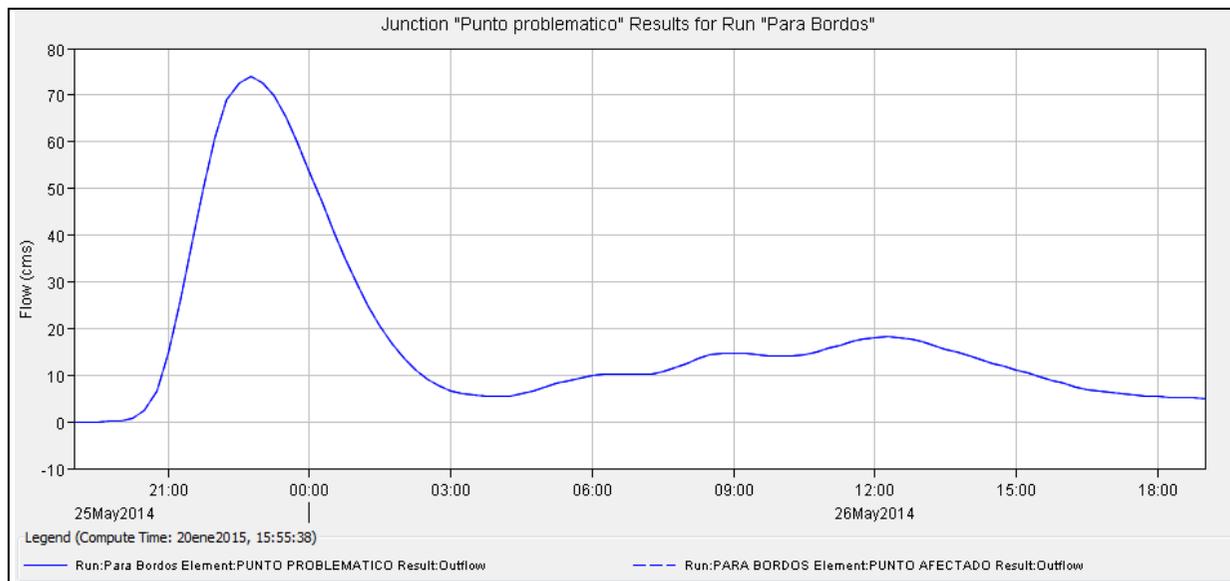


Figura 4-2 Hidrograma para el Punto Problemático en el dren Cimatarío, considerándose este el tramo aquel en que convergen todas las aportaciones de las microcuencas estudiadas. Condición Urbana.

La simulación usando el modelo intervenido con técnicas SuDS, parece ser confiable y segura, ayuda a utilizar los bordos tal como se especificaron en un inicio, sin el supuesto de que estos tuviesen que ser más grandes para ser totalmente funcionales. El Cuadro 3-19 evidencia una redistribución en el tiempo de las tasas pico de escurrimiento para Cuesta China, y también una modulación diferente y más satisfactoria para las rejillas de los embalses, permitiendo almacenar el doble de agua para los bordos Cuesta China II y III.

EI

Cuadro 4-1 demuestra que la disminución de los picos de esorrentía de manera individual para cada bordo son importantes entre el 20 y 30% , y disminuyendo los volúmenes de salida en menor medida alrededor entre 14 y 15% , estos efectos son muy favorables para la cuenca, especialmente si los sistemas utilizados permiten, la infiltración paulatina y la evaporación del agua estancada, sería deseable la captura total del incremento de 119 900 m<sup>3</sup>, pero la densidad de zonas construidas hace casi imposible este escenario, colocándose el volumen de agua almacenada en los 79 000 m<sup>3</sup>. Sería necesario contar con 2 veces el área actual disponible para la incorporación de más dispositivos que pudiesen captar los 40.9 miles de m<sup>3</sup> faltantes. También la tasa pico de flujo escurrido en el dren Cimatario se coloca en los 54.7 m<sup>3</sup>/s retrasándose alrededor de 15 minutos como muestra la figura.

Cuadro 4-1 Comparativa de las simulaciones para los modelos; natural, urbanizado, intervenido con técnicas SuDS.

Elemento	Comparativa entre subcuenca urbanizada y subcuenca urbanizada con técnicas SuDS			Comparativa entre subcuenca urbanizada con técnicas SuDSy subcuenca natural		
	Captura total de escurrimiento	Disminucion del flujo de salida pico	Retraso (min)	Aumento del Volumen de salida	Aumento del flujo de salida pico	Retraso (min)
Cuesta China I	66.06%	27.18%	00:45	8%	-8%	00:15
Cuesta China II	72.14%	35.54%	00:15	7%	-21%	00:15
Cuesta China III	81.62%	20.90%	00:30	4%	-5%	00:00
Cuesta China IV	82.64%	26.72%	00:15	4%	-11%	00:15



Figura 4-3 Hidrograma para el Punto Problemático en el dren Cimatario, para condiciones urbanas, con la microcuenca Cuesta China intervenida con técnicas de Drenaje Sustentable.

Es notable en la condición intervenida por SuDS, que la disminución del pico de escorrentía a la salida del bordo Cuesta China I, que recibe todas las aguas de la microcuenca de mismo nombre, por efecto de la obra hidráulica el máximo flujo de salida, se disminuye en un 8% lo cual no implica un efecto desfavorable. Lo mismo sucede con el resto de los bordos que incluso llegan a tener una disminución del 21%, dicho dren si bien tiene vegetación, no tiene un ecosistema altamente vulnerable a esta disminución. Toda vez que los efectos favorables de evaporación, infiltración y retención en la microcuenca suelen tener mayor peso que mantener un caudal de avenida en un dren que la mayor parte del año se encuentra seco.

#### **4.1 Discusión y análisis de los modelos de simulación para la cuenca en estado urbanizado y no urbanizado intervenido con técnicas SuDS, para la tormenta del 25 de mayo del 2014**

La calibración de los modelos queda hecha una vez que el sistema se comporta de una manera segura para un evento de lluvia con periodo de retorno de 10 años y duración de dos horas, actividad cuya suficiencia ya ha sido demostrada. La salida por excedencias en cada técnica SuDS queda delimitada por su mismo diseño estructural, implicando un almacenamiento completo para lluvias ligeras para algunos casos, y arrojando una excedencia distinta para aquellos eventos, menores en Tr a 10 años, y para cada situación.

Así cuando se introducen los datos de la tormenta real del 25 de mayo del 2014 para las condiciones urbanas. Retomando el cuadro Cuadro 3-22 , los bordos comienzan a ser más efectivos, almacenando el doble que para una tormenta más fuerte, puesto que es posible operar los bordos con una apertura de rejilla menor, a la vez que amortigua el pico máximo. Así para todos los bordos las rejillas estarán abiertas en menos del 50% ya partir de los 10 metros de nivel acumulado.

En la figura Figura 4-4 , el hidrograma muestra dos picos, uno un poco más pequeño que sucede primero alrededor de 23 m<sup>3</sup>/s, y uno después de 24.6 m<sup>3</sup>/s, esto permite la distribución del volumen de agua en un tiempo de 3 horas aproximadamente, entre las 21:00 y las 00:00 horas, este efecto es preferible comparado con el escenario que implique una mayor concentración en el tiempo.

Continuando con el modelo urbanizado con la microcuenca Cuesta China intervenida por técnicas SuDS, cuando se introducen los datos de la tormenta real del 25 de mayo del 2014, sucede que para las condiciones de precipitación los bordos nuevamente se comportan de manera más favorable, el almacenamiento se encuentra alrededor de los 2000 m<sup>3</sup> y el amortiguamiento del pico de escorrentía para los Tánganos ya comienza a ser significativo, el amortiguamiento en el caso de los bordos de la cuesta China es mínimo, pero también es innecesario puesto que las técnicas SuDS están atrasando sus máximas tasas de flujo de salida hasta las 11 de la noche, el pico de escorrentía en el Dren Cimatarío de 23 m<sup>3</sup>/s , sucederá a las 20:45 por efecto de las aguas que provienen del área de aportación 4 compuesta de Central Park, SEP, Centro expositor, villas del Marqués y Villas del Sol, principalmente.

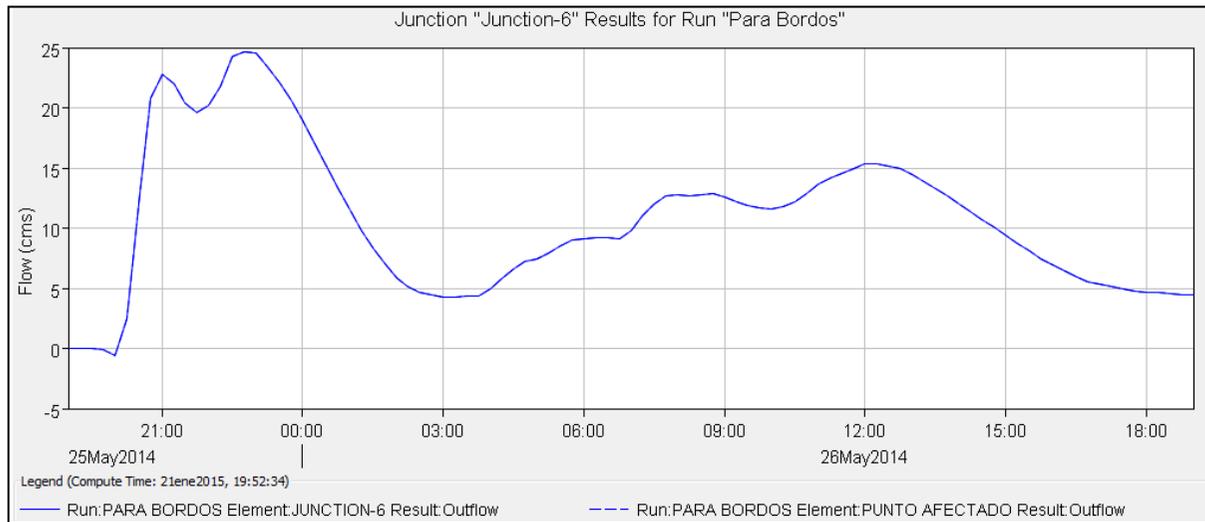


Figura 4-4 Hidrograma para el Punto Problemático en el dren Cimatario, condiciones urbanas, para la tormenta del 25 de mayo del 2014.

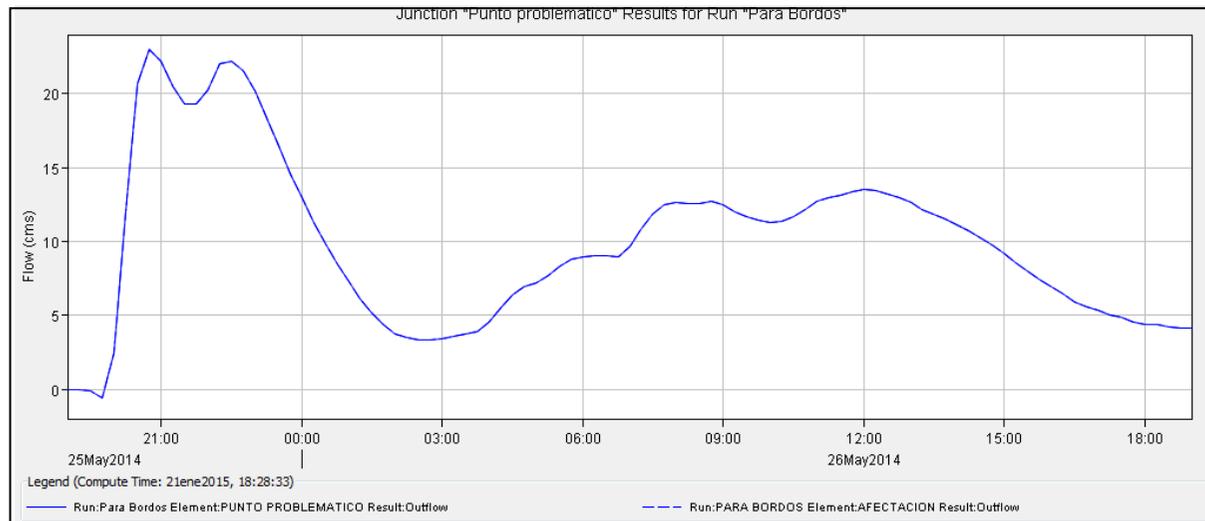


Figura 4-5 Hidrograma para el Punto Problemático en el dren Cimatario, para condiciones urbanas, para la tormenta del 25 de mayo del 2014.

Se puede observar en el hidrograma del punto problemático una redistribución de la escorrentía en el tiempo, se observa un primer pico producto del área de aportación 4 y enseguida otro pico de menor magnitud poco antes de las 23:00 por efecto de la microcuenca estadio y Quintas del Marqués.

Cuadro 4-2 Comparativa de las simulaciones para los modelos; natural, urbanizado, intervenido con técnicas SuDS. Tormenta del 25 de mayo del 2014.

Elemento	Comparativa entre subcuenca urbanizada y subcuenca urbanizada con técnicas SuDS			Comparativa entre subcuenca urbanizada con técnicas SuDS y subcuenca natural		
	Captura total de escurrimiento	Disminucion del flujo de salida pico	Retraso (min)	Aumento del Volumen de salida	Aumento del flujo de salida pico	Retraso (min)
Cuesta China I	65.02%	48.39%	00:45	24%	-4%	00:15
Cuesta China II	85.31%	54.90%	(-)00:30	14%	26%	(-)01:00
Cuesta China III	82.73%	46.15%	01:45	8%	-21%	01:00
Cuesta China IV	75.58%	56.99%	01:30	16%	-10%	01:00

El Cuadro 2-1 indica que la eficiencia en la captura de agua almacenada por las obras SuDS es más satisfactoria superando el 60%, también se observa que la zona con menor densidad urbana que contribuye al bordo II, es aquella que se comporta con mayor eficiencia en la captura, esto es consecuencia de la mayor área disponible.

La disminución del pico de escorrentía en cada bordo fue mucho más favorable para la tormenta del 25 de mayo del 2014, rondando el 50%, siendo que para la tormenta con Tr 10 años esa disminución difícilmente era mayor al 30%. Finalmente en el bordo III y IV de la cuesta china observamos retrasos importantes para el momento en que se presenta el pico de escorrentía, esto permitirá una distribución favorable para el hidrograma en el dren Cimatario, que no será muy notoria en la disminución del flujo pico, esto sucede porque el tiempo que tarda en llegar el escurrimiento generado por la Cuesta China es mayor comparado con el de las cuencas aguas abajo y más próximas al punto problemático, también es notorio que mientras más intenso sea el evento de lluvia mayor será el amortiguamiento de la tasa pico de escorrentía.

Los modelos de los objetos semidistribuidos para la zona de estudio implican la omisión de características que pueden ser de importancia para el tránsito de avenidas, por ejemplo; la longitud de los drenes entre bordos, este dato que puede ser conocido con un levantamiento topográfico de mediana sencillez, implica tomar en consideración pérdidas a lo largo del dren, y tiempo de viaje. Variaciones en dichos factores pueden ser significativas en el pico de escorrentía que se presentaría en el dren Cimatario. Así mismo el método de bloques alternos es un método ampliamente utilizado por su simplicidad y rapidez, sin embargo suele dar resultados muy elevados, esto implica que las obras pudiesen estar sobredimensionadas en algunos casos, en otros pueden quedar justos puesto que el espacio disponible no se presta para la captura del volumen completo de escorrentía directa que se desea almacenar.

## 5 CONCLUSIONES.

Es importante resaltar que la aplicación de la norma es sumamente sencilla, que el orden dado y las herramientas propuestas facilitan el rápido procesamiento de la información, así mismo que el trabajo correspondiente a la propuesta de técnicas SuDS se ve agilizado por la simplicidad de las guías que se manejarían como anexos, aquel para el tipo de acciones dependiendo del nivel de riesgo y el prontuario de técnicas estructurales de técnicas sustentables. Para estos fines, la recopilación de datos se pudo realizar sin mayores contrariedades gracias al equipo delfín de verano de la ciencia, y a todas las herramientas informáticas con las que se cuenta hoy en día.

El procesamiento de la información para conocer el comportamiento natural y urbanizado actual fue, una vez manejando el software HEC HMS, veloz y sin complicaciones. Una etapa altamente delicada fue la de escoger proponer las técnicas SuDS, para ello la sectorización de la zona a fin de eficientar la distribución de técnicas estructurales fue un éxito, esto se ve reflejado en las gráficas arrojadas por el HEC-HMS sobre el comportamiento de la Elevación-Almacenamiento de cada técnica y también de manera muy clara en sus hidrogramas, llegando a reducciones del caudal importantes e inclusive absolutas.

Hacer la modelación en HEC-HMS es una herramienta poderosa, puesto que una vez listo el esquema y agregados los valores característicos de la zona, es posible simular cualquier lluvia histórica de importancia, como se pretendió y se hizo en esta tesis.

Proponer el uso de obras de drenaje sustentable, en general cualquier obra física es un tema que se debe manejar con sumo detenimiento, puesto que las implicaciones tanto económicas, de impacto a la población y al paisaje, dentro y fuera de la cuenca pueden ser muy significativas. Con este estudio se logra concluir que el uso de técnicas estructurales sería de mucha eficiencia en términos de gestión de aguas, como se observa en el Cuadro 5-1 la eficiencia de retención es del 87%, puesto que la zona de la Cuesta China tiene unas pendientes muy importantes y poca superficie libre para colocar grandes volúmenes de agua. El siguiente paso sería analizar la relación costo-beneficio para sugerir la completa viabilidad de estas intervenciones.

Cuadro 5-1 Escorrentía Directa para la microcuenca Cuesta China.

Escorrentía directa sin efecto de los embalses.					
Cuesta China I	Caudal pico	tc(s)	tp(s)	Volumen de escurrimiento (Mm3)	Ve pico (Mm3)
Natural	5.00	6624.00	4636.80	131.40	23.18
Urbanizado	11.70	6624.00	4636.80	256.80	54.25
Urbanizado con SuDs	5.80	6624.00	4636.80	177.40	26.89
				Volumen Extra=	31.07
				Amortiguamiento=	87%

## Literatura citada.

1. BERRY, C W (2002). Sustainable urban drainage – UK experience and practical application in New Zealand”.Proc 44th NZWWA annual conference, Christchurch.
2. Centro de Investigación del Agua, Querétaro, México.  
<http://redciaq.uaq.mx/index.php/12-inicio>
3. CIRIA SuDS MANUAL, (CIRIA C697), 2007. UNITED KINGDOM.
4. CODIGO URBANO PARA EL ESTADO DE QUÉRETARO.
5. Comisión Estatal de Aguas, CEA. Manual para las Instalaciones de Agua Potable, Agua Tratada, Drenaje Sanitario y Drenaje Pluvial de los Fraccionamientos y Condominios de la Cd. de Querétaro y Zona Conurbada, Querétaro. Consultado en agosto del 2014.
6. Comisión Nacional del Agua, CONAGUA, Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) en su libro Alcantarillado Pluvial. Consultado en 12 de agosto del 2014, en <ftp://ftp.conagua.gob.mx>.
7. Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0), INEGI, en <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continuo/elevaciones.aspx>.
8. Diario Oficial, Poder Ejecutivo, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, MÉXICO, 2003.
9. Equipo Delfín del verano de la ciencia 2014, red-CIAQ, UAQ, Mayra Yadira Silva Alonso y Wendy Anahí García Marmolejo. Manejo Sustentable de aguas pluviales en zonas urbanas, JULIO,2014.
10. Esteban Calderón Carol Paola, Domínguez Mora Ramón, Arganis Juárez Maritza Liliana, Carrizosa Elizondo Eliseo y Esquivel Garduño Gabriela. (2014) Cálculo De Coeficientes De Escorrentía En Cuencas Del Valle De México Usando Métodos Estadísticos. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
11. FAO. (2007). La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas. Roma, 139 pp.

12. Juan C. Valencia Vargas, Juan J. Díaz Nigenda, Héctor J. Ibarrola Reyes. La Gestión Integrada De Los Recursos Hídricos En México: Nuevo Paradigma En El Manejo Del Agua.(s.f.)
13. Kerr, J. y K. Chung. 2001. Evaluating watershed management projects. Water Policy.
14. Kiersch, B. 2000. Land-water linkages in rural watersheds: a literature review. Water Bulletin 9, FAO, Italia.
15. Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento. ( 2004). Comisión Nacional del Agua.
16. Martínez, Pedro. (1967). ALGUNOS ASPECTOS DEL ALCANTARILLADO Y DRENAJE EN MÉXICO, MÉXICO.
17. NMX-AA-159-SCFI-2012
18. Norma mexicana NMX-Drenaje Pluvial Urbano- criterios generales para el diseño de proyectos ACAPULCO.
19. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. T.C.Sheng. Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas: estudio y planeación de cuencas hidrográficas. Guía FAO de Conservación 13/6.. Roma 1992.
20. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, International Renewable Resources Institute, México, (2008). MANUAL DE CAPTACIÓN DE AGUAS DE LLUVIA PARA CENTROS URBANOS.
21. United States Environment Protection Agency, EPA. (JUNIO, 2014). Best Management Practices (BMPs), Consultado en 12 de agosto Del 2014, en <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/stormwater/bmp.html>.
22. Ventura Ramos Eusebio Jr., Ramírez Orozco Aldo Ivan.(2009) Actualización del plan maestro pluvial 2008-2025. Posgrado de la facultad de ingeniería de recursos hídricos y ambiental, UAQ.MEXICO.
23. Vladimir Novotny, Jack Ahern, Paul Brown.(2010) Water Centric Sustainable Communities: Planning , Retrofitting and Building the Next Urban Enviroment,
24. Water Sensitive Urban Design, consultado en Melbourne Water, en 12 de agosto del 2014, en <http://www.melbournewater.com.au>
25. WILSON, S, BRAY, R and COOPER, P (2004). Sustainable drainage systems: hydraulic, structural and water quality advice C609, CIRIA, London (ISBN: 978-0-86017-609-1).

## Apéndice.

### 5.1 Memoria de cálculo.

#### 5.1.1 Datos de las microcuencas y áreas de aportación.

Cuadro 0-1 Datos de la microcuenca Cuesta China.

MICROCUENCA CUESTA CHINA		
Area	12349841.96	m <sup>2</sup>
Perímetro	22398.2934	metros
Longitud del Cauce	5.202	Km
Pendiente media	7.9663	%
Elev.min	1878	m
Elev.max	2145	m

Cuadro 0-2 Datos de la microcuenca Estadio.

MICROCUENCA ESTADIO		
Area	3212507.966	m <sup>2</sup>
Perímetro	11213.6346	m
Longitud del Cauce	3.721	Km
Pendiente media	11	%
Elev.min	1846	m
Elev.max	2146	m

Cuadro 0-3 Datos de la microcuenca Tángano.

MICROCUENCA NATURAL TANGANOS		
Area	6679833.62	m <sup>2</sup>
Perímetro	16284.3996	metros
Longitud del Cauce	4.271	Km
Pendiente media	15.85	%
Elev.min	1880	m
Elev.max	2383	m

Parte compuesta por Central Park, SEP y centro expositor, Villas del Marqués y Villas del sol. cuatro,

Cuadro 0-4 Datos de las áreas de aportación parte 4.

Area de aportación numero 4		
Área	14534218.5	m <sup>2</sup>
Longitud de Cauce	3.24	km
Pendiente Media	3.117	%
Elev.min	1879	m
Elev.max	1980	m

### 5.1.2 Intensidad- precipitación-periodo de retorno.

Cuadro 0-5 Datos de Intensidad para duraciones de 10, 30, 60,120 y 240 minutos, Tr 10 años.

Estación Cimatario coord.: -100.37    20.557				Estación Milenio coord.: -100.35    20.601			
Tr=10	I	d		Tr=10	I	d	
	137.54	10			132.42	10	
	76.079	30			73.248	30	
	49.809	60			48.033	60	
	31.925	120			30.863	120	
	20.182	240			19.439	240	

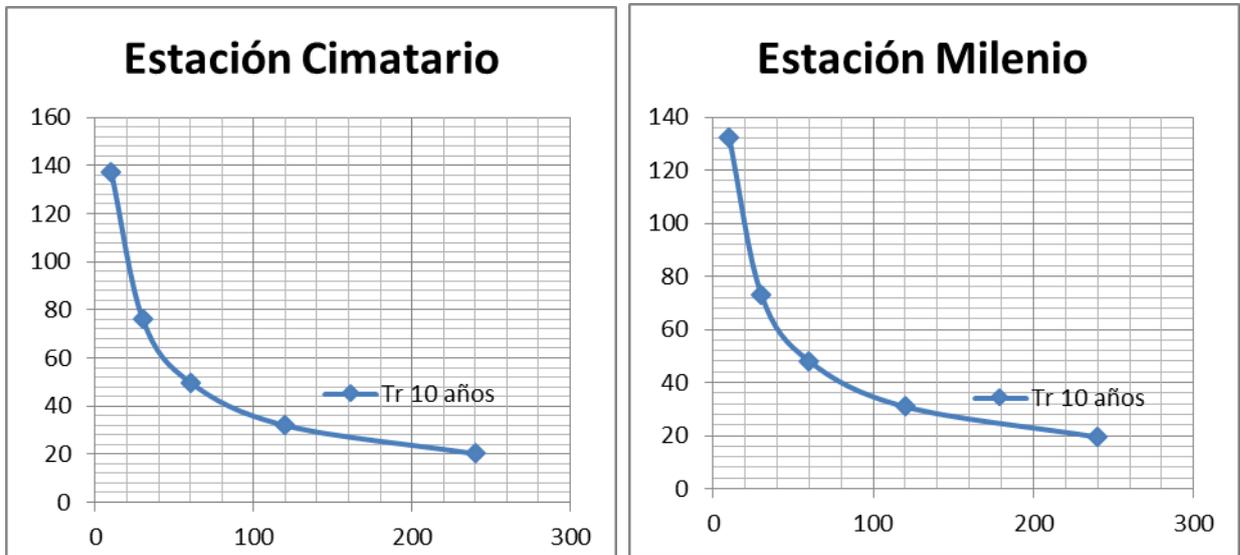


Figura 0-1 Curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno, estación Milenio y estación Cimatario.

Para hietograma Cimatario		Para hietograma Milenio	
Minuto	mm	Minuto	mm
15	2.0	15	2.0
30	5.2	30	5.4
45	7.1	45	6.0
60	30.3	60	30.0
75	7.8	75	6.6
90	6.1	90	5.7
105	4.7	105	4.5
120	0.8	120	1.5

Figura 0-2 Lluvia de Diseño por el método de bloques alternos.

### 5.1.3 Parámetros de entrada para el método SCS, números de curva.

*Para las microcuencas en estado natural.*

Para uso del método SCS los siguientes datos son válidos, y provienen del grupo de verano científico Delfín 2014. Sean las siguientes cuencas y áreas de aportación para el dren Cimatario que ha sufrido colapsos.

Cuadro 0-6 Método de Numero de Curva para microcuenca Cuesta China Estado Natural.

Cuenca Cuesta China							
Grupo hidrológico de suelo	Uso de suelo	km2	Área total	% del área total	CN	CN*% de área	
c	selva caducifolia	12.35	12.35	100	78	963.3	
c	lotes < 500m2, y 65% de suelo impermeable	0	12.35	0	90	0	
% de suelo impermeable=		24.05				CN(II)=	78

Abstracción inicial	Ia	14.3282051
Tiempo de concentración	tc	1.8469109
Tiempo de retraso	tr	66.4887926

*Para las microcuencas urbanizadas.*

Para uso del método SCS los siguientes datos son válidos, y provienen del grupo de verano científico Delfín 2014. Sean las siguientes cuencas y áreas de aportación para el dren Cimatario que ha sufrido colapsos.

Cuadro 0-7 Método de Numero de Curva para microcuenca Cuesta China Estado Urbanizado.

Cuenca Cuesta China							
Grupo hidrológico de suelo	Uso de suelo	km2	Área total	% del área total	CN	CN*% de área	
c	selva caducifolia	7.7685082	12.35	62.9029	78	605.9436357	
c	lotes < 500m2, y 65% de suelo impermeable	4.5814548	12.35	37.0968	90	412.330932	
% de suelo impermeable=		24.05				CN(II)=	82.451382

Abstracción inicial	Ia	10.8120661
Tiempo de concentración	tc	1.8469109
Tiempo de retraso	tr	66.4887926

Cuadro 0-8 Método de Numero de Curva para microcuenca Estadio. Estado Urbanizado.

Central y Estadio							
Grupo hidrológico de suelo	Grupo hidrológico de suelo	km2	Área total	% del área total	CN	CN*% de área	
c	selva caducifolia	2.085	5.081	37.7373	78	29.435	
c	lotes < 500m2, y 65% de suelo impermeable	3.439	5.081	62.2626	90	56.036	
% de suelo impermeable=		40.47				CN(II)=	85.47

Abstracción inicial	Ia	8.64
Tiempo de concentración	tc	1.31
Tiempo de retraso	tr	47.30

Cuadro 0-9 Método de Numero de Curva para área Quintas del Marqués. Estado Urbanizado.

Quintas del Marqués
---------------------

Grupo hidrológico de suelo	Grupo hidrológico de suelo	km2	Área total	% del área total	CN	CN*% de área
c	selva caducifolia	0.197	1.026	19.192	78	14.970
c	lotes < 500m2, y 65% de suelo impermeable	0.829	1.026	80.808	90	72.727
	% de suelo impermeable=	52.53			CN(II)=	87.70

Abstracción inicial	Ia	7.1
Tiempo de concentración	tc	1.1
Tiempo de retraso	tr	40.1

Cuadro 0-10 Método de Numero de Curva para microcuenca El Tángano. Estado Urbanizado.

Tánganos						
Grupo hidrológico de suelo	Uso de suelo	km2	Área total	% del área total	CN	CN*% de área
c	selva caducifolia	5.513	6.117	90.131	78	70.302
c	lotes < 500m2, y 65% de suelo impermeable	0.604	6.117	9.869	90	8.882
	% de suelo impermeable=	6.41			CN(II)=	79.18

Abstracción inicial	ia	13.4
Tiempo de concentración	tc	1.4
Tiempo de retraso	tr	48.9

Cuadro 0-11 Método de Numero de Curva área parte 4. Estado Urbanizado.

Parte 4(Central Park, SEP y centro expositor, Villas del Marqués y Villas del sol)						
Grupo hidrológico de suelo	Uso de suelo	km2	Área total	% del área total	CN	CN*% de área
c	selva caducifolia	9.142	14.534	62.903	78	713.111

c	lotes < 500m <sup>2</sup> , y 65% de suelo impermeable	5.392	14.534	37.097	90	485.257
	% de suelo impermeable=	24.05			CN(II)=	82.45

Abstracción inicial	10.8
Tiempo de concentración	37.4
Tiempo de retraso	1.4

#### 5.1.4 Para la simulación con técnicas SuDS en la Cuesta China.

Cuadro 0-12 Longitud y análisis con Muskingum para los drenes que conectan el bordo II y III con el bordo IV, y este último con el bordo I, en la Cuesta China.

Longitud del bordo III al bordo IV	Elev max	Elev min	Smedia	tc (horas)	K	X
1301	1947	1921	0.0199	0.7706	0.4623	0.25
Longitud del bordo II al bordo IV	Elev max	Elev min	Smedia	tc (horas)	K	X
916	1945	1921	0.0262	0.5606	0.3363	0.25
Longitud del bordo IV al bordo I	Elev max	Elev min	Smedia	tc (horas)	K	X
1538.4	1921	1881	0.0260	0.8326	0.4995	0.25

Cuadro 0-13 Áreas de urbanas de aportación para el bordo II en la microcuenca Cuesta China.

CUESTA CHINA II															
Region a la que corresponden las areas:			NATURAL			URBANO									
	Areas Urbanas m <sup>2</sup>	Areas disponibles para SuDS m <sup>2</sup>	Areas Urbanas km <sup>2</sup>	Areas disponibles para SuDS km <sup>2</sup>	Pico de escorrentia (m3/s)	Flujo de salida total(mm)	Pico de escorrentia (m3/s)	Flujo de salida total(mm)	Δpico de escorrentia	tc (horas)	tp	V tiempo pico (Mm3)	Profundidad necesaria	Profundidad para proyecto	Posible Tipo de SuDS
Residencial del parque	59711.393	1028.286	0.0597	0.0010	1.7	23.38	7.7	75.71	6.7	0.707	1781.40	11.94	11.61		4 Estanque
Subarea de aportacion	141935.435	1537.159	0.1419	0.0015	0.8	35.23	2.2	75.91	1.2	1.219	3071.71	3.69	2.40		3 Estanque
Expocentro AU1	662342.692	1381.465	0.6623	0.0014	2.3	34.82	6.5	75.38	5.5	1.219	3071.71	16.89	12.23		4 Estanque

### Datos para curvas elevación-almacenamiento de técnicas SuDS.

SuDS Residencial del parque			
Área	Elevación	Almacenamiento	acumulado
1.032	0	0	0
1.032	1	1.032	1.032
1.032	2	1.032	2.064
1.032	3	1.032	3.096
1.032	4	1.032	4.128

Figura 0-3 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS Residencial del Parque

SuDS subárea de aportación.			
Área	Elevación	Almacenamiento	acumulado
1.392	0	0	0
1.392	1	1.392	1.392
1.496	2	1.444	2.836
1.495	3	1.4955	4.3315

Figura 0-4 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS Subárea de aportación.

SuDS Expocentro			
Área	Elevación	Almacenamiento	acumulado
1.384	0	0	0
1.384	1	1.384	1.384
1.384	2	1.384	2.768
1.384	3	1.384	4.152
1.384	4	1.384	5.536

Figura 0-5 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS Expocentro.

### Cuadro 0-14 Áreas de urbanas de aportación para el bordo III en la microcuenca Cuesta China

CUESTA CHINA III															
Region a la que corresponden las áreas:															
	Áreas disponibles para SuDS m <sup>2</sup>	Áreas Urbanas km <sup>2</sup>	Áreas disponibles para SuDS km <sup>2</sup>	NATURAL		URBANO		Apico de escorrentía	tc (horas)	tp	V <sub>tiempo pico</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>tiempo pico</sub> (Mm <sup>3</sup> )	Profundidad necesaria para el almacenamiento	Profundidad para proyecto de almacenamiento	Tipo SuDS
				Pico de escorrentía (m <sup>3</sup> /s)	Flujo de salida total (mm)	Pico de escorrentía (m <sup>3</sup> /s)	Flujo de salida total (mm)								
CARR57_AU1	3182.9310	0.3513	0.00318	1.3	34.89	3.6	75.47	2.3	1.074	2705.89	6223.55	6.22	1.96	2	sistema de bioretención
CARR57_AU2	3424.7250	0.2853	0.00342	1.1	34.89	3	75.47	1.9	1.074	2705.89	5141.20	5.14	1.66	1.5	sistema de bioretención
CARR57_AU5		0.0251	descarga a S	0.1	34.89	0.3	75.47	0.2	1.074	2705.89	541.18	0.54			
CARR57_AU3	819.9580	0.1547	0.00082	0.6	34.89	1.6	75.47	1	1.074	2705.89	2705.89	2.71	3.96	3	estanque de filtración

### Datos para curvas elevación-almacenamiento de técnicas SuDS.

SuDS carr57_1		
Área	Elevación	Almacenamiento
2.87615	0	0
3.14975	2	6.03

Figura 0-6 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS carr57\_1.

SuDS carr57_2		
Área	Elevación	Almacenamiento
2.84862	0	0
3.06845	1.5	4.44

Figura 0-7 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS carr57\_2.

SuDS carr57_3		
Área	Elevación	Almacenamiento
0.68738	0	0
0.75137	1.5	1.08
0.81735	2.5	1.86

Figura 0-8 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS carr57\_3.

Cuadro 0-15 Áreas de urbanas de aportación para el bordo IV en la microcuenca Cuesta China

CUESTA CHINA IV													
Region a la que corresponden las areas:		NATURAL		URBANO									
	Areas Urbanas km <sup>2</sup>	Areas disponibles para SuDS km <sup>2</sup>	Pico de escorrentia (m <sup>3</sup> /s)	Flujo de salida total(mm)	Pico de escorrentia (m <sup>3</sup> /s)	Flujo de salida total(mm)	Δpico de escorrentia	tc (horas)	tp	V <sub>tiempo pico</sub> (Mm <sup>3</sup> )	Profundidad necesaria para el almacenamiento	Profundidad para proyecto de almacenamiento	Tipo SuDS
CARR57_AU4	0.03004005	0.00022832	0.1	34.98	0.3	75.47	0.2	1.074	2705.89	0.54	2.37	2	Laguna de retencion
El Mirador AU1	0.32503037	0.00131306	1.3	34.98	3.8	75.58	2.5	0.910	2293.35	5.73	4.37	3.5	Estanque de filtracion
El Mirador 2 AU1	0.12328604	0.00227747	0.5	34.98	1.4	75.58	0.9	0.910	2293.35	2.06	0.91	1.5	sistema de bioretencion
El Mirador 2 AU2	0.40096169	0.00171057	1.6	34.98	4.6	75.58	3	0.910	2293.35	6.88	4.02	3.5	estanque circular

Datos para curvas elevación-almacenamiento de técnicas SuDS.

Area de aportación	a o D	b	Area	Volumen de almacenamiento (m)	Almacenamiento entre las particular de arena	Almacenamiento libre	Almacenamiento (m <sup>3</sup> )	Almacenamiento (1000 m <sup>3</sup> )
CARR57_AU4	5.00	50.00	250.00	500.00			500.00	0.5
El Mirador AU1	40.00		1256.64	4398.23			4398.23	4.39822972
El Mirador 2 AU1	50.00		1963.50	2945.24	589.05 +	981.75	1570.80	1.57079633
El Mirador 2 AU2	40.00		1256.64	4398.23			4398.23	4.39822972

Figura 0-9 Datos para curvas elevación-almacenamiento de los SuDS correspondientes a las áreas que contribuyen al bordo IV de la Cuesta China.

Cuadro 0-16 Áreas de urbanas de aportación para el bordo I en la microcuenca Cuesta China

CUESTA CHINA I													
Region a la que corresponden las areas:													
	Areas Urbanas km <sup>2</sup>	Areas disponibles para SuDS km <sup>2</sup>	NATURAL		URBANO		Apico de escorrentia	tc (horas)	tp	V tiempo pico (Mm3)	Profundidad necesaria	Profundidad para proyecto	Tipo SuDS
			Pico de escorrentia (m3/s)	Flujo de salida total(mm)	Pico de escorrentia (m3/s)	Flujo de salida total(mm)							
Cuesta Bonita_AU1	0.042	0.00018	0.2	35.07	0.6	75.8	0.4	0.62	1553.56	0.62	0.00		3 estanque
Cuesta Bonita_AU2	0.034	0.00020	0.2	35.07	0.5	75.8	0.3	0.62	1553.56	0.47	2.34		2 biofiltro
Cuesta Bonita_AU3	0.032	0.00013	0.1	35.07	0.5	75.8	0.4	0.62	1553.56	0.62	4.96		4 estanque
Milenio 1_AU1	0.072	0.00013	0.3	35.07	0.9	75.7	0.6	0.72	1817.35	1.09	8.12		4 estanque
Milenio 1_AU2	0.075	0.00009	0.3	35.07	1	75.7	0.7	0.72	1817.35	1.27	14.13		4 estanque
Milenio 1_AU3	0.059	0.00011	0.3	35.07	0.7	75.7	0.4	0.72	1817.35	0.73	6.71		4 estanque
Milenio 1_AU4	0.056	0.00018	0.2	35.07	0.7	75.7	0.5	0.72	1817.35	0.91	4.96		4 estanque
Milenio 1_AU5	0.077	0.00043	0.3	35.07	1	75.7	0.7	0.72	1817.35	1.27	2.98		2 estanque
Milenio 1_AU7	0.014	0.00044	0.1	35.07	0.2	75.7	0.1	0.72	1817.35	0.18	0.42		0.5 biofiltro
Milenio 1_AU8	0.010	0.00049	0	35.07	0.1	75.7	0.1	0.72	1817.35	0.18	0.37		1 biofiltro
Milenio 1_AU9	0.083	0.00056	0.4	35.07	1.1	75.7	0.7	0.72	1817.35	1.27	2.28		2 biofiltro
Milenio 1_AU13	0.062	0.00018	0.3	35.07	0.8	75.7	0.5	0.72	1817.35	0.91	4.94		4 estanque
Milenio 2_AU1	0.009	0.00192	0	35.07	0.1	75.7	0.1	0.72	1817.35	0.18	0.09		0.5 biofiltro
Milenio 2_AU3	0.012	0.00052	0.1	35.07	0.2	75.7	0.1	0.72	1817.35	0.18	0.35		0.5 biofiltro
Milenio 2_AU4	0.151	0.00044	0.7	35.07	1.9	75.7	1.2	0.72	1817.35	2.18	4.97		3 estanque
Milenio 2_AU5	0.127	0.00046	0.6	35.07	1.6	75.7	1	0.72	1817.35	1.82	3.92		3 estanque
Milenio 2_AU6	0.051	0.00026	0.2	35.07	0.6	75.7	0.4	0.72	1817.35	0.73	2.83		2 biofiltro

### Datos para curvas elevación-almacenamiento de técnicas SuDS.

Area de aportación					Almacenamiento (1000 m3)
	Area 1	Area 2	capacidad 1	capacidad 2	
Cuesta Bonita_AU1	177.1	177.1			0.53
Cuesta Bonita_AU2	231.3	231.3	0.10	0.38	0.38
Cuesta Bonita_AU3	133.9	133.9	0.00	0.54	0.54
Milenio 1_AU1	ANEXO				0.46
Milenio 1_AU2	91.56	91.56	0.00	0.37	0.37
Milenio 1_AU3	68.5	107.18	0.00	0.35	0.35
Milenio 1_AU4	186.13	186.13	0.00	0.74	0.74
Milenio 1_AU5	ANEXO				0.82
Milenio 1_AU7	ANEXO				0.40
Milenio 1_AU8	487.85	487.85	0.00	0.49	0.49
Milenio 1_AU9	ANEXO				1.06
Milenio 1_AU13	182.2	182.2	0.00	0.73	0.73
Milenio 2_AU1	ANEXO				0.95
Milenio 2_AU3	514.7	514.7	0.00	1.54	1.54
Milenio 2_AU4	439	439	0.00	1.32	1.32
Milenio 2_AU5	458.74	458.74	0.00	1.38	1.38
Milenio 2_AU6	ANEXO				0.42

Figura 0-10 Datos para curvas elevación-almacenamiento de los SuDS correspondientes a las áreas que contribuyen al bordo I de la Cuesta China.

SuDS MILENIO 1_AU1		
Área	Elevación	Almacenamiento
0.09952	0	0
0.09952	1	0.09952
0.11523	2	0.206895
0.1231	3	0.32606
0.14832	4	0.46177

Figura 0-11 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS Milenio 1\_AU1.

SuDS MILENIO 1_AU5		
Área	Elevación	Almacenamiento
0.4006	0	0
0.41179	1	0.406195
0.4226	2	0.82339

Figura 0-12 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS Milenio 1\_AU5.

SuDS MILENIO 1_AU7 con dos embalses		
Área	Elevación	Almacenamiento
0.1055	0	0
0.1055	1	0.03165
0.1055	1.5	0.0844
Segundo embalse		
Área	Elevación	Almacenamiento
0.32052	0	0
0.32052	1	0.32052
Total		0.40492

Figura 0-13 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS Milenio 1\_AU7.

SuDS Milenio 1_AU9		
Área	Elevación	Almacenamiento
0.546	0	0
0.546	1.5	0.2457
0.546	3	1.0647

Figura 0-14 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS Milenio 1\_AU9.

Milenio 2_AU1		
Área	Elevación	Almacenamiento
1.005	0	0
1.005	1.5	0.45225
1.005	2	0.95475

Figura 0-15 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS Milenio 2\_AU1.

Milenio 2_AU6		
Área	Elevación	Almacenamiento
0.25489	0	0
0.25489	1.5	0.1147005
0.25489	2.7	0.4205685

Figura 0-16 Datos para curvas elevación-almacenamiento para SuDS Milenio 1\_AU6.

### 5.1.5 Ejemplos del comportamiento de las obras SuDS

Para un área de aportación urbana al bordo II, control regional.

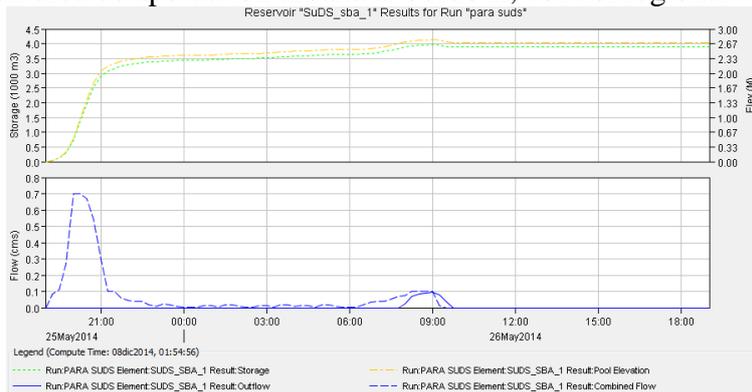


Figura 0-17 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS de la subárea de aportación.

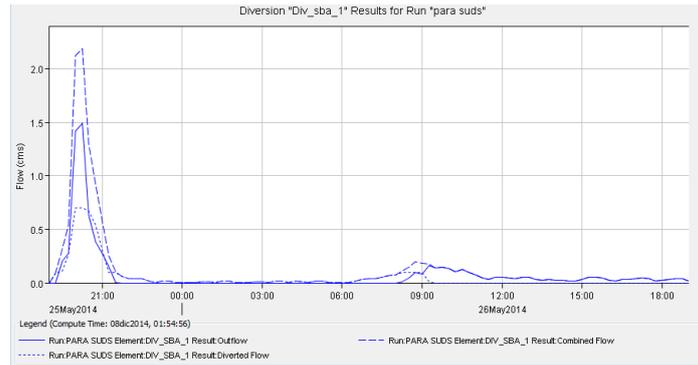


Figura 0-18 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS de la subárea de aportación.

Ejemplo de obras SuDS para un área de aportación urbana al bordo III, control regional.

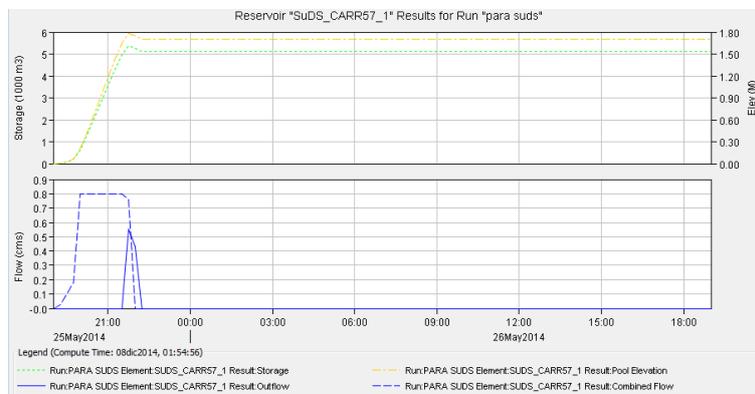


Figura 0-19 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS del área urbana carretera 57\_1.

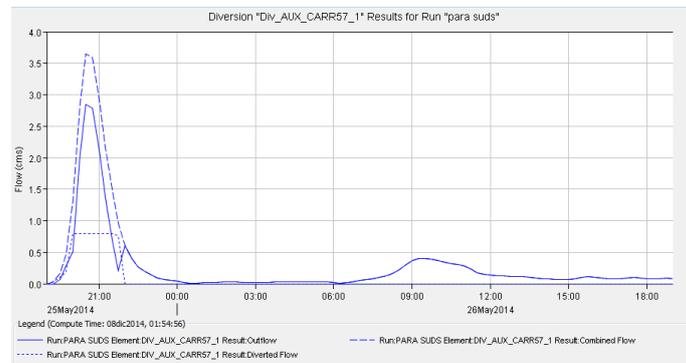


Figura 0-20 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS del área urbana carretera 57\_1.

Ejemplo de obras SuDS para un área de aportación urbana al bordo IV, control regional.

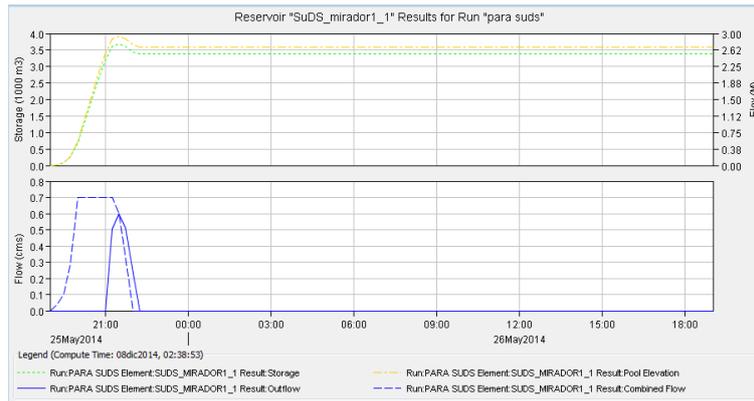


Figura 0-21 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS del área urbana Mirador\_1.

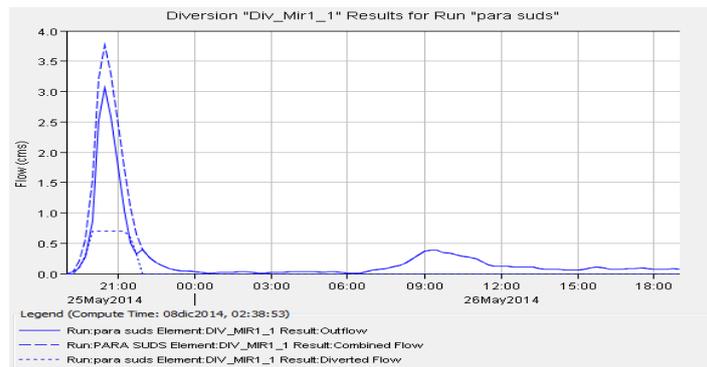


Figura 0-22 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS del área urbana Mirador\_1.

Ejemplo de obras SuDS para un área de aportación urbana al bordo IV, control regional.

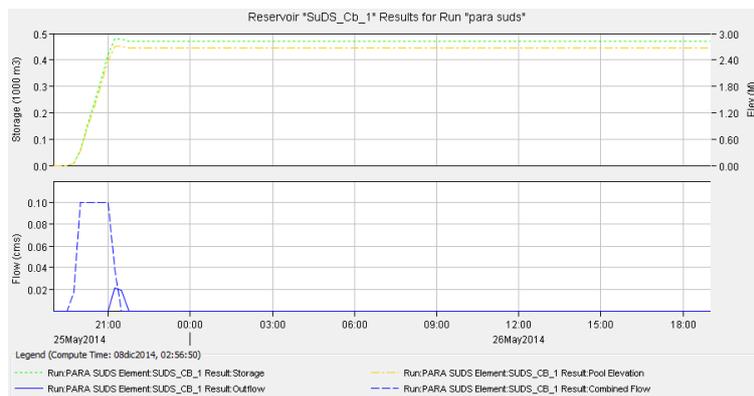


Figura 0-23 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS del área urbana Cuesta Bonita\_1.

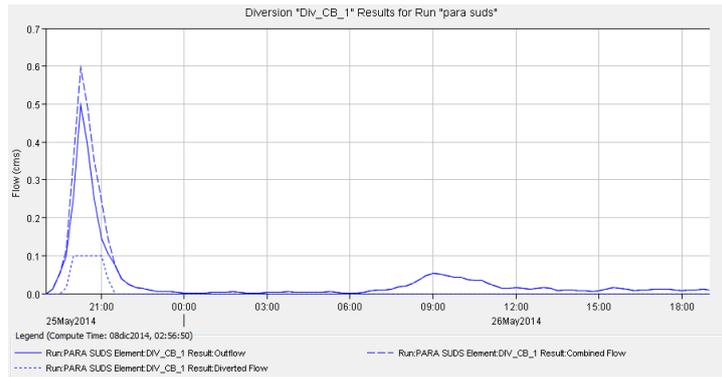


Figura 0-24 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS del área urbana Cuesta Bonita \_1.

Ejemplo de obras SuDS para un área de aportación urbana al bordo I, control regional.

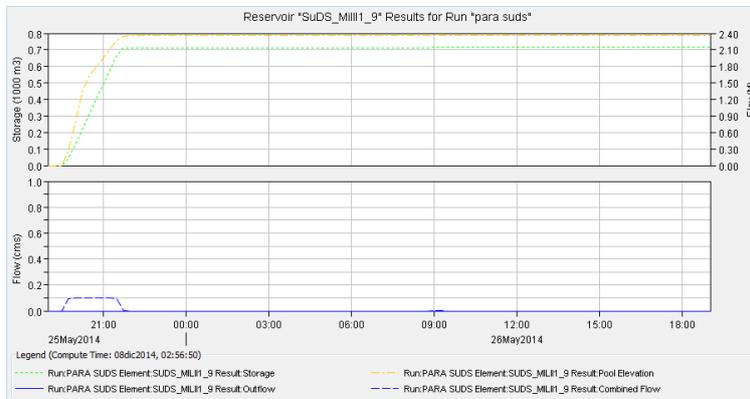


Figura 0-25 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS del área urbana Milenio II parte 1, obra SuDS 9.

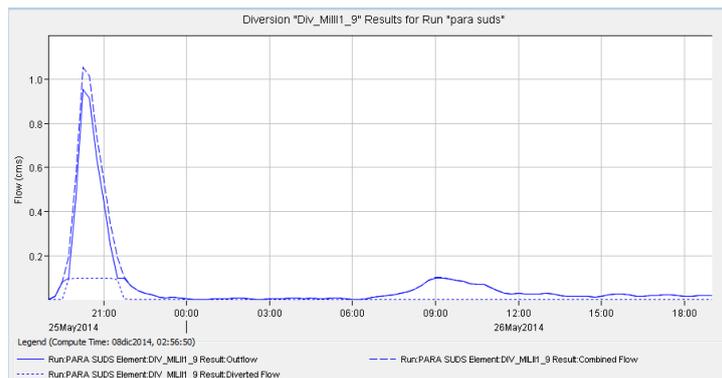


Figura 0-26 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS del área urbana Milenio II parte 1, obra SuDS 9.

**SuDS del área urbana Milenio II parte 2, obra SuDS 5.**

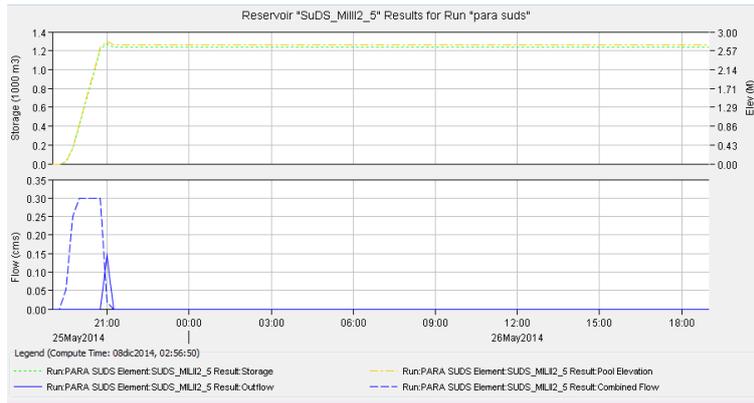


Figura 0-27 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS del área urbana Milenio II parte 2, obra SuDS 5.

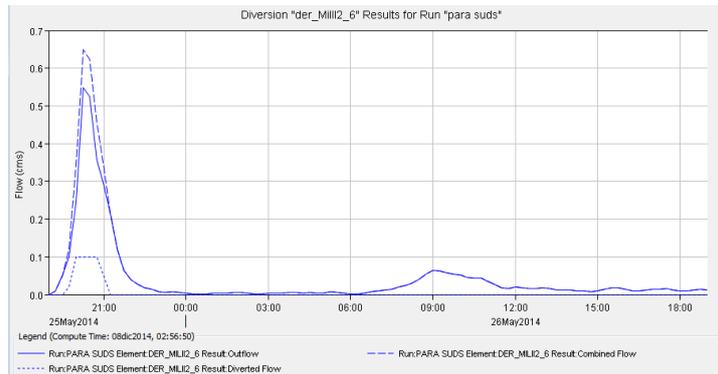


Figura 0-28 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS del área urbana Milenio II parte 2, obra SuDS 5.

### 5.1.6 Lluvia del 25 de mayo del 2014

Cuadro 0-17 Precipitación del 25 de mayo del 2014.

MILENIO	
Hora	mm
19:00	0
19:15	2.3
19:30	1
19:45	1
20:00	8.899999
20:15	6.600001
20:30	3.299999
20:45	2.299999
21:00	0.200001
21:15	0
21:30	0.299999
21:45	0.200001
22:00	0.799999
22:15	0.799999

CIMATARIO	
Hora	mm
19:00	0
19:15	0
19:30	0
19:45	0
20:00	0
20:15	0
20:30	0
20:45	0
21:00	0

### 5.1.7 Simulación con las obras SuDS incorporadas al modelo.

Ejemplo de obras SuDS para un área de aportación urbana al bordo II, control regional.

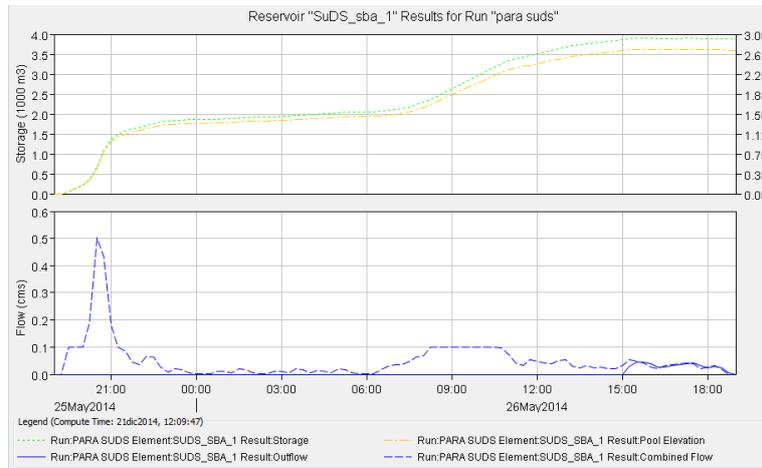


Figura 0-29 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS de la subárea de aportación.

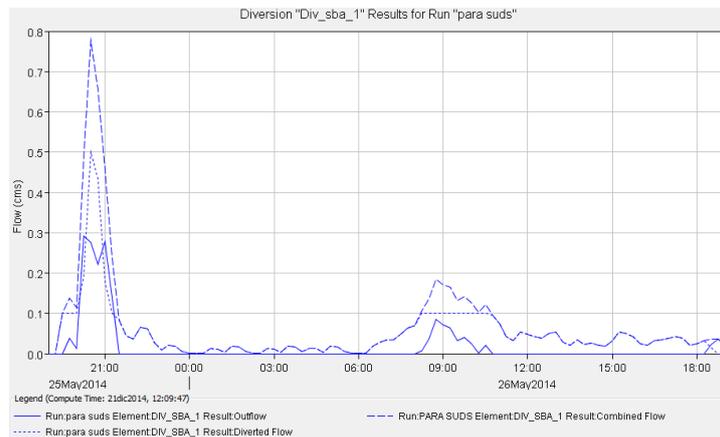


Figura 0-30 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS de la subárea de aportación.

Ejemplo de obras SuDS para un área de aportación urbana al bordo III, control regional.

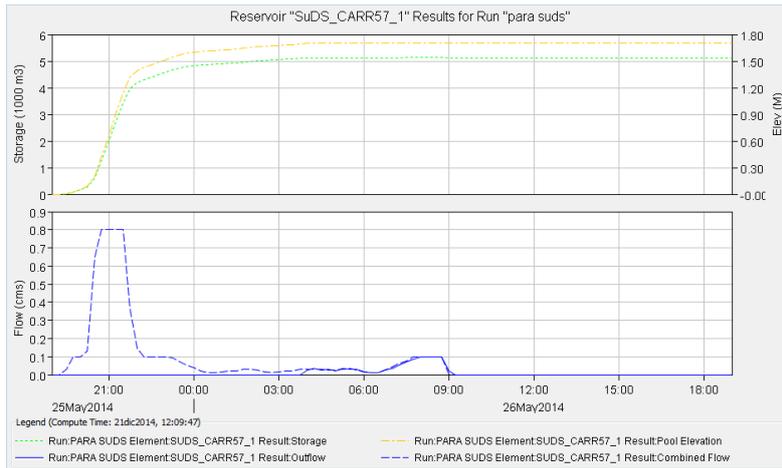


Figura 0-31 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS del área urbana carretera 57\_1.

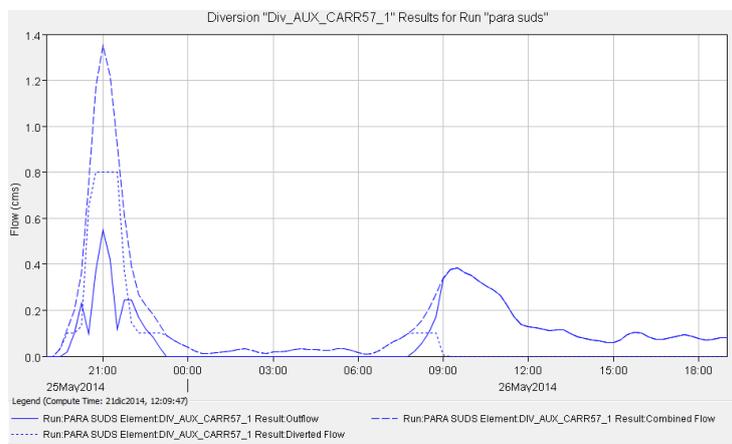


Figura 0-32 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS del área urbana carretera 57\_1.

Ejemplo de obras SuDS para un área de aportación urbana al bordo IV, control regional.

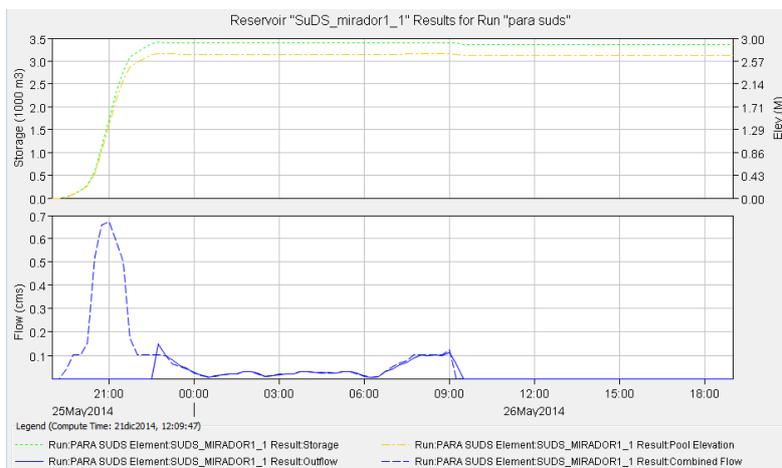


Figura 0-33 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS del área urbana Mirador\_1.

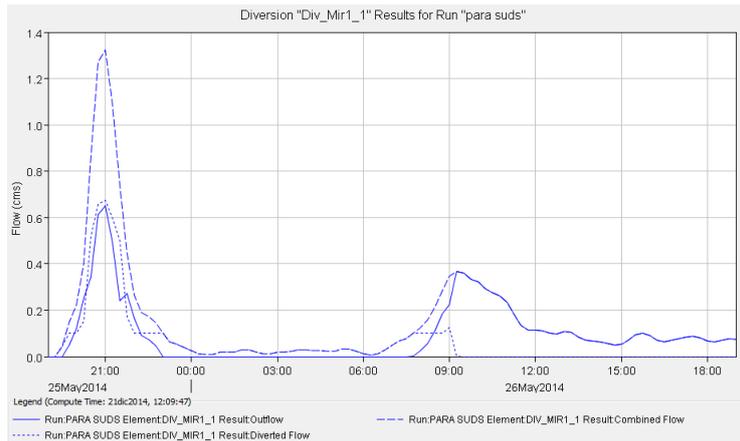


Figura 0-34 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS del área urbana Mirador\_1.

Ejemplo de obras SuDS para un área de aportación urbana al bordo I, control regional.

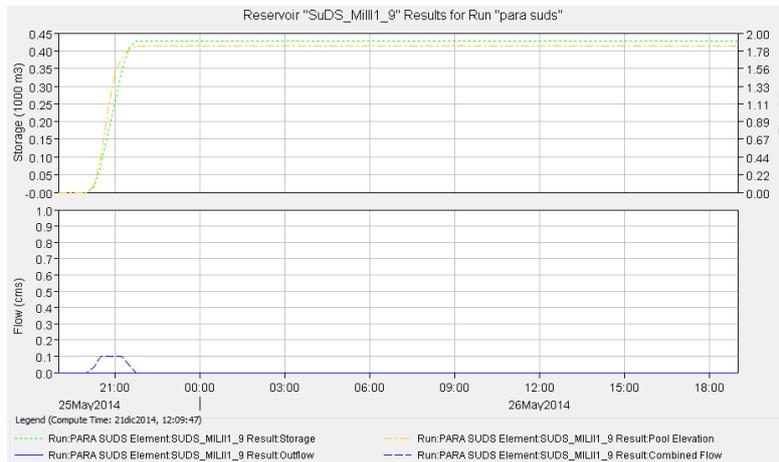


Figura 0-35 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS del área urbana Milenio III parte 1, obra SuDS 9.

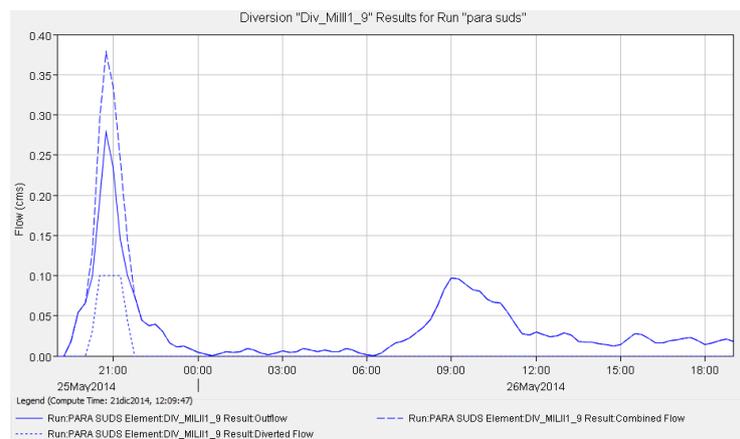


Figura 0-36 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS del área urbana Milenio III parte 1, obra SuDS 9.

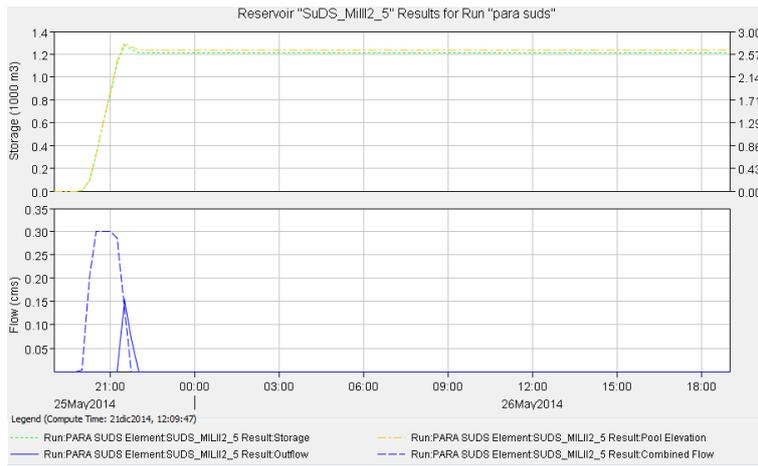


Figura 0-37 Grafica elevación-almacenamiento e hidrograma para SuDS del área urbana Milenio III parte 2, obra SuDS 5.

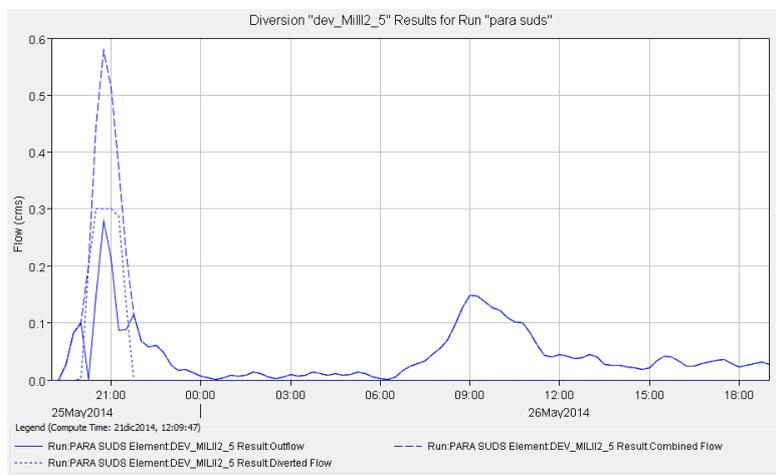


Figura 0-38 Hidrograma del elemento de derivación del flujo para SuDS del área urbana Milenio III parte 2, obra SuDS 5.