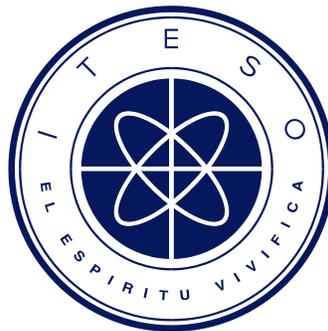


INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018,
publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de noviembre de 1976.

Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano

MAESTRÍA EN PROYECTOS Y EDIFICACIÓN SUSTENTABLES



“Hidrología urbana con criterios de sustentabilidad en desarrollos habitacionales de
Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco”.

Trabajo recepcional que para obtener el grado de

MAESTRO EN PROYECTOS Y EDIFICACIÓN SUSTENTABLES

Presentan: Alfredo Urías Angulo

Tutor: Francisco Álvarez Partida

San Pedro Tlaquepaque, Jalisco. Mayo de 2017.

INDICE GENERAL

Resumen.....	13
1. Introducción y Problemática	14
1.2 Pregunta de investigación principal.....	14
1.2.1 Preguntas de investigación secundarias:	14
1.3 Caracterización de la investigación.....	15
1.5 Hipótesis	16
1.6 Justificación.....	16
1.7 Objetivo General	17
1.7.1 Objetivos Particulares.....	17
1.8 Alcances de la investigación	18
2. MARCO CONTEXTUAL Y ANTECEDENTES	20
2.1 Problemáticas relacionadas con el drenaje en cuencas del municipio	20
2.1.1 Planeación y usos del suelo	22
2.2 Medio Físico.....	27
2.2.1 Hidrología	27
2.2.2 Precipitación.....	27
2.2.3 Intensidad, duración y periodo de retorno de lluvias	27
2.2.4 Balance Hídrico	28
2.3 Cuenca del Ahogado y Subcuenca El Guayabo	30
2.4 Antecedentes empíricos de manejo sustentable del agua pluvial.....	32
2.4.1 Internacional.....	32
2.4.2 Nacional	38
2.5 Organismos Internacionales y recursos importantes en la Gestión Integral de aguas pluviales.....	41
2.6 Gobernanza y actores identificados	44
2.6.1 Gobierno municipal, estatal y federal	45
2.6.2 Organismos operadores	46
2.6.3 Instituciones académicas	46
2.6.4 Sector privado	47
2.6.5 Actores locales	47
2.7. INICIATIVAS GUBERNAMENTALES Y DE ORGANISMOS ENCARGADOS.....	48
2.7.1 Normativa asociada.....	48
2.7.2 A nivel Nacional.....	48

2.7.3 A Nivel Estatal en Jalisco	49
2.7.4 A nivel Local	49
2.7.5 Nivel Metropolitano o intermunicipal.....	51
2.7.6 Pertinencia y relación con la investigación	55
3. MARCO TEORICO-CONCEPTUAL.....	56
3.1 Conceptos de hidrología	56
3.2 Impacto Hidrológico Cero y el control en el origen.....	60
3.3 Ciclo hidrológico natural y urbano	62
3.4 Contaminación del agua de escorrentía urbana	63
3.5 Concepto de desarrollo sustentable	69
3.6 Gestión Integral de los Recursos Hídricos	71
3.7 Infraestructura verde	72
3.8 Evolución de paradigmas y visiones	73
3.9 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)	77
3.9.1 Principios básicos.....	79
3.9.2 Estrategias estructurales y no estructurales.....	82
3.9.3 Escala de aplicación de las estrategias.....	83
3.9.4 El esquema de enfoque de los 3 puntos	84
3.10 Criterios de diseño	86
3.11 Procesos de tratamiento y eliminación de contaminantes	101
4. DISEÑO METODOLÓGICO.....	108
4.1 Postura epistémica.....	108
4.2 Metodologías similares de proyectos similares	108
4.3 Selección de técnicas y diseño de instrumentos.....	114
4.4 Resumen de puntos relevantes mencionados en entrevistas	115
4.4.5 Entrevista a Mtra. Ana Abellán – Experta en la implementación de SUDS en España.....	120
4.4.6 Análisis de las entrevistas realizadas.....	121
4.5 Análisis Estadístico de estación climatológica 14294	122
4.5.1 Discusión de resultados del análisis estadístico.....	127
4.6 Encuesta	128
4.6.1 Resumen de información relevante de encuestas	154
4.6.2 Matriz de Ponderación de criterios	154
4.6.3 Discusión de resultados de Matriz de ponderación de criterios.....	157

5. DISEÑO DE LAS PROPUESTAS	158
5.1 Referencias/ Teoría del software	159
5.2 Caracterización descriptiva del proyecto pluvial mediante sistema convencional y ubicación en relación con la subcuenca el guayabo	168
5.3 Información hidrológica básica para obtención de caudales máximos e hidrogramas.....	174
5.4 Definición de ubicación y tipo de SUDS a aplicar	184
5.5 Definición conceptual de SUDS	202
5.6 Diseño final implementado utilizando sistema de drenaje pluvial sustentable	205
5.7 Diseño detallado de SUDS.....	216
5.7.1 Diseño detallado de sistemas de biorretención	216
5.7.2 Diseño detallado de cunetas verdes	229
5.7.3 Diseño detallado de zanja de infiltración	235
5.7.4 Diseño de pozos de infiltración.....	238
5.7.5 Diseño de pavimento permeable.....	242
5.7.6 Diseño de estanques de regulación	244
5.8 Volumen de tratamiento de calidad del agua	250
5.9 Comparación mediante metodología* para seleccionar tecnologías para la vivienda sustentable adaptada para ponderar puntajes entre proyecto convencional y proyecto con SUDS	252
5.10 Comparativa de costos y materiales para estructuras de regulación.....	262
6. Conclusiones.....	267
7. Fuentes consultadas:	270
8. Anexos	276

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Uso del Suelo de 2010.....	23
Figura 2. Uso del Suelo Proyectado.....	23
Figura 3. Tabla que contrasta el uso de suelo actual con datos de 2010 y el planeado en El Guayabo.. ..	24
Figura 4. Mapa en SIG de la subcuenca El Guayabo, mostrando los elementos más importantes de esta.....	24
Figura 5. Fotografía y dibujo esquemático de una presa de gavión.....	25
Figura 6. Ubicación de cuenca El Ahogado en relación con la ZMG.	30
Figura 7. Subcuencas y microcuencas de Cuenca El Ahogado.....	30
Figura 8. Subcuenca del Guayabo.....	31
Figura 9. Mapa de subcuenca El Guayabo con divisiones municipales, de microcuencas y ubicación de arroyos, presas y colindancias con otras subcuencas.....	31
Figura 10. Diagrama que muestra los procesos de filtrado del agua del parque Houton en Shanghai, mediante humedales y otros sistemas, se visualiza la claridad del agua en la entrada y salida del sistema.....	34

Figura 11. Plazas Cisterna de Venecia, Italia.	36
Figura 12. Corte longitudinal mostrando ubicación de cisterna del LRC.....	36
Figura 13. Cuenca de Atemajac y su cauce en medio de la zona urbanizada.	39
Figura 14. Proyecto de ampliación del ancho del Río Atemajac y creación de espacio público..	40
Figura 15. Análisis de Impacto Hidrológico Cero en la Cuenca Atemajac.	40
Figura 16. Una descripción conceptual del área urbana como contexto del proceso de toma de decisiones en la Gestión del Riesgo de Inundaciones Urbanas.	44
Figura 17. Imagen escaneada de plano con el programa de protección a centros de población de Tlajomulco..	50
Figura 18. Depósito de regulación López Mateos en canchas de futbol hundidas.	53
Figura 19. Render de proyecto de Depósito Morelos debajo de vialidad.....	53
Figura 20. Render del proyecto de vaso de regulación “El Dean”.....	54
Figura 21. Render del proyecto de depósito de regulación Revolución-Lázaro Cárdenas..	54
Figura 22. Curvas con iguales tiempos de concentración.....	59
Figura 23. Hidrogramas representativos del concepto de Impacto Hidrológico Cero.	60
Figura 24. Funcionamiento esquemático de tres tipos de control-regulación de aguas pluviales.....	61
Figura 25. Ciclo Hidrológico. Fuente: U.S. Department of the Interior, U.S: Geological Survey	62
Figura 26. Gestión Integrada del ciclo del agua urbana.....	72
Figura 27. Esquema de evolución de los sistemas hidráulico-urbanos.....	74
Figura 28. Esquema de las relaciones entre las tres corrientes del ciclo urbano del agua, unidos en una manera integral que forma el proceso de DUSA.....	75
Figura 29. Conceptos básicos de SUDS.....	78
Figura 30. Algunas de las estrategias SUDS más utilizadas.	80
Figura 31. Diagrama de un jardín de lluvia. Fuente: Manual de Diseño de Manejo de Aguas pluviales del estado de Nueva York.	82
Figura 32. Esquema del tren de tratamiento de aguas superficiales.	84
Figura 33. El planteamiento de los “3 puntos”.....	85
Figura 34. Esquema conceptual de los criterios utilizados en la herramienta de soporte de decisión E2Stormed.....	100
Figura 35. Mapa de proceso para el Diseño del Manejo de Aguas Superficiales.	111
Figura 36. Diagrama de flujo de selección de BMPs.....	112
Figura 37. Esquema de la ubicación del desarrollo en relación con la estación 14294 y el parteaguas de la cuenca del Ahogado.	124
Figura 38. Vista general de Subcuenca el Guayabo, con delimitación de microcuencas, relación con zona de proyecto e identificación de zona de riesgo de inundación.	168
Figura 39. Acercamiento a zona de proyecto, y su relación con arroyos y delimitación de microcuencas de Subcuenca El Guayabo en relación con el polígono de proyecto.	168
Figura 40. Vista en planta de polígono de proyecto, fraccionamiento existente, zona de inundación, vaso de regulación existente y arroyo de descarga.	169
Figura 41. Acercamiento a zona de proyecto, y su relación con arroyos y delimitación de microcuencas de Subcuenca El Guayabo en relación con el polígono de proyecto.	170
Figura 42. Vista completa y esquemática de los componentes del proyecto pluvial convencional del fraccionamiento de estudio.....	171
Figura 43. Vista esquemática de la zona sur mostrando los componentes del proyecto pluvial convencional del fraccionamiento de estudio.....	172

Figura 44. Vista esquemática de la zona central mostrando los componentes del proyecto pluvial convencional del fraccionamiento de estudio.....	173
Figura 45. Vista esquemática de la zona más al norte mostrando los componentes del proyecto pluvial convencional del fraccionamiento de estudio.....	174
Figura 46. Configuración final de subcuencas dentro del fraccionamiento.....	177
Figura 47. Usos de suelo considerados en el análisis hidrológico del sitio.....	178
Figura 48. Conexión de hidrogramas a punto de descarga.....	182
Figura 49. Módulo de configuración de hidrograma 3B en el software xpdrainage.....	182
Figura 50. Tabla dentro del módulo de configuración de hidrograma 3B para ingresar el caudal por minuto.....	183
Figura 51. Tabla dentro del módulo de configuración de hidrograma 3B para ingresar el caudal por minuto.....	184
Figura 52. Curvas de nivel, polígonos de manzanas, áreas verdes, vialidades y dirección de flujo pluvial.....	186
Figura 53. Imagen satelital de la ubicación del desarrollo con respecto a la ZMG y las vialidades principales.....	204
Figura 54. Imagen satelital del polígono de proyecto.....	204
Figura 55. Vista en planta de la ubicación final de los sistemas SUDS.....	209
Figura 56. Proyecto con SUDS con red de tuberías pluviales (zona sur).....	210
Figura 57. Proyecto con SUDS con red de tuberías pluviales (zona norte).....	210
Figura 58. Delimitación de zonas de proyecto en relación con los SUDS.....	211
Figura 59. Ubicación de bocas de tormenta.....	213
Figura 60. Módulo de configuración de bocas de tormenta en software xpdrainage.....	214
Figura 61. Ubicación de sistemas de biorretención.....	217
Figura 62. Detalle de elementos de una biorretención típica.....	221
Figura 63. Esquema de componentes de un jardín de lluvia.....	221
Figura 64. Vista en planta de biorretención 2 y su conexión de salida.....	222
Figura 65. Perfil de llenado y conexión de salida de biorretención 2.....	223
Figura 66. Ubicación de cunetas verdes.....	230
Figura 67. Detalle de elementos de una biorretención típica.....	230
Figura 68. Vista en planta de cuneta verde 1 y sus conexiones.....	233
Figura 69. Perfil del momento de llenado máximo de cuneta verde 1.....	234
Figura 70. Vista en planta de zanja de infiltración y sus respectivas conexiones de entrada y salida.....	235
Figura 71. Perfil del momento de llenado máximo de cuneta verde 1.....	238
Figura 72. Vista en planta de los pozos de infiltración 2,3 y 4.....	238
Figura 73. Vista en planta de los pozos de infiltración 5,6 y 7.....	239
Figura 74. Comparativa entre el momento de llenado máximo y el volumen remanente a los 60 min desde el inicio de la lluvia.....	240
Figura 75. Comparativa entre el momento de llenado máximo y el volumen remanente a los 60 min desde el inicio de la lluvia.....	240
Figura 76. Ubicación en planta de pavimento permeable.....	242
Figura 77. Perfil del momento de llenado máximo de estanque 3.....	245

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Régimen de lluvias en Tlajomulco de Zúñiga.....	27
Tabla 2. Promedio de lluvias máximas en 24 horas en Tlajomulco de Zúñiga.....	27
Tabla 3. Intensidades lluvia según la duración en Tlajomulco de Zúñiga.....	27

Tabla 4 . Balance hídrico en Tlajomulco de Zúñiga.	28
Tabla 5. Vista general de las categorías de actores clave identificados y los aspectos que priorizan según diferentes investigaciones.....	45
Tabla 6. Valores del Coeficiente de Escurrimiento.....	57
Tabla 7. Distribución del agua existente en el planeta Tierra.....	62
Tabla 8. Tipología y principales fuentes de contaminantes en las aguas urbanas.	65
Tabla 9. Tasa de deposición atmosférica seca.....	65
Tabla 10. Contaminantes acumulados en las calles provenientes del tráfico.....	66
Tabla 11. Concentraciones medias de los principales contaminantes de aguas de escorrentía urbana.....	66
Tabla 12. Concentraciones de los parámetros de base en diferentes vertimientos urbanos.....	67
Tabla 13. Concentraciones medias de vertimientos pluviales separativos en función de la urbanización.....	68
Tabla 14. Concentraciones medias en metales para diferentes tipos de VUTL.....	68
Tabla 15. Flujos contaminantes anuales metales para diferentes tipos de VUTL.....	68
Tabla 16. Concentraciones en hidrocarburos en los vertimientos urbanos de tiempos de lluvia.....	69
Tabla 17. Concentraciones en hidrocarburos en los vertimientos urbanos de tiempos de lluvia.....	69
Tabla 18. Atributos de una Ciudad Sensible al Agua comparado con la gestión actual del agua.....	76
Tabla 19. Etapas temporales de sistemas de agua en las ciudades.....	76
Tabla 20. Paradigmas históricos del manejo de agua/agua de lluvia/aguas residuales.....	77
Tabla 21. Principios que guían la selección de criterios de diseño de drenaje pluvial.....	87
Tabla 22. Criterios para proyectos pluviales e indicadores de ejemplo por categoría.	88
Tabla 23. Criterios para proyectos pluviales e indicadores de ejemplo por categoría.....	90
Tabla 24. Elementos que han de considerarse en la elección de la ubicación del sistema de drenaje: Criterios relativos a las características del sitio, índices primarios y secundarios, y unidades de medida.....	92
Tabla 25. Elementos que han de considerarse en función de la tecnología y conocimientos actuales: Criterios científicos y tecnológicos, índices primarios y secundarios, y unidades de medida.....	93
Tabla 26. Elementos que han de considerarse en función a la operatividad y mantenimiento: Criterios científicos y tecnológicos, índices primarios y secundarios, y unidades de medida.....	94
Tabla 27. Elementos que han de considerarse en función a los requerimientos ambientales: Criterios ambientales, índices primarios y secundarios, y unidades de medida.....	95
Tabla 28. Elementos que han de considerarse en función a los requerimientos sociales: Criterios sociales y urbanos, índices primarios y secundarios, y unidades de medida.....	96
Tabla 29. Elementos que han de considerarse en función a los costes económicos: Criterios económicos, índices primarios y secundarios, y unidades de medida.....	97
Tabla 30. Elementos que han de considerarse en función a la legislación y urbanismo del lugar de estudio: Criterios legales y urbanísticos, índices primarios y secundarios, y unidades de medida.....	98
Tabla 31. Principales procesos de eliminación de contaminantes en aguas de escorrentía urbana mediante SUDS.....	101
Tabla 32. Tipos de contaminantes eliminados y sus eficiencias de eliminación según SUDS	107
Tabla 33. Matriz de resumen de puntos relevantes abordados en diferentes temáticas por dos expertos entrevistados.	116
Tabla 34. Resumen de entrevistas (1 de 2).....	118
Tabla 35. Resumen de entrevistas (2 de 2).....	118
Tabla 36. Resumen de entrevista a Mtra. Ana Abellán.....	120
Tabla 37. Precipitaciones máximas diarias anuales en mm.....	122
Tabla 38. Criterios de selección de años con datos fiables o suficientes para análisis estadístico.....	123

Tabla 39. Valores de precipitación máxima diaria para cada periodo de retorno y su corrección por observación obtenidos del programa AX.....	125
Tabla 40. Valores de precipitación acumulada e intensidad de lluvia para generar Curvas I-D-Tr de la estación 14294.....	125
Tabla 41. Extracto ejemplo de primera parte de la encuesta.....	131
Tabla 42. Extracto ejemplo de segunda parte de encuesta para llenado de puntaje de cada criterio y definición de promedio y ponderación relativa sustentable.....	131
Tabla 43. Extracto ejemplo de segunda parte de encuesta para llenado de puntaje de cada criterio y definición de promedio y ponderación relativa sustentable.....	132
Tabla 44. Comparación de puntaje ponderado entre el proyecto pluvial convencional y el proyecto con SUDS en las categorías ambiental, social y económica.....	156
Tabla 45. Comparación de puntaje ponderado entre el proyecto pluvial convencional y el proyecto con SUDS en las categoría técnico-hidráulico/holístico.....	157
Tabla 46. Elementos que conforman el proyecto pluvial convencional en el fraccionamiento de estudio.....	171
Tabla 47. Datos estadísticos para generación de curvas I-D-Tr de la estación 14294 de Tlajomulco.....	175
Tabla 48. Cálculo del coeficiente de escurrimiento general mediante ponderación.....	179
Tabla 49. Calculo de coeficiente de escurrimiento general.....	179
Tabla 50. Gastos máximos por subcuenca para cada periodo de retorno a los 15 minutos de lluvia.....	180
Tabla 51. Cálculo hidrológico de predimensionamiento de volúmenes de regulación.....	181
Tabla 52. Porcentajes de impermeabilidad de las microcuencas del fraccionamiento.....	185
Tabla 53. Principios que conducen la selección de criterios de diseño del drenaje pluvial.....	187
Tabla 54. Definición de criterios sustentables para proyectos pluviales en desarrollos urbanos.....	189
Tabla 55. Resultado de técnica de ponderado para la categoría ambiental.....	190
Tabla 56. Resultado de técnica de ponderado para la categoría social.....	190
Tabla 57. Resultado de técnica de ponderado para la categoría económica.....	191
Tabla 58. Resultado de técnica de ponderado para la categoría técnico-hidráulica/holística.....	191
Tabla 59. Orden de criterios mediante su ponderación relativa de sustentabilidad.....	193
Tabla 60. Criterios ordenados según porcentaje de ponderación relativa sustentable en la categoría ambiental.....	193
Tabla 61. Criterios ordenados según porcentaje de ponderación relativa sustentable en la categoría social.....	194
Tabla 62. Criterios ordenados según porcentaje de ponderación relativa sustentable en la categoría económica.....	194
Tabla 63. Criterios ordenados según porcentaje de ponderación relativa sustentable en la categoría técnica-hidráulica/holística.....	195
Tabla 64. Identificación de viabilidad de implementación de diferentes SUDS en función de los usos del suelo en el sitio.....	196
Tabla 65. Identificación de viabilidad de implementación de diferentes SUDS en función de las características del lugar.....	197
Tabla 66. Identificación de viabilidad de implementación de diferentes SUDS en función del tratamiento y control de los escurrimientos requeridos.....	199
Tabla 67. Número de elementos del tren de tratamiento (asumiendo que un pretratamiento efectivo ya se encuentra implementado).....	199
Tabla 68. Identificación de viabilidad de implementación de diferentes SUDS en función de mantenimiento, costos, aceptación de la comunidad y potencial de creación de hábitat.....	200
Tabla 69. Restricciones/oportunidades de los SUDS.....	203
Tabla 70. Usos de suelo de los fraccionamientos.....	204
Tabla 71. Análisis de áreas permeables e impermeables del desarrollo habitacional.....	205
Tabla 72. Definición y descripción de los supuestos de diseño del proyecto con SUDS.....	206

Tabla 73. Resumen de resultados hidráulicos arrojados por software xpdrainage después del modelado final, corrida de 6 horas de duración.....	212
Tabla 74. Calculo de eficiencia de bocas de tormenta implementadas en proyecto con SUDS.....	213
Tabla 75. Resumen de datos y gastos conducidos de tuberías implementadas en proyecto con SUDS. Fuente: xpdrainage.....	215
Tabla 76. Determinación del área requerida por biorretención.....	218
Tabla 77. Datos de configuración en el software xpdrainage necesarios para biorretenciones 2, 4, 5 y PP1.....	219
Tabla 78. Datos de configuración en el software xpdrainage necesarios para biorretenciones 1, 3 y 6.....	219
Tabla 79. Resumen de resultados hidráulicos arrojados por el software xpdrainage para todos los sistemas de biorretención.....	220
Tabla 80. Efectividad de sistemas de biorretención.....	227
Tabla 81. Datos de configuración en el software xpdrainage necesarios para cunetas verdes.....	231
Tabla 82. Resumen de resultados hidráulicos en el software xpdrainage necesarios para cunetas verdes.....	232
Tabla 83. Datos de configuración en el software xpdrainage necesarios para la zanja de infiltración.....	236
Tabla 84. Resumen de resultados hidráulicos para zanja de infiltración.....	236
Tabla 85. Resumen de pruebas de permeabilidad realizadas en el sitio. Fuente: privada.....	239
Tabla 86. Resumen de resultados hidráulicos de pozos de infiltración.....	241
Tabla 87. Resumen de volumen de escurrimiento reducido por pozos de absorción.....	241
Tabla 88. Datos de configuración en el software xpdrainage necesarios para el pavimento permeable.....	243
Tabla 89. Resumen de resultados hidráulicos para pavimento permeable.....	243
Tabla 90. Datos de entrada para configurar el modelo hidráulico en el software xpdrainage.....	245
Tabla 91. Resultados hidráulicos entregados por el software.....	245
Tabla 92. Análisis hidrológicos comparativos de volúmenes y caudales de escurrimiento a los 60 min y 6 horas del inicio de la lluvia. (Volumen total captado refiere a lo que quedo dentro de los sistemas y solo podría salir por infiltración o evapora.....	248
Tabla 93. Módulo de introducción de parámetros dentro del software para la obtención del volumen total de tratamiento.....	250
Tabla 94. Volúmenes de tratamiento logrados por cada sistema SUDS aplicado en la propuesta.....	251
Tabla 95. Variación de volúmenes de tratamiento en función de la altura de precipitación.....	251
Tabla 96. Evaluación comparativa de criterios e indicadores con sus puntajes obtenidos en la categoría ambiental.....	253
Tabla 97. Evaluación comparativa de criterios e indicadores con sus puntajes obtenidos en las categorías social y económica.....	254
Tabla 98. Evaluación comparativa de criterios e indicadores con sus puntajes obtenidos en la categoría Técnico-hidráulica/holística (Parte 1).....	255
Tabla 99. Evaluación comparativa de criterios e indicadores con sus puntajes obtenidos en la categoría Técnico-hidráulica/holística (Parte 2).....	256
Tabla 100. Comparación de puntaje ponderado entre el proyecto pluvial convencional y el proyecto con SUDS en las categorías ambiental, social y económica.....	257
Tabla 101. Comparación de puntaje ponderado entre el proyecto pluvial convencional y el proyecto con SUDS en las categoría técnico-hidráulico/holístico.....	258
Tabla 102. Comparación de análisis de escenarios futuros para el proyecto convencional y con SUDS.....	260
Tabla 103. Obtención de valores paramétricos de volumen de regulación logrado por m3 de materiales utilizados.....	263
Tabla 104. Obtención de costo paramétrico por m3 de regulación pluvial en la construcción de un tanque.....	263
Tabla 105. Disminución de volumen a utilizar mediante módulos Eco-Drain.....	263
Tabla 106. Presupuesto paramétrico de los 3 estanques de detención e infiltración.....	264

Tabla 107. Comparativa de presupuestos y uso de material para 3 opciones de regulación pluvial.	265
--	-----

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Curvas Intensidad-Duración-Periodo de Retorno representativas de Tlajomulco de Zúñiga.	28
Gráfica 2. Balance hídrico en Tlajomulco de Zúñiga.	29
Gráfica 3. Precipitación total anual de estación 14294.	126
Gráfica 4. Precipitación total anual de estación 14294.	127
Gráfica 5. Vista de las tendencias generales en las respuestas de la encuesta en la categoría ambiental.	133
Gráfica 6. Vista de las tendencias generales en las respuestas de la encuesta en la categoría social.	134
Gráfica 7. Vista de las tendencias generales en las respuestas de la encuesta en la categoría económica.	134
Gráfica 8. Vista de las tendencias generales en las respuestas de la encuesta en la categoría técnico-hidráulico/holístico.	135
Gráfica 9. Vista de las tendencias globales en las respuestas de la encuesta en todas las categorías.	136
Gráfica 10. Comparativa de tendencias de respuesta en categoría ambiental diferenciado por persona encuestada.	137
Gráfica 11. Comparativa de tendencias de respuesta en categoría social diferenciado por persona encuestada.	138
Gráfica 12. Comparativa de tendencias de respuesta en categoría económica diferenciado por persona encuestada.	139
Gráfica 13. Comparativa de tendencias de respuesta en categoría técnica-hidráulica/holística diferenciado por persona encuestada.	140
Gráfica 14. Curvas I-D-Tr generadas a partir de la información histórica de la estación 14294 de Tlajomulco.	176
Gráfica 15. Hidrograma característico para todo el fraccionamiento.	181
Gráfica 16. Hidrograma de entrada y salida de biorretención 2.	222
Gráfica 17. Gráfica del comportamiento del tirante dentro de Biorretención 2.	223
Gráfica 18. Curva tiempo-volumen de biorretención 2. Fuente: xpdrainage.	223
Gráfica 19. Hidrograma de entrada y salida de biorretención 4.	224
Gráfica 20. Hidrograma de entrada y salida de biorretención 5.	224
Gráfica 21. Hidrograma de entrada y salida de biorretención PP1.	224
Gráfica 22. Hidrograma de entrada y salida de biorretención 1 (Jardín de llluvias).	225
Gráfica 23. Hidrograma de entrada y salida de biorretención 3 (Jardín de llluvias).	225
Gráfica 24. Hidrograma de entrada y salida de biorretención 6 (Jardín de llluvias).	225
Gráfica 25. Desempeño en la eliminación de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en un sistema de Biorretención.	228
Gráfica 26. Desempeño en la eliminación de Fosforo (P) en un sistema de Biorretención.	228
Gráfica 27. Desempeño en la eliminación de Nitrógeno (N) en un sistema de Biorretención.	229
Gráfica 28. Hidrograma de entrada y salida de cuneta verde 1 (línea roja= caudal entrada, Línea azul= caudal salida).	232
Gráfica 29. Curva tiempo-tirante de cuneta verde 1 (línea roja= tirante superficial, Línea azul= tirante en zanja).	233
Gráfica 30. Curva tiempo-volumen de cuneta verde 1 (línea roja= Volumen total ingresado, Línea azul= volumen en superficie, línea azul claro= volumen en zanja, línea café= volumen infiltrado).	233
Gráfica 31. Hidrograma de entrada y salida de cuneta verde 2.	234
Gráfica 32. Hidrograma de entrada y salida de cuneta verde 3 (línea roja= caudal entrada, Línea azul= caudal salida total, línea azul claro= caudal salida por infiltración).	234
Gráfica 33. Hidrograma de entrada y salida de cuneta verde 4 (línea roja= caudal entrada, Línea azul= caudal salida total, línea azul claro= caudal salida por infiltración).	235
Gráfica 34. Hidrograma de entrada y salida de zanja de infiltración (línea roja= caudal entrada, Línea azul= caudal salida total, línea azul claro= caudal salida por infiltración).	237

Gráfica 35. Curva tiempo-tirante de zanja de infiltración (línea roja= tirante superficial, Línea azul= tirante en zanja).....	237
Gráfica 36. Curva tiempo-volumen de zanja de infiltración (línea azul= Volumen ingresado, línea azul claro= volumen infiltrado).....	237
Gráfica 37. Hidrograma de entrada y salida de pozo de infiltración 4.....	240
Gráfica 38. Hidrograma de entrada y salida de pozo de infiltración 7.....	241
Gráfica 39. Hidrogramas de entrada y salida de estanque 3.	246
Gráfica 40. Hidrograma de salida del punto de salida 2 del fraccionamiento.	246
Gráfica 41. Hidrogramas generales del fraccionamiento (azul oscuro = caudal urbanizado, azul claro= gasto natural, café= gasto con SUDS).....	247
Gráfica 42. Hidrogramas natural y de salida con SUDS.	247
Gráfica 43. Comportamiento del volumen en los 3 estanques de infiltración en la corrida del modelo de 6 horas.....	249

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Canalizaciones de escurrimientos pluviales en el municipio.	22
Fotografía 2. Fotografías de los jardines de lluvia en la secundaria Fridley Middle School y el parque con lago West More Lake Park han sido instrumentales reduciendo la carga de fosforo y sedimentos que van hacia el Lago de West Moore, a la vez reduciendo las inundaciones.....	32
Fotografía 3. Humedales en el Parque Houton, Shangai.	33
Fotografía 4. Canales anchos para control de crecidas de taludes con vegetación en Curitiba, Brasil.	35
Fotografía 5. Plazas Cisterna de Venecia, Italia.	35
Fotografía 6. Fotografía del momento en que se está colocando la cisterna de aguas pluviales en una excavación.	37
Fotografía 7. Puentes con bancas que cruzan sobre bioswales son los espacios de recreación de los estudiantes.	37
Fotografía 8. Cisterna exterior en Metepec, Estado de México.	38
Fotografía 9. Humedal de CEA en Chapala, Jalisco.	39
Fotografía 10. Foto de una desconexión de azotea hacia un jardín de lluvia.	81
Fotografía 11. Fotografía de un corte en machuelo con diseño óptimo para garantizar el ingreso del escurrimiento (izquierda) y fotografía de entrada múltiple por cortes en machuelo (derecha).	207
Fotografía 12. Fotografía de opción de vertedor para sistemas de detención (izquierda) y salida con filtro de basuras en cuneta verde (derecha)..	207
Fotografía 13. Fotografía de opción de vertedor mediante muro sencillo de mampostería apoyado de una lámina o tabla.	208

Agradecimientos

Este logro se lo agradezco principalmente a mis padres, el señor Alfredo Urías López y la señora Carmen María Angulo Esparragoza, a quienes dedicó mis logros, les debo la vida, y a quienes amo con todo mi corazón.

También quisiera agradecer a la universidad de ITESO, al cuerpo académico del Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano y en especial a mi tutor el Mtro. Francisco Álvarez, quien siempre tuvo paciencia y confianza en el proceso, y además tenía siempre buenos consejos y guía para mí. A la par agradecer a la empresa Infraestructura Hidráulica y Servicios, encabezada por el Ing. Fernando Rueda, quienes me recibieron con mucho profesionalismo y fueron fuente de información valiosa, práctica y realista sobre la situación en el tema del manejo del agua en la región.

Por último pero no menos importante, un gran agradecimiento a CONACYT por el apoyo económico, las facilidades provistas, su confianza en mí y en la universidad, y por su compromiso con el avance en la generación de conocimiento en nuestro país.

Resumen:

El presente proyecto de investigación aborda la problemática que genera el proceso de urbanización al ciclo hidrológico debido a la creación de grandes áreas impermeables que inhiben la infiltración del agua de lluvia y remueven áreas verdes importantes para la regulación y equilibrio del ecosistema. Este proceso es común en la mayor parte del país impulsado por el crecimiento demográfico el cual genera una demanda de vivienda, infraestructura, equipamiento urbano y actividad económica lo cual se ha presentado de manera acelerada en la Zona Metropolitana de Guadalajara desde las últimas décadas. A lo anterior en conjunto con una falta de planeación y medidas de control adecuadas por parte de los responsables para mantener un régimen hidrológico estable se le atribuyen una serie de impactos negativos como por ejemplo inundaciones cada vez más severas, incapacidad de los cauces y red combinada de drenaje para conducir los grandes volúmenes que se generan en eventos de alta precipitación, reducida recarga de acuíferos y contaminación de los cuerpos de agua por el arrastre de contaminantes presentes en las superficies de la ciudad, los cuales alteran los ecosistemas acuáticos.

Todos estos problemas se vuelven más alarmantes debido al cambio climático, el cual se tiene muchas evidencias sobre que genera tormentas cada vez más extremas y sequias prolongadas. El objeto de estudio de esta investigación será la búsqueda de conceptos, metodologías, criterios y estrategias sustentables aplicables a los proyectos pluviales dentro de un área hidrológica del municipio de Tlajomulco de Zúñiga.

El objetivo final del trabajo es proponer medidas de control del agua pluvial desde la planeación, así como proyectos de restauración con sistemas bajo los conceptos del Desarrollo Urbano Sensible al Agua, el Impacto Hidrológico Cero, la Gestión Integral de los Recursos Hídricos y el Desarrollo Sustentable, para determinar que combinación de estos es más conveniente aplicar a diferentes escalas (lote, calle, zona, región) de los desarrollos habitacionales en las partes altas y medias de las cuencas urbanas, desde la concepción y diseño así como también para aplicarse en desarrollos ya construidos, estos consisten en la adaptación de diversos sistemas que se integran en los espacios urbanos como zanjas de infiltración, canales vegetados, estanques de retención y detención, humedales artificiales, pavimentos permeables, jardines de lluvia, tanques - cisternas pluviales y otros más.

Palabras clave: Hidrología urbana, manejo de aguas pluviales, SUDS, Sustentabilidad.

1. Introducción y Problemática

Se analizarán desarrollos habitacionales con problemas derivados en parte por la configuración de la morfología urbana que condiciona el drenaje pluvial y puede ocasionar problemas de inundación, desaprovechamiento del recurso o su contaminación y a por otro lado analizar las causas de esa configuración en conjunto con el medio natural, la normativa, las políticas de desarrollo y los actores que intervienen. La cuenca del Ahogado y su subcuenca El Guayabo que se encuentran en el municipio de Tlajomulco han registrado problemas de este tipo, por lo que se tomarán en cuenta para tener un contexto amplio de análisis, pero el enfoque del diseño de las soluciones será en un desarrollo habitacional del municipio en la zona alta de la cuenca. Se llevara un análisis de la problemática, las causas y el efecto positivo que pueden proveer algunas propuestas llamadas SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible) que nacen de conceptos más amplios como el Desarrollo de Bajo Impacto, el Desarrollo Urbano Sensible al Agua, la Infraestructura Verde, las BMP's o Best Management Practices (Mejores Prácticas de Manejo), entre otros. Los cuales se analizaran con más detalle sobre su origen e implementación más adelante.

La problemática principal es el mal manejo de las aguas pluviales durante eventos fuertes o medianamente fuertes de precipitación, para los cuales los sistemas de drenaje combinado e infraestructura de presas y canales existentes en la Cuenca del Ahogado no han tenido suficiente capacidad en ciertas ocasiones y existen recientemente pocos sistemas separativos de drenaje pluvial que le den una gestión especial a esta agua, a partir de 2008 y 2009 fue que se inició a solicitar un sistema separativo y el Impacto Hidrológico Cero para reducir los impactos de los caudales pico. Esta problemática es provocada por una serie de decisiones que se desarrollan en los municipios en el manejo de sus cuencas cuando aprueban cambios de uso de suelo y se comienza a urbanizar áreas sin tener en cuenta las diferentes consecuencias de esto por falta de información y/o negligencia, estos efectos negativos se ven potencialmente incrementados en la situación global contemporánea de cambio climático. La superficie que ocupa el uso habitacional en la Cuenca del Ahogado es de 15%, pero el autorizado en los planes parciales le da la posibilidad de aumentar a más de 28%, a lo cual se suman los desarrollos urbanos y reservas tanto de industria como de comercio, tal es el caso del llamado Valle del Silicio Mexicano, que se construirá en la parte sur de la cuenca (UAEM, 2013). Además de las reservas naturales, la situación de los asentamientos indica a mediano plazo que 50% del área estará por urbanizarse. Actualmente el área total forestada es de 62%, pero podría reducirse hasta 43% de acuerdo con los planes de desarrollo urbanos que se ejecuten (INEGI, 2010). En este tema, un experto en sustentabilidad, Marco Gutiérrez, indicó en el Foro de Ideas por la Sustentabilidad México - Costa Rica llevado a cabo en ITESO los daños hidrológicos presentes en la subcuenca El Guayabo (ubicada al poniente de la cuenca el Ahogado) debido a que no existe una planeación de los asentamientos humanos con diseño integral y compatible para lograr una gestión sustentable de las aguas pluviales (ITESO, 2015).

1.2 Pregunta de investigación principal

¿Cómo puede mejorarse la hidrología urbana del área de estudio para aportar al objetivo de lograr la sustentabilidad?

1.2.1 Preguntas de investigación secundarias:

¿Cuál es el estado actual de la hidrología urbana en la Subcuenca del Guayabo, en cuestión de infraestructura y problemática de inundaciones?

¿Qué estrategias de manejo de aguas pluviales se llevan a cabo por parte de las autoridades y organismos responsables?

¿A qué razones se atribuyen los problemas derivados del manejo de aguas pluviales por parte de los sectores responsables?

¿Cuál es el origen y que tipos de contaminantes son arrastrados por la escorrentía pluvial urbana?

¿Qué estrategias y medidas de control serán los más adecuados en términos de sustentabilidad para implementarse en la zona?

¿Es posible adaptar filosofías como el Desarrollo de Bajo Impacto, el Desarrollo Urbano Sensible al Agua y los SUDS en la zona de estudio y la región?

¿Qué obstáculos técnicos, económicos, políticos, sociales y medioambientales se pueden presentar en la implementación de las estrategias propuestas?

¿Se puede lograr el cumplimiento del criterio en Impacto Hidrológico Cero mediante el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible?

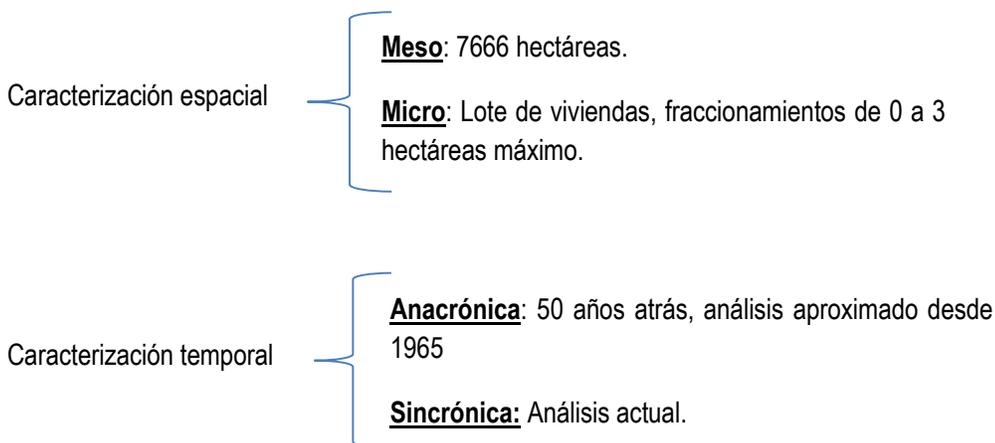
¿En el caso de que si se logre, es más económico el uso de estos sistemas en comparación con sistemas más convencionales?

¿Qué beneficios extras ofrece el diseño aplicativo de los sistemas sustentables en comparación con sistemas convencionales?

1.3 Caracterización de la investigación

La presente investigación en su caracterización **espacial** se define como de tipo **meso y micro**, ya que la literatura sugiere que para realizar propuestas de manejo de agua pluvial a nivel de vivienda y lote que representaría la escala micro se conozca el contexto bajo el cual se encuentran, este contexto será la Subcuenca del Guayabo que tiene una extensión de 7666 has, lo cual la convierte en un área de demasiada extensión para ser analizada, por lo tanto se mencionaran sus características generales en los aspectos hidrológicos, de tipo de suelo, uso del suelo y planeación.

La caracterización **temporal** de la investigación será de tipo **anacrónica y sincrónica** también, con un enfoque más profundo en la sincrónica. La palabra anacrónica significa que estudia la evolución de hechos en el tiempo para conocer su relevancia con el estado actual de la Subcuenca mencionando principalmente los grandes hitos, en el caso de esta investigación lo que se busca entender de manera general es como se ha ido aumentando el grado de urbanización en el tiempo, los grandes desarrollos habitacionales, industriales/servicios, comercio, la desaparición de áreas verdes o naturales, etc. y a la vez en relación con la infraestructura que se ha desarrollado para darle solución a esas problemáticas en sus respectivos periodos. La caracterización sincrónica buscara describir y explicar las relaciones entre los diferentes elementos existentes en la actualidad que se necesitan integrar en la planeación, diseño y construcción para lograr tener una hidrología urbana más sustentable.



1.5 Hipótesis

La problemática generada por el cambio climático no muestra tendencias claras de desaparecer en el corto plazo, ya que la complejidad del problema es de escala global. Los compromisos y acuerdos internacionales muestran señales de buena voluntad para mitigar la situación, pero hay aún mucho que hacer en los próximos años. Esta situación vuelve a las zonas urbanas cada vez más vulnerables ante las fuertes tormentas y sequías, por lo que no existe garantía sobre si es posible lograr un desarrollo sustentable si se continúa afectando al ciclo hidrológico urbano mediante la urbanización de cada vez mayores áreas para crear oferta de vivienda en detrimento de áreas vegetadas que aportan a controlar la escorrentía, reducir la erosión, recargar los acuíferos y provee servicios ecosistémicos. Las estrategias implementadas a nivel de barrio y cuenca por parte de las autoridades son parte de la solución pero hay otros aspectos que no se están teniendo en cuenta para crear políticas y soluciones adecuadas. Por ejemplo el impacto ambiental a los cuerpos de agua por el arrastre de contaminantes en las superficies urbanas, la recarga de acuíferos o la captación de agua pluvial no forma parte de ninguna estrategia hidrológica integral, en cambio la realidad muestra que las acciones y proyectos que se están evaluando a futuro se enfocan en la construcción de más colectores para poder conducir aguas combinadas hacia la planta de tratamiento del Ahogado, lo cual necesita de una gran inversión, esto es necesario y tiene beneficios ambientales pero no es una solución integral que controle los escurrimientos en el origen, mejore la infiltración, la calidad del agua y provea de espacios resilientes y seguros.

En vista de esto, una gran cantidad de ciudades han generado nuevos conceptos para atender la problemática causada por los cambios de suelo que la presión urbana genera sobre zonas. Algunos de estos conceptos son el Desarrollo de Bajo Impacto y el Desarrollo Urbano Sensible al Agua los cuales han generado sistemas específicos para tratar el problema llamados Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Estos sistemas tratan de imitar la manera en que la naturaleza maneja los escurrimientos pluviales, promoviendo el control en el origen, la disminución de áreas impermeables, mejora de la calidad del agua, entre otros beneficios. La aplicación de estos sistemas es una opción viable para aplicar en el contexto de estudio y pueden proveer de un mayor beneficio a la sociedad y ser más económicos que la infraestructura tradicional.

1.6 Justificación

Se enlistan distintas justificaciones que hacen pertinente la investigación propuesta según el tema o sector afectado:

Ambiental: El ciclo del agua ha sido alterado por el establecimiento y expansión de las ciudades, el nivel de impermeabilización debido a la expansión de la mancha urbana afecta los procesos de infiltración, evaporación y precipitación de las aguas, así como su flujo o cauce, elevando el gasto en algunos puntos y en otros disminuyéndolo, es necesario buscar un equilibrio entre el desarrollo humano y el de la naturaleza intentando construir o hacer adecuaciones para reducir el impacto al estado natural de las cuencas. Además si el agua se capta y se aprovecha en los sitios donde cae se disminuye la demanda de las reservas superficiales y subterráneas.

Social: La mala gestión de las aguas pluviales tiene un **costo social** claro y evidente, las inundaciones en primera cuenta afectan la calidad de vida en términos de bienestar de las personas, hay pérdidas materiales, de objetos con un valor emocional, además en ocasiones los eventos de lluvia son tan fuertes que cobran vidas.

La sobreexplotación de los acuíferos de la región representa una eminente escasez que puede crear conflictos y tensiones sociales, lo que pone en riesgo el desarrollo sustentable de la sociedad. En mayor medida los grupos más afectados son y serán los de bajos recursos económicos si una eventual crisis de agua se llega a presentar en los siguientes años.

Económico: Según estudios del Banco Mundial, el precio del agua aumentara en las siguientes décadas en todas las zonas del planeta debido al incremento de su demanda pero reducción de su disponibilidad y calidad. Esto es un tema muy preocupante en la zona de estudio ya que se cuenta con una alta demanda de vivienda pero el recurso hídrico escasea y los

acuíferos están sobreexplotados y con presencia de contaminantes. Si la problemática se agudiza, las viviendas construidas muy probablemente tendrán que ser abandonadas por la escasez de agua de la zona, lo que representa la pérdida de millones de pesos invertidos.

Puede representar ahorros al mediano y largo plazo si se realizan inversiones en el tratamiento y reducción de caudales, ya que representara una reducción de descargas hacia las PTAR. El uso de algunas de las estrategias estudiadas puede dar un valor añadido a los desarrollos habitacionales. Además captar las aguas pluviales otorga la oportunidad de utilizarla en el riego de áreas verdes reduciendo así la necesidad de extraerla y transportarla desde fuentes lejanas o sobre-explotadas.

Amenazas futuras: el cambio climático y el calentamiento global son fenómenos que se están presentando en la actualidad y pueden alterar los ecosistemas rápidamente si no hay un plan defensivo contra esto mediante la infraestructura y las adecuaciones necesarias, en otros municipios de la ZMG, como Guadalajara y Zapopan ya se cuenta con un Plan de Acción contra el Cambio Climático Municipal (PACMUN), por lo que se sugiere ampliamente seguir el ejemplo para establecer un mínimo de preparación. Lo alarmante de estos cambios globales es que no es posible predecirlos estadísticamente, por lo que es necesario mejorar los cuerpos naturales de agua y el suministro para las generaciones futuras. Las preocupaciones futuras de las que si se tiene cierta proyección son sobre el crecimiento poblacional esperado y la futura demanda de recursos de esta nueva población.

Profesional: Existe una escasa documentación y experimentación en el área de Tlajomulco sobre los impactos a los cuerpos receptores de las aguas pluviales (ríos, lagos) y sobre alternativas que se puedan adaptar al contexto del municipio para gestionar de manera más sostenible las aguas pluviales, esto es un reto y a la vez una responsabilidad de las universidades como agentes de investigación y generación de conocimiento innovador, así como de los profesionistas preocupados por estos temas para que tomen iniciativas con nuevas visiones. Se debe acelerar el proceso de evolución de los sistemas tradicionales, ya que otros países presentan más avances y eso representa una motivación para mejorar en nuestro propio ámbito y región.

1.7 Objetivo General

1. Identificar y adaptar criterios, indicadores, metodologías y medidas de control que busquen como objetivo final lograr la resiliencia y el desarrollo sustentable mediante la elaboración de un diagnóstico que puntualice las pautas a seguir para mejorar el manejo de las aguas pluviales en los temas de cantidad y calidad en la zona de estudio aplicando cambios en los esquemas de planeación, desarrollo y construcción de proyectos urbanos, que incluyan el análisis del potencial de aplicación de los sistemas conocidos como Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

1.7.1 Objetivos Particulares

- Realizar una caracterización descriptiva del contexto de la Cuenca El Ahogado y su Subcuenca El Guayabo, mediante estudios de su medio construido y el natural.
- Explorar las relaciones entre el medio construido, el natural y productivo para determinar de manera cualitativa y cuantitativa como influyen en los procesos de escurrimiento e infiltración del agua pluvial.
- Explicar las situaciones detonantes de problemáticas, partiendo de las relaciones establecidas entre medio físico (natural y construido) y social, y explicando las consecuencias ambientales, sociales y económicas principalmente, con retroalimentación de las políticas de desarrollo y las normativas o manuales aplicables al tema del drenaje pluvial.

- Diseñar estrategias con propuesta de drenaje y control del agua pluvial mediante el uso de esquemas teóricos y prácticos innovadores con criterios sustentables en la zona, que sean viables económicamente y técnicamente.
- Evaluar que estrategias del Diseño Urbano Sensible al Agua y los SUDS podrían ser aplicables en la zona mediante la comparación con otros casos de estudio en el país e internacionales.
- Realizar una revisión de las mejores prácticas internacionales: parte técnica, política, económica, social y ambiental
- Identificar qué aspectos de esas mejores prácticas pueden ser replicados y adaptados al contexto y realidad de la zona de estudio
- Generar una serie de criterios e indicadores basados en una revisión de estándares y manuales especializados en las mejores prácticas en manejo de agua pluvial así como los requisitos de parte los organismos de agua locales, con el fin de que estos sean pertinentes a la realidad del contexto
- Aplicar metodologías de los manuales especializados en SUDS en un proyecto de desarrollo habitacional real para evaluar las restricciones técnico-económicas que se pueden presentar

1.8 Alcances de la investigación

Uno de los conceptos fundamentales de este trabajo de investigación será la Gestión Integral del agua ó de los Recursos Hídricos, el cual toma en cuenta todos los sistemas o servicios urbanos que el agua provee, además de los servicios ambientales al momento de identificar problemas y proponer soluciones. Sin embargo y por motivos de simplificación, la investigación tendrá un enfoque en mejorar el manejo de las aguas pluviales, dejando de lado, pero sin restarle importancia a los aspectos de aguas residuales y abastecimiento de agua, cuando estos temas se relacionen se hará nota de ello.

Además es necesario dejar en claro que abordar el tema del manejo de las aguas pluviales también se puede dividir en muchos subtemas que pueden hacer demasiado complejo el estudio, por ejemplo algunos temas o disciplinas que podrían abordarse se mencionan a continuación con la intención de mostrar lo amplio que puede ser el espectro de análisis y posteriormente discriminar o filtrar los que no se abordaran en el estudio:

- Hidrología Subterránea
- Hidrología Superficial
 - Inundaciones
 - Canales de riego
 - Etc.
- Química del agua
- Análisis de riesgos
 - Por inundación
 - Contaminación
 - De biodiversidad
- Geo hidrología
- Ciclo hidrológico natural y urbano
- Eco hidrología
- Diseño urbano y paisajístico
- Mejores prácticas y conceptos internacionales en gestión de aguas pluviales
 - Diseño urbano sensible al agua
 - Desarrollo de bajo Impacto
 - Infraestructura Verde

- Sistemas Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS)
- Entre otras
- Planeación urbana y gobernanza
- Caudal ecológico
- Infraestructura hidráulica (macro y micro):
 - Infraestructura de defensa ó prevención de inundaciones: retención, detención, etc.
 - Infraestructura de aprovechamiento
 - Infraestructura de canalización
 - Infraestructura de tratamiento y disposición final
- Normativa y legislación de aguas superficiales
- Entre otros

Entonces los subtemas principales de las aguas pluviales que se abordarán serán la **hidrología superficial, contaminación del agua, Infraestructura hidráulica** a escala micro, **diseño urbano y paisajístico, mejores prácticas internacionales, ciclo hidrológico natural y urbano, planeación urbana y gobernanza**, todos estos con la intención de que se generen criterios y lineamientos en el contexto del municipio de Tlajomulco y la subcuenca El Guayabo. Como subtemas secundarios y complementarios a la investigación, serán la Hidrología subterránea, la erosión del suelo y la normativa y legislación relacionada.

En este apartado es de relevancia también mencionar que es necesario determinar la escala en la que se enmarcará el estudio, lo cual se explicó con más detalle en el subcapítulo 1.3 de caracterización espacial y temporal. Las escalas espaciales se pueden dividir de distintos modos, según el área disciplinaria. La escala principal será a nivel de barrio, y microcuenca, estableciendo el contexto en la escala municipal y de la Subcuenca del Guayabo ambos de gran extensión territorial.

En cuanto a la definición de la problemática, se pretende realizar una caracterización del medio natural y construido para identificar las relaciones entre estos en cuanto a la modificación de la morfología hidrológica natural, entender en qué casos esta alteración puede ser negativa o tener impactos significativos que impidan la capacidad del medio ambiente para absorber o asimilar estos. Todo esto bajo la perspectiva teórica del desarrollo sustentable, que busca un equilibrio entre los aspectos ambientales, sociales y económicos, que son sus tres pilares. Para realizar una relación directa, se tomará como punto de partida la ubicación y severidad de inundaciones que se han presentado en la zona, bajo la idea de que la causa es la impermeabilización del suelo que se ha producido por la urbanización que se ha venido desarrollando en la zona.

En cuanto al marco teórico se busca identificar los conceptos y estrategias más importantes en el marco internacional y nacional, categorizarlos, sistematizarlos, relacionarlos y compararlos, mediante análisis cualitativo para definir en la medida de lo posible hasta qué punto estos conceptos han cambiado las prácticas en el manejo del agua pluvial con el objetivo de que sea sustentable. Aportar un análisis de estudios académicos realizados en el tema en un inicio para luego identificar casos de estudio que hayan implementado estos conceptos y prácticas. En su base epistemológica, de carácter basado en un pensamiento complejo y enfoque sistémico se buscará enlistar todos los factores que influyen en el buen manejo de las aguas pluviales, proveyendo los criterios para lograr dimensionar el peso que se le debe dar a cada uno de estos factores en el diseño y restauración del medio urbano en respeto al ciclo hidrológico.

Como parte posterior, en el apartado metodológico se implementarán modelos existentes para aplicar las mejores prácticas de manejo a un proyecto de desarrollo habitacional real, actualmente ya construido para analizar los costos y beneficios de manera cuantitativa y cualitativa, con apoyo en manuales y literatura disponible, además de software comercial de modelación hidrológica.

En el apartado final de la investigación la calidad de las argumentaciones y conclusiones que se busquen generar serán en función de criterios de sustentabilidad previamente definidos (sociales, ambientales y económicos), los cuales serán medibles mediante una serie de indicadores los cuales generan un puntaje, con el fin de facilitar su evaluación. Estos criterios e indicadores estarán basados en estándares o sistemas de certificación en la materia y cuando sea el caso adaptados a la realidad del contexto de la región.

También habrá conclusiones de carácter cualitativo, donde en función de la información obtenida en la bibliografía consultada y la aplicación de los modelos y prácticas en el caso empírico de estudio se hará una crítica desde la planeación, los requisitos técnicos para la factibilidad de proyectos hidráulicos, el discurso de la región, las soluciones que se han implementado y que se proyectan a futuro, entre otros. Todo esto con el fin de visibilizar los defectos de los paradigmas bajo los cuales se desarrolla la región, siempre con el entendimiento de que muchos de los puntos revisados dependen de subjetividades claramente presentes.

2. MARCO CONTEXTUAL Y ANTECEDENTES

2.1 Problemáticas relacionadas con el drenaje en cuencas del municipio

De acuerdo a la información oficial del Programa Municipal De Desarrollo Urbano (Gobierno de Tlajomulco de Zúñiga, 2010), de manera general, la infraestructura de drenaje existente en el municipio se compone de los siguientes elementos: red de drenaje sanitario, fosas sépticas, canales y plantas de tratamiento. Se considera que únicamente las principales localidades y los fraccionamientos de reciente construcción cuentan con red de drenaje. El drenaje se canaliza hacia fosas sépticas o plantas de tratamiento; sin embargo hay localidades que no cuentan con el servicio. En la mayor parte del municipio se manejan las aguas servidas en un sistema combinado con las aguas pluviales, condición que genera la imposibilidad de reaprovechar o recargar el subsuelo con este recurso hídrico (Gobierno de Tlajomulco, 2010).

Programa Municipal de Desarrollo Urbano

En este documento se menciona que carecen del servicio de drenaje los fraccionamientos irregulares como: Colonia Altamira, Colonos del Cuatro, Cajititlán, El Paraíso San Sebastián, El Toribio, El Zapote, La Ciénega, La Concha, La Joya (Curva de los Feos), dos llamados La Secundaria, Las Gaviotas, Levantamiento Rubén Venancio González. Levantamiento Villas las Flores Cinco, Los Álamos, para mencionar solo algunos de los existentes en el municipio.

También existen un buen número de canales pluviales y de riego, mismos que generalmente han sido utilizados por las urbanizaciones tanto para conducir las aguas negras que generan dichas zonas urbanas, como para descargarlas a cielo abierto o cuerpos de agua, lo que, además de inadecuado, propicia focos de contaminación y amenazas a la salud de los que reciben su impacto.

Otra de las consecuencias de la forma en que se ha dado el crecimiento urbano y al no existir un sistema jerarquizado de drenajes es que se den innumerables puntos de descarga en los canales y escurrimientos localizados aguas abajo de cada una de las áreas urbanas.

Según información del Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial (POET, 2009), en el municipio y sus subcuencas se presentan distintas problemáticas relacionadas con el drenaje de aguas pluviales y residuales, principalmente inundaciones, contaminación del agua y afectaciones a la calidad de vida de los habitantes aunado a pérdidas económicas estimadas en 530 millones de pesos anuales en la Zona Metropolitana de Guadalajara, que incluye al municipio de Tlajomulco de Zúñiga. En distintas colonias, especialmente en zonas rurales originarias, existen lugares donde se presentan problemas derivados del drenaje, ya sea pluvial o de aguas residuales. La tubería está en malas condiciones por antigüedad, mal trazo o por estar incompleta, y esta situación al ocurrir a la vez con el aumento de las descargas por crecimiento de la población con el vertido de sólido y el arrastre de arena limita el desalojo de aguas residuales y pluviales, generando sobre saturación en la tubería, inundaciones, socavones en vialidades, entre otras afectaciones a la infraestructura pública y privada.

La subcuenca de Toluquilla - El Ahogado.

Según el documento de POET (2009) son las microcuencas las zonas que están sufriendo mayor impacto en la distribución de los porcentajes de los elementos del ciclo del agua, debido principalmente a la fuerte urbanización que se presenta. En la mayoría de los desarrollos cada uno establece diferentes políticas de gestión del agua.

Se han identificado los siguientes impactos: Se está incrementando notablemente la impermeabilización de la zona, no se amplió la red de **colectores** principales, se están utilizando los preexistentes, existe una anarquía en el comportamiento del **microflujo**, el agua que escurre se descarga a pocos **canales**, incrementándose notablemente los **caudales pico** y disminuyendo los tiempos de concentración, se perdió la capacidad de regular los caudales picos debido a la pérdida de los bordos (El Cuatro, Real del Valle, El Mulato, El Cuervo, La Teja) producto de la urbanización, en la mayoría de los fraccionamientos no existe una red de captación de agua pluvial, ante el incremento de los caudales en algunos vallados principales se están presentando intensos procesos geomorfológicos, como la erosión en sus márgenes, se está registrando una pérdida paulatina del funcionamiento de vallados, las calles han substituido la red de drenaje pluvial, lo que determinan la orientación del microflujo (zonas de concentración), se han urbanizado zonas bajas (antiguos cuerpos de agua y ladrilleras).

Las microcuencas de Tlajomulco-Cajititlán.

Se trata de una microcuenca de tipo endorreico (sistemas de drenaje interno) se encuentra limitada por un conjunto de lomas y cerros que la separan de la subcuenca del Ahogado y del Río Santiago, así como de San Isidro Mazatepec. El emplazamiento del Volcán Cuexcomatitlan ha dividido en dos a esta cuenca cerrada: en el sector oriente se ha forma un cuerpo de agua permanente, mientras que la parte oriente se ha formado una planicie.

Se han identificado los siguientes impactos, cambio de uso del suelo en las laderas de los cerros que circundan la cuenca, incremento de los proceso erosivos y acumulativos, incremento del agua que escurre por superficie, cambios constantes en las características de los canales en la zona urbana lo que modifica y comprometa la capacidad hidráulica, incremento del caudal pico sobre el canal principal que conduce al poblado de Tlajomulco hacia Cajititlán, incrementándose el problema de desborde, problemas de inundación sobre el margen derecho de la vía Tlajomulco Cajititlán, el terraplén se ha convertido en un dique para las aguas superficiales, perdida de la superficie del vaso lacustre por elaboración de terraplenes.

Microcuencas Valle de Santa Cruz y San Isidro Mazatepec

Se han identificado los siguientes impactos a las condiciones del escurrimiento del agua: acelerado cambio de uso del suelo (impermeabilización) en la parte alta de algunas microcuencas, modificación a las condiciones hidráulicas en la parte baja del valle, urbanización en zonas bajas con problemas naturales de desagüe, pérdida de la capacidad de regulación, incremento de los caudales picos, incremento de la erosión sobre las márgenes de los canales de tierra, asentamiento de vivienda sobre las márgenes de los canales, habilitación del cauce natural como calle del poblado.

Cambios de uso del suelo y sus efectos

Los efectos negativos en el área de Tlajomulco radican en que la vegetación natural del municipio se está perdiendo, de 1973 al año 2008 la superficie urbanizada creció más de 19 veces y los ecosistemas de hábitat acuático disminuyeron 18%. (POET, 2009)

Además de los impactos en la forma de vida natural, la pérdida de cubierta vegetal y los cambios de uso del suelo, son factores que aceleran la reducción de caudales de agua disponible y que finalmente se reflejan en la fluctuación del nivel del lago de Cajititlán. Los desarrollos habitacionales y la construcción de vialidades han eliminado una antigua red de canales pluviales. (POET, 2009)

El aumento en superficie impermeabilizada, es uno de los principales detonantes de inundaciones en dichas zonas. La información que se difunde respecto a la gestión municipal relacionada con aguas superficiales tiene que ver con infraestructura: construcción de vados, puentes, desazolve, atención a zonas de inundación, colectores y drenajes. (POET, 2009).

Fotos 4-5 a, b, c y d. Canales pluviales en los nuevos desarrollos urbanos. a) y b) Fraccionamiento Valle Dorado, c) Fraccionamiento Chulavista (calle Santa Fe) y d) Descarga de aguas residuales al canal de Las Pintas proveniente del Fraccionamiento Chulavista.



a)



b)



Fotografía 1. Canalizaciones de escurrimientos pluviales en el municipio. Fuente: POET, 2009.

2.1.1 Planeación y usos del suelo

En las Figuras 1 a 4 podemos observar los usos de suelo actuales que son de 2010 cuando se hizo el último censo de población y el esperado o planeado. En la tabla de la Figura 3 se resume e identifica los tipos de uso de suelo con tendencia a crecer más, el habitacional y comercial, mientras que las áreas verdes se reducirán en un 25%, esto provocará más daños a las condiciones hidrológicas en el área urbana.

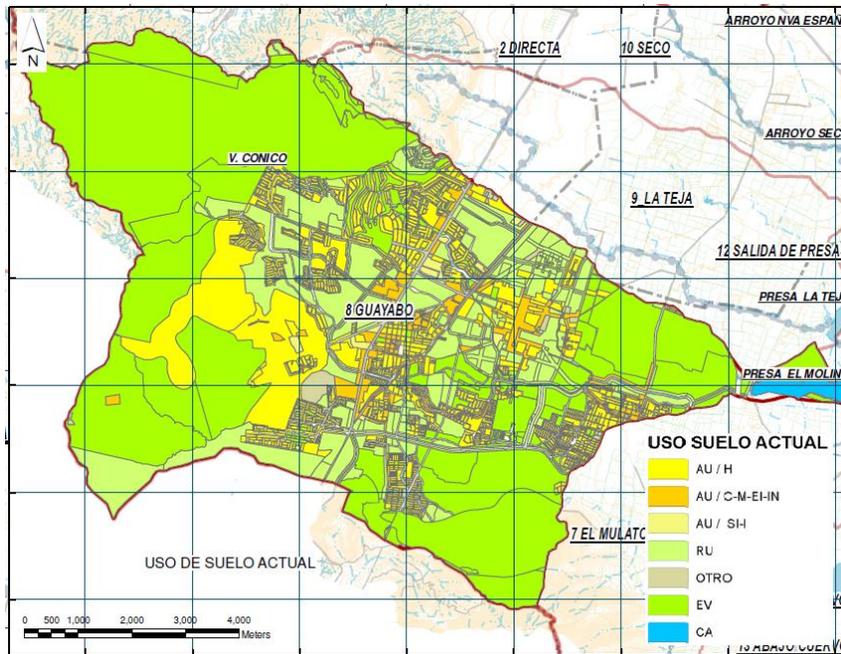


Figura 1. Uso del Suelo de 2010. Fuente: CEA e INEGI 2010.

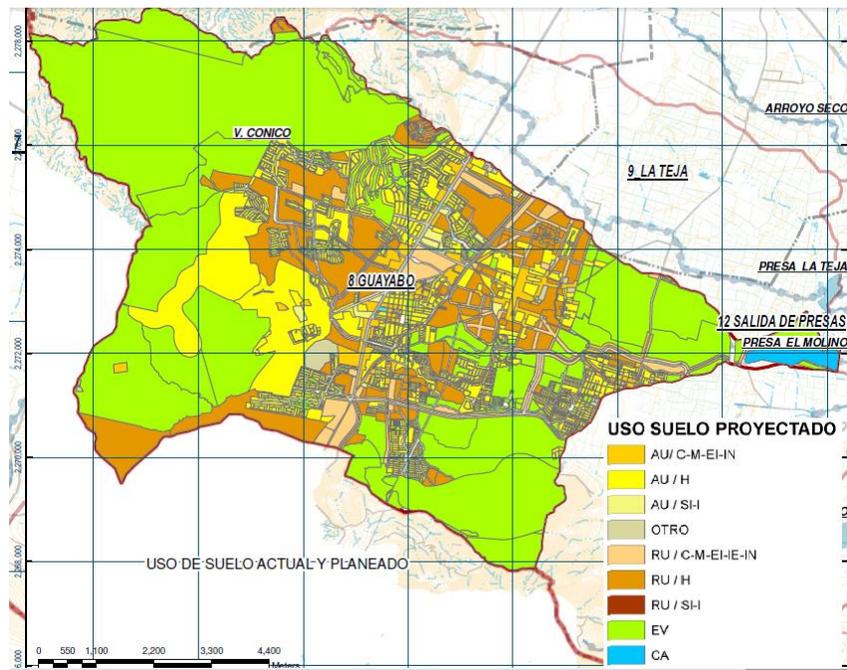


Figura 2. Uso del Suelo Proyectado. Fuente: CEA e INEGI

8 EL GUAYABO (US)		
USO DE SUELO (HAS)	ACTUAL	ACTUAL Y PLANEADO
HABITACIONAL	1419	2398
INDUSTRIAL	35	35
COMERCIAL	268	591
VERDE	5316	3966
CUERPO DE AGUA	57	57

Figura 3. Tabla que contrasta el uso de suelo actual con datos de 2010 y el planeado en El Guayabo. Fuente: CEA e INEGI, 2010.

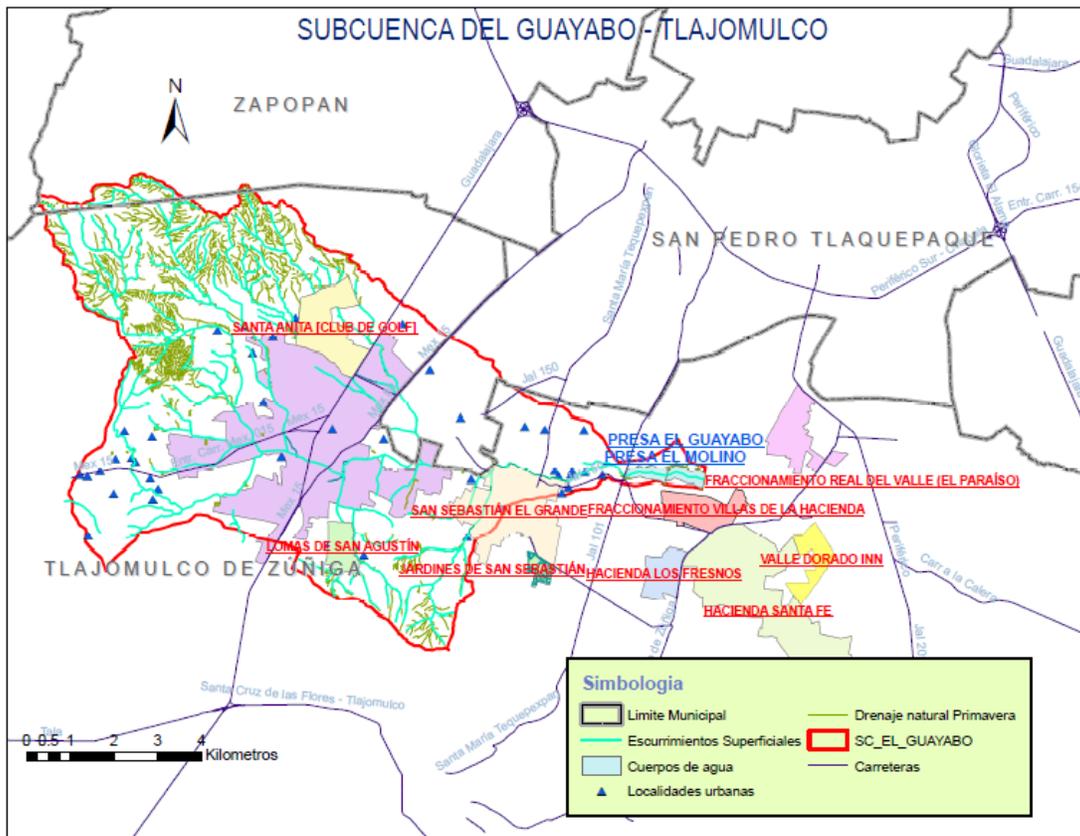


Figura 4. Mapa en SIG de la subcuenca El Guayabo, mostrando los elementos más importantes de esta. Elaboración propia con datos de INEGI, SIATL y PAP ITESO.

Infraestructura pluvial del Municipio de Tlajomulco

Dentro de los límites municipales podemos identificar la presencia de varias presas reguladoras de aguas pluviales, estas son las siguientes:

- La presa La Reventada, ubicada en Santa Cruz del Valle.
- Las presas el Molino y El Guayabo, en la Zona del Valle.
- La Teja, al Centro del municipio.
- El Zapote, en el corredor de Carretera a Chapala.
- El Madroño, en las faldas del Cerro Viejo.
- El Gringo, en la cabecera municipal, está ya no recibe agua pluvial desde hace varias décadas, según datos de la Jornada (La Jornada Jalisco, 2014).
- Presa Las Pintas, en esta presa desembocan la mayoría de las antes mencionadas, esta se ubica en el municipio de Tlaquepaque.

Las compuertas de las presas antes mencionadas son controladas por ejidatarios quienes mantienen cerradas las compuertas y las abren al momento de ceder la precipitación pluvial en un tiempo prolongado de días durante el mismo temporal para desahogar estos cuerpos de agua.

La apertura de compuertas es escalonada y organizada en coordinación con el Sistema Intermunicipal para los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA) quien informa de la capacidad que registra su presa en Las Pintas.

Sin embargo, en el caso de El Molino y El Guayabo, por tratarse de las que más agua reciben, en algunos casos sus compuertas se mantienen abiertas de 10 a 15 centímetros, prácticamente durante todo el temporal de lluvias, “a fin de mantener una mayor captación pluvial en estas presas”, agregó.

Reforzamiento a base de gaviones

En los cauces de arroyos de la Cuenca del Ahogado se han construido 6 presas a base de gaviones, de las cuales 5 están en la parte alta, correspondiente a la Subcuenca de El Guayabo. Además se tienen en proyecto 10 más en esta zona de las cuales 6 serán ubicadas también dentro de la Subcuenca de El Guayabo. Estas 10 presas representan una inversión de 21.5 millones de pesos, un promedio de 2.15 millones por cada presa, esto según información proporcionada personalmente por la Oficina de Obras Publicas de Tlajomulco, dentro del Programa de Protección a Centros de Población, el cual se tratara con más detalle en capítulos siguientes del estudio. Por lo tanto existirán 11 presas de tipo gavión dentro de la cuenca analizada.

Estas presas son estructuras permanentes, flexibles y permeables construidas a base de prismas rectangulares de alambre galvanizado denominados gaviones, los cuales se rellenan de piedra con el objeto de formar el cuerpo de la obra que constituye la presa de control, tienen la forma que se puede observar en las Figura 5.

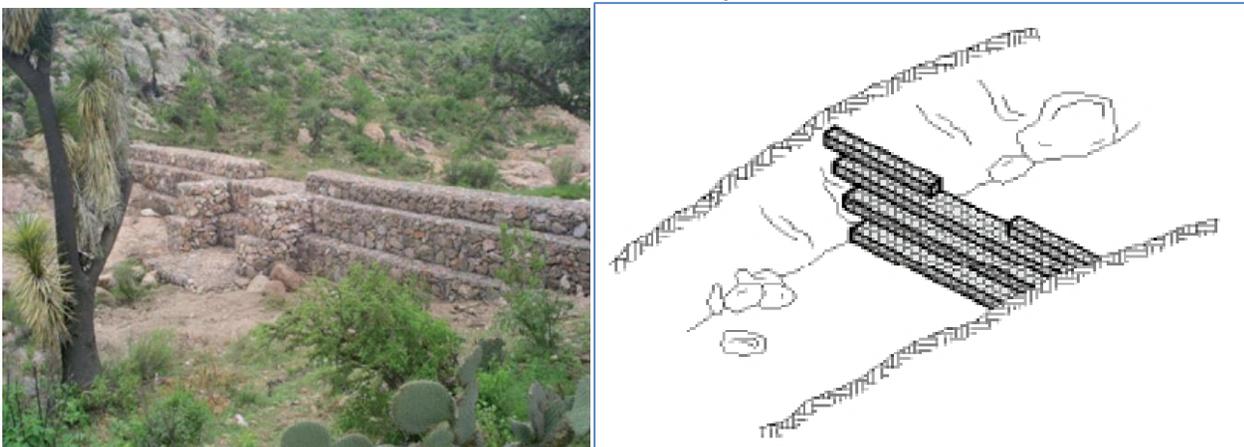


Figura 5. Fotografía y dibujo esquemático de una presa de gavión. Fuente: SAGARPA, 2009.

Objetivos

- Disminuir la velocidad del escurrimiento y su poder erosivo.
- Reducir la erosión hídrica.
- Retener azolves.
- Estabilizar el fondo de la cárcava ya que evita su crecimiento en profundidad y anchura.
- Evitar el azolvamiento de los vasos de almacenamiento, canales y otras obras hidráulicas ubicadas aguas abajo de la presa.
- Favorecer la retención e infiltración de agua y la recarga de acuíferos.

Ventajas

- Presentan una amplia adaptabilidad a diversas condiciones, ya que son fáciles de construir aun en zonas inundadas.
- Funcionan como presas filtrantes que permiten el flujo normal del agua y la retención de azolves.
- Son presas flexibles y pueden sufrir deformaciones sin perder eficiencia.
- Debido a que los cajones de gaviones forman una sola estructura tienen mayor resistencia al volteo y al deslizamiento.
- Controlan eficientemente la erosión en cárcavas de diferentes tamaños.
- Tienen costos relativamente bajos, en comparación con las presas de mampostería.
- Tienen una alta eficiencia y durabilidad (mayor a 5 años).

2.2 Medio Físico

2.2.1 Hidrología

2.2.2 Precipitación

El régimen de lluvias que predomina en Tlajomulco es el de verano, ya que la temporada de lluvias se presenta durante el verano y parte del otoño, con más del 80% de la precipitación total anual y un porcentaje de lluvia invernal menor al 10.2% (Tabla 1).

Precipitación media, mensual y anual en Tlajomulco de Zúñiga (mm)

VARIABLE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Precipitación	17.4	5.7	3.3	5.5	27.9	174.8	225.1	194.9	149.1	56.2	14.4	9.2	883.5
Días	1.7	1.1	0.6	0.9	3.1	13.8	18.7	17.5	13.7	5.6	1.5	1.6	79.8

Tabla 1. Régimen de lluvias en Tlajomulco de Zúñiga. Fuente: POEL, 2009.

En relación a esta variable atmosférica, las lluvias máximas en 24 horas (lluvias máximas diarias) reflejan la intensidad con la que se puede presentar esta magnitud meteorológica en el lapso de un día. La Tabla 2 presenta la magnitud promedio de estos eventos.

Promedio de lluvias máximas en 24 horas en Tlajomulco de Zúñiga (mm)

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
7.6	4.6	2.9	3.8	13.6	40.0	41.5	37.9	36.2	23.5	9.7	5.7	41.5

Tabla 2. Promedio de lluvias máximas en 24 horas en Tlajomulco de Zúñiga. Fuente: POEL, 2009.

2.2.3 Intensidad, duración y periodo de retorno de lluvias

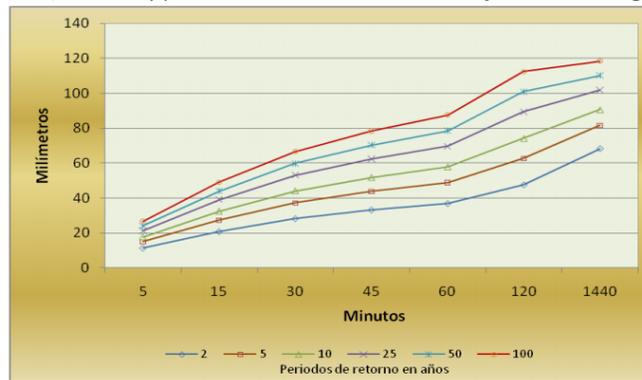
La lluvia está definida por tres variables: la **intensidad**, la **duración** y el **periodo de retorno**. La intensidad es la lámina o profundidad total de lluvia ocurrida durante una tormenta. De esta forma, la altura de la lámina de agua caída en el lugar de la tormenta, incorpora la cantidad de lluvia precipitada y la duración del evento. Mientras que el periodo de retorno, es la frecuencia, o intervalo de recurrencia, es decir, el número de años promedio en el cual el evento puede ser igualado o excedido cuando menos una vez. En el entendido, que el riesgo es mayor, cuanto menor es el periodo de retorno o recurrencia. La Tabla 3, cuya representación se expresa en la Gráfica 1, como representativo del municipio de Tlajomulco, contiene las diferentes intensidades que puede alcanzar un evento de lluvia, en distintos intervalos de tiempo, y también en varios periodos de retorno. Sin olvidar, que conforme el periodo de retorno sea mayor, la probabilidad de que se presente la lluvia es menor.

Intensidad, duración y periodo de retorno de lluvias en Tlajomulco de Zúñiga (mm)

Periodos de retorno (años)	Intensidad de la lluvia por minuto (mm)						
	5'	15'	30'	45'	60'	120'	1440
2	11.3	20.8	28.2	33.2	36.8	47.5	68.2
5	15.0	27.4	37.2	43.8	48.8	62.7	81.7
10	17.7	32.4	44.0	51.8	57.8	74.2	90.6
25	21.3	39.1	53.0	62.4	69.6	89.4	101.8
50	24.1	44.1	59.8	70.4	78.6	100.9	110.2
100	26.8	49.1	66.7	78.4	87.5	112.4	118.5

Tabla 3. Intensidades lluvia según la duración en Tlajomulco de Zúñiga. Fuente: POEL, 2009.

Intensidad, duración y periodo de retorno de lluvias en Tlajomulco de Zúñiga (mm)



Gráfica 1. Curvas Intensidad-Duración-Periodo de Retorno representativas de Tlajomulco de Zúñiga. Fuente: POEL, 2009.

2.2.4 Balance Hídrico

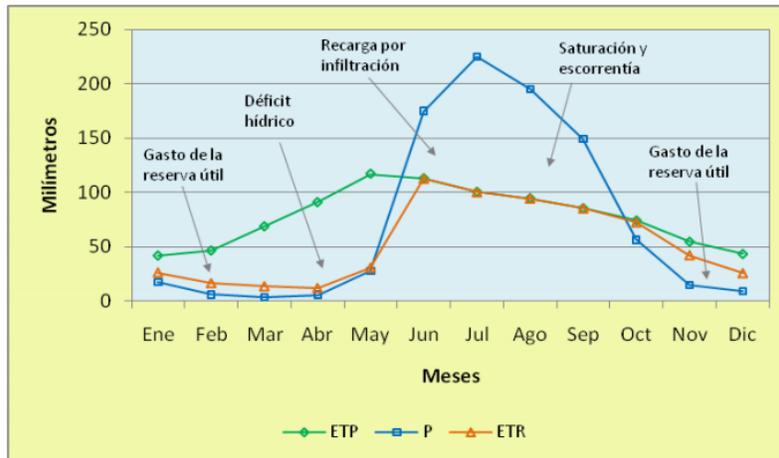
El balance hídrico es un procedimiento que permite conocer las condiciones de humedad que existen en el suelo. Para obtenerlo se establecen las interrelaciones que se derivan de los elementos climáticos contenidos en el Tabla 4. Este se explica de la siguiente manera: ETP: es la evapotranspiración potencial, P: la precipitación media mensual registrada en la zona de estudio, P-ETP: es la diferencia entre la P y la ETP, Σd : sumatoria del déficit, RU: reserva útil, VRU: variación de la reserva útil, ETR: evapotranspiración real, D: déficit de agua, S: superávit.

Balance hídrico en Tlajomulco de Zúñiga													
VARIABLE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
ETP	41.8	46.4	68.6	90.7	116.8	112.7	100.2	94.3	85.2	73.9	54.4	43.2	928.2
P	17.4	5.7	3.3	5.5	27.9	174.8	225.1	194.9	149.1	56.2	14.4	9.2	883.5
P-ETP	-24.4	-40.7	-65.3	-85.2	-88.9	62.1	124.9	100.6	63.9	-17.7	-40	-34	---
Σd	-116.1	-156.8	-222.1	-307.3	-396.2	0	0	0	0	-17.7	-57.7	-91.7	---
RU	31.3	20.8	10.8	4.6	1.9	64	100	100	100	83.8	56.2	40	---
VRU	8.7	10.5	10	6.2	2.7	-62.1	-36	0	0	16.2	27.6	16.2	---
ETR	26.1	16.2	13.3	11.7	30.6	112.7	100.2	94.3	85.2	72.4	42	25.4	630.1
D	15.7	30.2	55.3	79	86.2	0	0	0	0	1.5	12.4	17.8	298.1
S	0	0	0	0	0	0	88.9	100.6	63.9	0	0	0	253.4

Tabla 4 . Balance hídrico en Tlajomulco de Zúñiga. Fuente: POET, 2009.

El objetivo principal que tiene el balance hídrico, es identificar los meses del año en que existe déficit o excedente de agua en el suelo. Por tanto, conocer el balance de humedad en el suelo, es importante para el desempeño de actividades como la agricultura, estudios hidrológicos, conservación de suelos, drenaje, riesgos, repoblación forestal, mantenimiento de parques y jardines, etc. El análisis del balance hídrico, permite comparar la precipitación, la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real, y admite puntualizar a lo largo del año, el déficit y el exceso de agua, el periodo de utilización de la reserva útil y, el de la reconstrucción de la misma.

Balance hídrico en Tlajomulco de Zúñiga por el método de Thornthwaite



Gráfica 2. Balance hídrico en Tlajomulco de Zúñiga. Fuente: POET, 2009.

En este contexto, se puede observar, que el año comienza con déficit de agua en el suelo (la precipitación es menor que la evapotranspiración potencial y existe consumo de agua de la reserva útil) esta carencia se prolonga e incrementa paulatinamente hasta mayo. En junio da inicio el periodo húmedo del año (la precipitación es mayor que la evapotranspiración potencial) y con ello la reconstrucción de la reserva útil. Como consecuencia, durante julio y hasta septiembre, existe demasía o superávit de agua, que permite la infiltración y escorrentía. Posteriormente, a partir de octubre y hasta diciembre, se origina el gasto de la reserva útil que trae como consecuencia deficiencia de agua en el suelo (Gráfica 2).

Cuenca del Ahogado

La cuenca del Ahogado (Figura 6), tiene un área de 520 Km², se ubica en la parte sureste del Estado de Jalisco (20°38'N y 103°15'W) abarca partes 5 municipios de 8 de la ZMG de Guadalajara, estos son Tlajomulco de Zúñiga, El Salto, Tlaquepaque, Zapopan y Tonalá y contiene 183 localidades. Está dividida por 13 sub-cuencas, y estas a su vez en 144 microcuencas (Figura 7).

El municipio de Tlajomulco de Zúñiga ocupa 24,221 hectáreas, esto representa el 48% de la superficie total de la Cuenca del Ahogado, por lo tanto se enfocara el estudio a la problemática dentro del municipio, el cual ha tenido uno de los desarrollos más rápidos del país en las últimas décadas, lo que lo hace un objeto de estudio pertinente con la sustentabilidad.

Subcuenca El Guayabo

La subcuenca está ubicada al lado oeste del Ahogado, podemos observar en la Figura 8 que El Guayabo colinda con otras 4 subcuencas, El Mulato, Salida de Presas, La Teja y Arroyo Seco. Su área está ocupada mayormente por el municipio de Tlajomulco, en una parte pequeña por Tlaquepaque y una mínima área por el municipio de Zapopan. Su arroyo principal de tipo intermitente corre solo por el municipio de Tlajomulco, nace en las alturas del Bosque de la Primavera y descarga en presa El Molino y después continúa a la presa del Guayabo. La altura máxima de la cuenca es 2270.84 msnm y la mínima es de 1534.36 msnm.

Según información CEA e INEGI del año 2010, tiene una extensión territorial de 7,666 has (76.65 km²) y un perímetro de 51.53 km, su área urbanizada es de 1933 has (19.33 km²), por lo tanto el porcentaje de área urbanizada es de aproximadamente el 25%.

2.3 Cuenca del Ahogado y Subcuenca El Guayabo

La Cuenca del Ahogado es considerada una zona crítica porque ha experimentado un proceso de construcción de empresas de manufactura, junto a un crecimiento de la población asentada en las cercanías de la industria. El crecimiento ha sido acelerado, en 1970 la población llegaba a los 50 mil habitantes, mientras que en el año 2000 llegaba cerca de los 500 mil (INEGI, 2010). Se tienen ya urbanizados 117 km² y existe la tendencia a que se aumente la densidad de población en pocos años y se lleguen a ocupar 250 km² que representaría aprox. el 50% de la cuenca.

Hablando solamente de la población dentro de la Subcuenca del Guayabo, según datos de INEGI del año 2000 se registró un total de 39,020 habitantes y 6,529 viviendas. Para el año 2010 había 53,322 habitantes y 12,796 viviendas, el crecimiento en 10 años fue de 14,302 habitantes y 6267 viviendas, es decir un promedio de 627 viviendas construidas por año.



Figura 6. Ubicación de cuenca El Ahogado en relación con la ZMG. Fuente: CEA, Jalisco.



Figura 7. Subcuencas y microcuencas de Cuenca El Ahogado. Fuente: CEA, Jalisco.

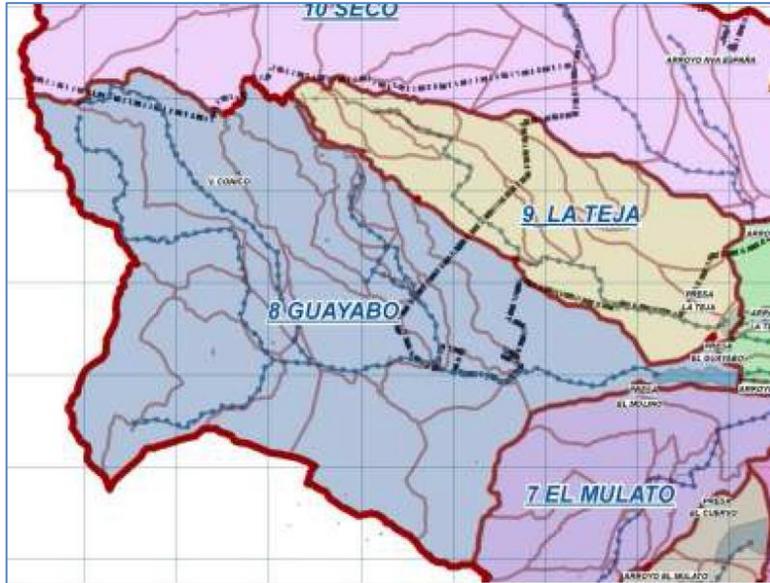


Figura 8. Subcuenca del Guayabo. Fuente: CEA, Jalisco.

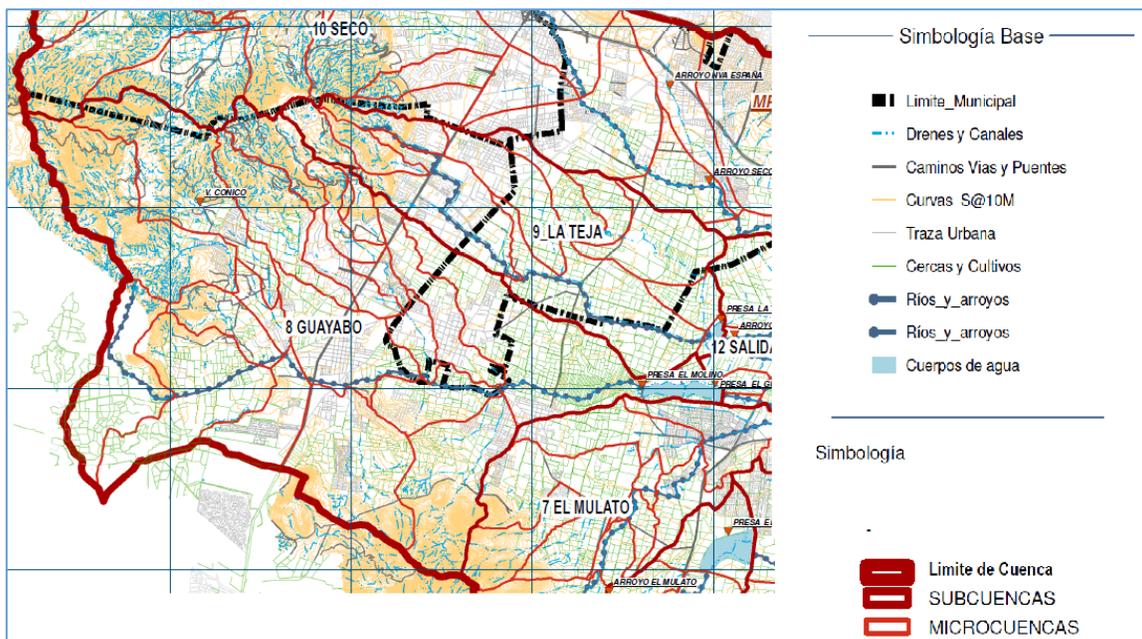


Figura 9. Mapa de subcuenca El Guayabo con divisiones municipales, de microcuencas y ubicación de arroyos, presas y colindancias con otras subcuencas. Fuente: CEA e INEGI 2010.

2.4 Antecedentes empíricos de manejo sustentable del agua pluvial

Existen diversos casos internacionales y nacionales que se desarrollaron bajo principios o conceptos de sustentabilidad o simplemente por iniciativas aisladas de personas u organizaciones, a continuación se habla de estos primero en la escala internacional y luego en la escala nacional.

2.4.1 Internacional

Caso práctico: Jardín de lluvia en un colegio

Este es un ejemplo que se implantó con fines educativos en el condado estadounidense de Anoka. En este caso se instaló el jardín de lluvia en la Escuela Intermedia Fridley para el tratamiento de aguas pluviales que entraban en lago West Lake Moore. Antes de la implementación de esta técnica de biorretención, la lluvia que caía sobre las superficies impermeables de la zona de proyecto se canalizaba gracias a un bordillo y una cuneta hacia su vertido sin ninguna forma de tratamiento. El proyecto mejoró la calidad y redujo el volumen de la escorrentía hacia el lago, capturando e infiltrando las aguas precipitadas sobre las calles y los estacionamientos próximos. Además, el hecho de que el jardín de lluvia estuviera situado en la escuela Fridley y cerca de un instituto, proporcionó a los estudiantes un medio para conocer de primera mano el funcionamiento de una de las **BMP (Best Management Practices o Mejores prácticas de manejo)** más comunes.

Las condiciones existentes consistían en un área abierta de césped que proporcionaba pocos beneficios en la mejoría de la calidad del agua de escorrentía o como hábitat para la vida silvestre. Se instalaron también una **cámara de pretratamiento y una cuneta de hormigón**. La cámara de pretratamiento, que capta sedimentos y escombros antes de que entren en el jardín y reduce las necesidades futuras de mantenimiento. El jardín de lluvia se cultivó con especies nativas que ayudan en la filtración e infiltración, además son idóneas para proporcionar un hábitat de vida silvestre. (Fotografía 2)



Fotografía 2. Fotografías de los jardines de lluvia en la secundaria Fridley Middle School y el parque con lago West More Lake Park han sido instrumentales reduciendo la carga de fósforo y sedimentos que van hacia el Lago de West Moore, a la vez reduciendo las inundaciones. Fuente: ricecreek.org

Jardines pluviales en la ciudad de Melbourne

La ciudad de Melbourne en Australia es uno de los laboratorios más importantes de implementación de proyectos de DUSA (Desarrollo Urbano Sensible al Agua) a nivel mundial. A todo lo largo y ancho de ésta, tanto la iniciativa privada como el sector

público, han apoyado este tipo de estrategias en aras de obtener un mejor y más sustentable uso del recurso hídrico. Más aún, estas estrategias se han visto favorecidas debido a que tanto su escala como la inversión que requieren son pequeñas. Por este motivo son acciones replicables y exitosas en diversas zonas de la ciudad.

Un ejemplo claro de estos proyectos es la reconstrucción de la Avenida Alleyne como una calle con una secuencia de jardines pluviales que corren paralelos a la misma con el objetivo de resolver el problema de las escorrentías en una zona suburbana. Para este efecto, el ancho de la calle se redujo de 7 a 5 metros, dando cabida a los jardines y a una serie de espacios de estacionamiento que se van alternando a lo largo de la vialidad. El exceso de agua pluvial es dirigido, a través de pendientes, hacia estos espacios verdes que se encargan de filtrar y conducir el agua pluvial hacia un depósito (Perlo, M., 2013).

Parque Houtan en Shanghai

El arquitecto paisajista chino Kong Jian Yu, fundador de uno de los despachos de diseño de paisaje más grandes del mundo llamado Turenscape, se ha preocupado por entender cuál es la labor del suelo y del paisaje en general en el funcionamiento de los ciclos naturales del agua en el planeta. Bajo esta premisa, la mayor parte de sus proyectos se enfocan a recuperar y elevar las funciones del territorio y a hacer de éstas un espectáculo. (Fotografía 3)

Se presentan dos de los proyectos emblemáticos de Yu. El primero es el parque Houtan en Shanghai. Éste, diseñado paralelo a una porción del río Hu, funciona como un filtro natural de agua.

Aunque el parque es un experimento para comprobar el uso de los humedales como sistemas de tratamiento de agua (Figura 10), éste genera un hábitat muy agradable donde se pueda caminar entre una serie de especies vegetales y pastos acuáticos. Por andadores de madera, se pasea sobre el agua, rodeado de flores de loto y lirios. El parque genera una atmósfera de tranquilidad además de que funciona como un riñón que purifica parte del agua del río (Perlo, M., 2013).



Fotografía 3. Humedales en el Parque Houtan, Shanghai. Fuente: Perlo, M. (2013)

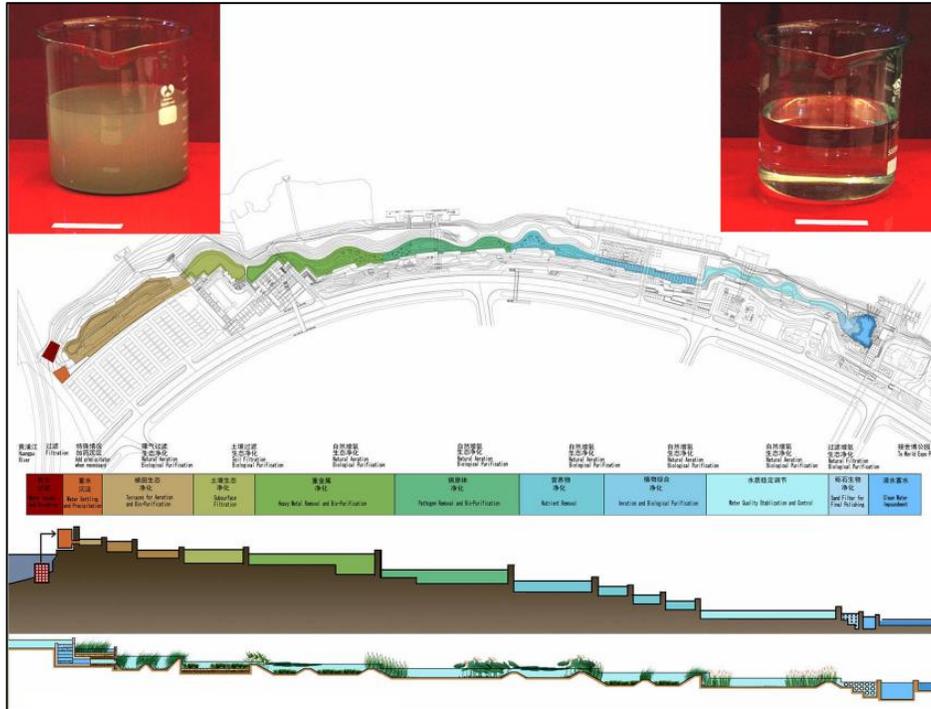


Figura 10. Diagrama que muestra los procesos de filtrado del agua del parque Houton en Shanghai, mediante humedales y otros sistemas, se visualiza la claridad del agua en la entrada y salida del sistema. Fuente: Perlo, M. (2013)

Ríos abiertos en Curitiba, Brasil

La ciudad de Curitiba en Brasil es reconocida por la innovación y puesta en marcha de una serie de estrategias urbanas en cuestiones de movilidad, espacio público y manejo del agua. Como gran parte de las urbes latinoamericanas, ésta se ha visto sometida a un importante crecimiento urbano en un lapso de tiempo bastante corto.

Sin embargo, bajo la alcaldía del arquitecto y urbanista Jaime Lerner, Curitiba supo sortear y utilizar para su beneficio esta situación.

Para el caso que aquí se estudia, resulta pertinente analizar las acciones que se tomaron para promover el mejor uso del agua. La fórmula utilizada simplemente consistió en darle al líquido el espacio necesario para correr. Tratándose de una ciudad atravesada por varios ríos y canales, se tomó la decisión de dejar un área de amortiguamiento a lo largo de los mismos de tal manera que de suscitarse crecidas, éstas se dieran sobre áreas verdes no urbanizadas de tal forma que la ciudad no se viera afectada por inundaciones. Dependiendo del caudal del torrente, se generaron áreas acordes. De esta manera, el río Iguazú cuenta con un enorme parque inundable mientras transcurre por la ciudad y en cambio, los arroyos urbanos, se convierten en el centro de camellones verdes que además recolectan el agua pluvial y hacen más amables los paseos urbanos (Perlo, M., 2013).



Fotografía 4. Canales anchos para control de crecidas de taludes con vegetación en Curitiba, Brasil. Fuente: Perlo, M. (2013)

Plazas-cisterna captadoras de agua pluvial en Venecia

La ciudad de Venecia responde en todos los aspectos de su diseño urbano al medio y contexto en que se encuentra. Construida en el centro de una laguna salada del mismo nombre, la ciudad se consolidó a través de rellenos artificiales sobre una serie de islotes. Debido a que el acceso al agua dulce resultaba muy complicado, se planteó una urbe pétreo, capaz de hacer resbalar sobre su superficie cada gota de agua que cayera del cielo para después almacenarlas en una serie de cisternas subterráneas. Cada espacio público de la ciudad habla de este hecho. En el centro de todos ellos se ubica la boca de pozo, adornada de distintas formas, a través de la cual los vecinos podían acceder al agua recolectada bajo la superficie, a través de los techos y las plazas. Aunque la cantidad de líquido disponible siempre fue escasa, el diseño empleado para utilizar a la lluvia como única fuente de agua potable es totalmente pertinente el día de hoy (Perlo, M., 2013).



Fotografía 5. Plazas Cisterna de Venecia, Italia. Fuente: Perlo, M. (2013).

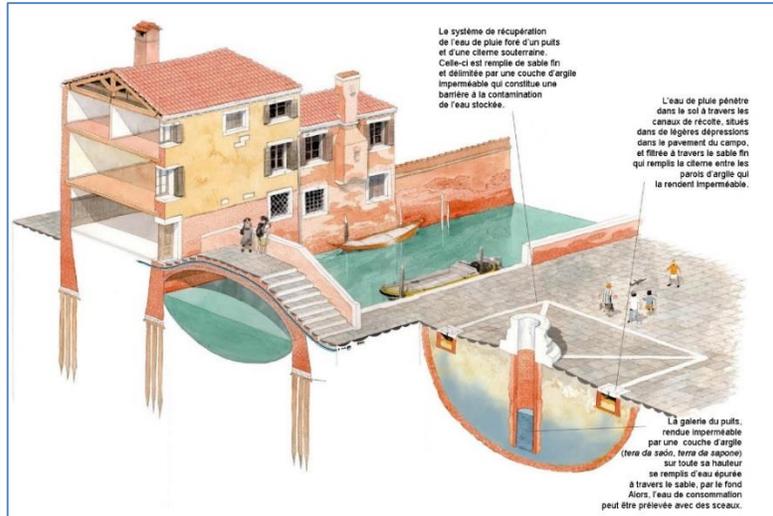


Figura 11. Plazas Cisterna de Venecia, Italia. Fuente: Perlo, M. (2013).

Learning Resource Center en Corte Madera, California, EUA.

Este centro educativo de Investigaciones, es un edificio nuevo dentro de una escuela (Figura 12). El agua de lluvia que cae sobre la azotea del LRC es capturada en una cisterna de 56,780 L en vez de ser descargada en el sitio, pero aun cierta cantidad es liberada al ambiente entonces las descargas que antes estaban conectadas a la red de drenaje ahora pasan a través de **Bioswales**, para que sean filtradas y luego liberadas a los arroyos. Estas estrategias mitiga los efectos negativos del escurrimiento de las aguas pluviales y provee de una fuente valiosa de agua gris para ser usada en las descargas de los WC, para usos de enfriamiento y para irrigación de plantas nativas que ocupan poco riego, por lo cual el calor excesivo generado en el edificio es desechado en el agua a través de una unidad de intercambio de calor. Los dispositivos de eficiencia de agua en los baños incluyen urinarios secos y tazas de baño de doble descarga, estos reducen la demanda total de agua del edificio. Por falta de espacio en el lugar, la cisterna no está dimensionada para la época de sequía de verano. (Kwok A. & Grondzik W, 2011).

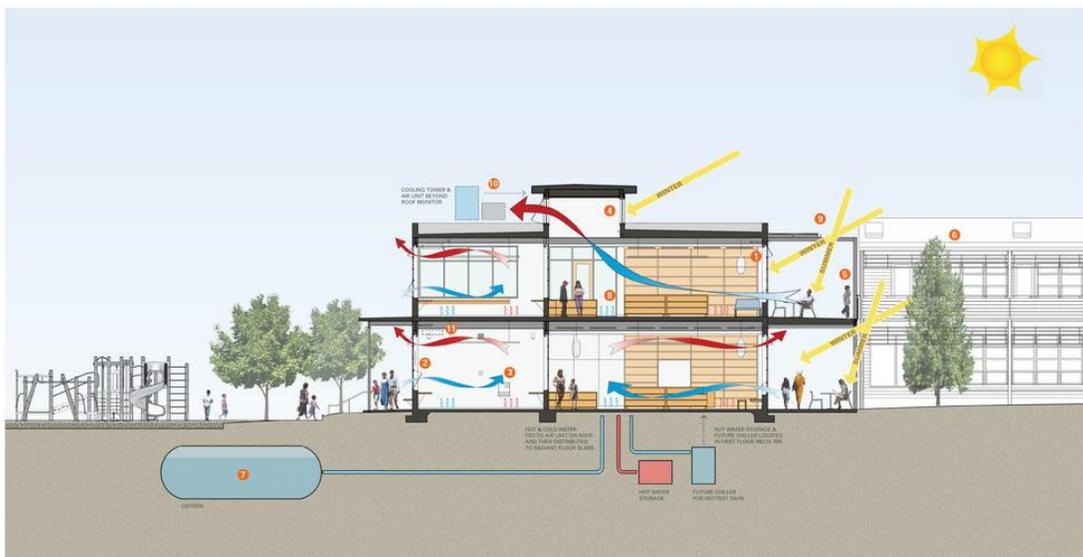


Figura 12. Corte longitudinal mostrando ubicación de cisterna del LRC. Fuente: Pagina Web de American Institute of Arquitectas.



Fotografía 6. Fotografía del momento en que se está colocando la cisterna de aguas pluviales en una excavación. Fuente: Sherwood Design Engineers (sf).



Fotografía 7. Puentes con bancas que cruzan sobre bioswales son los espacios de recreación de los estudiantes. Fuente: American Institute of Architects y EHDD Architect.

2.4.2 Nacional

Aprovechamiento de agua pluvial en la zona conurbada de Guadalajara

En la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), por un lado se sufre de falta de agua potable, y por el otro, año con año se tienen inundaciones que causan graves daños a la ciudadanía. Se ha comentado que las pérdidas económicas son de 500 millones de pesos durante el temporal de lluvias, se precipitan aproximadamente 300 millones de metros cúbicos y no se aprovechan (Gleason, J., 2005).

Algunos ejemplos de aprovechamientos en la Zona Metropolitana de Guadalajara se encuentran algunas alternativas viables en el manejo y aprovechamiento de aguas pluviales, dentro de las tecnologías se encuentran galerías filtrantes, entre ellas destaca la galería de Colomos, que actualmente sigue funcionando. También tenemos los pozos de infiltración que funcionan en la colonia Chapalita. No podemos tampoco ignorar las acciones que algunos ciudadanos hacen por captar el agua de lluvia de sus techos y almacenarla (Gleason, J., 2005).

Captación de agua de lluvia, Metepec, Estado de México.

El ayuntamiento de Metepec inauguró el sistema de captación de lluvia en el centro educativo del nivel medio superior número 146 en San Lucas Tunco, mediante el cual se busca reducir el impacto al medio ambiente por la extracción de este recurso (Fotografía 8).



Fotografía 8. Cisterna exterior en Metepec, Estado de México. Fuente: Perlo, M. (2013).

Humedal de tratamiento, Chapala, Jalisco

La Comisión Estatal del Agua de Jalisco, lleva a cabo una prueba piloto de un humedal subsuperficial en las instalaciones de la PTAR de Chapala, que permite observar la eficiencia y sustentabilidad del proyecto, no sólo con el tratamiento de agua, sino con la producción de flores, y es que, si el proyecto se consolida adecuadamente, no es complicado hacerlo autosustentable con la siembra de plantas ornamentales que crecen dentro del mismo humedal y posteriormente su venta; aspecto que también puede visualizarse en el experimento que la CEA trabaja. (Fotografía 9)



Fotografía 9. Humedal de CEA en Chapala, Jalisco. Fuente: Perlo, M. (2013).

Proyecto de río Atemajac

En las siguientes imágenes podemos observar el mapa de la cuenca con su cauce principal y su parteaguas (Figura 13), una propuesta de sección, todo esto con el objetivo de regular y conducir mejor los grandes volúmenes urbanos de manera más sustentable, a la vez que se crea un parque lineal lo que beneficia como espacio público recreativo (Figura 14).



Figura 13. Cuenca de Atemajac y su cauce en medio de la zona urbanizada. Fuente: IHS y CEA.

IMPACTO HIDROLÓGICO CERO Y SU APLICACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO ATEMAJAC EN JALISCO, MÉXICO

Proyecto río Atemajac

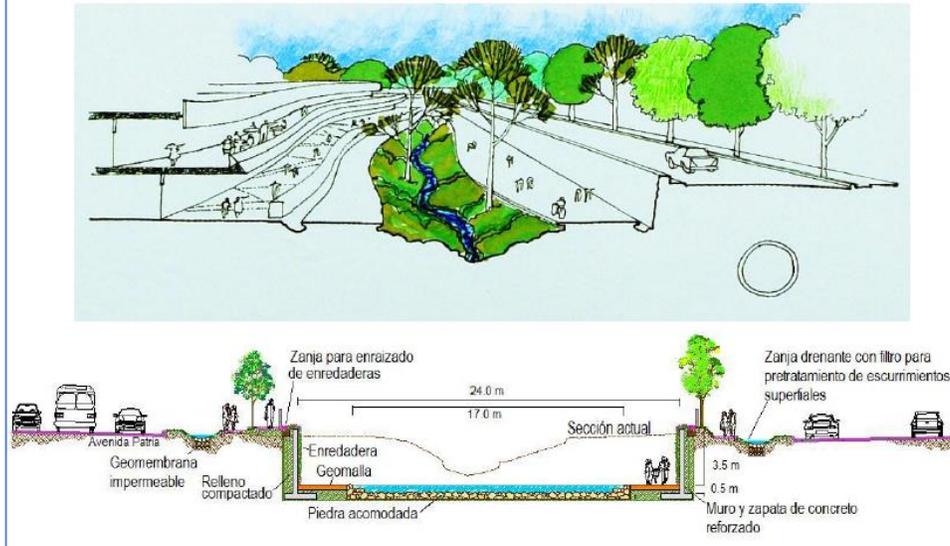


Figura 14. Proyecto de ampliación del ancho del Río Atemajac y creación de espacio público. Fuente: IHS y CEA.

IMPACTO HIDROLÓGICO CERO Y SU APLICACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO ATEMAJAC EN JALISCO, MÉXICO

Análisis de impacto hidrológico cero en la cuenca Atemajac

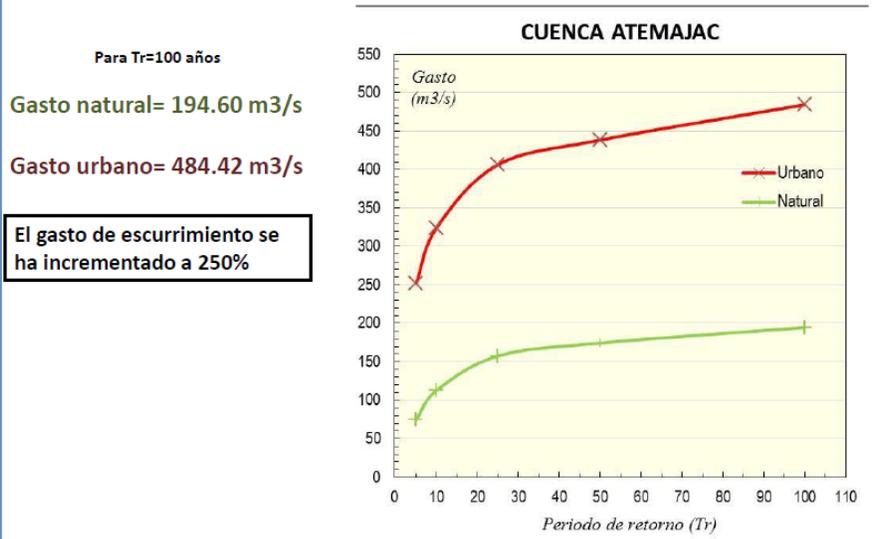


Figura 15. Análisis de Impacto Hidrológico Cero en la Cuenca Atemajac. Fuente: IHS y CEA.

Este proyecto es interesante porque apunta a la renovación de un espacio urbanizado, reduciendo el ancho de calles y ampliando el área hidráulica del cauce para dar más espacio a los escurrimientos a la vez que se genera un parque lineal con más áreas verdes, lo que reconfigura la percepción de ciudad entre los habitantes. La mayor parte del año contara con un

caudal muy bajo pero en eventos de periodo de retorno alto, puede ser la diferencia entre sufrir las consecuencias económicas, sociales y ambientales de un desastre o ser resilientes a este.

2.5 Organismos Internacionales y recursos importantes en la Gestión Integral de aguas pluviales

De los organismos más influyentes en esta área se encuentra la Asociación Internacional de Sistemas de Captación de Agua (IRCSA, por sus siglas en inglés) fundada en 1989 en la Cuarta Conferencia Internacional de Sistemas de Cisternas para Aguas Pluviales y oficializada en 1991 en la quinta conferencia de Taiwán, realiza conferencias cada dos años, en México fue hecha en 2003. Esta ha documentado a través de 11 conferencias internacionales bienales, las experiencias de varios países, mostrando las réplicas, variaciones y modelos de sistemas de captación de agua de lluvia, adaptados para condiciones específicas en ocho regiones del mundo en los que IRCSA participa. Durante años los miembros de IRCSA, científicos voluntarios y practicantes, estuvieron concentrados en sus estudios e investigaciones, así que la promoción de tales investigaciones quedo relegada. Sin embargo podría decirse que ahora es el tiempo apropiado, puesto que el mundo está experimentando escasez de agua y degradación ambiental, IRCSA ha creado sistemas de captación de agua de lluvia apropiados para las condiciones que prevalecen en el mundo sobre la insuficiencia hídrica (IRCSA, 1989).

IRCSA ayuda a la promoción y avance de tecnología en sistemas de captación de agua pluvial con relación a su planeación, desarrollo, manejo, ciencia, tecnología, investigación y educación en la red mundial, y organiza un foro internacional para científicos, ingenieros, académicos, administradores y todos aquellos involucrados en este tópico. Diseña estrategias para el uso de tecnología en la elaboración de los sistemas de captación, y colabora y apoya con programas internacionales para su implementación. Actividades como las que realiza esta asociación, son parte de los esfuerzos generados para lograr lo que el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente denomina Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH), que busca el balance entre las prioridades de crecimiento económico, disminución de la pobreza y conservación de recursos; de esta forma la prevención y mediación de conflictos relacionados con la gestión del agua constituyen un elemento clave de seguridad social en el mundo, concretamente en nuestro continente. (PNUMA, 2007)

Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos (EPA)

La USEPA o EPA es la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos que desde 2007 apoya activamente el uso de **infraestructura verde** para manejar los climas húmedos. La EPA ha lanzado una serie de memorándums con políticas promoviendo el uso de infraestructura verde que alcancen requisitos regulatorios, así como una serie de agendas estratégicas que describen las acciones que la agencia está tomando para promover la infraestructura verde. Un tema central de las agendas recientes es comprometer a las comunidades locales a través de acuerdos comunes y programas de asistencia técnica. Desde 2011, la EPA ha establecido acuerdos con 10 comunidades, y ha dado apoyo técnico a más de 20 comunidades. Las regiones de la EPA son agentes clave en todos estos esfuerzos y muchos otros ofrecen una variedad de información específica en sus propias páginas web sobre infraestructura verde.

Centro para protección de Cuencas en Estados Unidos

En la página del Center for Watershed Protection, en español Centro para protección de Cuencas, se menciona que para reducir los impactos de las escorrentías en las vías urbanas, la Agencia para la Protección del Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés) expuso su Acta de Agua Limpia en 1987 para obligar a los municipios a que obtengan permisos para descargar sus aguas pluviales. Como resultado de esto, muchas comunidades han adoptado regulaciones que demanden a los

desarrolladores para que implementen prácticas de manejo de aguas pluviales que reduzcan la tasa, volumen y que limpien el agua de contaminantes que arrastran en su escorrentía en sus proyectos de desarrollo.

Manual de Diseño en el manejo de Aguas Pluviales en el estado de New York

En agosto de 2010 se creó el New York State Stormwater Management Design Manual por el Centro para Protección de Cuencas, el cual provee a diseñadores de un panorama general sobre como dimensionar, diseñar, seleccionar y ubicar las prácticas en manejo de aguas pluviales en un sitio en desarrollo para cumplir con los estándares de rendimiento en manejo de aguas pluviales del estado. Este manual es un componente clave de un programa de eliminación y descarga de contaminantes del estado que permite la escorrentía general de aguas pluviales de actividades de construcción de todo tipo. (NYS DEP, 2010).

Base de datos de las Mejores Prácticas en Gestión de Aguas Pluviales (BMP, por sus siglas en inglés).

Esta base de datos (BMP Database, 1996) contenida en una página web, incluye en su base más de 500 estudios de BMP, resultados de análisis de desempeño, herramientas para uso en estudios de desempeño de BMP, guía de monitoreo y otras publicaciones relacionadas con estudios. El propósito general del proyecto es proveer de información científica comprobada para mejorar el diseño, selección y desempeño de las BMPs. La continua llegada de información a la base de datos y la asesoría de sus datos llevara finalmente a un mejor entendimiento de factores que influyen en los funcionamientos de las BMP y ayudara a promover mejoras en el diseño, selección e implementación de estas. El Proyecto comenzó en 1996 bajo un acuerdo de cooperación entre la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE, por sus siglas en ingles) y la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en ingles). En 2004, el proyecto tuvo una transición hacia una coalición de soporte más amplia de socios liderados por la Fundación para la Investigación de Ambientes del Agua (WERF, por sus siglas en ingles), incluyendo a la Administración de Autopistas Federales (FHWA, por sus siglas en ingles), la Asociación Americana de Obras Públicas (APWA, por sus siglas en ingles) y el Instituto en Ambiente y Recursos del Agua (EWRI, por sus siglas en ingles) de la ASCE.

Liderazgo en diseño ambiental y de energía (LEED, por sus siglas en inglés)

Es un programa o sistema de certificación de edificios sustentables desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (US Green Building Council). Fue inicialmente implantado en el año 1998, utilizándose en varios países desde entonces. Reconoce las mejores prácticas y estrategias de su tipo para la construcción, diseño, ampliación, remodelación, mantenimiento y operación de edificios así como de viviendas y vecindarios. Para obtener una certificación LEED, los proyectos deben cumplir con requisitos previos y ganar puntos para lograr ciertos niveles de certificación. Los requisitos y créditos son distintos para cada sistema de puntajes, por lo tanto los equipos escogen lo que le convenga a su proyecto. Este sistema asegura transformaciones a la manera convencional de hacer edificios y comunidades con la posibilidad de ahorrar dinero y recursos a la vez que tienen un impacto positivo en la salud de las personas, se promueve la energía limpia y renovable, y la eficiencia en el consumo de agua. (LEED, 2009)

Me enfocare en dos de sus sistemas de calificación como base de conocimiento, el Neighborhood Development (Desarrollo de Vecindarios/Comunidades) y Homes (Viviendas/Casas). Ambos cuentan con secciones que dan créditos y aportan información al proyecto, son los siguientes:

Crédito 4 Paisaje eficiente al agua (áreas verdes, parques).

Objetivo: Reducir o eliminar el consumo de agua para el riego de áreas verdes en un 50% de una línea base calculada del mes pico de lluvia del sitio. Estos logros se pueden atribuir mediante la combinación de las siguientes estrategias:

- a. Especies de plantas, densidad de plantas y factor de microclima.

- b. Eficiencia de irrigación.
- c. Uso de agua de lluvia captada.
- d. Uso de aguas residuales recicladas.
- e. Uso de agua tratada y transportada por una agencia de gobierno específicamente para usos no potables y agua de drenaje.
- f. Uso de fuentes no potables de agua, como aguas pluviales, agua condensada de aires acondicionados

Crédito 8 Administración de aguas pluviales.

Objetivo: Reducir la contaminación y la inestabilidad hidrológica por las aguas pluviales, reducir inundaciones, promover recarga de acuíferos y mejorar la calidad del agua emulando las condiciones hidrológicas naturales.

- Implementar un manejo de aguas pluviales que mantenga el agua en el sitio, mediante infiltración, evapotranspiración, y/o reúso. Se dan puntos a partir de 80% a 95% de agua retenida.
- Seleccionar las mejores prácticas en manejo de agua pluvial consistente con las prácticas de Infraestructura Verde y Desarrollo de bajo Impacto.

2.6 Gobernanza y actores identificados

Ha habido un incremento en el discurso político internacional y nacional sobre la necesidad de promover prácticas de gobernanza en general y aplicado específicamente al sector del agua. Sobre este tema nos habla el autor Gleason J. (2011), donde urge a la necesidad de una nueva gobernabilidad del agua (sinónimo de gobernanza) para la ZCG (Zona Conurbada de Guadalajara). Nos dice que esta gobernabilidad está definida “por los sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos que se encuentra en funcionamiento y que afectan, directa o indirectamente, la utilización, el desarrollo y la gestión de los recursos hídricos, así como la distribución de los servicios de abastecimiento de agua a diferentes niveles de la sociedad”.

Es entonces en mi entendimiento el conjunto de actores que tienen poder o son afectados por el manejo de los recursos hídricos y como se relacionan en base a sistemas socio-económicos y políticos y al medio natural en el que se desarrollan. Un esquema ilustrador de este funcionamiento socio-ambiental conjugado con el manejo del agua está bien representado en la siguiente Figura 16, la cual define tres grandes áreas, el sistema técnico, sistema natural y sistema social, dentro de estos se engloban e intersectan distintas disciplinas y áreas de conocimiento, para dar una idea de lo complejo que puede ser una gobernanza efectiva y la toma de decisiones.

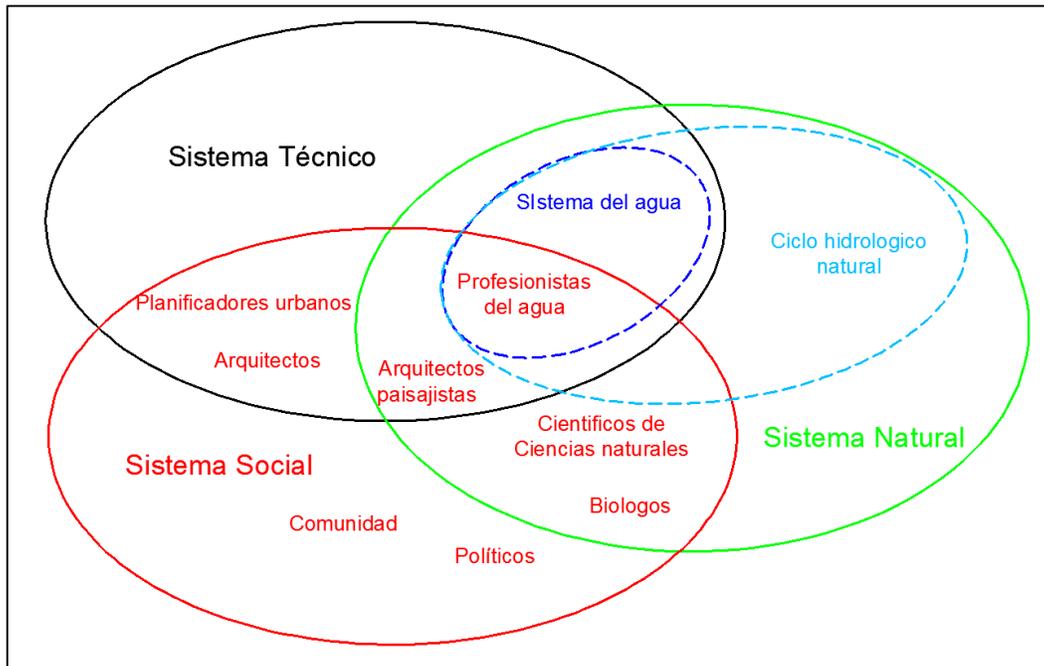


Figura 16. Una descripción conceptual del área urbana como contexto del proceso de toma de decisiones en la Gestión del Riesgo de Inundaciones Urbanas. Esta es solo una representación de la complejidad que caracteriza un contexto urbano donde los sistemas técnicos, sociales y naturales interactúan. Sin embargo, las características del contexto cambian de proyecto a proyecto y por la ubicación. (Adaptado de Fratini C.F. et al, 2012).

La complejidad en la gobernanza predomina en cualquier ámbito urbano debido a la gran cantidad de relaciones sociales y con el medio natural que ocurren, además de las necesidades ambientales y económicas que predominan. En la siguiente Tabla 5 se categorizan los actores y se definen las características de cada uno de ellos en su relación con el medio urbano y después se mencionan los aspectos que cada una de las categorías de actores prioriza en su vida diaria o ámbito profesional, y estos aspectos pueden tener naturaleza Lógica, económica, legal, lingüística, social, etc, lo que también se indica en cada aspecto y/o actividad que realiza cada actor.

Categoría de actor	Características	Aspectos del agua priorizados
Profesionales del agua	<ul style="list-style-type: none"> • Gestionar organizaciones públicas o privadas trabajando con instalaciones de agua urbanas • A cargo de encontrar soluciones • Mantener niveles de servicio y funcionalidad de infraestructuras del agua • Modeladores/prácticos operando las infraestructuras del agua actuales • Trabajan en el municipio o compañía privada 	<ul style="list-style-type: none"> • Asesorar soluciones: Lógico, Económico, Legal • Presentar opciones a los promotores: Lógico, Económico. • Cooperar con otros profesionales: Lógico, Lingüístico, Económico, Legal. • Discutir soluciones con actores: Lógico, Lingüístico, Económico, Ético.
Planeadores urbanos	<ul style="list-style-type: none"> • Manejan departamentos municipales a cargo de la infraestructura urbana no directamente relacionados con el agua • Organizan el espacio urbano • Responsables de nuevos planes y visiones 	<ul style="list-style-type: none"> • Nueva planeación: Lógico, Económico, Social, Histórico, Ideal, Ético. • Comunicando con actores: Lingüístico, social.
Arquitectos/ paisajistas	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñan infraestructuras urbanas y áreas verdes • Crean visiones • El mayor motivador es la creatividad 	<ul style="list-style-type: none"> • Creando visiones: Estético, Social, Sensitivo, histórico, Ideal, Ético • Comunicando con actores: Lingüístico
Científicos / Biólogos	<ul style="list-style-type: none"> • Con conocimiento sobre los procesos naturales en relación con la calidad del medio ambiente y salud humana • Previene los impactos de las implementaciones de nuevas infraestructuras al medio ambiente y la salud humana. 	<ul style="list-style-type: none"> • Asesorando impactos: biótico, Legal, Lógico, Sensitivo, Ético, Ideal • Controlando y manteniendo: Lingüístico, Legal, Ético, Ideal
Sociedad/ comunidad	<ul style="list-style-type: none"> • Viven y trabajan en el área urbana • Tienen diversos motivadores dependiendo de muchos aspectos (educación, conocimientos, riqueza, intereses, etc.) • Pagan para recibir servicios • Pueden votar para cambiar los objetivos políticos • Usan la infraestructura urbana diariamente • Mayor motivación: mejorar su propia calidad de vida 	<ul style="list-style-type: none"> • Priorizando aspectos relacionados con su calidad de vida: Sensitivo, Social, Histórico, Económico, Estético. • La percepción depende del bagaje cultural: Ético, Ideal • El aspecto lingüístico es muy importante cuando se los involucra en la toma de decisiones.
Políticos / Municipio	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplen con los lineamientos nacionales • Trabajan bajo limitaciones financieras • Preocupados por la felicidad y seguridad de los ciudadanos • Buscan apoyo social y poder • Ansiosos de mantener su prestigio dentro del mismo mandato 	<ul style="list-style-type: none"> • Estableciendo restricciones: Legal, Económico, Ético, Ideal • Buscando apoyo social: Sensitivo, Histórico, Social, Ideal, Estético • El aspecto Lingüístico es central para ellos

Tabla 5. Vista general de las categorías de actores clave identificados y los aspectos que priorizan según diferentes investigaciones.
Fuente: Fratini C.F. et al, 2012.

Por lo tanto se puede inferir que el proceso de gobernanza o gobernabilidad puede llegar a ser muy complejo y requiere de un profundo entendimiento del sistema técnico, social y natural integrado con todos los aspectos mencionados para garantizar el mayor valor a la sociedad provisto por su manejo y relación con el agua.

A partir de esta introducción mediante la definición de actores dentro de un marco de gobernabilidad general, se continúa definiendo actores en el ámbito regional y local que pueden influenciar el desarrollo y toma de decisiones en el sector del agua.

2.6.1 Gobierno municipal, estatal y federal

Principalmente el gobierno municipal, pero sin descartar al nivel estatal y federal, el gobierno en su papel de regulador entre distintas dependencias, empresas y organismos puede ser relevante que amplíe sus relaciones con el SIAPA, SIAT (Sistema de Agua de Tlajomulco) y los desarrolladores de vivienda para determinar cómo influye en los procesos de cambios de uso de suelo y permisos de construcción. Detectar si con sus facultades puede influir benéficamente en los proyectos de desarrollo

de vivienda, de comercio e industrial que tengan impactos hidráulicos e hidrológicos. A partir del 2014 comenzó a ser efectivo en Ley de Aguas del Estado de Jalisco un artículo nuevo, el 86-Bis (Gobierno del Estado de Jalisco, 2014), este indica que todo nuevo proyecto de desarrollo que genere áreas impermeables debe tener un control de sus escurrimientos aguas pluviales.

Además SEDEUR (Secretaría de Desarrollo Urbano) que ahora es SIOP (Secretaría de Infraestructura y Obra Pública), SEMADET (Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial), SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales) y SEMADES (Secretaría del medio Ambiente y Desarrollo Sustentable) deben colaborar con su experiencia en la generación y cumplimiento de políticas que se cumplan y evolucionen con la implementación.

En casos de eventos de ponerse en riesgo la seguridad de las personas la Unidad de Protección Civil y Bomberos del municipio está obligada a monitorear en cada evento, tomar precauciones y evacuar personas, entre otras acciones, por lo tanto es muy necesaria una buena gobernanza para relacionar el conocimiento académico, con las políticas públicas y las acciones de protección civil es necesario.

2.6.2 Organismos operadores

Comisión Nacional del Agua (CNA), Comisión Estatal del Agua (CEA), Sistema Intermunicipal de los Servicios del Agua (SIAPA), Sistema de Agua de Tlajomulco (SIAT), Consejos de Cuenca y Consejos Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS).

Es importante analizar el poder que ejercen estos organismos para cuidar y mejorar los recursos del agua mediante sus normativas.

En Artículo 86-Bis de la Ley de Aguas del Estado de Jalisco, mencionado anteriormente, es responsabilidad de estos organismos pedir los estudios hidrológicos para dar la factibilidad a un proyecto. Mas no existen metodologías ni líneas estratégicas para la revisión continua y periódica de los dispositivos propuestos, por ejemplo si se construye un tanque de tormentas con un pozo de absorción, si entra basura o contaminantes a estos se van a tapar o no funcionarán de manera adecuada, por lo tanto es necesario monitorear estas instalaciones de algún modo.

La CEA a través de la Dirección de Cuencas y Sustentabilidad y la Dirección de Planeación Estratégica puede administrar mejor sus cuencas y proponer nuevos usos de suelo más restrictivos con proyectos que restauren los daños ya hechos con el objetivo de disminuir los riesgos involucrados para la población y garantizar una sustentabilidad del recurso.

El tema del arrastre de contaminantes por las aguas pluviales no se toca, la bibliografía internacional sugiere que los problemas asociados a esto pueden ser graves y es necesario tomar medidas para construir elementos que sirvan como filtro al agua de escorrentía.

Son encargados de comprobar que los requerimientos mínimos se cumplan, pero a la vez dar difusión e información técnica de alternativas innovadoras que se están llevando a cabo en otras zonas, mediante su participación en foros de Agua, conferencias en universidades y organismos como la CMIC.

Los consejos de Cuenca y Técnicos del Agua Subterránea también pueden ser partícipes de la discusión, difusión, pruebas, estudios e implementación de mejores prácticas.

2.6.3 Instituciones académicas

Universidades: ITESO, UDEG, TEC DE MONTERREY, UP, UNAM, ETC.

Como generadores de conocimiento es oportunidad y responsabilidad de estas instituciones colaborar en la mejora de los modelos tradicionales en el manejo del agua, más aun cuando se está probando que en otros países se pueden hacer las cosas bien mediante las estrategias SUDS, es por lo tanto cuestión de llevar a cabo más investigaciones y más difusión de la experiencia adquirida en otras partes del mundo para que los alumnos, futuros profesionistas e interesados se hagan partícipes en análisis y crítica, ya que el peso de estas instituciones puede ser muy influyente para tomar mejores decisiones en beneficio del medio ambiente y la calidad de vida de las personas.

Además, estudios realizados por otros compañeros que van en la misma línea de investigación pueden aportar, ya que por ejemplo los techos verdes es una de las técnicas de SUDS pero en mi investigación no estoy tan enfocado a eso, por lo tanto vendría bien la cooperación para ahorrar tiempo y mejorar el producto final.

CMIC (Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción), el CICEJ (Colegio de Ingenieros Civiles del Estado de Jalisco), el Colegio de Arquitectos y la AMH (Asociación Mexicana de Hidráulica).

2.6.4 Sector privado

Todas las empresas, despachos y constructores que hayan urbanizado el Municipio de Tlajomulco tienen responsabilidad al realizar sus proyectos de incluir manejos más integrales del agua pluvial, debe ser un trabajo en conjunto entre el ayuntamiento y el sector privado para que no sean aceptados proyectos que no manejen criterios de sustentabilidad en sus desarrollos. Es posible que en proyecto se cumplan las especificaciones correctas, pero en el momento de la construcción por motivos de ahorro económico no se construyan los elementos solicitados, el organismo operador encargado no realice visitas a la obra y ya que muchas de las instalaciones son subterráneas, si se apresuran podrán cubrir la omisión o defectos de la infraestructura provista. Por lo tanto es necesario mediante la difusión de las consecuencias de estas acciones que los constructores se concienticen en el cuidado del agua en todos sus aspectos.

ONGS ambientales nacionales e internacionales

WWF México: Fondo Mundial para la Naturaleza.

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente).

WWC (World Water Council): Consejo Mundial del Agua.

IWA (International Water Association).

Actores preocupados por la situación actual que generan conocimiento, consultoría, manuales y normativas que representan un apoyo a los gobiernos, organismos operadores, empresas y ciudadanos en general para que aprendan herramientas o presencien conferencias con información relevante de todo el mundo en el tema del agua y otros asuntos relacionados para el cuidado del medio ambiente. Además estos actores pueden ser de gran apoyo moral o para hacer presión a autoridades para que mejoren sus actividades.

2.6.5 Actores locales

Habitantes de los desarrollos habitacionales indicados, juntas locales de vecinos, líderes vecinales o comunitarios, estudiantes de preparatoria o universidad que gusten apoyar con el uso de las redes sociales, entre otros. Si a estos grupos se les comunica efectivamente la intención y resultados posibles de un proyecto pueden ser de gran ayuda para el logro de los propósitos, ya que muchas de las Técnicas SUDS evaluadas son instaladas dentro del predio de la vivienda, por lo tanto es necesario llevar

una labor de difusión, incentivos y apoyos económicos para que los habitantes participen y comprendan los beneficios para ellos y la sustentabilidad, mediante lluvia de ideas y otras dinámicas participativas en conjunto con gobierno y organismos operadores se puede lograr esto.

2.7. INICIATIVAS GUBERNAMENTALES Y DE ORGANISMOS ENCARGADOS.

2.7.1 Normativa asociada

La normativa que se relaciona directa o indirectamente con el manejo correcto del agua pluvial en México se presenta a continuación, siendo la NOM-015 de CONAGUA la que directamente puede intervenir en la realización de un proyecto pluvial para un desarrollo habitacional, entonces, la normativa es la siguiente:

- NMX – AA – 164 – SCFI – 2013: Edificación Sustentable – Criterios y Requerimientos Ambientales Mínimos
- NOM-003-CONAGUA-1996: Requisitos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.
- NOM-014-CONAGUA-2003: Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada.
- NOM-015-CONAGUA-2007: Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y especificaciones de las obras y del agua.
- NOM-127-SSA1-1994: Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- NOM-003-SEMARNAT-1997: Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

2.7.2 A nivel Nacional

Se creó el Plan Nacional de Desarrollo 2013 – 2018 en el año 2012 y el Programa Nacional Hídrico en 2014, ambos tienen relación en algunos de sus apartados con el tema de este trabajo académico, en el aspecto de la salud, la resiliencia y como depende del manejo de las aguas pluviales de manera sustentable en las ciudades.

De uno de los ejes, llamado México en paz se desglosa el objetivo: “salvaguardar a la población, a sus bienes y a su entorno ante un desastre de origen natural o humano, su estrategia correspondiente consiste en una política para la prevención de desastres” (Gobierno de la República, 2013).

Lo anterior se alinea con el objetivo número 2 del Programa Nacional Hídrico que menciona: incrementar la seguridad hídrica ante sequías e inundaciones cuya estrategia es proteger e incrementar la resiliencia de la población y áreas productivas en zonas de riesgo de inundación y/o sequía para finalmente llegar a la línea de acción donde se hace mención en el punto 7 a

fomentar la construcción de drenaje pluvial sustentable (SEMARNAT, 2014). Lo mencionado en estos documentos nacionales está ligado directamente con el propósito del presente proyecto académico.

2.7.3 A Nivel Estatal en Jalisco

Existe reglamentación por parte del Gobierno en la Ley de Aguas para el Estado de Jalisco (2014), esta fue agregada en reformas que se realizaron en el año 2014 y se fundamenta con el propósito que exista un control de los escurrimientos pluviales y se contemple la infiltración, mediante responsabilidades delegadas a organismos operadores correspondientes, constructores e interesados en llevar a cabo de un proyecto de urbanización. También se le llama de manera más coloquial a este requerimiento legal Impacto Hidrológico Cero.

Esta normatividad se encuentra presente en el Artículo 86-Bis, el cual dice lo siguiente:

“Toda ocupación que genere superficies impermeables, deberá poseer un dispositivo de control del escurrimiento del agua de origen pluvial. Serán consideradas áreas impermeables todas las superficies que no permitan la infiltración del agua hacia el subsuelo. El agua precipitada sobre el terreno no podrá ser drenada directamente hacia las calles, cunetas o redes de drenaje.

La comprobación del mantenimiento de las condiciones hidrológicas de ocupación previa en el lote o en la urbanización deberá ser presentada al organismo operador de donde se trate, acompañada de la documentación técnica que de sustento a la misma. Quedará a cargo del Organismo operador la definición de los requerimientos mínimos de estos estudios hidrológicos.”

A continuación de lo que se menciona, se describen requerimientos técnicos, en cuanto a determinar volúmenes de reserva dependiendo de las áreas a urbanizar tomando en cuenta factores como precipitación de proyecto y periodos de retorno.

2.7.4 A nivel Local.

En el municipio de Tlajomulco, se sigue también por orden estatal el requerimiento del Impacto Hidrológico Cero del Artículo 86.Bis. El SIAT, Sistema de Aguas de Tlajomulco, organismo descentralizado del SIAPA, recibe los proyectos de desarrollo urbano y determina la factibilidad técnica. Dentro de sus reglamentos locales, el Código Urbano contiene o menciona el uso de medidas de control de gastos picos ocasionados por la impermeabilización del suelo mediante el uso del concepto del IHC a sus proyectos de construcción.

Programa de Protección a Centros de Población del Gobierno Municipal de Tlajomulco de Zúñiga

Este programa, el cual administra la oficina de Obras Publicas de Tlajomulco tiene como objetivo la protección contra inundaciones mediante la mitigación de riesgos, las acciones incluyen el mejoramiento y mantenimiento de infraestructura hidráulica existente, así como la construcción de nuevas estructuras.

Por lo tanto podemos dividir las acciones en tres tipos, mejoramiento, mantenimiento y construcción, a continuación se categorizan y explican en qué consisten:

- Mejoramiento
 - Rehabilitación de cortinas de presas
 - Rehabilitaciones de compuertas y vertedores de presas
 - Instalación de compuertas

- Ampliar área hidráulica en puentes
- Reforzamiento e incremento de nivel de bordos de canales
- Mantenimiento
 - Desazolve de Presas
 - Desazolve de canales
- Construcción
 - Reforzamiento a base de gaviones en cauces de arroyos
 - Construcción de colectores pluviales

Todo esto tiene una inversión total aproximada de más de 321.14 millones de pesos, según la información proporcionada directamente por la oficina Dirección General de Obras Públicas del municipio, las obras se aprecian en la siguiente Figura 17.

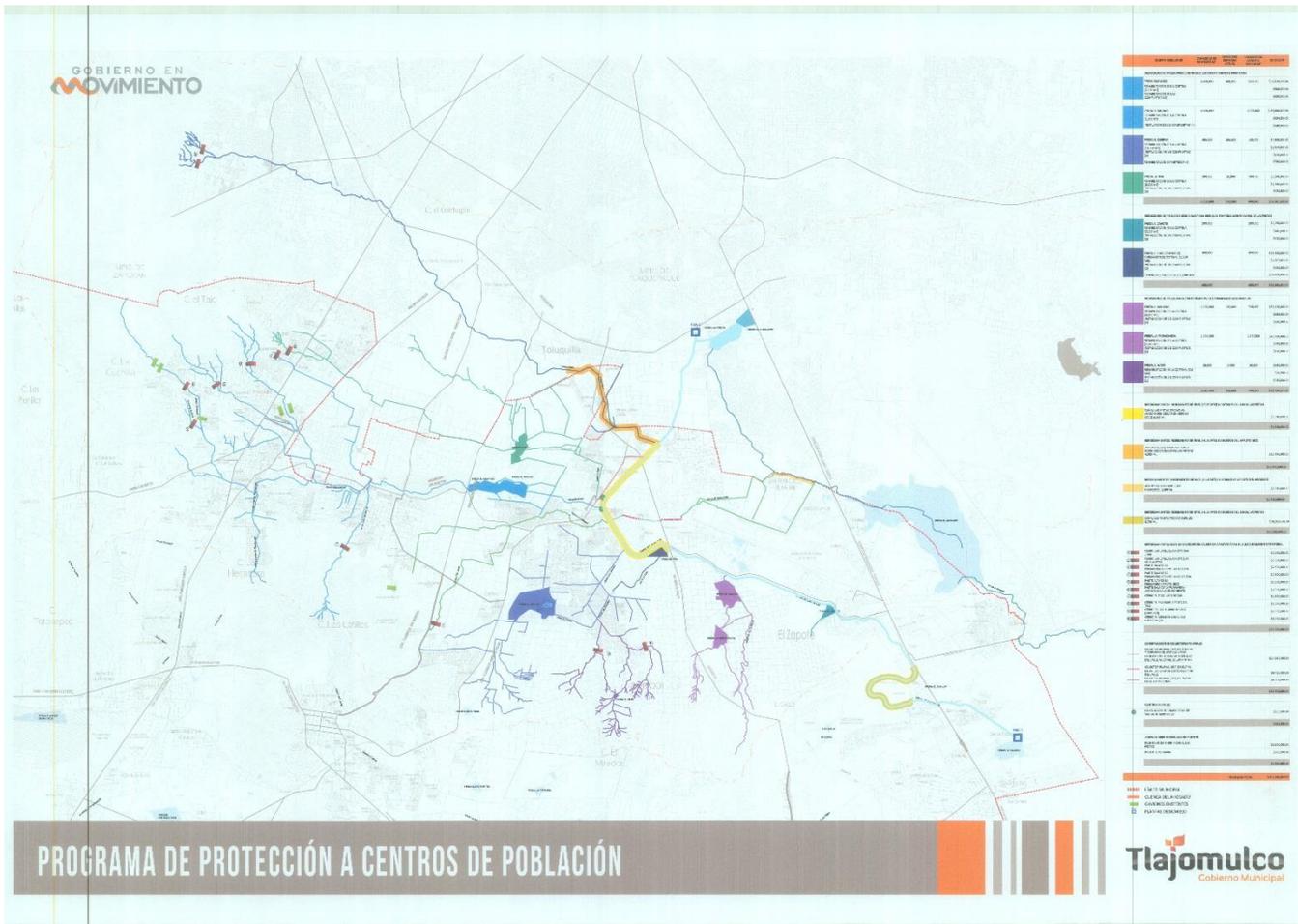


Figura 17. Imagen escaneada de plano con el programa de protección a centros de población de Tlajomulco. Fuente: Obras Públicas de Tlajomulco.

Saneamiento en la Cuenca del Ahogado

Información proporcionada también por la Dirección General de Obras Públicas nos muestra que para sanear completamente la cuenca del Ahogado, es decir, lograr conducir todas las descargas de aguas residuales urbanas e industriales hacia la planta de tratamiento del Ahogado, se necesita la construcción de 11 colectores pluviales con una inversión total aproximada de más

de 468 millones de pesos, este trabajo debe ser coordinado entre los tres municipios que abarca esta cuenca, por lo que es de más elevada complejidad.

Reglamento en materia de ordenamiento ecológico territorial y urbano del municipio de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco

Otro documento importante es el Reglamento en materia de ordenamiento ecológico territorial y urbano del municipio de Tlajomulco de Zúñiga (Gobierno Municipal de Tlajomulco, 2009), en el cual vale la pena analizar ciertos puntos relacionados con la sustentabilidad, sistemas de drenaje, control de aguas pluviales y reúso de aguas residuales, a continuación se muestra la información recopilada pertinente al proyecto. Dentro de su capítulo cuatro, en la política de protección del agua, en su artículo 26 dice que para la prevención, control y disminución de la **contaminación del agua**, la autoridad municipal debe verificar que los sistemas de drenaje sanitario se encuentren **separados de los sistemas de drenaje pluvial**, promoviendo la construcción y utilización de **sistemas de captación y almacenamiento del agua de lluvia** en todas las ramas de actividad económica incluyendo las casas habitación, comercios e industrias.

Después en el capítulo sexto del aprovechamiento sustentable: en su artículo 66 se expresa que los criterios para el aprovechamiento sustentable del agua y de los ecosistemas hídricos serán considerados en **promover y aplicar incentivos especiales** respecto de la política de reúso de aguas y la conservación de la infraestructura hidráulica en los nuevos asentamientos humanos y se estimulara y promoverá la construcción y utilización de **sistemas de captación y almacenamiento** del agua de lluvia en todas las ramas de actividad económica incluyendo las casas habitación, comercios y servicios.

En el capítulo octavo, sobre la gestión del POET en la Zona Conurbada de Guadalajara, el artículo 94 dice que el ayuntamiento promoverá la celebración de convenios de colaboración y acuerdos de coordinación y asesoría con el gobierno estatal y federal y con los municipios de la Zona Conurbada de Guadalajara para la infraestructura necesaria para implementar una política de reúso y captación del agua de lluvia.

2.7.5 Nivel Metropolitano o intermunicipal

Programa de Manejo Integral de Aguas Pluviales (PROMIAP) de la Zona Metropolitana de Guadalajara.

De acuerdo con la ficha técnica informativa del SIAPA (2008) sobre el PROMIAP, este programa fue desarrollado entre los años 2006 y 2007 con el objetivo de crear políticas y estrategias que disminuyan los impactos negativos de las lluvias y llevar un manejo más adecuado de estas. Con la ayuda de estudios se realizaron proyectos ejecutivos para la construcción y mejora de infraestructura en el corto, mediano y largo plazo, además se incluyeron **acciones no estructurales** para complementar la solución de las problemáticas relacionadas, las cuales en concepto son las que no requieren de una construcción de algo físico, por ejemplo la educación-sensibilización, políticas, leyes y reglamentos, normativas, acciones preventivas como desazolve de canales, alarmas a la población en caso de eventos extremos y de riesgo, creación de mapas de riesgo, protocolos de protección civil, etc. Estas acciones se explicarán con más detalles como parte de los conceptos de las estrategias SUDS en el capítulo 2-9.

La zona analizada se encuentra dentro de 5 subcuencas que tienen su espacio urbanizado prácticamente en su totalidad.

Según este documento las causas principales de la problemática de las inundaciones se pueden enmarcar en la combinación de factores como: la **superada capacidad** de respuesta de la red de colectores a un evento pluvial fuerte, por ser una obra de drenaje combinada y sobre utilizada, la **impermeabilización** de los suelos en respuesta al crecimiento de los asentamientos residenciales e industriales, la **infraestructura vial** que modifica y elimina los espacios naturales del agua y la falta de cultura cívica generalizada entre la población.

A finales del año 2006 como resultado del Primer Foro Internacional de Análisis y Discusión de Experiencias Internacionales en el Manejo de Aguas Pluviales se concluyó que la recomendación principal era aplicar la utilización del concepto de **Manejo Integral de Aguas Pluviales** con enfoque hidráulico y ambiental. Dentro de las infraestructuras que vienen acorde a este proyecto académico, se mencionaron las de **control en origen**, en cuanto a los nuevos desarrollos habitacionales, comerciales e industriales se recomendó aplicar el concepto de **impacto hidrológico cero**.

El PROMIAP contiene propuestas de solución que sugiere el documento, son mejoras a las utilizadas en décadas pasadas, utilizando modelos de simulación para conocer mejor los caudales y volúmenes de agua que se generarían con diferentes periodos de retorno. También el PROMIAP “propone la construcción de **estructuras hidráulicas adicionales** que **retengan** el agua, al tiempo que permitan un **tratamiento** para eliminar los materiales contaminantes, faciliten la **sedimentación** de las partículas y en todo caso permitan la **infiltración** del agua al subsuelo”.

El PROMIAP “incorpora las estrategias para la realización de los proyectos correctivos para las zonas con más urgencia en la solución del desalojo de las aguas pluviales e integra las propuestas de solución para las nuevas zonas de crecimiento. En ambos casos se han desarrollado los anteproyectos de las obras que deberán realizarse, el análisis de inversión por etapas de construcción, el análisis costo-beneficio por sector, y de manera muy especial, sienta las bases sobre los criterios y funciones específicas de lo que debe ser la organización técnico-administrativa para llevar a cabo la construcción, operación y mantenimiento de las estructuras hidráulicas y la vigilancia de los escasos cauces que aun conducen los escurrimientos.”

También la ficha técnica del PROMIAP afirma que a nivel internacional el enfoque tradicional de **conducción eficiente** del agua de lluvia lejos del área urbana ha evolucionado hacia el enfoque de **almacenamiento del agua** y se reitera la idea de **detención, retención y recarga**. Y menciona que desde que las aguas de tormenta se han venido convirtiendo “en una significativa fuente de contaminación se han introducido nuevos conceptos de control en la fuente o **control en origen, atenuación de flujos** y tratamiento en **sistemas biológicos naturales y artificiales**.”

Se menciona también que “existen en el medio urbano un numero de **medidas estructurales de bajo costo** que han probado su eficiencia en temporadas de lluvias tales como la aplicación de **pavimentos porosos** en nuevos desarrollos habitacionales, la **detención lineal**, basada en la construcción de colectores grandes y de escasa pendiente con flujos de entrada grandes y descargas limitadas para el control de escurrimientos en microcuencas conflictivas, la instalación de sitios de **detención en camellones** y grandes superficies de estacionamientos o canchas deportivas, la instalación de **estructuras de detención** a nivel particular en **casas habitación**, ya sea en patios, azoteas, etc.

A continuación se muestran algunas imágenes de los tipos de proyectos que se están promoviendo a través del PROMIAP. En la Figura 18 se observa el depósito llamado López Mateos, en el cual se propone crear un vaso de regulación mediante un sistema multifuncional, mediante canchas de futbol hundidas que almacenan los volúmenes de escurrimiento pluvial.



Figura 18. Depósito de regulación López Mateos en canchas de futbol hundidas. Fuente: IHS

Este proyecto hace uso del área libre y abierta que unas canchas de futbol pueden proveer para generar un espacio en el que se puedan contener grandes volúmenes de lluvia para eventos extremos y proteger de inundaciones zonas de riesgo. En la Figura 19 se observa la propuesta de un depósito de regulación debajo de una vialidad, cerca del Parque Morelos.



Figura 19. Render de proyecto de Depósito Morelos debajo de vialidad. Fuente: IHS.

En la siguiente Figura 20 se observa el proyecto sobre el vaso regulador del Dean, este vaso ya existe y recibe los caudales que bajan del cerro del cuatro. El proyecto entonces consiste en una ampliación y renovación urbana del parque entre otros conceptos, un elemento interesante de este proyecto es que se proponen 4 tanques de grandes volúmenes para contener los escurrimientos de las primeras lluvias con tal de prevenir y conservar la calidad del agua dentro del vaso, ya que las primeras lluvias del año arrastran mayor cantidad de contaminantes que las subsiguientes, como se verá en el capítulo 2.4 de este documento.



Figura 20. Render del proyecto de vaso de regulación “El Dean”. Fuente: IHS



Figura 21. Render del proyecto de depósito de regulación Revolución-Lázaro Cárdenas. Fuente: IHS.

En la Figura 21 se puede observar de nuevo un área pública abierta aprovechada para regulación y llenado durante lluvias extremas. Otros proyectos incluidos dentro del PROMIAP incluyen trabajos como ampliación de área hidráulica de cauces, parques lineales, construcción de colectores, etc.

Entonces por lo que se puede observar, estos proyectos vienen de una visión o paradigma de ciudad que busca resolver su problemática a través de vasos de regulación que son grandes y costosas obras de infraestructura, pero no es la única visión que existe ni tampoco creo que represente la solución total e integral al problema. También existe la visión-paradigma de que la solución se encuentra en construir un colector profundo de gran diámetro, como el Túnel emisor Oriente que está en construcción en la Ciudad de México. Este es un tema controvertido, que genera debates y distintos puntos de vista en el discurso de los expertos, por lo tanto este trabajo no tomará postura sobre cuál es la mejor solución y solo se dejará establecido que cualquiera de las dos es buena opción pero depende de las características de cada región y que aun así es necesario la regulación a través de un tren de tratamiento (ver capítulo 2.9.3) de las aguas superficiales que empiece a nivel de lote y en

caso de ser necesario a nivel regional. Lo cual se declara en ciertas pautas a seguir dentro del PROMIAP pero en ningún momento lo integra dentro de algún programa o proyecto, por lo que queda sugerido como recomendación a las autoridades.

Por lo tanto dentro de esta investigación se abordará este concepto del tren de tratamiento para evaluar su metodología y beneficios de aplicación en conjunto con estrategias SUDS, en el capítulo 2.9.3 de “Escala de aplicación de estrategias” se detalla más este concepto del tren de tratamiento o tren de manejo.

Problemáticas y obstáculos mencionados en PROMIAP

Se menciona que existen planteamientos reiterativos por parte de expertos en el sentido de que las aguas de tormenta son un **recurso valioso** que debe ser **aprovechado** dentro de la ciudad, pero que su principal obstáculo es el **espacio** para construir los sitios de almacenamiento, espacialmente en las partes altas de las cuencas que es donde ubica la más alta concentración de población.

En la parte final del documento se menciona que parte importante de las acciones del programa son las medidas no estructurales que incluyen, entre otras, las medidas de control en origen y las medidas estructurales de bajo costo. Se dice que “las principales medidas de control en origen incluyen el inventario, rehabilitación y mantenimiento de las 18,000 bocas de tormenta que existen en la ciudad, así como el de las descargas residuales clandestinas, el control de descargas pluviales en nuevos centros comerciales y desarrollos habitacionales, la detención en estacionamientos y azoteas, la aplicación de pavimentos porosos, la construcción de tanques percoladores y zanjas de infiltración y el programa de limpieza de calles y control de basura. Otras medidas no estructurales consideran el cambio en la legislación y la modernización administrativa que incluye la adecuación de la Ley Estatal del Agua y la creación del Distrito Metropolitano de Drenaje Urbano y Control de Inundaciones que corresponde a una oficina o dependencia operativa al nivel del SIAPA que se encargue de manera específica del control, manejo y aprovechamiento del agua pluvial en la Zona Conurbada de Guadalajara. De igual manera se propone la elaboración de un manual técnico de manejo de las aguas pluviales.

2.7.6 Pertinencia y relación con la investigación

Lo que se extrae de manera resumida de este documento que es pertinente para esta investigación académica es que en este programa ya se están aprobando e incorporando en el discurso local por parte del SIAPA nuevos conceptos en el manejo de aguas pluviales, específicamente el impacto hidrológico cero, las estrategias de control de origen, la importancia del almacenamiento del agua, las técnicas de detención, retención y recarga y el uso de sistemas biológicos naturales y artificiales para atenuar flujos y darle un tratamiento a los contaminantes presentes en la escorrentía. Estos conceptos serán el enfoque de esta investigación porque buscan la sustentabilidad dentro de filosofía. Estos conceptos que generan técnicas y sistemas se han venido desarrollando a nivel internacional, por lo que en nuestro país hace falta comenzar a investigarlos seriamente, experimentar y desarrollar, ya que es diferente su funcionamiento y eficiencia dependiendo del contexto en que se apliquen, ese decir son afectados por factores como el clima, el tipo de suelo, usos de suelo, la infraestructura existente, etc. Algunos otros factores son los que requieren mayor integración y comprensión para que estos conceptos sean aplicados de manera integral y eficiente.

Y por último la pertinencia de relacionar los proyectos del PROMIAP con el contexto de Tlajomulco es que por ser parte de la ZMG y aunque el organismo del agua no está integrado al SIAPA, si se ven influenciadas sus prácticas por lo que se realiza en SIPA.

3. MARCO TEORICO-CONCEPTUAL

3.1 Conceptos de hidrología

Para el diseño y análisis de los sistemas SUDS que se van a proponer, es necesario conocer los gastos máximos y volúmenes de lluvia generados, existen distintos métodos para obtenerlo, pero la que se usará en este caso es el método racional americano, el cual es el que se pide normalmente para dimensionar las redes y sistemas de un proyecto pluvial de cualquier desarrollo urbano.

El método racional americano, según el Manual Técnico del Sistema Hidráulico de Alcantarillado Sanitario y Pluvial de la CEA, nos dice que es posiblemente el modelo más antiguo de la relación lluvia-escorrimento, su origen se remonta a 1851 ó 1889; y que debido a su sencillez es uno de los más utilizados. Este se basa en considerar que sobre el área de estudio se tiene una lluvia uniforme durante cierto tiempo, de manera que el escurrimento en la cuenca se establezca y se tenga un gasto constante en la descarga. Este método permite determinar el gasto máximo provocado por una tormenta, suponiendo que esto se alcanza cuando la intensidad de lluvia es aproximadamente constante durante cierta duración, que se considera es igual al tiempo de concentración de la cuenca. La fórmula racional se desarrolla de la siguiente manera:

$$Q_p = 0.278 C i A$$

Donde:

Q_p = Gasto piko (m³/s)

C = Coeficiente de escurrimento (Tabla 6)

i = intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca (mm/h)

A= área de la cuenca (Km²)

0.278 = factor de conversión de unidades

Tipo de área drenada	Coeficiente de escurrimiento	
	Mínimo	Máximo
Zonas Comerciales:		
Zona Comercial	0.75	0.95
Zonas mercantiles	0.70	0.90
Vecindarios	0.50	0.70
Zonas Residenciales:		
Unifamiliares	0.30	0.50
Multifamiliares espaciados	0.40	0.60
Multifamiliares compactos	0.60	0.75
Semiurbanas	0.25	0.40
Casas habitación	0.50	0.70
Zonas Industriales:		
Espaciado	0.50	0.80
Compacto	0.60	0.90
Cementerios y Parques	0.10	0.25
Campos de juego	0.20	0.35
Patios de ferrocarril y terrenos sin construir	0.20	0.40
Zonas Suburbanas	0.10	0.30
Calles:		
Asfaltadas	0.70	0.95
De concreto hidráulico	0.80	0.95
Adoquinadas o empedradas, junteadas con cemento	0.70	0.85
Adoquín sin juntar	0.50	0.70
Terracerías	0.25	0.60
Estacionamientos	0.75	0.85
Techados	0.75	0.95
Praderas:		
Suelos arenosos planos (pendientes < 0.02)	0.05	0.10
Suelos arenosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.10	0.15
Suelos arenosos escarpados (0.07 o más)	0.15	0.20
Suelos arcillosos planos (0.02 o menos)	0.13	0.17
Suelos arcillosos con pendientes medias (0.02- 0.07)	0.18	0.22
Suelos arcillosos escarpados (0.07 o más)	0.25	0.35

Tabla 6. Valores del Coeficiente de Esgurrimiento. Fuente: CEAS, 2007.

El tiempo de concentración para un punto dado, se define como el tiempo que tarda una gota de agua en viajar desde el punto más aleado de la cuenca hasta la salida de esta. Se calcula mediante:

$$t_c = t_{cs} + t_t$$

Dónde:

t_c = tiempo de concentración

t_{cs} = tiempo de concentración sobre la superficie

t_t = tiempo de traslado a través de los colectores

Para estimar el tiempo de concentración a través de la superficie, se utiliza la fórmula propuesta por Kirpich, que se define como:

$$t_{cs} = 0.0003245 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$

Donde:

t_{cs} = tiempo de concentración sobre la superficie (h)

L = longitud del cauce principal (m)

S = pendiente media del cauce principal (decimal)

Para determinar el tiempo de traslado en los colectores se utiliza la fórmula de Manning

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

V = velocidad del flujo (m/s)

n = Coeficiente de rugosidad del material de conducción (adimensional)

R = Radio hidráulico (Área hidráulica / Perímetro mojado) (m)

S = pendiente del tramo analizado (adimensional)

Con este valor de la velocidad y conociendo la longitud del sistema elegido como conducción se obtiene el tiempo de traslado, que resulta de lo siguiente:

$$t_t = \frac{l}{V}$$

Bases conceptuales del método racional americano

Ya se mencionó que uno de los métodos más aceptados y probablemente uno de los más utilizados para calcular un alcantarillado pluvial, es el método racional americano. Este método se basa en considerar, en toda el área estudiada, una lluvia uniforme de intensidad constante y durante un tiempo tal, que el flujo en la cuenca llegue a establecerse para que pueda escurrir el máximo gasto en la descarga.

El valor de la intensidad de la lluvia es el asociado a una duración tal, que toda la cuenca esté contribuyendo al flujo en la descarga; esto se logra cuando la duración es igual al tiempo de concentración de la cuenca que el producto ($I \cdot A$) sea máximo.

Para observar en que forma se comporta el área, se supone que en una determinada área, cualquier gota de lluvia que caiga en un punto de la misma escurrirá hasta el punto de desagüe, de ahí que se puede tener una serie de gotas de lluvia que tardan el mismo tiempo en llegar al desagüe "D" (gotas isocrónicas). Uniendo estos puntos de gotas isocrónicas, obtenemos una curva igual en tiempo de concentración. En la figura 22 se dibujan las curvas que marcan los puntos desde los cuales el agua tarda 1,2,3, etc. Minutos en llegar al desagüe.

Si la lluvia dura un minuto, por ejemplo, por el punto "D", pasará primero el agua llovida entre las curvas 1 y 2, e igualmente todas las aguas llovidas en una determinada área pasan a ocupar la inmediata inferior. Como en los siguientes puntos ya no

llueve, los volúmenes caídos en las áreas A_2 , A_3 y A_4 , etc., irán pasando sucesivamente por el desfogue "D" y será durante los minutos 2,3,4, etc., respectivamente.

Como en este caso sólo llovió un minuto, se tendrá que por "D" pasarán cada minuto, sucesivamente volúmenes iguales a: A_{1i} , A_{2i} , A_{3i} , etc., siendo el máximo el que tenga mayor área. Suponiendo que la lluvia dura dos minutos, se tendrá al principio el caso anterior, pero como llueve un minuto más pasará por el desague "D" un volumen igual a $(A_1 + A_2)_i$ pasando cada minuto, sucesivamente, los siguientes volúmenes.

Tercer minuto $(A_2 + A_3)_i$

Cuarto minuto $(A_3 + A_4)_i$

Quinto minuto $(A_4 + A_5)_i$

Sexto minuto $(A_5)_i$

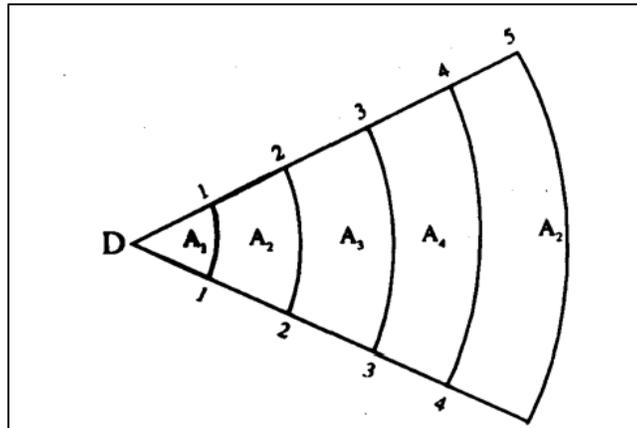


Figura 22. Curvas con iguales tiempos de concentración. Fuente: CEAS, 2007.

Como se ve, escurre agua durante 6 minutos, siendo el volumen máximo el debido a la suma de dos áreas parciales. Ahora supongase que la lluvia dura 5 minutos, siendo este el tiempo de concentración del área, se tendrán entonces en el desague "D", los siguientes volúmenes:

1er. minuto $(A_1)_i$

2do. minuto $(A_1 + A_2)_i$

3er. minuto $(A_1 + A_2 + A_3)_i$

4to. minuto $(A_1 + A_2 + A_3 + A_4)_i$

5to. Minuto $(A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5)_i$

6to. Minuto $(A_2 + A_3 + A_4 + A_5)_i$

7to. Minuto $(A_3 + A_4 + A_5)_i$

8vo. Minuto $(A_4 + A_5)_i$

9no. Minuto $(A_5)_i$

De lo anterior se observa que en el quinto minuto ocurre la máxima aportación, deduciéndose de aquí el principio fundamental de que, la mayor concentración en un área acontece cuando la duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración de dicha área.

En caso de que el tiempo de duración sea mayor que el tiempo de concentración el gasto máximo, el gasto máximo se mantiene durante un tiempo igual al a diferencia entre estos tiempos. Como se tendrá que en cada una de las áreas acontecerá una lluvia con diferentes intensidades, que durará un determinado tiempo, será necesario conocer los tiempos de concentración de las áreas tributarias a la red

3.2 Impacto Hidrológico Cero y el control en el origen

Como se mencionó anteriormente en los antecedentes dentro del marco contextual, dentro del capítulo de iniciativas gubernamentales a Nivel Estatal de Jalisco y a nivel local, el Impacto Hidrológico Cero es una obligación dentro de la Ley Estatal de Aguas de Jalisco para todos los nuevos proyectos de desarrollo urbano que generen áreas impermeables, y lo que solicita es que se construya un “dispositivo” o estructuras de regulación que igualen la salida de caudal máximo urbanizado para una tormenta de 10 años a la que se presentaba en estado natural o antes de urbanizarse.

A continuación se explicará cómo funciona este concepto y su relación con el control en el origen mediante la Figura 29:

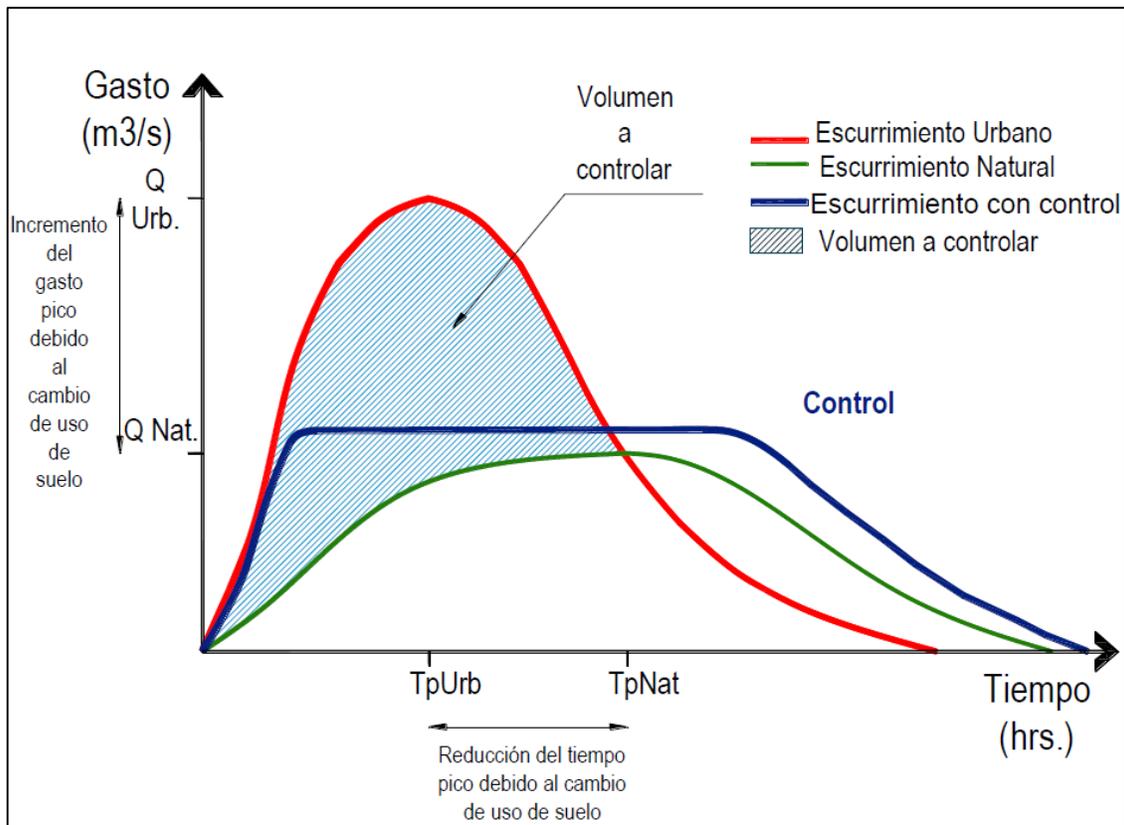


Figura 29. Hidrogramas representativos del concepto de Impacto Hidrológico Cero. Fuente: Rueda, F. & Centeno J. (2014)

Los hidrogramas o líneas que expresan el aumento y disminución del gasto a lo largo de un período de tiempo durante y después de un evento de lluvia en la Figura 29, generalmente se acota hasta que deja de haber escurrimientos aunque la lluvia haya cesado. Entonces estas líneas representan 3 estados del comportamiento del gasto, el urbano, el natural y con control. La línea roja es el gasto urbano, el cual se caracteriza por tener un valor pico mayor (Q_{urb} = gasto urbanizado) y se presenta en un tiempo más corto ($T_p\text{ urb}$ = tiempo pico urbanizado) ó antes de lo que se presentaría en estado natural, lo que puede ocasionar y/o dificultar el control y generar inundaciones. La línea verde representa el comportamiento del gasto en estado natural o en breña, se caracteriza por tener un valor pico menor que el urbanizado (Q_{nat} =gasto natural) el cual sucede en un periodo de tiempo más largo o tardado ($T_p\text{ nat}$ = tiempo pico natural). Y por último la línea azul representa el comportamiento del gasto cuando se utiliza uno o varios dispositivos o estructuras de control-regulación del escurrimiento pluvial, esta se caracteriza por ser tener un gasto pico menor que el urbanizado y estar más cerca del gasto pico natural, lo ideal es que sea igual o menor que el natural, pero es necesario evaluar cada proyecto individualmente para ver que es posible hacer en función

de la complejidad técnica, recursos económicos a emplear en la regulación, riesgo de inundación local y aguas abajo, entre otros. Para lograr este control es necesario “almacenar” el volumen de agua en exceso o la diferencia entre el gasto urbanizado y el natural, el cual está representado mediante el sombreado o achurado azul y ubicar una salida para el almacenamiento con un gasto de salida máximo restringido que se calcula hidráulicamente, normalmente es a través de una tubería de descarga con un diámetro pequeño el cual dejaría salir una cantidad conocida y prefijada de gasto en caso de que se llene el sistema de almacenamiento.

Ahora ¿cómo se logra este control mediante dispositivos o estructuras? ¿Cuál es su funcionamiento? En el artículo de Rueda F. & Centeno J. (2014) nos hablan de tres conceptos mediante los que se puede lograr esto, los cuales se pueden combinar en función de las características particulares del lugar:

- Retención
- Detención
- Infiltración

La Figura 24 explica esquemáticamente el funcionamiento de cada concepto:

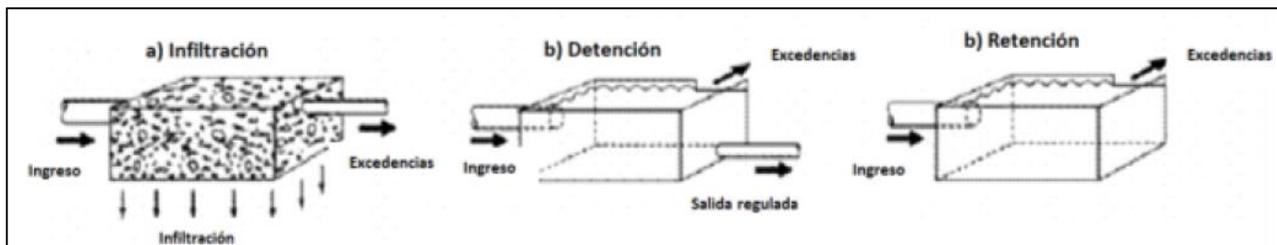


Figura 23. Funcionamiento esquemático de tres tipos de control-regulación de aguas pluviales. Fuente: Rueda, F. & Centeno J. (2014).

La infiltración (a) se puede lograr a partir de diferentes sistemas o estructuras, normalmente la práctica es construir bocas de tormenta que conducen el escurrimiento a pozos de infiltración, y otra práctica que se ha venido popularizando es el uso de superficies permeables, ya sean adoquines, asfalto, concreto, etc. Entonces la manera de controlar de este concepto es mediante contener un porcentaje del volumen que se infiltra y lo que no es posible infiltrar se conduce como excedencias al siguiente punto de control o salida.

La detención se práctica normalmente a través de una estructura de almacenamiento o un “tanque de tormentas” subterráneo el cual se puede construir a partir de mampostería o sistemas nuevos como módulos de plásticos con resistencia a la carga los cuales tienen un porcentaje de vacíos elevado lo que permite guardar el escurrimiento temporalmente. La detención entonces permite que el agua se almacene pero a la vez se coloca un sistema de salida baja que regula y permite que se vacíe, y en caso de que el evento sea mayor al de diseño se ubica una estructura de excedencias en la parte alta, normalmente un vertedor u otra tubería de mayor diámetro que la inferior.

Por último la retención, funciona igual que la detención, mediante una estructura o dispositivo que permita el almacenamiento del volumen de agua con la diferencia de que no permite una salida regulada por debajo, y su vaciado solo puede ser mediante infiltración o evaporación. Pero de igual manera debe tener una salida para excedencias en caso de un evento de lluvia mayor al de diseño.

De igual manera los sistemas de detención además de tener una salida regulada mediante una tubería y al mismo tiempo infiltrar para acelerar el vaciado y recargar los mantos freáticos. Por lo tanto el concepto de infiltración puede ser aplicado en combinación tanto con los sistemas de retención y detención o de manera aislada.

En capítulos siguientes se explicarán técnicas, estrategias y/o sistemas que aplican estos conceptos en la práctica en conjunto con conceptos de ecología y sustentabilidad para evaluar su valor y pertinencia de aplicación en el área de estudio.

3.3 Ciclo hidrológico natural y urbano

De acuerdo con el autor Torres A. (2004) la Tierra es el único planeta del sistema solar donde existe agua en grandes extensiones. Los océanos contienen la mayor parte del agua terrestre (alrededor de 97.4%) y su tiempo de renovación es del orden de los 3,000 años. El agua dulce representa alrededor de 2.6% con un tiempo de renovación aproximado de 12,000 años. El vapor de agua atmosférico y el agua de los ríos son los más móviles, ya que su tiempo de renovación es del orden de 10 días.

A continuación se muestra en la tabla 7 la distribución del agua en la Tierra:

CUERPOS DE AGUA	VOLUMEN (10 ³ Km ³)	%
Océanos	1,348,000	97.4
Glaciares	27,820	2.0
Agua Subterránea	8,062	0.6
Lagos	224	0.02
Vapor de agua atmosférica	13	0.001
Ríos	1.2	0.0001

Tabla 7. Distribución del agua existente en el planeta Tierra. Fuente: : U.S. Department of the Interior, U.S: Geological Survey <<http://water.usgs.gov/edu/watercycle.html>>



Figura 24. Ciclo Hidrológico. Fuente: U.S. Department of the Interior, U.S: Geological Survey <http://water.usgs.gov/edu/watercycle.html>

El ciclo hidrológico o ciclo del agua se puede definir como un ciclo biogeoquímico, en el cual hay un proceso de circulación del agua entre las distintas partes de la hidrósfera, permitiendo al agua pasar de un estado físico a otro mediante reacciones químicas (GWP, 2011).

3.4 Contaminación del agua de escorrentía urbana

Generalmente cuando se habla de la contaminación del agua, se piensa en las descargas de aguas residuales domésticas e industriales directas a los cuerpos de agua como arroyos o lagos, lo que sin duda afecta su calidad e impacta negativamente los ecosistemas circundantes, y en el caso de las ciudades puede afectar la salud de las personas que tienen que convivir con esta contaminación porque viven o trabajan cerca.

Esta fuente de contaminación es puntual o directa, porque viene de una ubicación espacial específica, sea de las viviendas, comercios, industrias, etc, sitios rápidamente detectables y cuantificables como la fuente de la contaminación. Pero en las zonas urbanas también se presenta otro tipo de contaminación del agua, llamada **contaminación difusa**, su nombre en inglés es "**Non Point Source Pollution**" que significa, contaminación no puntual. Esta por su nombre, no es detectable fácilmente como las antes mencionadas y se presenta principalmente en la época de lluvias, ya que el agua de lluvia arrastra o limpia de las superficies urbanas (sean azoteas, calles, autopistas, etc) sustancias o basura que se acumulan en estas durante los periodos secos o entre una lluvia y otra. Estas sustancias y basura terminan por ser conducidos hacia cuerpos de agua o en su caso a una planta de tratamiento. El autor Torres A. (2004) define esto como contaminantes de los **Vertimientos Urbanos de Tiempos de Lluvia (VUTL)** y dice que son todas las aguas que, después de caer sobre una cuenca urbanizada, se unen al medio receptor sin pasar por un sistema de depuración. Estas aguas pueden ser aguas lluvias, aguas de escorrentía, vertimientos a la salida de las redes pluviales separativas o derrames de redes unitarias (llamadas también combinadas).

Por lo mencionado antes, la fuente puede no ser solo las superficies urbanas, sino también la propia atmosfera, ya que esta acumula también contaminantes en el aire principalmente por actividades humanas como la generación de energía, quema de basura, humo de vehículos automotores, etc. Al momento de la lluvia estas sustancias en cierta proporción caen junto a esta dentro de la humedad y con igualmente conducidos a su punto final de descarga.

En este punto el autor Campos D. (2010) menciona que además de tener en cuenta los componentes hídricos del ciclo hidrológico urbano (infiltración, precipitación, escurrimiento, evaporación, etc) se debe tener en cuenta el flujo de materiales y energía que son conducidos por el agua, el aire o las actividades humanas. Menciona además que estos fenómenos en general, son menos conocidos y han sido poco estudiados cuantitativamente, debido a la dificultad que puede presentar por su alta variabilidad en espacio y tiempo. En cuanto a la contaminación atmosférica, transportada en forma húmeda por la precipitación y en forma seca por gases y partículas, se identifican como contaminantes principales la acidez (originada por óxidos de nitrógeno y azufre procedentes de la combustión de combustibles fósiles), trazas de metales, mercurio y químicos agrícolas (pesticidas y herbicidas).

Otras fuentes de contaminación incluyen el uso inapropiado del terreno en los suburbios (cinturones de miseria), el transporte, todas las actividades de construcción, el desgaste de los pavimentos, la corrosión de metales (anuncios, techos, postes, etc.), los excrementos de la fauna urbana (pájaros y mascotas, principalmente) y la deficiente recolección de basuras. Todos los materiales que se generan en las fuentes citadas, son disueltos y/o transportados por la lluvia y el escurrimiento urbano, durante este lapso pueden ocurrir reacciones químicas y biológicas. Estos procesos son generalmente más intensos en la etapa inicial de las tormentas.

Una vez que los contaminantes están presentes en un cuerpo de agua alterando su estructura física y hábitat, es mucho más difícil y caro restaurarlos. La contaminación del agua tiene dos componentes principales: el incremento y velocidad de la escorrentía de superficies impermeables, como vialidades y estacionamientos; y la cantidad de contaminantes en la escorrentía. Ambos componentes están directamente relacionados con el desarrollo urbano. Estos pueden causar cambios en la calidad del agua. Esto resulta en una variedad de problemas:

- Modificación y pérdida del medio ambiente
- Mayor cantidad de inundaciones

- Disminución de vida salvaje nativa
- Mayor sedimentación y erosión

El autor (Rueda F. & Centeno J.C. 2014) y (SIAPA, 2008) escribe que el **fenómeno de derrame o vertido del alcantarillado** combinado a las calles en tiempo de lluvia es conocido por sus siglas en inglés como **CSO (Combined Sewer Overflow)**. El mayor peligro se produce cuando una lluvia de tipo medio, provoca un caudal ligeramente superior pero no mucho mayor a la capacidad de las futuras plantas de tratamiento de la ciudad. En esas condiciones el grado de dilución de la descarga al medio receptor es mucho menor que en un día de lluvia intensa, y por tanto las concentraciones de materias contaminantes mucho más elevadas y potencialmente más peligrosas. Si a ello se le suma el hecho que, por ejemplo, los escasos ríos de la ciudad presentan un caudal circulante bajo, la capacidad de dilución del medio receptor es reducida, acentuándose los problemas de contaminación en los cauces.

A nivel internacional se ha observado que la mayor carga contaminante está asociada a los primeros minutos de lluvia. Esto quiere decir que muchas veces, los primeros caudales transportan concentraciones más altas y por lo tanto con un riesgo contaminante mucho mayor que por ejemplo los caudales máximos, donde dado el gran volumen de agua circulante por unidad de tiempo, se produce una dilución mayor de las sustancias que transporta. Se requiere determinar las relaciones entre el hidrograma del gasto que circula por la red de alcantarillado y la evolución temporal de la carga contaminante, el denominado **polutograma**. Con esto podría darse el caso de que almacenando una pequeña porción de las primeras aguas de escurrimiento se reduzca de manera notable la carga contaminante vertida al medio receptor.

De acuerdo con la EPA, se considera que las intensidades de lluvia y duraciones asociadas suficientes para producir una limpieza del orden del 90% de la carga contaminante en las calles serían las siguientes; 2.54 mm/h para una lluvia de 5 horas, .4 mm/h para una lluvia de 1.5 horas, 12.7 mm/h para una lluvia de 1 hora y 25.4 mm/h para una lluvia de 0.5 horas.

Se considera conveniente analizar la distribución en el tiempo de la carga contaminante transportada por el escurrimiento generado y determinar si existe el fenómeno de primer lavado de la superficie de la ciudad. En caso de resultar positivo, sería adecuado analizar la posibilidad de almacenar al menos la primera agua de escurrimiento que transporta una carga contaminante superior en sitios alternos a la ubicación de las plantas de tratamiento en proyecto.

De acuerdo con experiencias realizadas en otras ciudades del mundo en la presencia del fenómeno de primer lavado de la superficie de una ciudad, un almacenamiento de volumen moderado, pero aún del orden de decenas de miles de metros cúbicos, puede ser una estrategia de control de la contaminación que se derrama en el medio urbano (SIAPA, 2007).

El autor Torres A. (2004) habla también sobre la carga contaminante en la primera o primeras lluvias del año, a tal fenómeno se le llama **primer lavado** o "first flush". Nos dice que el primer lavado se puede definir como la primera fracción de volumen descargado, y se acepta que este contiene la proporción principal de la carga de polución que es transportada durante un evento lluvioso; por lo que basta con interceptar solamente este volumen para proteger eficientemente el medio receptor. Menciona además que desafortunadamente, las expresiones "primera proporción del volumen" y "la proporción principal de la carga de polución" no están definidas exactamente, y cada cual es libre de interpretarlas como quiera.

En este sentido podemos contrastar con lo dicho en el texto de Rueda F. & Centeno J.C. (2014), donde dice que una lluvia de intensidad 12.7 mm/h con duración de una hora es suficiente para producir un lavado del 90% de la carga contaminante en calles, por lo que podría obtenerse un volumen claramente definido a partir de esto en función del área de contribución que se esté trabajando. En apartados posteriores se hablara de este tema, a partir de las medidas alternativas de manejo de las aguas pluviales que buscan captar y dar tratamiento a esta carga contaminante, donde los criterios de diseño que propone la literatura y manuales indica que el volumen de tratamiento puede definirse ya sea mediante dar tratamiento de la lluvia 90 percentil, el

volumen de una tormenta de periodo de retorno de 1 año o suponer una cifra fija, que normalmente anda entre los 11 y 15 mm, según el manual de SUDS , (CIRIA, 2007).

Otros autores proponen diferentes definiciones para el primer lavado, la guía técnica de 1988 de FNDAE (Fonds National Pour le Development des Adductions D'EAU) define el primer lavado como aquel volumen correspondiente al volumen que pasa a través del sistema de alcantarillado durante el “tiempo de lavado” T_r . Esta definición se fundamenta en la hipótesis de que el primer lavado contiene “...la parte principal de la carga contaminante” para ser interceptada. Otra definición por parte de Gupta y Saul (1996) dice que el primer lavado “es aquella parte de la lluvia por encima de la divergencia máxima entre el porcentaje acumulado de masa contaminante y el porcentaje acumulado de volumen Gráficoado contra el porcentaje acumulado de tiempo.”

Y otra definición más proviene de Bertrand-Krajewski, Chebbo y Saget (1998), quienes propusieron el método llamado “primer lavado 30/80”, que es puramente cualitativo: “por lo menos el 80% de la masa contaminante es transportada en el 30% inicial del volumen”. Las ventajas de este método es que es explícito y fácil de usar y permite el cálculo de un fenómeno que hasta ahora era considerado de manera cualitativa o descriptiva.

Clasificación de contaminantes

En la tesis de Abellán A. (2013), nos presenta la Tabla 8 con los principales contaminantes de la escorrentía urbana y sus fuentes de procedencia de manera general, y además habla del potencial de los SUDS para disminuir parcial o totalmente estos contaminantes mediante complejos procesos físicos, químicos y biológicos:

Tipo de contaminante	Principales fuentes
Bacterias	Excrementos de animales, residuos orgánicos
Metales	Vehículos y pequeña industria
Nutrientes	Zonas ajardinadas, residuos orgánicos
Aceites y grasas	Vehículos, residuos de restauración
Pesticidas	Parques y jardines
Sólidos en suspensión	Obras, deposiciones atmosféricas en calles, erosión del suelo
Sustancias tóxicas	Vehículos y pequeña industria

Tabla 8. Tipología y principales fuentes de contaminantes en las aguas urbanas. Fuente: Cámara Argentina de la Construcción (2009).

Luego la misma autora presenta otros datos cuantitativos importantes para comprender la concentración de estos contaminantes, los cuales serán contrastados con los hallazgos de otros autores más adelante. La tabla 9 nos muestra de manera más específica los valores de acumulación debidos únicamente a la deposición seca, o de deposición atmosférica:

Contaminante	Tasa (g/ha-día)
Sólidos Totales	515
DQO	195
Fósforo Total	0.51
Plomo Total	0.52
Sulfatos	23

Tabla 9. Tasa de deposición atmosférica seca. Fuente: Bannerman (1984).

También es interesante mostrar la relación entre las sustancias más nocivas provenientes del tráfico con la masa total de sólidos:

Contaminante	Porcentaje en Peso del Total de Sólidos
Sólidos Volátiles	5.10 %
DBO	0.23 %
DQO	5.40 %
Grasa	0.64%
Fósforo Total	0.06%
Nitrógeno Kjeldahl Total	0.02%
Nitratos	0.008%
Asbestos	3.6x10 ⁶ fibras/g
Plomo	1.20 %
Cromo	0.01%
Cobre	0.01%
Niquel	0.02 %
Zinc	0.15 %
Tasa Total de Emisión de Sólidos	0.671 g/km

Tabla 10. Contaminantes acumulados en las calles provenientes del tráfico. Fuente: Shaheen (1975).

Y por último Abellán A. (2013) nos presenta la Tabla 11 con las concentraciones medias de los contaminantes necesarios para caracterizar las aguas de escorrentía urbana:

Elemento / Sustancia contaminante	Concentración media
TSS (Sólidos Suspendidos Totales mg/l)	180 – 548
DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/l)	12 – 19
DQO (Demanda química de oxígeno mg/l)	82 – 178
TP (Fósforo Total, mg/l)	0.42 – 0.88
TKN (Nitrógeno Kjeldahl total, mg/l)	0.15 – 0.28
SP (Fósforo disuelto, mg/l)	1.90 – 4.18
NOx (Nitrógeno combinado mg/l)	0.86 - 2.2
Tcu (Cobre Total µg/l)	43 – 118
TPb (Plomo Total µg/l)	182 – 443
Tzn (Zinc Total µg/l)	202 – 633

Tabla 11. Concentraciones medias de los principales contaminantes de aguas de escorrentía urbana. Fuente: U.S. Environmental Protection Agency (1983). Results of the Nationwide Urban Runoff Program (NURP), Vol. 1, NTIS PB 84-185552), Water Planning Division, Washington, DC.

En el libro de Torres A. (2004) habla de otra forma de clasificar los contaminantes arrastrados por la lluvia, según un orden de visibilidad decreciente (Thévenot, 1992):

- Sólidos flotantes: polución visual
- Materias en suspensión (MES)
- Materias oxidables: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5)
- Nutrientes: nitrógeno, fósforo
- Microcontaminantes minerales: metales pesados

Parámetros de base

Se llaman parámetros de base a los parámetros físico-químicos que son medidos, por lo general, durante las campañas experimentales clásicas: MES, DQO, DBO5, Nitrógeno total, NH4, Fosfóro Total (Ptotal).

Concentraciones

Las concentraciones en contaminantes de los vertimientos urbanos de tiempos de lluvia presentan órdenes de magnitud comparables a aquellas que se presentan en las aguas residuales urbanas típicas, como se puede observar en la tabla 12.

PARAMETRO	AGUA RESIDUAL URBANA (mg/L)	VERTIMIENTOS PLUVIALES SEPARATIVOS (mg/L)	VERTIMIENTOS PLUVIALES COMBINADOS (mg/L)
MES	150 – 500	21 – 2600	176 – 2500
% de MO en MES	70 – 80%	18 – 30%	40 – 65%
DQO	300 – 1000	20 – 500	42 – 900
DBO5	100 – 400	3 – 184	15 – 301
DQO/DBO5	2	5 – 7.5	3.4 – 6.0
NTK	30 – 100	4 – 20	21 – 28.5
N – NH4	20 – 80	0,2 – 4.6	3,1 – 8.0
Pt	10 -25	0,02 – 4.3	6.5 – 14.0

Tabla 12. Concentraciones de los parámetros de base en diferentes vertimientos urbanos Fuente: Ellis (1991), Phillippe y Ranchet (1987), Memento Degrémont (1989).

Como se ha mencionado anteriormente, entre mayor sea el grado de urbanización presente, mayores son los retos en cuanto a infraestructura, inundaciones, contaminación, etc. Por lo que, las concentraciones de contaminantes en la escorrentía pluvial están en función directa del grado de desarrollo urbano, como se muestra en la tabla 13, hay que tener en claro que esto toma en cuenta solo el agua de lluvia porque se refiere a un sistema separativo de drenaje.

PÁRAMETROS	CONCENTRACIONES MEDIAS DE VERTIMIENTOS PLUVIALES SEPARATIVOS (mg/L)			
	Zona residencial	Zona mixta	Zona comercial	Zona urbana
MES	101	67	70	70
DQO	73	65	40	40
DBO5	10	7.8	-	-
NTK	1.9	1.3	0.9	0.9
Ptotal	0.4	0.3	0.12	0.12

Tabla 13. Concentraciones medias de vertimientos pluviales separativos en función de la urbanización Fuente: Stahre y Urbonas (1990).

Metales

Los metales presentes en los vertimientos urbanos de tiempo de lluvia son: plomo, zinc, cobre, cadmio, hierro cromado, mercurio, manganeso, etc.

El origen de los metales más importantes presentes en los vertimientos urbanos de tiempos de lluvia son:

- Cadmio: residuos de procesos industriales, descaste de los neumáticos, residuos de combustión.
- Plomo: carburantes, procesos industriales.
- Zinc: descaste de neumáticos, aceites de automóviles, incineración de basuras domésticas, corrosión de los metales (tejados y canaletas).

Concentraciones

PÁRAMETRO	CONCENTRACIONES MEDIAS EN METALES (µg/L)		
	VERTIMIENTOS PLUVIALES SEPARATIVOS	VERTIMIENTOS PLUVIALES UNITARIOS	TODOS LOS VERTIMIENTOS PLUVIALES
Cd	-	-	1 – 60
Cu	-	-	10 – 750
Pb	10 – 3100	80 – 450	40 – 2610
Zn	10 - 3680	100 - 1070	50 - 2550

Tabla 14. Concentraciones medias en metales para diferentes tipos de VUTL. Fuente: Ellis (1991), Levy y Lara (1992).

PÁRAMETRO	FLUJOS CONTAMINANTES ANUALES (Kg/año/ha impermeabilizada)	
	VERTIMIENTOS PLUVIALES SEPARATIVOS	VERTIMIENTOS PLUVIALES UNITARIOS
Pn	0.09 – 1.91	0.83 – 1.84
Zn	0.21 – 2.67	4.06 – 6.61

Tabla 15. Flujos contaminantes anuales metales para diferentes tipos de VUTL Fuente: Ellis, 1991.

Hidrocarburos

Clasificación

- Compuestos saturados: compuestos alifáticos y alicíclicos.
- Compuestos insaturados: alcenos, alcinas, hidrocarburos aromáticos como los HAP (Hidrocarburos Aromáticos Poli cíclicos)

Orígenes principales

- Compuestos sintetizados por los vegetales: menos del 10% de los hidrocarburos totales.
- Compuestos de origen petrolero: aceites para motores, fugas de carburantes, gases de escape, erosión del pavimento, neumáticos.

HIDROCARBUROS (mg/L)	REDES UNITARIAS	REDES SEPARATIVAS
Min	4.1	1.5
Med	5.5	5.0
Max	9.2	9.3

Tabla 16. Concentraciones en hidrocarburos en los vertimientos urbanos de tiempos de lluvia. Fuente: Chocat, 1992.

FLUJOS ANUALES DE HIDROCARBUROS AGUAS ABAJO (Kg/año/ha impermeabilizada)	
Redes Unitarias	Redes Separativas
5 - 80	4 – 35

Tabla 17. Concentraciones en hidrocarburos en los vertimientos urbanos de tiempos de lluvia. Fuente: Chocat, 1992.

Los flujos son variables según la urbanización de la cuenca, pero el parámetro más determinante es la densidad del tráfico automotor. Los sitios más contaminantes son las autopistas y las zonas industriales.

Varias investigaciones han demostrado que los hidrocarburos son fijados en más del 80 – 85% de los casos sobre las partículas sólidas.

Otros contaminantes

Los vertimientos de los vertederos de tormenta conducen una importante contaminación bacteriológica, ya que ellos provienen de las redes unitarias y su impacto sobre el medio receptor puede durar de varios días a una semana.

En las redes pluviales separativas, las fuentes de contaminación son las heces de los animales de sangre caliente; particularmente, los perros y gatos.

Las otras fuentes de contaminación son las malas conexiones de aguas usadas, la respuesta en suspensión de los depósitos de los sumideros, los sólidos de las calzadas y los despojos vegetales.

3.5 Concepto de desarrollo sustentable

El concepto de desarrollo sustentable más aceptado y popularizado es el del Informe de Brundtland de 1987, el cual se define de la siguiente manera:

Es el desarrollo que permite “satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro para atender sus propias necesidades.” (WCED, 1987)

En la década de 1970 diversos analistas comenzaron a criticar la manera en que el desarrollo socioeconómico se estaba realizando. Estos eventos comenzaron a formar ideologías que cambiaban los paradigmas de esa época, no solo criticaba el desarrollo, sino que estudiaban y proponían soluciones para mitigar y prevenir daños, así comenzaron a adaptarse nuevos conceptos y metodologías para las actividades humanas.

El término desarrollo sustentable, sostenible o perdurable se aplica al desarrollo socioeconómico; se formalizó por primera vez en el informe de Brundtland (1987), también conocido como *Nuestro Futuro Común*. Este documento es fruto de los trabajos de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas (WCED, por sus siglas en inglés), creada en la asamblea de las Naciones Unidas en 1983. El informe señaló que la pobreza de los países del sur y el consumismo extremo de los países del Norte eran las causas fundamentales de la imposibilidad de sustentar el desarrollo y la crisis ambiental. La Comisión recomendó convocar a una conferencia posterior sobre estos temas, el cual se realizó en Río de Janeiro en 1992.

El ámbito del desarrollo sustentable puede dividirse en tres dimensiones: ambiental, social y económico, ya que la idea es que debe haber un equilibrio entre las tres dimensiones en cualquier ámbito o escala de análisis, ya sea un proyecto, una actividad económica, una ciudad, una vivienda, región, país y por último global. El desarrollo sustentable entonces debe ser socialmente responsable, económicamente viable y ambientalmente respetuoso (Gibberd, J., n.d.). En los capítulos de esta investigación donde se desarrollará y diseñará una propuesta de drenaje pluvial sustentable se aplicarán estas dimensiones de la sustentabilidad como base para definir criterios sustentables con los cuales evaluar diferentes opciones de proyectos.

En la Asamblea de las Naciones Unidas realizada en Río de Janeiro en 1992 surgió la **Agenda 21**, que hace una declaración sobre el medio ambiente y el desarrollo. Aborda variados temas, pero con respecto al agua, la agenda plantea que debe haber una integración que abarque todos los tipos de masas interrelacionadas de agua dulce, tanto las superficiales como las subterráneas, y ha de tomar debidamente en cuenta los aspectos de la cantidad y calidad del recurso. De esta manera es importante enfatizar que la Agenda 21 se convierte en un documento rector para el manejo del agua: por tanto debe regir el diseño, la implementación y la operación de los sistemas hidráulicos tanto a nivel infraestructura como en las edificaciones. (United Nations, 1992)

Una manera de categorizar las distintas formas de pensar y abordar la problemática en relación con la sustentabilidad la define Darcy, V. (2008) mediante una lista de escuelas de pensamiento ecológico dentro de las ciencias sociales, las cuales son las siguientes:

- Desarrollo sustentable
- Economía ambiental
- Economía ecológica
- Ecología política
- Agroecología

En estas escuelas el autor describe las diferencias entre escuelas principalmente en función de las raíces intelectuales, las causas a las que atribuyen la degradación ambiental, los actores para superar el problema, los elementos de solución propuestos y su postura frente a los límites del crecimiento económico. Por la naturaleza global o de escala grande que estas escuelas representan, esta investigación y lo que propone no puede definir su postura dentro de una de ellas específicamente, pero encuentra algunos elementos dentro de la escuela de pensamiento del Desarrollo sustentable que coinciden con lo que se pretende. Estos elementos que se reconocieron en la lectura son que una de las principales causas atribuidas a la degradación socio-ambiental es el crecimiento demográfico. Los otros elementos identificados son que dentro de las soluciones planteadas por esta escuela de pensamiento mencionan a las tecnologías ecológicamente racionales y a la mejor gestión de los recursos naturales. Los sistemas de drenaje pluvial sustentable que se abordarán en el capítulo 5.4 tienen una filosofía y

conceptos que se relacionan e identifican con la escuela de pensamiento del desarrollo sustentable por lo puntos mencionados, ya que estas técnicas son una respuesta a la problemática del manejo del agua pluvial ante el crecimiento demográfico y por ende de las ciudades, que impermeabiliza el suelo y causa una serie de problemáticas en cadena, y su tipología como alternativa de solución se podría definir como una tecnología ecológica. Además el marco conceptual que manejan es en favor de realizar un mejor manejo del recurso natural que es el agua pluvial mediante estos sistemas para proveer el máximo beneficio tanto a la sociedad como al medioambiente.

A pesar de esta identificación con algunos elementos de la escuela de pensamiento del desarrollo sustentable, hay otros elementos con los que no coincide total o parcialmente la conceptualización de los sistemas que se estudiarán, por ejemplo el desarrollo sustentable indica como los principales actores para solucionar el problema a los actores internacionales dominantes, en ese punto no hay relación ya que las propuestas que se desarrollarán pueden ser promovidas y desarrolladas totalmente a la escala local-municipal, e incluso a nivel de vivienda por iniciativa personal de los habitantes. En cuanto a las raíces intelectuales y postura frente a límites de crecimiento queda fuera de los alcances de este estudio y no se ve necesario su análisis ya que aborda temas económicos y sociales que no se relacionan.

3.6 Gestión Integral de los Recursos Hídricos

Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH): “La GIRH es un marco conceptual que incluye un proceso de instrumentación que intenta facilitar el manejo coordinado y rentable del agua y de otros recursos naturales relacionados con ella, con el objetivo general de perseguir el desarrollo sustentable” (IV Foro Mundial del Agua, México, 2006.)

El desarrollo sustentable aplicado al agua se denomina Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH). La red internacional para el desarrollo de capacidades en la gestión integrada de los recursos hídricos, la define como un “proceso sistemático para el desarrollo, asignación y monitoreo de los usos del agua, de acuerdo con objetos sociales, económicos y ambientales que buscan el desarrollo sustentable. Se trata de un enfoque que pretende integrar el conocimiento de una diversidad de sistemas que deben considerarse en forma simultánea, bajo diferentes disciplinas, concepciones, conocimientos, investigaciones, órganos normativos y de gestión, instituciones y usuarios. Se basa también en el entendimiento de que el agua es tanto un elemento integrador de los ecosistemas y recursos naturales, como un bien social y económico (Gleason, 2014). En la Figura 26 se muestra de manera gráfica los principios de una gestión integrada del agua urbana.



Figura 25. Gestión Integrada del ciclo del agua urbana. Fuente: <http://www.geama.org/sanitaria>.

3.7 Infraestructura verde

La definición de la EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente de EUA) en su sitio web para la Infraestructura verde “es un abordaje costo-efectivo, resilientes para manejar los impactos de climas lluviosos que provee varios beneficios comunitarios. Mientras la infraestructura pluvial gris – convencional entubada y sistemas de tratamiento del agua de mono-propósito o de único propósito está diseñada para mover las aguas pluviales urbanas lejos del medio construido, la infraestructura verde reduce y trata el agua de tormenta en su fuente mientras provee beneficios ambientales, sociales y económicos.

El propósito de la infraestructura es tener una función o dar un servicio, la naturaleza también tiene funciones y da servicios ambientales, en el caso de la infraestructura verde, estos servicios que la ciudad necesita son provistos por sistemas naturales.

La Infraestructura Verde usa vegetación, suelos, y otros elementos y prácticas que restauran algo de los procesos naturales requeridos para manejar el agua y crear ambientes urbanos más sanos. En la escala de la ciudad o municipio, la infraestructura verde es un “entramado” de redes naturales que proveen hábitat, protección contra inundaciones, aire y agua más limpios. A la escala de barrio o sitio, son sistemas de manejo pluvial que imitan la infiltración y almacenamiento natural del agua.

En la misma página de EPA, como parte de los elementos o sistemas puntuales que se pueden considerar infraestructura verde menciona los siguientes:

- Desconexión de bajantes
- Almacenamiento de agua de lluvia
- Jardines de lluvia
- Cajas de plantación
- Bioswales o cunetas vegetadas

- Pavimentos permeables
- Calles y callejones verdes
- Estacionamientos verdes
- Cubierta de arbolado urbano
- Conservación de suelo

SERVICIOS: Regulación de volúmenes, tratamiento de las aguas, aprovechamiento del agua, conducción del agua, acondicionamiento del espacio para mejorar la calidad de vida, etc.

- Tratamiento con infraestructura verde: Humedales, biorretención, sedimentación por detención.
- Regulación de volúmenes con infraestructura verde: Lagos, estanques de detención/retención, swales, estanques de infiltración, sistemas modulares/geocelulares.
- Infiltración de agua de lluvia con infraestructura verde: zanjas de infiltración, estanques de infiltración, jardines de lluvia, pavimentos permeables.
- Aprovechamiento del agua con infraestructura verde: Captación del agua de lluvia, reusó del agua pluvial.
- Conducción del agua pluvial con infraestructura verde: cauces al aire libre, parques lineales en ríos y arroyos urbanos, cunetas verdes, swales, etc.

3.8 Evolución de paradigmas y visiones

Existen actualmente una variedad de filosofías, que generan conceptos y estos a su vez crean o desarrollan estrategias específicas para manejar el agua cada vez de una manera más sustentable, los nombres de estas filosofías y conceptos varía dependiendo del país o región y tienen algunas diferencias fundamentales, pero también similitudes clave las cuales es necesario explorar para generar una comparativa y ubicar a México y a la ZMG en perspectiva dentro de esos avances y evolución para así poder generar una visión o un camino a seguir dentro de las posibilidades del contexto. En la Figura 27 se muestra un esquema que contiene una clasificación y evolución de los sistemas hidráulico-urbanos (es necesario especificar

que son urbanos ya que no necesariamente aplican los mismos principios para zonas rurales o poblados pequeños). La evolución mostrada sigue una línea temporal la cual se presenta en función de dos vertientes paralelas, la primera son los conductores socio-políticos acumulativos y la segunda son las funciones de prestación de servicios del agua, los cuales se definen en base de las demandas de la ciudad por su crecimiento territorial y demográfico, las problemáticas de salubridad, el avance técnico y la conciencia de los impactos y necesidades económicas, sociales y ambientales de cada zona.

Por ejemplo en principio tenemos la ciudad suministro de agua, que es la primera necesidad, tener agua para beber, limpieza, agricultura, entre otras dentro de las sociedades sedentarias, ese es el conductor o motivador de socio-político inicial y se manifiesta en una función de prestación de servicio a través de la construcción de un sistema hidráulico de abastecimiento. Y así se continúa cambiando el sistema con el tiempo, luego incorporando el sistema de alcantarillado, como parte de la etapa higienista (Tabla 19), seguido de la ciudad drenada, la cual busca evitar o protegerse de las inundaciones. La ciudad de cursos de agua es igual pero agrega la búsqueda del control de la contaminación difusa de escurrimientos y por último las dos etapas finales ciudad ciclo del agua y ciudad sensible al agua buscan la protección del medio ambiente, la equidad intergeneracional (desarrollo sustentable) y la resiliencia al cambio climático. Abordan lograr esto a través de la infraestructura, el equipamiento y diseño urbano adaptable y multifuncional que refuerza valores y comportamientos sensibles al agua.



Figura 26. Esquema de evolución de los sistemas hidráulico-urbanos. Fuente: Adaptado de Brown et al, 2009.

Es fácil ubicar a Tlajomulco y la ZMG dentro del esquema de evolución de los sistemas hidráulicos, evidentemente se encuentra tratando de superar la etapa de ciudad drenada, pero arrastrando problemas en suministro y alcantarillado, temas que se salen de los alcances de esta investigación pero aquí viene bien mencionarlos, estos problemas de manera resumida se podrían enlistar en la necesidad de reemplazo de redes, acueductos y colectores muy antiguos que presentan fugas, lo cual genera pérdidas económicas, de eficiencia y calidad en el servicio. Otros son la sobreexplotación de acuíferos, problemas de saneamiento de cuerpos de agua, derrames de drenaje combinado durante lluvias, consumo doméstico, urbano, comercial industrial y agropecuario excesivo, endeudamiento e ineficiencia en el cobro y definición de tarifas de los organismos operadores, falta de coordinación con otras dependencias, etc. (Gleason, J., 2011).

Entonces si el enfoque se define solo dentro del manejo de aguas pluviales, la ZMG se podría definir dentro de la etapa de ciudad drenada, que busca la protección contra inundaciones mediante la canalización del drenaje. Aquí surge la pregunta ¿Cuáles son los elementos que se necesitan entonces para pasar a la siguiente etapa? En la Tabla 18 se definen los atributos principales de una ciudad sensible al agua para dar respuesta a la pregunta anterior comparándolo con el régimen tradicional. En un documento de la Universidad de Monash, en Australia, nos dice que es posible saltar etapas si así se propone en un plan comprensivo e integral con estrategias bien definidas en el corto, mediano y largo plazo (Ferguson, B. et. Al., 2012), es decir, la ciudad de Guadalajara podría pasar de ser ciudad drenada a ciudad sensible al agua mediante la definición de un plan que tenga esta visión sin necesariamente buscar pasar a la siguiente etapa inmediata, ya que estaría englobada.

La etapa de Ciudad Sensible al Agua se lleva a cabo mediante el Diseño urbano Sensible al Agua, DUSA (WSUD, por sus siglas en inglés) el cual tiene como objetivo garantizar que el desarrollo y los paisajes urbanos sean cuidadosamente diseñados y mantenidos de tal forma que se minimicen los impactos sobre el ciclo urbano del agua: suministro de agua potable, tratamiento y manejo de aguas pluviales (Gleason, J., 2014). En la Figura 28 se observa cómo se relacionan los conceptos de DUSA esquemáticamente a través de una integración de estos.

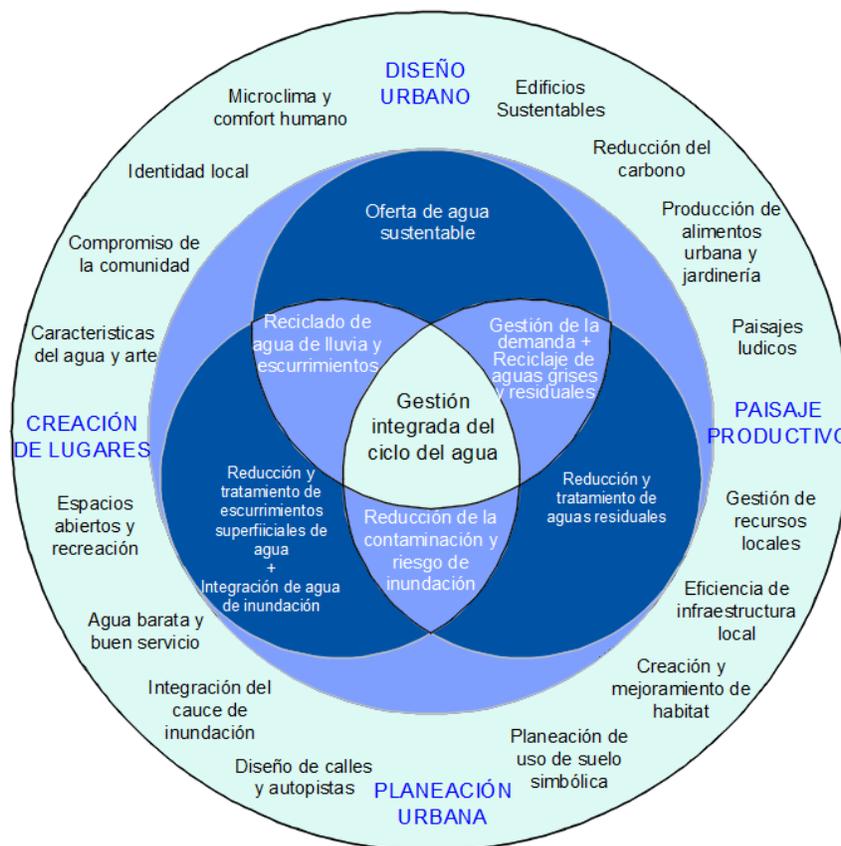


Figura 27. Esquema de las relaciones entre las tres corrientes del ciclo urbano del agua, unidos en una manera integral que forma el proceso de DUSA (CIRIA, 2013).

Atributos	Régimen Tradicional	Régimen de Sensibilidad al agua
Límites del sistema	Oferta de agua, alcantarillado y control de inundaciones para el crecimiento económico y demográfico y protección de la salud pública	Múltiples propósitos para el agua considerados a largo plazo en el tiempo incluyendo la salud de los cauces y otras necesidades sectoriales p.e. transporte, recreación/amenidad, micro-climas, energía, producción de alimentos, etc.
Enfoque de gestión	Compartimentación y optimización de componentes individuales del ciclo del agua	Adaptado, integrado, sustentable manejo del ciclo del agua total (incluyendo uso de suelo) diseñado para asegurar un más alto nivel de resiliencia a incertidumbres futuras del clima, requerimientos de servicios de agua mientras se mejora la habitabilidad de los ambientes urbanos.
Experiencia y competencias	Disciplinas técnicas y económicas con enfoques reducidos	Interdisciplinario, aprendizaje de multi-actoral a través de esferas sociales, técnicas, económicas, de diseño, ecológicas, etc.
Prestación de servicio	Centralizado, lineal y basado predominantemente en tecnología y economía	Diverso, soluciones flexibles en escalas múltiples mediante un conjunto de planteamientos (técnicos, sociales, económicos, ecológicos, etc.)
Rol público	Agua gestionada por el gobierno en representación de las comunidades	Co-gestión del agua entre gobierno, empresas y comunidades
Riesgo	Riesgo regulado y controlado por el gobierno	Riesgo compartido y diversificado mediante instrumentos privados y públicos

Tabla 18. Atributos de una Ciudad Sensible al Agua comparado con la gestión actual del agua. Fuente: Brown & Keath, 2009.

En la siguiente Tabla 19 podemos apreciar un tipo de explicación de cambio de paradigma o etapas en la gestión del agua más sencilla, estas son el período higienista, el correctivo y el sostenible, el último siendo relativamente reciente teniendo en cuenta que el concepto de desarrollo sustentable existe desde 1987.

Años	Periodo	Características
Hasta 1970	Higienista	Abastecimiento de agua sin tratamiento de aguas residuales, transferencia hacia aguas abajo del escurrimiento pluvial por canalización
1970 – 1990	Correctivo	Tratamiento de aguas residuales, amortiguamiento cuantitativo del drenaje y control del impacto existente de la calidad del agua pluvial
1990 - Actualidad	Sostenible	Planeamiento de la ocupación del espacio urbano obedeciendo a los mecanismos naturales del escurrimiento. Control de la contaminación difusa y gestión del escurrimiento pluvial a través de la recuperación de la infiltración

Tabla 19. Etapas temporales de sistemas de agua en las ciudades. Fuente: Adaptado de Tucci, 2006.

Para concluir este capítulo, se mostrarán otra clasificación mediante paradigmas, a diferencia de definición de etapas como se mostró en la Figura 27, aquí los autor Novotny, V., Ahern, J., & Brown, P. (2010) describen 4 paradigmas en el manejo del agua a lo largo de la historia mundial en el libro “Water centric sustainable communities”, se definen de la siguiente manera en la Tabla 20:

Paradigma	Período de tiempo
1. Suministro básico de agua	Antes de cristo hasta la Edad Media; aún se puede encontrar en algunos países en desarrollo

2. Suministro de agua mediante ingeniería y conducción de escurrimientos	Antigua Grecia, y Roma; ciudades en Europa en la Edad Media hasta la Revolución Industrial en el siglo 19
3. Conducción rápida sin un tratamiento mínimo	Desde la segunda mitad del siglo 19 en Europa y Estados Unidos, después en ciudades asiáticas, hasta la segunda mitad del siglo 20 en países desarrollados, aún persiste en muchos países
4. Conducción rápida con tratamiento a final de tubo	Desde el paso de la Clean Water Act en Estados Unidos en 1972 al presente

Tabla 20. Paradigmas históricos del manejo de agua/agua de lluvia/aguas residuales Fuente: Novotny, V., Ahern, J., & Brown, P. (2010)

Como se puede observar de esta tabla, que define el cambio de paradigma a través de los países desarrollados principalmente, con mención en dos ocasiones sobre la persistencia de estos paradigmas en países en desarrollo, el cambio ha sido gradual a través de la historia, y el referente más actual en el que se tiene en cuenta el tratamiento del agua es la Clean Water Act creada en Estados Unidos en 1972, la cual pone restricciones para las descargas de aguas residuales sobre cuerpos de agua e incluso ya trata temas como la contaminación difusa.

A partir de este capítulo se puede hacer una conclusión sencilla, en cuanto a que aún hay un largo campo de acción si se quiere que las ciudades de México sean sustentables y sobre todo sensibles en su relación con el agua.

3.9 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

Los **Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, SUDS**, son un conjunto de estrategias e instalaciones que, durante los últimos años, han tendido una especial repercusión en el control de las aguas de lluvia en los núcleos urbanos. Se trata de una serie de técnicas diseñadas para controlar el volumen de las aguas de escorrentía y su calidad, de forma que impulsan un desarrollo más sostenible de las ciudades en relación al drenaje pluvial. Este efecto se consigue abordando el problema de la escorrentía desde el mismo momento en que el agua de lluvia toca el suelo, realizando una gestión de la escorrentía superficial que va desde la laminación de la cantidad de agua, hasta la mejora de su calidad mediante procesos naturales como la sedimentación, filtración, absorción/adsorción y degradación biológica, pasando por el servicio al ciudadano, mejorando el paisaje urbano y ofreciendo nuevos hábitats naturales dentro de los sectores urbanos. (Sharma A. K. et. al. 2012)

En España a este conjunto de técnicas se las conoce como Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, en otros países donde ya se han implantado reciben diferentes nombres. Así, en el Reino Unido se las conoce también como **Sistemas Urbanos de Drenaje Sustentable (SUDS, por sus siglas en inglés y español)** en Reino Unido y España. **En Estados Unidos como Mejores Prácticas de Manejo (BMP, por sus siglas en inglés) e Infraestructura Verde**, o en países de habla hispana como **Nuevos Sistemas de Saneamiento o Mejores Prácticas de Control (MPC)**.

Todas ellas se enmarcan dentro de filosofías más amplias de arquitectura y planeamiento urbanístico relacionadas con el concepto de desarrollo sostenible como son el **Desarrollo de Bajo Impacto (LID, por sus siglas en inglés)** o el **Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD, por sus siglas en inglés)** (Sharma A. K. et. al. 2012).

En general, los SUDS pretenden imitar el drenaje natural previo a la urbanización de una zona atenuando los picos de escorrentía superficial y su contaminación, derivados de los procesos de urbanización. Es decir, pretenden conservar el ciclo hidrológico natural, negativamente alterado por los procesos de urbanización.

Con un diseño, una construcción y un mantenimiento correctos, los Sistemas de Drenaje Sostenible ofrecen una serie de ventajas en la reducción de los problemas acarreados por la escorrentía superficial urbana en el medio. Así, (Sharma A. K. et. al. 2012), enumera una serie de ventajas que ofrecen estas técnicas de drenaje alternativo:

- Disminuyen los picos de escorrentía reduciendo así los riesgos de inundaciones.
- Reducen los volúmenes y frecuencia de la escorrentía superficial urbana directamente a los cursos de agua naturales o al alcantarillado, consiguiendo un drenaje más parecido al natural que preserva mejor las condiciones hídricas del suelo y reduciendo el riesgo de inundaciones.
- Al mejorar el drenaje de forma que se parezca más aun drenaje natural se minimizan los cambios en las escorrentías sub-superficiales.
- Mejoran la calidad del agua que llega a los sistemas de saneamiento convencionales ya que evitan la entrada de los contaminantes provenientes de diversas actividades humanas como el lavado de calles y vehículos, hidrocarburos o metales pesados procedentes del tráfico o materia orgánica.
- Reducen el volumen de agua que llega a los sistemas de saneamiento convencionales, reduciendo así el riesgo de saturación y descarga sobre cursos naturales de agua.
- Ayudan a preservar mejor el medio natural y por lo tanto la biodiversidad.

En resumen, las tres principales ventajas que presentan los SUDS son: reducir la cantidad de escorrentía superficial, mejorar su calidad y prestar un servicio a la sociedad, como se observa en la Figura 29.

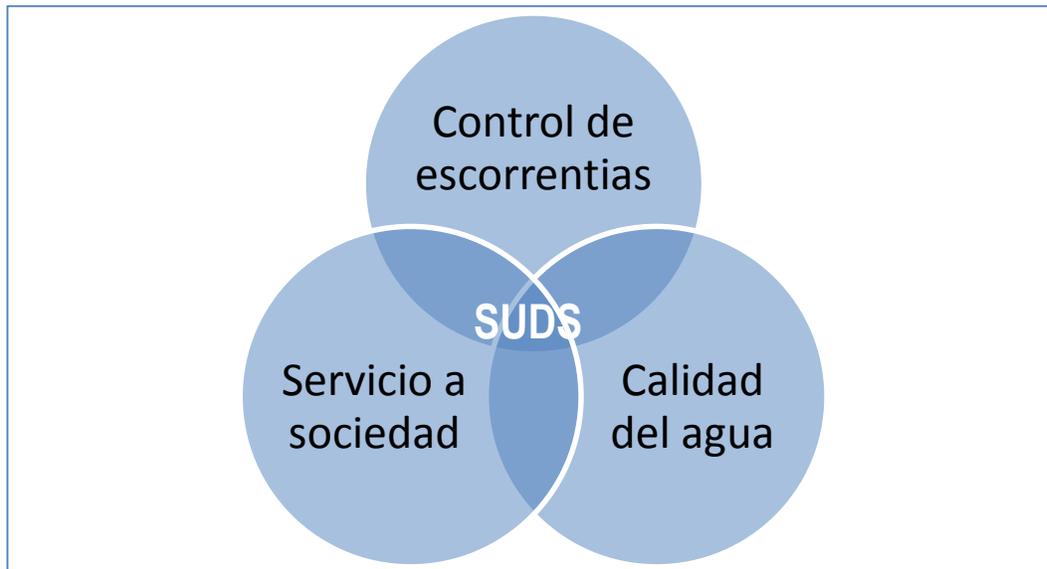


Figura 28. Conceptos básicos de SUDS. Elaboración propia.

Estas tres ventajas fundamentales significan que los SUDS son capaces de prevenir inundaciones, de recargar los acuíferos y de impulsar un desarrollo urbano de calidad en áreas donde los sistemas de alcantarillado convencionales están a punto de saturarse. Pero, al mismo tiempo, los SUDS son capaces de depurar naturalmente la escorrentía a superficial, enriqueciendo el paisaje urbano hasta el **punto de incrementar el valor de las propiedades cercanas**. Por eso, los sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible no sólo sirven para solucionar o evitar los problemas asociados a la cantidad y a la calidad de la escorrentía

superficial, si no que ofrecen también un servicio añadido a la sociedad, creando entornos naturales y mejorando la calidad estética de las ciudades.

Los SUDS engloban una serie de prácticas y técnicas que han sido clasificadas de diversas maneras por diferentes autores que escogen distintos criterios para establecer una clasificación de los mismos. Así, por ejemplo, se clasifica a los SUDS según el grado de intervención en la red de saneamiento convencional y según el lugar del sistema de alcantarillado donde se apliquen. El autor Jiménez, B. R. (1999), clasifica las MPC (Mejores Prácticas de Control) en mecanismos de **infiltración, mecanismos de filtración, mecanismos de control por medio de la vegetación y mecanismos de detención y retardo**. La publicación 609 del CIRIA, clasifica los SUDS en quince técnicas diferentes que van desde las medidas preventivas hasta los firmes permeables, la biorretención, los estanques y depósitos de detención o los separadores de aceites entre otras.

3.9.1 Principios básicos

- La protección y la mejora de arroyos, ríos y humedales en los entornos urbanos;
- La protección y la mejora de la calidad del agua que drena de los entornos urbanos en los arroyos, ríos y humedales;
- Restauración del equilibrio del agua urbana mediante la maximización de la reutilización de las aguas pluviales, agua reciclada y de aguas grises;
- La conservación de los recursos hídricos a través de la reutilización y la eficiencia del sistema;
- La integración de tratamiento de aguas pluviales en el paisaje de modo que ofrece múltiples usos beneficiosos como tratamiento de la calidad del agua, el hábitat de la vida silvestre, recreación y espacios abiertos al público.
- La reducción de los caudales máximos y la escorrentía de las zonas urbanas proporcionando al mismo tiempo para la infiltración y la recarga de las aguas subterráneas.
- La integración del agua en el paisaje para mejorar el diseño urbano, así como los valores sociales, visuales, culturales y ecológicos.
- Aplicación fácil y rentable que permiten la aplicación generalizada.

Estas estrategias son sistemas que tratan de imitar los procesos naturales de control del agua pluvial, mediante procesos de infiltración, detención, retención, uso de vegetación, captación, almacenamiento e incluso tratamiento del agua pluvial (Figura 30), están siendo implementadas en países europeos, en Estados Unidos, Australia y también países latinoamericanos que las han estudiado y se dan cuenta de sus beneficios. Representan soluciones en corto, medio y largo plazo, si se lleva a cabo una buena planeación y construcción de estos de manera integrada con usos de suelo pueden representar una defensa contra los efectos del cambio climático en las ciudades. En México se comienzan a integrar en el discurso desde hace unos pocos años pero aún no existe normativa, planes o políticas que promuevan u obliguen su uso. En el PROMIAP (Programa de Manejo Integral de Aguas Pluviales de la ZMG) se identifican algunas estrategias de estas como técnicas de bajo costo.



Figura 29. Algunas de las estrategias SUDS más utilizadas. Fuente: Hidrologiasostenible.com

A continuación se mencionaran las características primarias de los SUDS de manera separada obtenidas del Manual para el Manejo de las Aguas Pluviales de Nueva York (New York State Department of Environmental Conservation, 2010):

- **Depósitos de infiltración:** Estos son elementos que deben ser instalados en una zona de excavación donde se pretende almacenar el agua que se infiltre a través de distintas estrategias (por ejemplo pavimentos permeables) por un breve tiempo, para que lentamente se infiltre al suelo debajo o alrededor. Están formados por celdas y tubos plásticos que distribuyen, almacenan e infiltran el agua de lluvia. Estos pueden ser instalados en diferentes escalas, desde el lote de la vivienda para que sea retenida el agua hasta que llene y después pueda ser reutilizada para riego o WC. Esto aporta doble beneficio, menos escurrimiento aguas abajo y darle un uso al agua de lluvia para reducir demanda.
- **Depósitos de retención:** Estos son espacios, como un represo que capta el agua pluvial, la almacena y deja fluir de manera más tenue, son útiles en zonas intermedias de las cuencas donde ya es posible interceptar una gran cantidad de agua y evitar que afecte las zonas más bajas.
- **Cunetas verdes:** son canales con vegetación, estos permiten un flujo del agua con un coeficiente de escurrimiento mucho menor y una velocidad menor que un canal revestido, son útiles a los costados de vialidades. Permiten el mejor control del agua así como su infiltración.
- **Zanjas de infiltración:** Son similares a las cunetas verdes, con la diferencia que estos tienen capas de materiales como grava y arena que retienen, infiltran y filtran el agua. Son buena opción en camellones, para que el bombeo de las vialidades sea hacia el centro y no por los costados.
- **Biorretención:** el propósito de estos es captar el agua en un pequeño espacio con plantas y vegetación, retienen el agua un tiempo y después pueden conducirla hacia un sistema de drenaje o a otro SUDS para retener y filtrar el agua por un breve periodo, estos son muy utilizados en comercios, universidades o viviendas con terrenos de jardín amplios.

- **Pozos de infiltración:** Sistemas convencionales en la ZMG que conducen el agua de la calle o dentro del predio de una vivienda a una boca de tormenta, luego a un tanque de retención y finalmente al pozo, puede también conectarse directamente la boca de tormenta al pozo pero tendrá menos capacidad de controlar el agua en un evento fuerte, deben construirse en un suelo permeable.
- **Humedales:** Estos pueden ser artificiales o naturales, tienen la capacidad de retener, detener y dar un buen tratamiento a aguas pluviales e incluso residuales domésticas. Tratan el agua mediante procesos naturales de las plantas y el suelo en el fondo, el tezontle es un material muy utilizado en estos sistemas, y se recomienda tener una zona de pretratamiento para ingresar el agua al humedal sin contaminantes sólidos o grasas muy grandes.
- **Techos verdes:** también llamadas azoteas verdes, o de muchas otras maneras, son instalaciones en azoteas de cualquier tipo de edificación que tienen un sustrato de tierra y plantas, tienen múltiples beneficios, en respecto del manejo del agua pluvial, la retiene por un tiempo e incluso puede filtrar contaminantes presentes en esta.

Otras estrategias de SUDS:

- **Tambos o barriles para lluvia:** Un simple sistema de conexión entre azotea y un recipiente de 200 litros aprox. que almacena el agua de lluvia. De esta manera si se hace en todas las viviendas puede ser una gran ayuda en la reducción de caudales aguas abajo y para darle un uso al agua sin que esta sufra contaminación por su paso en las vialidades.
- **Bases de árboles:** El terreno cerca de la base de los árboles puede construirse de tal manera que capte e infiltre el agua de manera más rápida que lo que normalmente hace.



Fotografía 10. Foto de una desconexión de azotea hacia un jardín de lluvia. Fuente: New York State Stormwater Management Design Manual.

- **Jardines de lluvia:** Son depresiones en el terreno de un espacio verde, comúnmente se usa en jardines para que por pendiente el agua sea atraída y riegue por más tiempo algunas plantas y flores. La desconexión de una azotea se puede conducir a un jardín de lluvia.

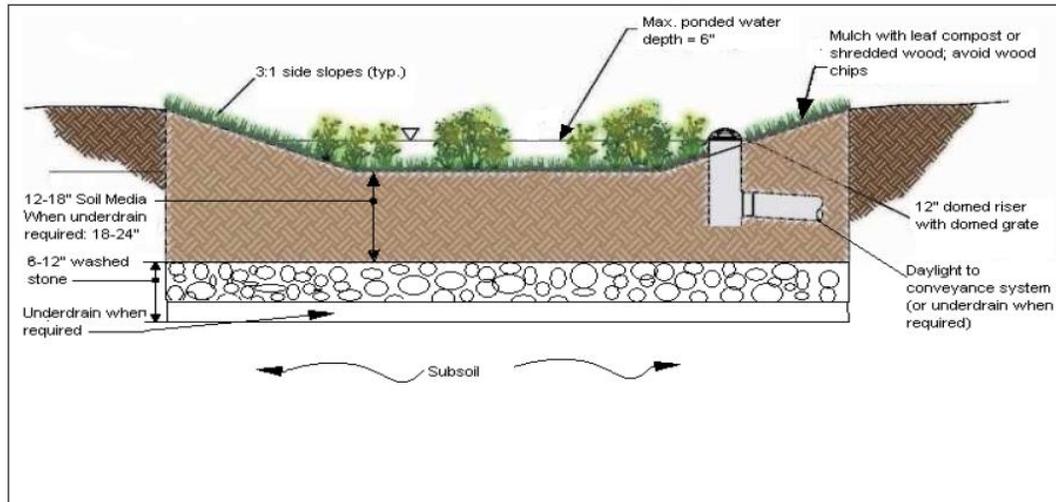


Figura 30. Diagrama de un jardín de lluvia. Fuente: Manual de Diseño de Manejo de Aguas pluviales del estado de Nueva York.

Lo importante y más interesante de estos sistemas o estrategias es que deben ser planeados para que funcionen en combinación y si es posible en serie, dándole prioridad al control en origen para evitar problemas aguas abajo, son relativamente baratos pero debe haber una buena planeación de estos, se pueden utilizar en zonas ya construidas pero se complica más por los espacios, es preferente que se tomen en cuenta desde la planeación y diseño.

3.9.2 Estrategias estructurales y no estructurales

En la mayoría de los documentos y manuales de mejores prácticas y de SUDS, siempre se habla o indica la necesidad de conjuntar la implementación de las estrategias estructurales, que son los sistemas físicos o construidos con estrategias no estructurales que son por ejemplo la educación ciudadana, políticas, leyes y reglamentos, normativas, limpieza y barrido de calles, acciones preventivas como desazolve y limpieza de canales, alarmas a la población en caso de eventos extremos y de riesgo, creación de mapas de riesgo, protocolos de protección civil, etc.

En el manual de SUDS (CIRIA, 2007) las identifica como estrategias de bajo costo y menor necesidad de mantenimiento y nos dice que no se pueden siempre incluir en los costos de una propuesta de estrategias estructurales porque dependen de esquemas de trabajo de la autoridad local o dependen de factores con poco control como la cantidad de basura que los habitantes tiran a la calle, etc.

En la tesis de Abellán, A. (2013) define las estrategias no estructurales como “aquellas que no precisan ni actuación directa sobre la red, ni la construcción de infraestructura alguna”. Y luego detalla algunos ejemplos de las que se han difundido más, estas son las siguientes:

- Educación y programas de participación ciudadana para:
 - Concienciar a la población del problema de la gestión del agua y sus soluciones.
 - Identificar los agentes implicados y los esfuerzos realizados hasta la actualidad.
 - Cambiar hacia hábitos que supongan una reducción en la carga contaminante de las aguas.

- Hacer partícipe del proceso de gestión hidrológica a la población, integrando sus requerimientos en la implementación de los programas
- Limpieza y mantenimiento frecuentes para reducir la acumulación de contaminantes.
 - Limpieza de arquetas y depósitos de captación.
 - Barrido de calles, aparcamientos y demás superficies impermeables.
 - Mantenimiento de carreteras y canales.
- Limitar el riesgo de que la escorrentía entre en contacto con contaminantes:
 - Controlar la aplicación de herbicidas y fungicidas en parques y jardines.
 - Vigilar las zonas en obras para evitar el arrastre de sedimentos.
 - Intervención en las conexiones ilegales al sistema de drenaje.
- Asegurar la existencia de procedimientos de actuación y equipamiento adecuado para tratar episodios de vertidos accidentales rápidamente y con técnicas secas en lugar de limpieza con agua.
- Recogida y reutilización de aguas pluviales por parte del ciudadano.

Como se puede observar a partir de leer las estrategias, estas requieren de una participación pública que integre varios actores, incluido los habitantes en conjunto con las autoridades y responsables del manejo del agua y destinar recursos tanto públicos como privados para lograr el mejor manejo posible. Por lo que si se pretenden generar planes y programas para atender estas problemáticas se debe tener en cuenta todo esto.

3.9.3 Escala de aplicación de las estrategias

La escala de aplicación tanto de estrategias estructurales y no estructurales puede ser abordada de diferentes escalas espaciales. En el manual de manejo de aguas pluviales de Australia (Department of Water of Australia, 2009) refiere al abordaje del tema de escalas como la intención de ubicación y apropiamiento de los sistemas estructurales. Y para el propósito del manual identifica cuatro grandes escalas, las cuales son:

- Nivel del lote
- Nivel de calle
- Nivel de precinto o fraccionamiento
- Nivel regional

Luego menciona que la selección de la mejor combinación de técnicas debe provenir de un abordaje integral para cumplir con objetivos generales específicos del sitio, definidos tal vez en una plan de manejo de la cuenca o un plan de manejo de aguas pluviales particulares. Habla de que esto normalmente requiere de la implementación de un esquema de tren de tratamiento el cual funciona a través de varias o todas las escalas mencionadas, ya que lo que logra un sistema a escala de lote por ejemplo, puede ser combinado con sistemas a nivel de calle que conducen y tratan el agua hacia un vaso de detención ubicado a la escala de fraccionamiento, y así sucesivamente para que el impacto de la falla de un sistema sea reducido por el siguiente en el tren de tratamiento. Y luego presenta una matriz de selección en función de la escala y la función deseada para guiar la selección de los sistemas más adecuados.

En otro documento nombrado “Guía para sistemas de drenaje pluvial sustentable” (Southampton City Council, sf) también habla de este tema con el concepto del tren de manejo o gestión de SUDS (sistemas urbanos de drenaje sostenible), y dice que este tren de manejo de aguas superficiales aborda el problema en etapas, en conjunción con los procesos que suceden en una cuenca natural. Dice que el proceso comienza con la prevención en una base individual y progresa a los controles locales y regionales.

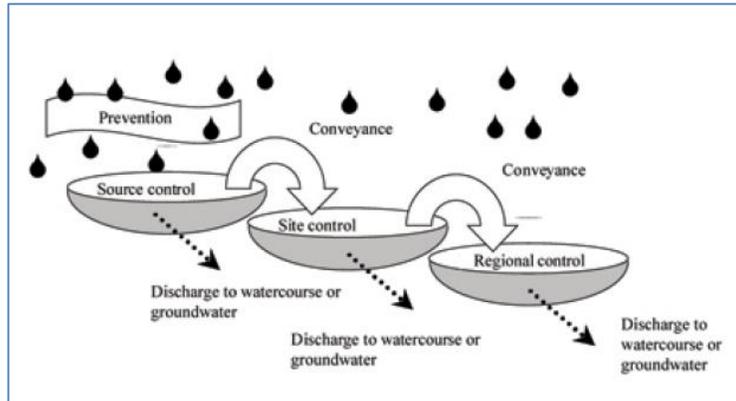


Figura 31. Esquema del tren de tratamiento de aguas superficiales. Fuente: Southampton City Council, sf.

En cada etapa del tren de tratamiento hay tres tipos de descargas: a una corriente de agua o arroyo, a las aguas subterráneas o a la siguiente etapa.

En este punto, en mi opinión y por lo que he observado en las prácticas de la región, tanto en Tlajomulco como en los demás municipios de la ZMG, antes del Impacto Hidrológico Cero no había controles en la escala de calle o fraccionamiento, excepto por los pozos de absorción, los cuales no hacen mucho por regular caudales de eventos extremos. Ahora con este requisito si hay un control lo más cercano a la fuente pero no existen programas o lineamiento para obligar al ciudadano o a los desarrolladores a implementar estrategias de control a escala de lote, y más bien cuando se utilizan es por iniciativa propia. Por ejemplo las estrategias que se podrían aplicar a escala de lote como un requisito en la normativa, ley, guías locales, etc. es reducir la proporción de planchas de concreto en estacionamientos y cocheras, y en dado caso colocar camas de grava, pavimentos permeables o dejarlos naturales. O también promover el uso de sistemas de captación en las viviendas para aprovechamiento en riego de plantas, lavado del carro, etc. Por lo que se sugiere implementar y buscar alternativas de esquemas de financiamiento a programas que promuevan el control dentro de las viviendas.

Otra opción más compleja o cara es la implementación de techos verdes en las viviendas o edificios, lo cual requiere de una inversión significativa pero tiene beneficios tanto para el manejo de las aguas pluviales como en la mejora del confort térmico dentro del edificio y por ende de sus requerimientos energéticos para climatización.

3.9.4 El esquema de enfoque de los 3 puntos

Existe una preocupación o la idea de que es posible obtener un sistema de manejo de aguas pluviales que garantice un máximo beneficio o valor para la sociedad, este se puede buscar o entender desde el “enfoque de los 3 puntos” (Figura 33) o 3 point approach en inglés (CIRIA, 2013).

En este enfoque se compone de 3 regiones que se expresan o definen de la siguiente manera (adaptado de Fratini et al, 2012):

1. **Optimización técnica:** donde los estándares de diseño para alcantarillado y otra infraestructura aplican. Este considera las soluciones técnicas para lidiar con tormentas de diseño definidas, para prevenir daño y cumplir ciertos niveles de servicio.

2. **Resiliencia urbana y planeación espacial:** Incluye lidiar con eventos extremos, para lo que se vuelve necesario un trabajo multidisciplinario. El objetivo es mitigar los impactos de eventos futuros extremos y permitir la adaptación.
3. **Valores del día a día:** Mejorando el valor provisto por opciones, concientización, aceptación y participación entre actores involucrados. Atención debe ser dada a la manera en que el espacio urbano es usado y percibido.

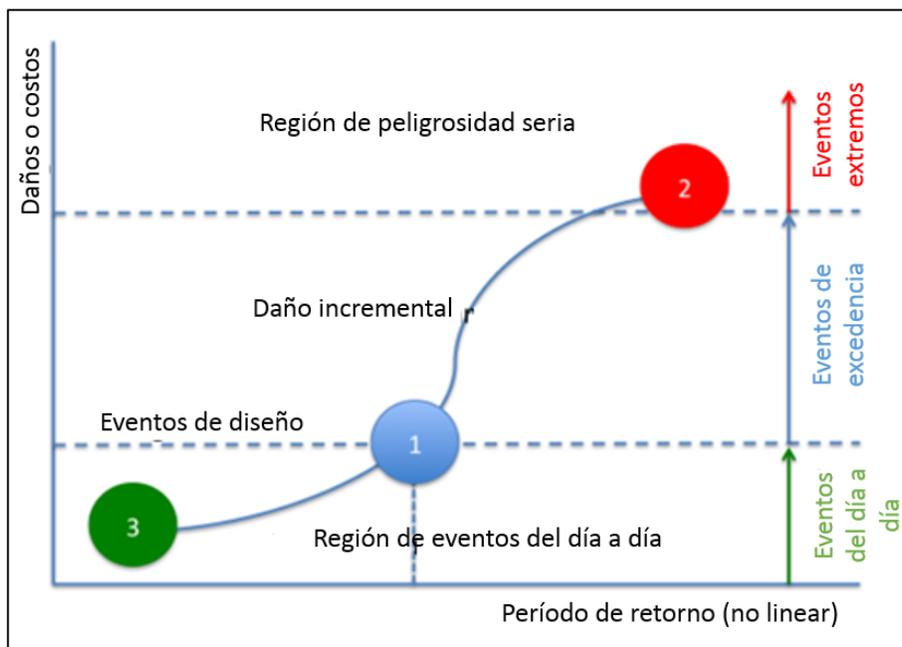


Figura 32. El planteamiento de los “3 puntos”. (Adaptado de Fratini et al, 2012)

Esto aplica para esta investigación por ejemplo en el caso de la región uno, los eventos de diseño son los límites de servicio con que se dimensiona y configura la red de drenaje urbana, y dentro de este punto o región se define el requisito del Impacto Hidrológico Cero visto en el capítulo 2.2 con períodos de retorno de 10 años y para la definición de zonas federales de cauces de propiedad nacional de 25, 50 o 100 años de período de retorno. En este caso el riesgo de inundación es el principal motivo del establecimiento de estos niveles de servicio.

En la región del Punto 2, eventos extremos, se aborda bajo la necesidad de organizar y ordenar el territorio para tener en cuenta las zonas de cauces urbanos, la ubicación de viviendas, zonas de trabajo y productivas, este punto requiere de planeación a nivel del municipio o estatal. Por ejemplo en la zona de estudio se ha construido una gran cantidad de vivienda en una zona de riesgo de inundación identificada en el Atlas de Riesgo de Jalisco.

La región 3 trata de obtener beneficio a través de enfoques que tengan en cuenta las posibilidades que el manejo del agua en el día a día puede proveer, por ejemplo beneficios de amenidad, recreación, estéticos y calidad de vida en convivencias con el espacio público, el cual debe ser multifuncional, creando sinergias entre las necesidades de manejo del agua, como aprovechamiento, captación, tratamiento, producción de alimentos en el área urbana y los riesgos urbanos de inundación, escasez y resiliencia.

Según el documento de CIRIA (2007), menciona que ha habido un incremento en el reconocimiento de que para obtener el máximo valor para lo sociedad, debe haber consideración de las tres regiones o puntos mencionados, y que la mayor oportunidad para esto se encuentra en las regiones 1 y 3, al ser las más desatendidas. Donde los elementos del paisaje urbano

colecten, usen, conduzcan, almacenen y dispongan del agua de manera sinérgica con otros sistemas y servicios urbanos e una gran variedad de maneras de valor añadido.

3.10 Criterios de diseño

Este tipo de proyectos por ser algo nuevo en México y como requieren de experimentación es necesario seguir detenidamente los criterios de diseño establecidos en la literatura internacional para lograr la mejor adaptación. Como dice el Manual de SUDS “los criterios de diseño tienen el propósito de proveer un marco para diseñar un sistema que drene efectivamente el área requerida para proteger la salud pública, su seguridad y al medio ambiente”. En el Manual de CIRIA de 2007 especifican cuatro tipos de criterios en función de los objetivos hidráulicos, calidad del agua, amenidad y ecológicos (CIRIA, 2007). Aunque cada región tiene sus requerimientos específicos, en el manual presentan un grupo de principios con los cuales se puede desarrollar una selección de criterios robustos.

Por lo tanto los criterios se los separaran en las siguientes cuatro categorías:

1. Hidráulicos
2. Calidad del Agua
3. Amenidad
4. Ecología

En 2015 actualizan este manual y definen esas cuatro categorías un poco diferente pero representan lo mismo, a la categoría hidráulica la definen como Cantidad de agua, Calidad del agua permanece igual, Amenidad permanece igual y Ecología se cambia por Biodiversidad.

Se mostrarán criterios y algunos indicadores definidos por más autores y/o organizaciones para generar después una selección de los más pertinentes o adaptables para la región, aunque en realidad la recomendación de las mejores prácticas es ajustar y/o adaptar los criterios a las características del lugar y las guías o normas locales.

Los autores u organizaciones son las siguientes:

- Manual de SUDS de 2015 de CIRIA (Construction Industry Research and Information Association)
- Daywater (2005): grupo de investigación dedicado a temas del agua incluido dentro del Quinto Programa Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Unión Europea
- Universitat Politècnica de Valencia y PMEnginyeria (2016)

También se menciona en el manual de SUDS de 2007 (CIRIA, 2007) que cuando se seleccionan los criterios para un sitio específico, se deben tomar en total consideración los siguientes principios:

1. Nivel de servicio requerido
2. Sustentabilidad de la solución de drenaje
3. Costo de la solución de drenaje

Principios	Objetivos
Nivel de Servicio	<ol style="list-style-type: none"> 1. Protección contra inundaciones debe ser provista a un nivel mínimo de servicio. 2. Riesgos a la gente y beneficios de amenidad deben ser trabajados (incluyendo la seguridad)
Sustentabilidad	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los sistemas de drenaje deben buscar replicar los procesos de lluvia-escorrimento naturales que ocurren en ese sitio como antes de ser urbanizado. 2. El tratamiento para mejorar la calidad de los escurrimientos debe minimizar el impacto medioambiental. 3. Los beneficios ecológicos deben ser maximizados 4. Los sistemas de drenaje deben buscar utilizar recursos naturales que puedan ser reusados y que sean eficientes energéticamente
Costo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Un análisis del costo de vida total del sistema debe demostrar la efectividad de los costos (a través de una evaluación de opciones) y viabilidad financiera (a través de seguridad con fondos de largo plazo)

Tabla 21. Principios que guían la selección de criterios de diseño de drenaje pluvial. Fuente: CIRIA, 2007.

A continuación se definen los criterios generales en los cuatro tipos o categorías que sugiere CIRIA, (2015):

Categorías	Criterios	Indicador de ejemplo
CANTIDAD	Usar el agua de escorrentía como un recurso	Una proporción del escurrimiento de los eventos de lluvia es captado para uso o infiltrado para mejorar los flujos base de los ríos y/o recargar los acuíferos
	Apoyar la gestión del riesgo de inundación en la cuenca receptora	Las descargas a aguas superficiales son priorizadas sobre las descargas a colectores. Los caudales y volúmenes de escurrimiento para periodos de alto periodo de retorno son controlados de acuerdo con estándares de cantidad
	Proteger la morfología y ecología en las agua receptoras	Los caudales y volúmenes de escorrentía para eventos de periodo de retorno bajo son controlados de acuerdo con estándares de cantidad de agua
	Drenar el sitio efectivamente	Los escurrimientos de todos los eventos de lluvia infiltran o drenan a través de SUDS dentro de un tiempo pertinente, para que el desempeño en el manejo de los escurrimientos no se vea reducido por eventos subsecuentes
	Preservar y proteger los sistemas hidrológicos naturales en el sitio	Los sistemas de drenaje hidrológico naturales son preservados o mejorados como parte del paisaje y/o sistemas de gestión del agua superficial.
	Manejar el riesgo de inundación local	La escorrentía de eventos que exceden la capacidad de los SUDS es manejada por rutas de excedencia identificadas y áreas de almacenamiento
	Realizar un diseño del sistema flexible/adaptable para soportar el cambio futuro	El diseño de SUDS incluye tolerancias de cambio climático, o es diseñado con la flexibilidad para ser adaptado durante su vida útil
CALIDAD	Apoyar el manejo de la calidad del agua en las aguas superficiales y subterráneas receptoras	La extensión de las actividades de prevención de contaminación en la cuenca. La extensión en la que medidas de gestión del riesgo apropiadas para derrames están implementadas. La proporción de las superficies permeables, techos verdes, y/o superficies que descargan un sistema de captación o característica basado en suelos. Logro de intercepción y tratamiento para cumplir estándares de calidad. La proporción del

		sistema de manejo del agua superficial que está en o cerca de la superficie y facilita el tratamiento El alcance al que el diseño del sistema demuestra atención a la retención de sedimentos.
	Apoyar la resiliencia/adaptabilidad del desarrollo a cambios futuros	El diseño del sistema incluye tolerancias para el cambio climático y la urbanización del suelo

Categoría	Criterios	Indicador de ejemplo
Biodiversidad	Apoyar y proteger hábitats y especies locales naturales	El alcance, calidad y significado de hábitats locales apoyado o mejorado por el diseño de SUDS
	Contribuir al logro de objetivos en biodiversidad locales	Los hábitats entregados por el diseño de SUDS que logran objetivos establecidos en las estrategias de biodiversidad locales
	Contribuir a la conectividad de hábitats	El alcance al cual el esquema de SUDS es integrado con estrategias de infraestructura verde más amplias, o está ayudando a conectar hábitats
	Crear ecosistemas diversos, autosustentables y resilientes	El rango y diversidad de tipos de hábitats entregados o apoyados por el diseño de SUDS, y la probable resiliencia que estos hábitats y ecosistemas que estos mejoran hacia futuros cambios.
Amenidad	Maximizar la multifuncionalidad	El número, variedad y calidad de usos adicionales y multifuncionales para los SUDS, por ejemplo áreas de recreación, estacionamientos o manejo del tráfico.
	Crear lugares agradables para las personas mejorando la calidad estética del lugar, de esta manera creando mejor calidad de vida	La proporción del sistema de drenaje pluvial que es diseñada para ser visualmente atractiva, agrega valor visual al desarrollo, aumenta la identidad local y el carácter del paisaje y se integra apropiadamente con los alrededores
	Entregar sistemas de manejo del agua superficiales seguros	La consideración de la seguridad de la gente dentro del diseño de cada elemento de los SUDS (relacionado con el uso como una característica de amenidad)
	Maximizar la visibilidad	La proporción del sistema que es visible
	Promover el aprendizaje ambiental en la comunidad	El alcance de las estrategias de concientización de la comunidad, involucramiento de escuelas, educación, etc.

Tabla 22. Criterios para proyectos pluviales e indicadores de ejemplo por categoría. Fuente: CIRIA, 2015.

Consideraciones ecológicas

Otros puntos relevantes a mencionar también de CIRIA (2007) son las consideraciones ecológicas y los principios de sustentabilidad para lograr los criterios que se mencionaron anteriormente, sugieren los siguientes:

1. El uso de plantas nativas
2. Localizar los SUDS en o cerca de paisajes de bajo mantenimiento (cuando sea posible), por ejemplo cerca de un estanque natural y hábitats de humedales.
3. Conservar y mejorar los sistemas de escurrimiento naturales.
4. Crear una serie de tipos de hábitats

5. Incluir una capa superficial y acuática en los diseños de estanques (por ejemplo una profundidad máxima de 0.45 m debajo del nivel permanente de aguas freáticas, con un ancho mínimo de 1 m).
6. Implementar un mantenimiento apropiado y un plan de manejo.

Principios de sustentabilidad

“Los SUDS deben considerar dentro de un marco holístico científico de sustentabilidad. Esto significa que todos los costos ambientales, junto con los factores sociales y económicos sean asesorados en el proceso de toma de decisiones, especialmente cuando comparas a los SUDS con el drenaje convencional. (Everard & Street, 2001)

Un análisis detallado de sustentabilidad basado en el marco mencionada es provisto en Everard & Street (2001). En este documento se menciona que “ciertos factores que necesitan ser considerados, como la energía requerida para construir las zanjas para el drenaje convencional, la pérdida de hábitat por la urbanización y los impactos de las inundaciones en el valor de las propiedades. Otros factores del sistema a considerar incluyen la energía usada y otros costos ambientales en la extracción y procesamiento de plásticos comparado con el uso de agregados pétreos. En esta línea el uso de plásticos reciclados o agregados puede ser más aceptable que materiales vírgenes.”

Algunos factores clave que deben ser considerados es la forma en que el uso de los materiales puede ser minimizado en los SUDS:

- Reúso y reciclaje de materiales de movimientos de tierra y demolición en el sitio en los SUDS.
- Reducción de residuos mediante el monitoreo del volumen de los materiales suministrados y los utilizados.
- Uso de agregados o plásticos producidos de materiales o residuos reciclados.
- Tratamiento en sitio y compostaje de sedimentos y otros residuos de los SUDS para reducir los volúmenes de materiales que se disponen fuera del área.

El impacto del uso de agregados y los impuestos de disposición final y costos de transporte pueden significar que considerar estas opciones más sustentables también genera ahorro en los costos.

También la Tabla 23 que aparece en el manual de SUDS de 2007 (CIRIA, 2007) ofrece esa tabla relacionando los criterios con eventos de diseño y objetivos de diseño.

Criterio	Evento de diseño	Objetivos del diseño
Hidráulico		
<i>Protección contra inundaciones:</i>		
Protección contra inundaciones por desbordamiento de cauce	Cuenca, 100 – 200 años periodo de retorno	Control de riesgos a la gente y propiedad. Niveles de piso = Nivel máximo del río + bordo libre apropiado
Protección contra inundaciones del sistema de drenaje	Sitio, 10-30 años Tr. Sitio, 100-200 Tr	Sin inundación en el sitio, excepto cuando sea planeado y aprobado. Control de riesgos a gente y propiedad. Niveles de piso = Nivel de almacenamiento de inundación máximo + bordo libre
Protección contra inundaciones por flujos regionales	Sitio, 100-200 años Tr, eventos de corta duración.	Ruta de de inundación planeada y almacenamiento temporal y acomodado en sitio

Protección contra inundación de tierra adyacente	Cuenca adyacente, 100-200 Tr.	
<i>Protección del cauce:</i> Tiempo de concentración Volumen de descarga	Cuenca, 1 año Tr. Cuenca, 100-200 años Tr. Todos los eventos Cuenca, 100 años Tr.	Almacenamiento de atenuación para controlar descarga de 1 año Tr para el gasto pico sin urbanizar (o 2 l/s/ha) Donde sea posible, almacenamiento de intercepción para prevenir el escurrimiento de una lluvia de 5 mm. Donde sea posible, almacenamiento de largo plazo/ infiltración para controlar un volumen de Tr de 1 a 100 años del área sin urbanizar. Usualmente aplicado a eventos de 6 horas.
Calidad del agua		
Protección del cauce	Sitio, menor a una año de Tr.	Donde sea posible, almacenamiento de intercepción para prevenir escurrimiento de lluvias de 5 a 10mm. Tratamiento con estrategias SUDS en serie como un tren de tratamiento, el número de componentes depende de los niveles de contaminación y la sensibilidad medioambiental.
Amenidad		
Manejar la seguridad publica	N/A	Acceso de mantenimiento seguro (banca de seguridad) Rejas o barreras de vegetación para contener el acceso público donde sea apropiado. Capa acuática y ejes superficiales a los cuerpos de agua. Señalización, donde sea apropiado,
Maximizar el impacto visual y el beneficio de amenidad	N/A	Maximizar el atractivo visual. Relacionar sistemas con oportunidades de recreación. Mantenimiento apropiado. Programas de educación públicos.
Ecología		
Maximizar el valor ecológico	N/A	Plantas nativas y variados tipos de hábitat. Cerca de ecosistemas naturales diversos. Capa acuática. Mantenimiento apropiado.

Tabla 23. Criterios para proyectos pluviales e indicadores de ejemplo por categoría. Fuente: CIRIA, 2007.

Criterios de Daywater (2005): grupo de investigación dedicado a temas del agua incluido dentro del Quinto Programa Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Unión Europea

Estos criterios aparecen en la tesis de Abellán, A. (2013) y se dividen en varias categorías de criterios, en las Tablas 24 a 30 que se presentaran a continuación detalla indicador primario, secundario, índices de referencia y valores umbral o unidades.

Este conjunto de criterios es el más detallado que se encontró en la investigación e incluye un amplio espectro de temáticas relacionadas con el manejo sustentable de las aguas pluviales urbanas, más adelante en el instrumento metodológico de encuesta se hará una selección de algunos de estos criterios y de los del manual de CIRIA (2015) principalmente. Entonces estos servirán para observar la complejidad y lo amplio del tema, lo cual incluye proyectos de gran escala.

Crterios relativos a las características del lugar

Indicador primario	Indicador secundario	Indicador	Unidad
Área	Características del drenaje	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de área de contribución impermeable • Diseño de volúmenes pluviales • Espacio disponible para dar cabida a una o varias TDUS • Periodos de retorno de la esorrentía • Medio receptor del agua 	<ul style="list-style-type: none"> • % • m3 • m3/ha • m3/ha/hora • Rio, mar, lago
	Restricciones físicas	<ul style="list-style-type: none"> • Pendiente del lugar • Nivel freático • Potencial de cargas excesivas de sedimentos en la construcción 	<ul style="list-style-type: none"> • % ratio • m • mg/l
Características del suelo y subsuelo	Capacidad de infiltración/protección de acuíferos	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de suelo • Ratios de infiltración • Volumen de almacenamiento en zonas no-saturadas • Cobertura vegetal 	<ul style="list-style-type: none"> • Conductividad hidráulica • mm/hora • m3/ha • ninguna/césped/arboles
	Estabilidad del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas de subsidencia/deslizamiento del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> • hay/no hay
	Terremotos	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo sísmico 	<ul style="list-style-type: none"> • Escala Ritche

Tabla 24. Elementos que han de considerarse en la elección de la ubicación del sistema de drenaje: Criterios relativos a las características del sitio, índices primarios y secundarios, y unidades de medida. Fuente: Daywater (2005).

Crterios científicos y tecnológicos

Indicador primario	Indicador secundario	Indicador	Unidad
Sistema de rendimiento	Almacenamiento de la esorrentía y control de inundaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de los volúmenes de almacenamiento en función de tormentas a diferentes periodos de retorno • Duración de los periodos secos • Duración de tormentas históricas • Proporción de almacenamiento de contribución del área de drenaje • Numero de las inundaciones anuales • Frecuencia y duración de los desbordamientos • Tasa de descarga • Distribución uniforme del flujo 	<ul style="list-style-type: none"> • m3/ha • días • m3/ha/hora} • ratio • 1....n • 1....n • m3/ha • Alta/media/baja
	Tratamiento de la calidad del agua	<ul style="list-style-type: none"> • Probabilidad de que una determinada concentración de contaminantes exceda de unos valores objetivo fijados • Captura potencial del "first flush" (10/15 mm es el valor efectivo de tratamiento de todas las tormentas) • % contaminantes recalcitrantes capturados 	<ul style="list-style-type: none"> • % • mm • %
Flexibilidad, adaptabilidad y potencial para la reutilización	Capacidad para cambiar con el tiempo	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño preparado para cambios de almacenamiento y de calidad del agua • Facilidad de adaptación y modificación • Costos de la adaptación y de los posibles ajustes externos de las estructuras • Potencial para reciclar componentes del sistema/aguas contaminadas 	<ul style="list-style-type: none"> • %: m3/tiempo de funcionamiento • - • Coste medio (pesos) • Alta/media/baja
Impacto sobre el sistema de drenaje	Integración en el sistema existente	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del flujo de CSO • Reducción de los flujos de aguas pluviales 	<ul style="list-style-type: none"> • %: m3 • %: m3/ha

Tabla 25. Elementos que han de considerarse en función de la tecnología y conocimientos actuales: Criterios científicos y tecnológicos, índices primarios y secundarios, y unidades de medida. Fuente: Daywater (2005).

Criterios relativos a la Operación y Mantenimiento

Indicador primario	Indicador secundario	Indicador	Unidad
Integridad del sistema	Rendimiento de la integridad, salud y seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de retención hidráulico • Condiciones de calidad y riesgos para la salud en cuencas • Alarma/procedimiento de intervención • Nivel de seguridad y previsión de contaminación accidental • Número de quejas por contaminación de las aguas receptoras 	<ul style="list-style-type: none"> • Horas • Microbiología, estado trófico de las aguas • Si/No • Alta/media/baja • Numero/año
	Riesgo en la gestión	<ul style="list-style-type: none"> • Probabilidad del fallo del sistema • Consecuencias de que la tormenta exceda de la capacidad de diseño 	<ul style="list-style-type: none"> • % probabilidad • Altura de lámina de inundación (m)
Durabilidad del sistema	Vida del diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de vida operacional • Tasa de sedimentación y volumen de almacenamiento • Robustez del sistema 	<ul style="list-style-type: none"> • Años • m³/año: % reducción en volumen de almacenamiento/año • Alta/media/baja
Mantenimiento y Prestación de servicios	Requerimientos de operación y mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad y frecuencia de operación y mantenimiento a nivel: técnico-ambiental de equipamiento y de hábitat • Riesgo en el mantenimiento de la seguridad operativa del sistema • Presencia in situ de herbicidas, pesticidas/ productos químicos de deshielo • Eliminación de los sedimentos • Plantas de reemplazo en los humedales construidos • Riesgo de presencia de basuras • Riesgo de que los agentes sociales pierdan el interés que generen problemas de operación y mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta/media/baja/frecuencia/año • Alta/media/baja • Tipo y cantidad • m³/año • frecuencia del reemplazamiento/año • Alta/media/baja • Alto/medio/bajo

Tabla 26. Elementos que han de considerarse en función a la operatividad y mantenimiento: Criterios científicos y tecnológicos, índices primarios y secundarios, y unidades de medida. Fuente: Daywater (2005).

Criterios Ambientales

Indicador primario	Indicador secundario	Indicador	Unidad
Impacto sobre el volumen de agua	Inundaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Periodos de inactividad • Erosión aguas abajo • Recarga de acuíferos • Protección del flujo de aguas abajo 	<ul style="list-style-type: none"> • Horas • - • m³/año • -
Impacto sobre la calidad del agua	Control de la contaminación	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos de retención del tratamiento • Relaciones de dilución • Presencia de basura, solidos gruesos, materia flotante, aceites en superficie • Clasificación del agua de recepción • Calidad del agua subterránea • Efectos térmicos • % de cumplimiento con los estándares de protección de las aguas receptoras 	<ul style="list-style-type: none"> • Horas/eventos de tormenta • Porcentaje • Alta/media/baja • 1...n • 1...n • - • %/año
Impacto sobre los ecosistemas	Diversidad de hábitats y ecológica	<ul style="list-style-type: none"> • Veces de vertido en el medio hidrobiológico • Número de especies clave introducidas/ atraídas • Plagas • Especies invasoras no deseadas • Estado de conservación de la biota 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto/medio/bajo • 1...n • Si/No • Si/No • Alto/medio/bajo

Tabla 27. Elementos que han de considerarse en función a los requerimientos ambientales: Criterios ambientales, índices primarios y secundarios, y unidades de medida.

Fuente: Daywater (2005).

Criterios Sociales y Urbanos

Indicador primario	Indicador secundario	Indicador	Unidad
Recreo: estética; acceso y beneficios comunitarios	Inclusión social y uso multifuncional	<ul style="list-style-type: none"> Nivel de la oferta de esparcimiento (pesca, navegación, recreamiento, etc.) Aumentos de los accesos Participación de la comunidad (servicio de guarda parques, grupos de voluntariado para la naturaleza, etc) Número de visitantes al espacio natural, etc. Vandalismo Percepción de los residentes del aumento de los beneficios ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> Alto/medio/bajo Alto/medio/bajo Alto/medio/bajo 1...n Si/No % encuestas
Información pública y concienciación ciudadana	Concienciación y sensibilización social	<ul style="list-style-type: none"> Interpretación de tablas, carteles, folletos o literatura de visitantes, etc. Concienciación local/regional de la comunidad Uso de la educación y/o técnicas de demostración en el lugar de interés Reuniones públicas/ audiencias 	<ul style="list-style-type: none"> Alto/medio/bajo % encuestas Número de visitas; si/no Numero/año; si/no
Aceptabilidad de las partes interesadas	Aceptabilidad e impactos	<ul style="list-style-type: none"> Voluntad de la comunidad local a asumir gastos ambientales Aceptación de tratamientos in situ en lugar de los sistemas de drenaje convencional Nivel de voluntad de los habitantes a participar en la mejora continua del lugar 	<ul style="list-style-type: none"> Alta/media/baja Alto/medio/bajo Alta/media/baja
Salud y seguridad	Auditoria de riesgos	<ul style="list-style-type: none"> Preocupación de la comunidad local (posibles daños, infecciones, ahogamientos, etc) Auditoría técnica formal del riesgo de exposición (riesgo de inundación, riesgo para la salud, riesgo para la seguridad) 	<ul style="list-style-type: none"> Alta/media/baja %encuestas
Desarrollo sostenible	Vida urbana sostenible	<ul style="list-style-type: none"> Contribución a las políticas de desarrollo urbano sostenible Papel en la Agenda 21 Papel de los Planes de Acción Biológica Los beneficios adicionales ofrecidos por diferentes SUDS 	<ul style="list-style-type: none"> Alto/medio/bajo Alto/medio/bajo Alto/medio/bajo %encuestas
	Uso de los recursos	<ul style="list-style-type: none"> Uso de materiales: Agregado/ concreto/ uso del suelo y costes Consumo de energía en la construcción, operación y mantenimiento del sistema 	<ul style="list-style-type: none"> Alto/medio/bajo kW; kW/m3

Tabla 28. Elementos que han de considerarse en función a los requerimientos sociales: Criterios sociales y urbanos, índices primarios y secundarios, y unidades de medida.

Fuente: Daywater (2005).

Criterios económicos

Indicador primario	Indicador secundario	Indicador	Unidad
Coste del ciclo de vida	Inversión y gastos de funcionamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Costes de diseño • Capital • Costes operacionales y de mantenimiento • Gastos de eliminación de sedimentos • Costes de desmantelamiento del sitio 	<ul style="list-style-type: none"> • \$ • \$ • \$/año • \$/año • \$
	Gastos de la comunidad	<ul style="list-style-type: none"> • Tasas de gestión de aguas pluviales • Tasas de mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • \$/año • \$/año
Riesgos financieros	Riesgos de exposición	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de coste-beneficio • Inversión riesgo de pérdidas • Recuperación del valor del lugar • Existencia de un seguro de fallo del sistema 	<ul style="list-style-type: none"> • C:B ratio • Alto/medio/bajo; \$ • Alto/medio/bajo; \$ • existe/no existe
Asequibilidad	Asequibilidad a largo plazo	<ul style="list-style-type: none"> • Adopción y cobertura de responsabilidad civil • Costes económicos adicionales • Ingresos del lugar de recreo • Prestación de la gestión a largo plazo 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto/medio/bajo; \$ • \$/ha • \$/año • Alto/medio/bajo
Costo del suelo	Ocupación del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Costo del m² 	<ul style="list-style-type: none"> • \$/m²

Tabla 29. Elementos que han de considerarse en función a los costes económicos: Criterios económicos, índices primarios y secundarios, y unidades de medida. Fuente: Daywater (2005).

Criterios legales y urbanísticos

Indicador primario	Indicador secundario	Indicador	Unidad
Gestión urbana de las aguas de escorrentía	Regulación del agua de escorrentía	• Cumplimiento de la normativa internacional	• Si/No
		• Cumplimiento de las reglamentaciones nacionales	• Si/No
		• Cumplimiento de las normativas locales	• Si/No
	Regulación de aguas que no son de escorrentía	• Cumplimiento de la legislación relativa a: la conservación de la naturaleza; preservación del agua subterránea; la planificación urbana; los reglamentos de construcción, salud y seguridad y los códigos sanitarios	• Si/No
Cuestiones de planificación y desarrollo	Conformidad con normas de edificación	• Numero de estándares	• 1...n
		• Flexibilidad de diseño	• Alta/media/baja
		• Beneficios del tren de tratamiento	• Alta/media/baja
Adopción	Status legal	• Contratos vinculantes legalmente	• Si/No
		• Salud y seguridad	• Si/No
		• Operación y mantenimiento	• Si/No
		• Legislación para hacer cumplir el uso de SUDS en la propiedad privada	• Si/No

Tabla 30. Elementos que han de considerarse en función a la legislación y urbanismo del lugar de estudio: Criterios legales y urbanísticos, índices primarios y secundarios, y unidades de medida. Fuente: Daywater (2005).

Criterios de Universitat Politecnica de Valencia y PMAE (2016)

Estos criterios fueron desarrollados dentro de una herramienta de software llamada E²stormed, la cual tiene como evaluar y comparar mediante un sistema multicriterio de sustentabilidad diferentes opciones de proyectos de manejo de aguas pluviales. La describen como una herramienta de toma de decisiones que consideran además los factores y criterios hidráulicos, criterios energéticos y ambientales (Morales-Torres, A., et. Al. M 2016).

Por lo tanto el hecho de incluir criterios energéticos y de sustentabilidad fue motivo para incluirlo en esta sección y contrastar con los criterios que utilizan los manuales. A continuación se muestran en la Figura 34 los criterios clasificados por su método de análisis, ya sea cuantitativo o cualitativo:

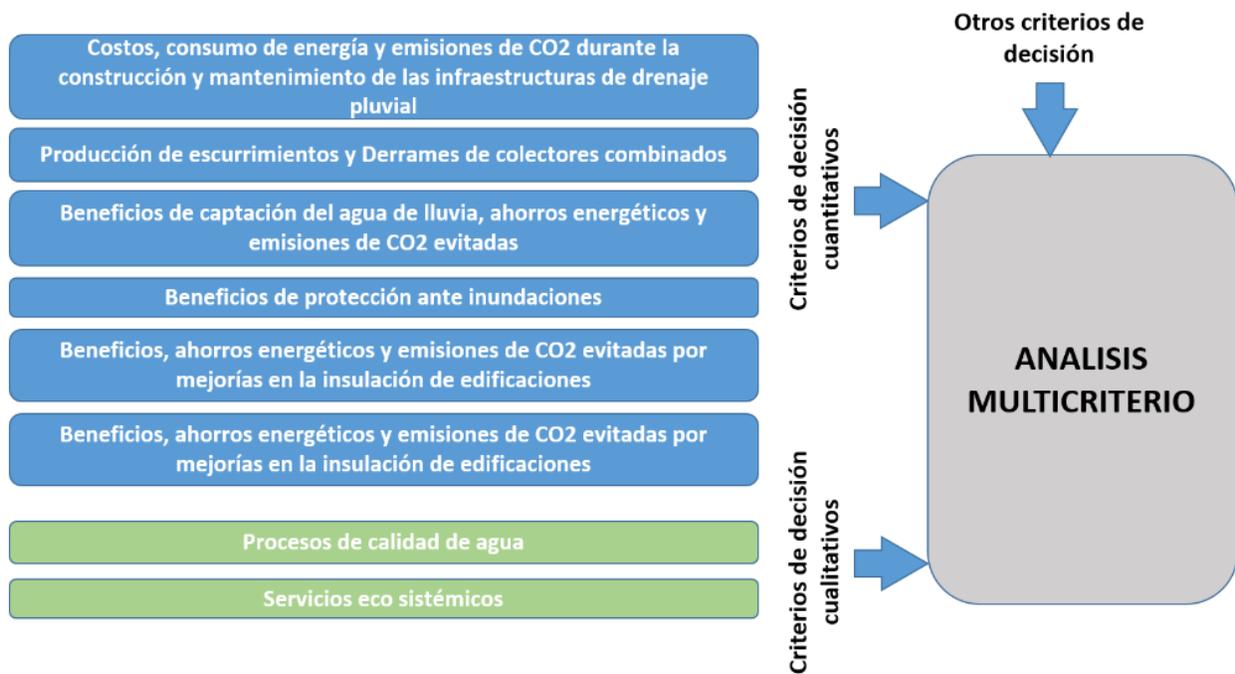


Figura 33. Esquema conceptual de los criterios utilizados en la herramienta de soporte de decisión E2Stormed. Fuente: traducido de A. Morales et al. (2016).

INFORMACIÓN EXTRAIDA DE ESTE CAPÍTULO

La información mostrada en este capítulo será de gran importancia en el uso del instrumento metodológico de encuesta, donde se interrogará a diversos actores involucrados en el desarrollo de proyectos pluviales en la región sobre su opinión, sugerencias, entre otras cosas sobre los criterios que se definieron anteriormente, esto será por supuesto después de haber realizado una selección de estos, como se mencionó en la introducción de este capítulo, según los que el autor elija en base a los que sean más pertinentes y viables de aplicar en conjunto de la región.

3.11 Procesos de tratamiento y eliminación de contaminantes

Como se mencionó en el capítulo 2.1.4 “Contaminación del agua de escorrentía urbana” de este documento, las aguas que circulan en los eventos de lluvia por áreas urbanas tienden a contener una carga contaminante significativa proveniente de distintas fuentes. Estos contaminantes son conducidos al igual que el agua a puntos de concentración sobre cuerpos receptores de agua y en cierta medida a plantas de tratamiento.

La carga de contaminantes más fuerte como se mencionó también previamente es durante la primera o primeras lluvias de la temporada, ya que las superficies urbanas han acumulado durante todo el periodo seco una gran cantidad de agentes contaminantes, que es cuando ocurre el fenómeno denominado primer lavado o “first flush”.

En este respecto, los SUDS representan una gran oportunidad para controlar y eliminar total o parcialmente estos contaminantes. La eliminación de estos por técnicas de drenaje sostenible resulta de una compleja combinación entre procesos biológicos, químicos y físicos. Los principales procesos de eliminación, junto con las principales unidades de medida con las que pueden cuantificarse se concentran en la tabla 31:

Procesos	Medidas relevantes y unidades
Sedimentación	Velocidad de sedimentación (m/s)
Adsorción	K_d (L/g); asociado a la fracción química
Degradación microbiana	Ratio de biodegradación (vida media en días)
Precipitación	Solubilidad (mg/l)
Filtración	Función de K_d (L/g) y precipitación (mg/l)
Volatilización	K_h (atm-m ³ /mol)
Fotólisis	Ratio de fotodegradación (vida media en días)
Retención vegetal	Bioacumulación (K_{ow} (ratio))

Tabla 31. Principales procesos de eliminación de contaminantes en aguas de escorrentía urbana mediante SDUS. Fuente: Middlesex University (2003).

K_d : Coeficiente de adsorción, partición de una sustancia en equilibrio entre la fase sólida y la disuelta.

K_h = Constante de la ley de Henry (relación que a una temperatura constante de la masa de gas disuelto en un líquido en equilibrio es proporcional a la presión parcial del gas).

K_{ow} = Coeficiente de partición agua/octanol, medida del potencial de los compuestos orgánicos que se acumulan en los lípidos = relación de la concentración de un contaminante en octanol y en el agua en el equilibrio.

A continuación se describen algunos de los mecanismos causantes de la eliminación de los contaminantes que tienen lugar en los SUDS:

Adsorción:

Por definición, la adsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material. La sustancia que se concentra en la superficie o se adsorbe se llama "adsorbato" y la fase adsorbente se llama "adsorbente". El adsorbato en este caso son algunos de los contaminantes contenidos en el agua de escorrentía y el adsorbente será, entre otros, la superficie de los sólidos en suspensión, los microorganismos presentes, la vegetación, un medio poroso por el que circula el agua, etc.... Puede un proceso físico, uno químico o, como es el caso más general, una combinación de

ambos. Ejemplo de sistemas de drenaje urbano sostenible en los que tiene lugar este proceso serían los pavimentos porosos y cunetas verdes.

Sedimentación:

La sedimentación es el proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo del río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin. Los materiales sólidos en suspensión transportados en la escorrentía sedimentan al disminuir la velocidad del agua cuando entra en los sistemas de drenaje sostenible. En los sistemas de drenaje convencionales existen altas velocidades de circulación del agua, por lo que los contaminantes en suspensión son arrastrados hasta los cauces o costas donde vierten. También puede ocurrir que las aguas de escorrentía urbanas sean dirigidas hacia una estación de tratamiento, en ese caso los sólidos arrastrados aumentan la carga a tratar, acrecentando los costes del proceso.

La sedimentación es uno de los mecanismos de descontaminación fundamentales de los SDUS. Como gran parte de los contaminantes están ligados a fracciones de sedimento, eliminación de éste repercute en una reducción de los contaminantes asociados. Ejemplos de técnicas donde se produce este proceso son las cunetas verdes y los depósitos de detención.

Filtración/Biofiltración:

La filtración puede referirse tanto a la física de tamizado de aguas pluviales (ya que pasa a través de un medio poroso, como el asfalto poroso), como a la biológica o biofiltración del agua a su paso por la vegetación. El primer proceso atrapa directamente a las partículas contaminantes, aumentando las posibilidades de sedimentación mediante la reducción de la tasa de flujo. La eficacia del proceso de tamizado depende del tamaño de los poros del material seleccionado o sustrato, puesto que cuanto menor sea el tamaño de los poros, mayor será el grado de retención de partículas, pero también mayor la susceptibilidad a la obstrucción o colapso del medio.

La eficiencia de la biofiltración dependerá de la densidad de la vegetación, la reducción de la velocidad del flujo se incrementa con el aumento en la densidad de la vegetación.

Sin embargo, a velocidades de flujo superior a 2 m/s, el potencial de filtración disminuye sustancialmente. Este proceso se da, entre otras técnicas, en los pavimentos permeables y en las zanjas de filtración.

Biodegradación:

Los microorganismos (tanto las aeróbicas anaeróbicas como los hongos), están implicados en muchos procesos de remoción de contaminantes importantes, como son la descomposición de materia orgánica, la nitrificación, la desnitrificación, la precipitación y la sustracción de metales.

La presencia de ambas condiciones, aeróbicas y anaeróbicas, en los SDUS aumenta el potencial para el establecimiento de diversas clases de asociaciones microbianas, que aumentan la eficacia de la eliminación de los contaminantes. La degradación microbiana puede ser cuantificado mediante las tasas de biodegradación (expresada como vida media) o más general, se considera a través de señalar la presencia o ausencia de zonas aerobias y anaerobias en un SDUS. Uno de los sistemas de drenaje sostenible donde aparece este proceso es en los humedales artificiales.

Volatilización:

Todos los sólidos y líquidos producen vapores a través de un proceso conocido como la volatilización. La cantidad de una sustancia que puede ser volatilizada depende de su presión de vapor (a presiones de vapor altas, mayor potencial para ser volatilizada). Esto también se ve influenciado por las condiciones locales de temperatura y viento.

La volatilización tiende a ser un proceso más importante en la eliminación de sustancias orgánicas que de inorgánicas. La volatilidad de una sustancia puede ser cuantificada mediante el uso de la ley de Henry. Y para que se produzca se necesita de un contacto entre la partícula y aire. Por tanto sólo se producirá en aquellos sistemas en los que la lámina de agua se mantenga en contacto con la atmósfera.

Precipitación:

La formación de precipitados insolubles seguido de su deposición es un importante mecanismo de remoción de contaminantes, tanto directamente a través del proceso de precipitación en sí, como indirectamente a través de una previa adsorción de los componentes solubles y posterior deposición fuera ya de la columna de agua. La precipitación varía con factores tales como el pH, la dureza del agua y la presencia de iones de la competencia. En ocasiones da lugar a la formación de complejos orgánicos y quelatos con metales pesados. Este proceso se da, por ejemplo, en los depósitos de detención.

Fotólisis:

La fotólisis implica una reacción química iniciada por la exposición de una sustancia a la luz y por lo tanto es un proceso más importante en la degradación de los contaminantes atmosféricos que los que se encuentran en el agua. Sin embargo, la fotólisis puede ser significativa en la eliminación de contaminantes localizados en las capas superficiales de una masa de agua, como ocurre en humedales y estanques.

Retención vegetal/Bioacumulación:

La cantidad de una sustancia química que está potencialmente disponible para la interacción biológica es la fracción biodisponible. El proceso de la incorporación de esta fracción biodisponible a los seres vivos es el denominado como bioacumulación.

Las plantas son capaces de bioacumular una serie de compuestos tales como metales pesados y otros contaminantes, además de requerir otras sustancias, conocidas como nutrientes (responsables de la eutrofización) que contienen nitrógeno y fósforo para su crecimiento. El tiempo de contacto entre la vegetación y el contaminante es un factor importante, cuanto mayor es, más son las sustancias bioacumuladas. Las raíces y los rizomas son las principales áreas de almacenamiento en plantas y en menor cantidad, las hojas. Para que la captación de contaminantes tenga lugar, las plantas deben estar en crecimiento activo. Este proceso se da en todas aquellas técnicas que implican una presencia de plantas, como las áreas de biorretención, las cunetas verdes, los humedales artificiales, etc.

CLASE DE SUDS	Principales procesos de eliminación	Tipos de contaminantes eliminados y sus eficiencias de eliminación					Comentarios sobre la aplicación de este tipo de SUDS
		Parámetros básicos de la calidad del agua	Metales	PAHs	Herbicidas	Misceláneos orgánicos	
Franjas Filtrantes	Adsorción; precipitación; captación en plantas	DBO/COD; **** TSS; *** Bacterias; ** Nitratos; * Fosfatos;*	Metales totales; **** Metales disueltos; *	Sin datos	Sin datos	Aceites; ***	Se consiguen óptimas tasas de eliminación con longitudes en pendiente de entre 18 a 25 m. La tasa de eliminación de contaminantes está influenciada por la densidad y la altura de hierba
Cunetas verdes	Adsorción; precipitación; filtración; volatilización; captación en plantas	COD; *** TSS; *** Bacterias; * Nitratos; *	Metales totales; *** Metales disueltos; *	Sin datos	Sin datos	Aceites; **	Las partículas con tamaño >25 µm son las mayormente eliminadas; disminución exponencial de la eliminación de contaminantes observados con el aumento de longitud de cuneta
Pozos de Infiltración	Adsorción; precipitación; degradación microbiana; filtración	DBO/DQO; *** TSS; *** Nitratos; *	Metales totales; *** Metales disueltos; **	Sin datos	Sin datos	Aceites; ***	Por lo general, las concentraciones máximas de contaminantes se dan en una capa del suelo de 40 -50 cm por debajo del pozo de infiltración pero existe riesgo de contaminación de las aguas subterráneas cuando los contaminantes sean muy solubles y cuando se alcance condiciones de suelos muy saturados en contaminantes
Zanjas de infiltración	Adsorción; precipitación; degradación microbiana; filtración	DQO; *** DBO; **** TSS; **** Nitratos; *	Metales totales; **** Metales disueltos; **	Sin datos	Sin datos	Aceites; ***	Hay pocos datos de eliminación de contaminantes. La obstrucción del sistema por los aceites de escorrentía contenidos puede ser un problema.

CLASE DE SUDS	Principales procesos de eliminación	Tipos de contaminantes eliminados y sus eficiencias de eliminación					Comentarios sobre la aplicación de este tipo de SUDS
		Parámetros básicos de la calidad del agua	Metales	PAHs	Herbicidas	Misceláneos orgánicos	
Estanques de infiltración	Adsorción; Sedimentación; precipitación; degradación microbiana; filtración; volatilización.	DBO/DQO; *** TSS; **** Nitratos; * Fosfatos; **	Metales totales; *** Metales disueltos; **	Sin datos	Sin datos	Aceites; ***	Los medios permeables utilizados para la infiltración son gravas, gravilla, arenas, limos arenosos o suelos naturales con alta porosidad. La mayoría de los contaminantes son retenidos a una profundidad de 50 cm por debajo de la superficie del estanque; acumulado los dos tóxicos pueden ser retirados.
Drenos filtrantes	Adsorción; degradación microbiana; filtración	DQO; ** TSS; ****	Metales totales; **** Metales disueltos; ***	PAH; ***	Sin datos	Aceites; ***	Las eficiencias de este sistema varían en función de las características de las tormentas y los factores estacionales
Sistemas de lagunaje	Sedimentación	DBO/DQO; *** TSS; ***	Metales totales; **** Metales disueltos; *	PAH; ***	Sin datos	Aceites; ***	Las eficiencias de eliminación de contaminantes conseguidas son relativamente altas.
Estanques de retención	Sedimentación; degradación microbiana; volatilización	BOD/COD; *** TSS; *** Bacterias; *** Nitratos; * Fosfatos; **	Metales totales; ***	PAH; ***	Herbicidas; ***	Aceites; ***	Estanques en los que los tiempos de retención han de ser de al menos 24 horas. Las eficiencias de eliminación a menudo se refieren a la capacidad de almacenamiento de los contaminantes. La acumulación de los mismos puede producir sedimentos altamente contaminados.

CLASE DE SUDS	Principales procesos de eliminación	Tipos de contaminantes eliminados y sus eficiencias de eliminación					Comentarios sobre la aplicación de este tipo de SUDS
		Parámetros básicos de la calidad del agua	Metales	PAHs	Herbicidas	Misceláneos orgánicos	
Estanques de detención	Adsorción; Sedimentación; Volatilización.	DBO/DQO; ** TSS; **	Metales totales; **	Sin datos	Sin datos	Aceites; **	Estos sistemas se diseñan para almacenar agua por un tiempo limitado tras el proceso de precipitación. Durante el pico del flujo se puede dar un re-arrastre de sólidos en suspensión. El uso conjunto de sistemas de tratamiento como separadores de hidrocarburos o cámaras de sedimentación mejora la eficiencia de la eliminación de los contaminantes.
Estanques de detención extendidos	Adsorción; Sedimentación: degradación microbiana; volatilización	DBO; ** TSS;***	Metales totales; ***	Sin datos	Sin datos	Aceites; **	Las aguas pluviales pueden ser retenidas hasta 48 horas mientras que en los estanques de detención normales sólo pueden hacerlo dos horas.
Humedales artificiales	Adsorción; Sedimentación: degradación microbiana; filtración; volatilización; captación en plantas	DBO/DQO; ** TSS; *** Bacteria; **** Fosfatos; **	Metales totales; ***	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Los sistemas de flujo subsuperficial proporcionan una capacidad de almacenamiento limitada, pero tienen un potencial mayor de eliminación de contaminantes.

CLASE DE SUDS	Principales procesos de eliminación	Tipos de contaminantes eliminados y sus eficiencias de eliminación					Comentarios sobre la aplicación de este tipo de SUDS
		Parámetros básicos de la calidad del agua	Metales	PAHs	Herbicidas	Misceláneos orgánicos	
Pavimento Poroso	Adsorción; Degradación microbiana; Filtración.	TSS; *** Nitratos; **	Metales totales; ***	Sin datos	Sin datos	Aceites; ***	Las instalaciones con estructuras de depósito son normalmente capaces de reducciones del 50% en los volúmenes de escurrimiento (puede ser tan alta como 95%); ofrece potencial para la degradación microbiana cuando hay nutrientes suficientes.
Asfalto poroso	Filtración.	DBO/DQO; ** TSS;***	Metales totales; ***	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Pueden funcionar durante 10 años sin mantenimiento, aunque están sujetos a posibles obstrucciones. La regeneración de la superficie se puede lograr por chorros de aire o agua a alta presión y / o por aspiración.

Tabla 32. Tipos de contaminantes eliminados y sus eficiencias de eliminación según SUDS .Fuente: Daywater (2005).

* Bajo potencial de eliminación de contaminantes (inferior al 25%)

** Medio-bajo potencial de eliminación de contaminantes (entre el 25% y el 50%)

*** Medio-alto potencial de eliminación de contaminantes (entre el 50% y el 75%)

**** Alto potencial de eliminación de contaminantes (entre el 75% y el 100%)

4. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Postura epistémica

Uno de los modelos será el **Realista-Positivista** empleado para describir y dimensionar los aspectos de la realidad posibles de medir o cuantificar, en principio es describir el contexto físico-natural-social, mediante un análisis espacial que incluye características topográficas del sitio, áreas de captación, tipo de suelo y características geológicas que puedan ser de importancia para hacer evidentes las problemáticas y oportunidades de mejora. Otro aspecto contextual son las acciones de gestión, la infraestructura e inversiones que ya están operando y las que se tienen en proyecto. Además otros aspectos como el área viable y disponible, cantidad de usuarios beneficiados, generación de criterios de sustentabilidad con sus correspondientes indicadores que hagan visible el cumplimiento de estos de manera cuantitativa.

También se recurrirá al modelo **Interpretativo-Constructivista** analizar los discursos locales y regionales en temas del agua que le corresponden a la investigación, mediante la revisión de bibliografía, noticias, sitios de internet y entrevistas realizadas a expertos se intentara ubicar la información obtenida, compararla con la normativa y aspectos legales en los sectores de organizaciones no gubernamentales, instituciones académicas y organismos encargados de la gestión para explicar desde un enfoque cualitativo la manera en que los distintos agentes interactúan debido a sus percepciones e intereses, además de realizar una comparativa entre discurso y realidad para entender como estos influyen en el objetivo de lograr una gestión sustentable de las aguas pluviales. Desde una expresión cualitativa se enlistaran estos factores para generar una guía que represente un orden temporal y de actuaciones para analizar los principales aspectos sociales relacionados con la gestión de las aguas pluviales y realizar una recopilación de experiencias en ese sentido.

4.2 Metodologías similares de proyectos similares

En este apartado se presentarán, de manera general, tres metodologías que aplican para la implementación de SUDS, las cuales son replicables para distintos tipos de proyectos de urbanización. Una de estas metodologías se extraerá del Manual de SUDS de CIRIA (2007) en su apartado de casos de estudio para elaborar los proyectos pluviales con el uso de SUDS, se eligió este manual por ser uno de los más prácticos en su proceso, desde el proyecto conceptual hasta los detalles finales del proyecto. Otra de las metodologías también de la institución CIRIA, se presentará mediante la traducción y adaptación de una serie de diagramas, para visualizar manera gráfica el proceso, lo cual complementará lo identificado en los estudio de caso del manual. Y por último la tercer metodología proviene del Manual para el Manejo de Aguas Pluviales para Australia Occidental: Controles estructurales, (Department of Water and Swan River Trust, 2007), la cual también consiste en un diagrama de flujo, que muestra el proceso desde la política, planeación, diseño, selección de las medidas, consulta con la comunidad y las autoridades hasta que se aprueba el plan de manejo.

A continuación se presentan las metodologías investigadas:

Metodología de Manual de SUDS (CIRIA, 2007)

Se indicarán las variables con las siglas o nomenclatura que se les da en su país de procedencia y se pondrá una traducción, unidad y si hay una variable homologa o idéntica en México (ya sea en el cálculo o en la forma de expresarla).

1. Determinar las características hidrológicas de la zona

- SAAR= Precipitación media anual
- SOIL Factor= Factor de suelo
- Precipitación M5-60 (Tr=5, Duración de la tormenta=60min)
- R= Proporción de lluvia (variable que representa el cociente entre la precipitación de 60 minutos a la de dos días, de periodo de retorno de 5 años el valor puede ser entre 0.2 y 0.4) (variable no utilizada en México)
- Región hidrológica

2. Definir detalles del sitio

- Tabla con datos de superficies de aportación, vialidades, vivienda, espacios abiertos
- Porcentaje de impermeabilización de cada área
- Área en hectáreas impermeabilizada

3. Plano que muestra las siguientes características

- Usos de suelo: desarrollos, vialidades, espacios abiertos, arroyo
- Curvas de nivel a cada 5 m
- Área indicada con mayor permeabilidad
- Área de inundación de Tr=200 años

4. Discusiones con actores clave para lograr acuerdos

4.1 Planeación y acuerdo de los criterios de diseño

4.2 Se revisa con los actores las características de los SUDS para entender claramente las oportunidades y restricciones de medida o sistema probable de ser utilizado.

Con esto se trabajaron y definieron los criterios:

- a) Hidráulicos
- b) Calidad del agua
- c) Amenidad
- d) Ecología

5. Selección de SUDS, desarrollo de una tabla con las características del sitio y sus restricciones/oportunidades correspondientes

Características destacadas:

- | | |
|---|----------------------------------|
| a) Tipo de desarrollo | f) Propiedad/mantenimiento |
| b) Suelos | g) Aceptabilidad de la comunidad |
| c) Aguas subterráneas | h) Costo |
| d) Espacio disponible | i) Seguridad pública |
| e) Características topográficas del sitio | j) Biodiversidad |

6. Esquema conceptual de las propuestas en plano

7. Diseño inicial de los sistemas

7.1 Protección de cuencas de los gastos y volúmenes de escurrimiento

- Análisis de gasto en breña (formula especializada)

$$Q_{bar} = 0.00108 AREA^{0.89} \cdot SAAR^{1.17} \cdot SOIL^{2.17}$$

- Obtener los gastos de 1,10 y 100 Tr
- Se le aplica un factor de curva a cada gasto (está en función de la región hidrológica en la que se encuentre)
Aplica solo para UK.

Ejemplo:

1 año	0.85
10 años	1.42
100 años	2.63

- Determinación de volúmenes de atenuación para estanques de detención y lago de retención

Para Tr= 10 años.

Para Tr= 100 años

- Se distribuye proporcionalmente el volumen de atenuación de cada estanque de detención según sus áreas impermeable de aportación
- Se obtiene el volumen del lago, restándole al volumen total de los 100 años el volumen regulado por los estanques ya que trabajaran en serie
- Volumen de almacenamiento de largo plazo

Este se obtiene como la diferencia entre el Gasto urbano y Gasto en breña

Fórmula Vol_{xs}

- Dimensionamiento de pozos de absorción

NOTA: se utiliza un factor de seguridad de 5 al coeficiente de permeabilidad obtenido en las pruebas

Metodología de CIRIA RP992. Planeación de SUDS y Proceso de Diseño.

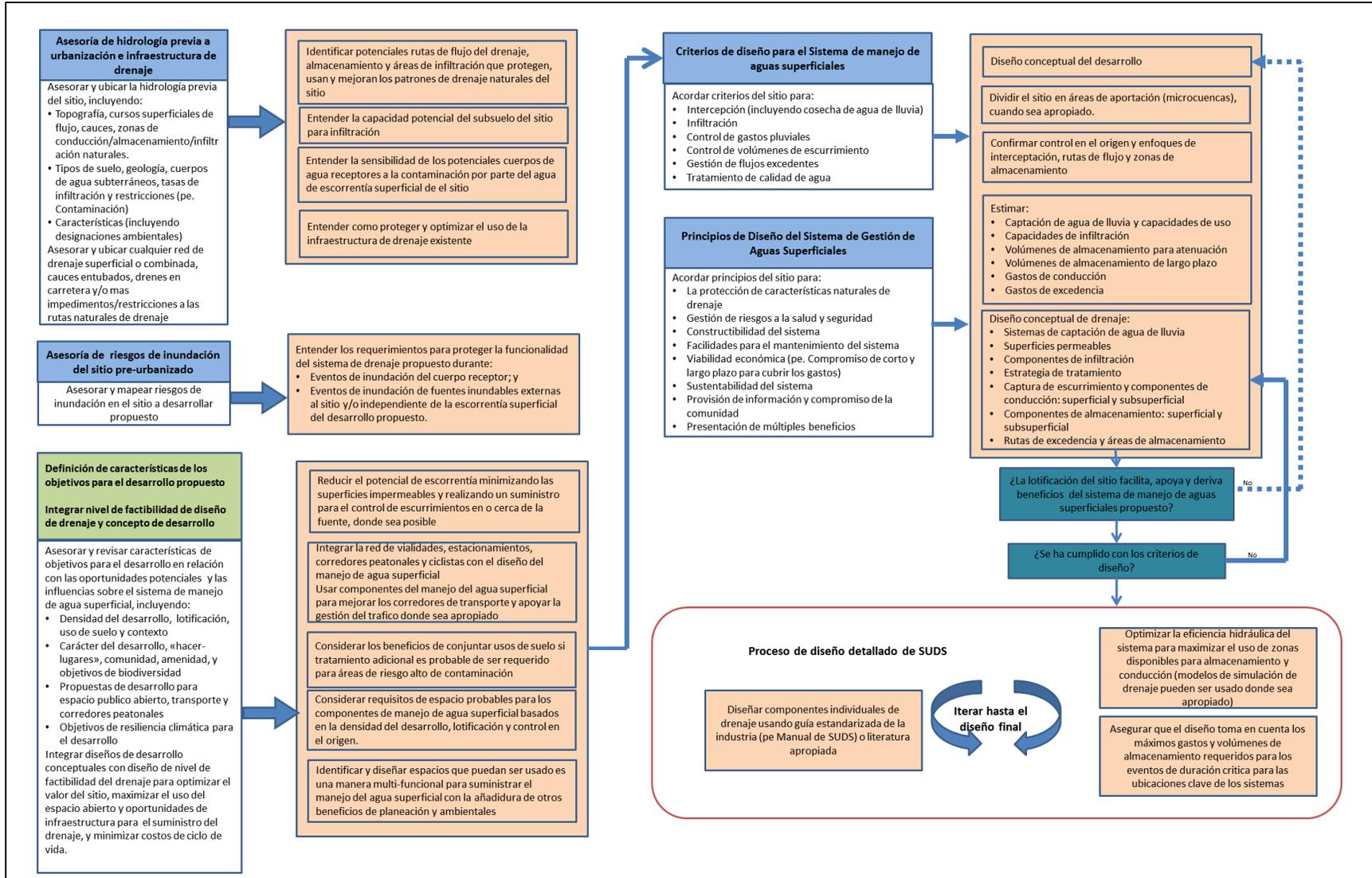


Figura 34. Mapa de proceso para el Diseño del Manejo de Aguas Superficiales. Fuente: CIRIA (2007)

Metodología de Manual para el Manejo de Aguas Pluviales para Australia Occidental: Controles estructurales,
 (Department of Water and Swan River Trust, 2007)

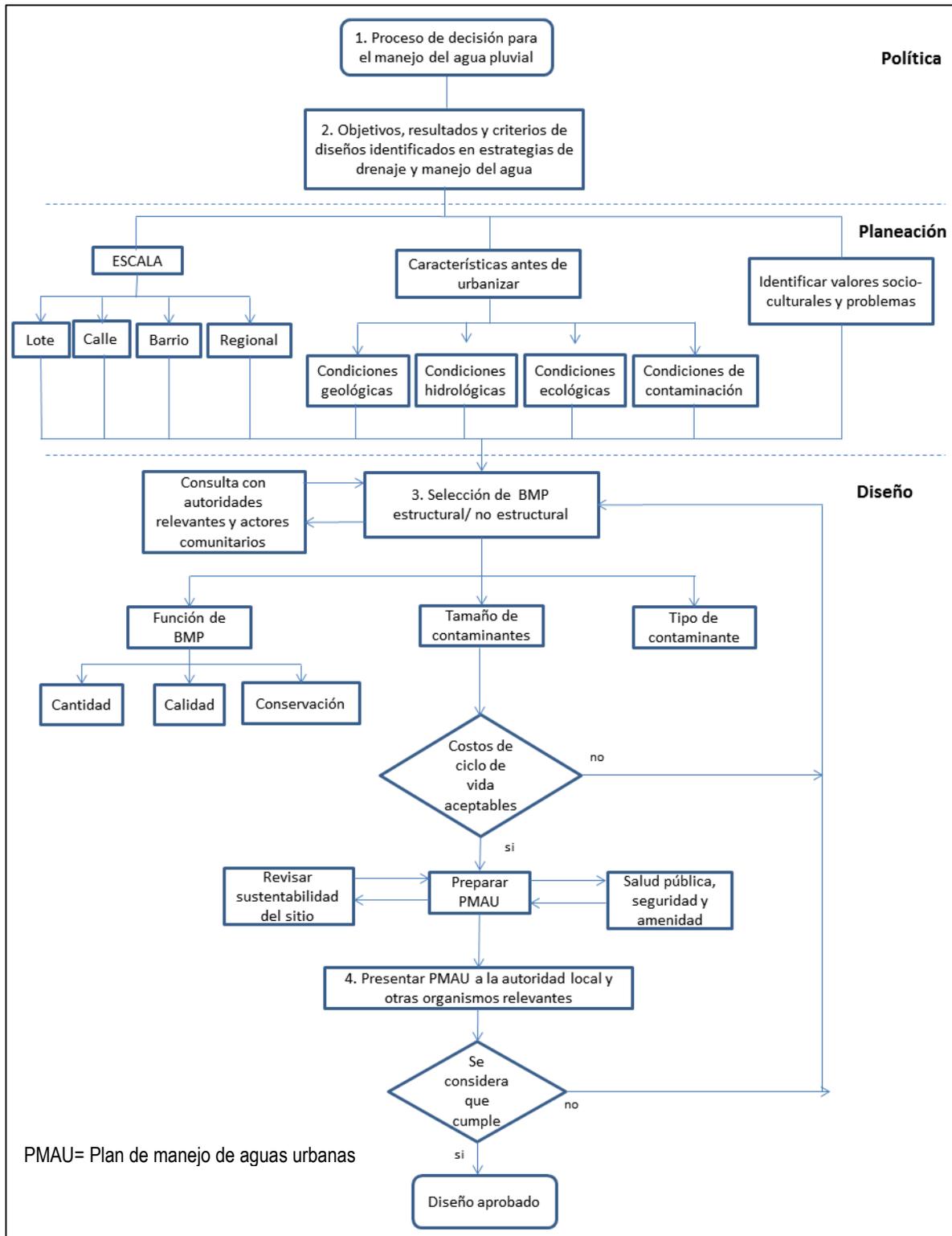


Figura 35. Diagrama de flujo de selección de BMPs. Adaptado y traducido de Department of Water and Swan River Trust, (2007)

8.3 Elección Metodológica

1.- Ubicación de zonas urbanizadas inundables en el municipio de Tlajomulco. Investigación documental (Atlas de Riesgos, POET, etc) y periodística para realizar un mapeo en ArcGis, Google Earth y planos de AutoCAD. **Diagnostico preliminar de problemática.**

2.- Realizar un análisis descriptivo de la hidrología del contexto local con mapeo SIG de cuencas, subcuencas y microcuencas correspondientes en la aportación de caudales. Describir las cuencas y presentarlos con sus respectivas áreas urbanizadas. Fuentes de información:

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía): Conjunto de datos Vectoriales y Toponímicos, Carta Topográfica escala 1:50,000 y 1:250,000, Carta Urbana, Carta Topográfica.
- IITEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco) y Atlas de Caminos y Carreteras de Jalisco 2006.

3.- Identificación de infraestructura del sitio (líneas de drenaje sanitario, pluvial, bocas de tormenta, estructuras de retención-detención, presas, pozos de infiltración, etc.): Extraer microcuencas urbanas (en función de planos topográficos de rasantes de vialidades). En Planos de AutoCAD se realizan divisiones para determinar las áreas tributarias de las cuencas urbanas, y como se relacionan con la infraestructura de drenaje existente (bocas de tormenta, líneas de drenaje, vasos de retención, presas, etc.). En este apartado se deberá realizar una elección de una serie de subcuencas, de 2 a 5 donde se puedan utilizar estrategias SUDS y que posean características distintas en el formato urbanístico según el nivel socio-económico para comparar y contrastar las dificultades que se puedan presentar en ambos casos para aplicar las estrategias mencionadas.

4.- Realizar un estudio Meteorológico y obtener o hacer curvas I-D-Tr (Intensidad – Duración – Periodo de Retorno):

- De Manual de CEA
- Estaciones Meteorológicas: SMN (Servicio Meteorológico Nacional). Se realiza el método de las isoyetas.

5.- Generar un modelo lluvia-escorrentamiento para determinar los gastos pluviales mediante el Método Racional

6.- Realización de **entrevistas** a expertos en el Tema: Dr. Arturo Gleason, Ing. Carlos Aguirre, Director de IHS, encargados de PROMIAP, Director de SIAT (Sistema de Agua de Tlajomulco), entre otros.

7.- Realizar Propuesta:

- Ubicación de bocas de tormenta, línea de drenaje, bombeo de vialidad, equipamiento en lotes, calles y áreas verdes.
- Determinar que infraestructura sustentable podría mejorar la gestión: vasos de retención, pozos de infiltración, estrategias SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible).

8.- Realizar cálculos de escorrentamiento previamente explicados, creando diferentes escenarios con combinaciones diferentes de estrategias de control. Utilizar software xpdrainage para evaluar el comportamiento hidrológico e hidráulico de la propuesta sustentable.

9.- Análisis de la información en conjunto, técnico - normativa, económica y social.

10.- Conclusiones.

4.3 Selección de técnicas y diseño de instrumentos

Las herramientas que se pretenden utilizar para apoyar la investigación se mencionaran a continuación en un listado, se explicara brevemente el motivo de su uso y luego se detallara su estructura y diseño:

- **Entrevista:** El motivo es conocer el punto de vista de distintos expertos en el tema, cuales son las prioridades según su opinión en cuanto a la pertinencia y efectividad de los proyectos del PROMIAP de la ZMG, de esta manera también entenderé si hay una visión compartida de objetivos de diferentes profesionales preocupados por el tema de la sustentabilidad hídrica, si no es así será necesario realizar una evaluación de las causas. La estructura principal de la entrevista utilizara el mismo diseño para todos los entrevistados, solo con pequeñas modificaciones dependiendo de cómo avanza la dinámica de la entrevista y las preguntas filtro básicas en función de la experiencia y perfil del entrevistado. Y otra entrevista fuera del formato para expertos de la región es para una experta en SUDS de España, quien contestó la entrevista por medio de correo electrónico.
- **Análisis Estadístico** Se analizará información de la estación climatológica 14294 (Tlajomulco) de CONAGUA, con el fin de generar curvas I-D-Tr y Hp-D-Tr. Esto se complementará con investigación del Manual Técnico de la CEA para proyectos de alcantarillado pluvial.
- **Encuesta:** Este instrumento es aplicado a 4 personas, por lo que no corresponde tanto al modelo normal de una encuesta donde se busca cubrir una muestra mínima calculada a través de fórmulas estadísticas. En este caso el propósito fue establecer una serie de preguntas con opción múltiple y un espacio para respuesta libre sobre la opinión o perspectiva de cada persona encuestada sobre los criterios que se deben abordar en un proyecto pluvial si se pretende que sea sustentable. Las personas encuestadas pertenecen a distintos sectores en el medio de la región relacionados directamente con el tema de las aguas pluviales, estos sectores o área de práctica profesional son: proyectista, consultor, institucional y constructor. Como se mencionó todos los encuestados conocen del tema y el objetivo fue obtener información cualitativa con respecto a la naturaleza de la percepción de cada uno y de alguna manera poder contrastar las diferentes opiniones según el sector del que provengan para extraer análisis y conclusiones útiles.

4.4 Resumen de puntos relevantes mencionados en entrevistas

A continuación se verán 5 tablas en la que los diferentes expertos en el manejo de aguas pluviales nos hablan de diferentes sobre diferentes temáticas relacionadas con esto. Se juntaron los autores y temas que discutían el mismo tema o muy parecido para contrastar y analizar de esta manera más fácilmente el desarrollo y las posibles conclusiones que se pueden obtener de esto. Se realizaron varias tablas debido a que no se les pregunto lo mismo a todos los entrevistados, por lo tanto no se abordaron las mismas temáticas. En el caso de la entrevista a la Mtra. Ana Abellán, procedente de España, y experta en diseño de SUDS, se realizó mediante correo electrónico y se habló específicamente de los SUDS y la experiencia en España sobre estos, por lo que se hará una tabla independiente para la entrevista de ella.

Estas son todas las temáticas principales de las entrevistas:

- ZMG y su problemática en el manejo de las aguas pluviales
- PROMIAP: alcances y oportunidades
- Gobernanza y planeación
- Papel de SIAPA y SIAT
- Uso de SUDS: viabilidad y conocimiento sobre estos sistemas
- Sustentabilidad
- Impacto Hidrológico Cero
- Infraestructura pluvial municipal
- Vialidad técnica, económica y social de la implantación de SUDS
- Retos en la implementación de SUDS
- Experiencias en España en la implementación de SUDS

Personas entrevistadas:

- Ing. Carlos Aguirre - académico de Iteso especializado en hidráulica y director del despacho de Comuna Ingeniería.
- Ing. David Miguel Zamora Bueno - Director de Obras Públicas de Tlajomulco
- Dr. José Gleason Espíndola – académico de CUAAD, experto en temas de manejo del agua en las ciudades.
- Mtra. Ana Abellán – Experta en la implementación de SUDS en España.

El formato de las preguntas se encuentra en los Anexos en el capítulo 8 de este documento.

En la Tabla 33 se observa los puntos relevantes del Ing. Carlos Aguirre y el Dr. José Gleason en 5 temas que tuvieron en común sus entrevistas, en cuanto a la problemática que ha venido creciendo en la ZMG, nos dan sus puntos de vista, por parte de Aguirre C. menciona dos enfoques, uno sobre la contaminación y otro sobre el cambio necesario del conocimiento en hidrología para ser aplicado a la escala urbana, ya que normalmente se utilizaba solamente para las grandes cuencas y obras de infraestructura como presas, donde el comportamiento del agua es más lento y controlable, al contrario de una zona urbana donde una inundación o la acumulación de grandes volúmenes en un punto sucede en cuestión de pocos minutos, por lo tanto estudiar y desarrollar la hidrología en la escala urbana es de gran necesidad. En cuanto a la contaminación del agua lo atribuye a dos puntos, uno es la adopción generalizada del drenaje combinado y otra a la falta de sensibilidad, poco conocimiento o supuestos no basados en información científica del contexto. Lo que menciona Gleason J. se basa en la necesidad de que haya una planeación urbana e inversión en mejorar la instrumentación de medición para contar con información exacta y en tiempo real sobre los elementos del ciclo hidrológico urbano. En este caso solo se realizan balances hídricos cada año los cuales suponen mucha información, especialmente sobre la extracción de acuíferos y la infiltración. Además se realizan mediciones de precipitación diaria en estaciones viejas, obsoletas y con operación pobre.

Tema	Puntos clave mencionados en entrevista	
	Aguirre C.	Gleason J.
<i>ZMG y su problemática</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Poca sensibilidad sobre la contaminación que se generaba, fuera grande o pequeña, se pensaba que grandes volúmenes de agua de lluvia diluían la contaminación • Eficiencia, ahorro y conveniencia promovió la adopción general del drenaje combinado • Pensamiento enfocado a la defensa ante el agua de lluvia basado en la ingeniería de ríos que tenía objetivos diferentes a los necesarios para la hidrología e hidráulica urbana • Hay una necesidad de voltear la atención en una hidrología urbana 	<ul style="list-style-type: none"> • Causas: Nula planeación urbana, eliminación de la infiltración de agua por incremento de mancha urbana impermeable debido a la urbanización. • Es necesario una gran inversión en instrumentación para medir todos los componentes del ciclo hidrológico en la ciudad, lo que no se realiza en absoluto, para poder definir con mayor claridad las obras a realizar.
<i>PROMIAP</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Interés de SIOP y CEA de manejar un criterio más integral del agua de lluvia. • Estructuras de regulación de grandes tanques en los países de primer mundo como solución en áreas muy urbanizadas. • Preocupación por contaminación difusa y el mal manejo del drenaje combinado a la hora de almacenar en estructuras de regulación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Este programa no incluye estrategias de aumentar áreas verdes y protección de las ya existentes. • No propone estrategias para aumentar la infiltración de las aguas pluviales. • Tiene un enfoque ingenieril sesgado de los trabajos sociales necesarios en cualquier proyecto. • Es más de lo mismo en cuestiones de colectores y regulación en vasos. • Fue creado por un grupo de consultores apegados a la línea gubernamental.
<i>Influencia y trabajo de SIAPA</i>	<ul style="list-style-type: none"> • El SIAPA está prácticamente quebrado • No tiene capacidad operativa para monitorear los sistemas que se construyan para regular aguas pluviales 	<ul style="list-style-type: none"> • El SIAPA necesita generar capacitación a empleados para elevar su perfil y conciencia de la problemática. • No tiene capacidad operativa para monitorear los sistemas que se construyan para regular aguas pluviales • Debería impulsar más trabajo de educación a la población.
<i>SUDS y el Impacto Hidrológico Cero</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Encontrar soluciones ejemplares con contextos similares al nuestro • Necesidad de adaptar soluciones que si bien pueden funcionar en otros países, aquí requieren más estudio. • Creación de metodologías para estimación de gastos adecuados • Necesidad de justificar la zona a la cual se le harán las propuestas como punto principal y enfocar la relación con la ciudadanía 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesario realizar ajustes al Impacto Cero porque es parte de una política muy pobre en el tema de regulación porque incluye de manera corta la infiltración y no pide monitoreo de infraestructura. • Los SUDS deben ser experimentados en la zona de manera práctica, dice no ubicar este tipo de acciones en la zona, por lo que es un área fértil de innovación
<i>Sustentabilidad y la Gestión Integral del agua</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Nexo entre agua pluvial y energía eléctrica, es otro tema de suma importancia en la sustentabilidad • Aprovechamiento de agua de lluvia para potabilización • Han existido buenas ideas en la ciudad en beneficio de la sustentabilidad pero se descuidan por intereses económicos o falta de sensibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • La sustentabilidad es la preservación de la vida actual y futura, un tema olvidado de las políticas públicas de la región. • La gestión integral del Agua representa un concepto en evolución que busca articular todos los proyectos en relación con el agua en sus dimensiones sociales, ambientales y económicas para realizar proyectos con múltiples beneficios.

Tabla 33. Matriz de resumen de puntos relevantes abordados en diferentes temáticas por dos expertos entrevistados.

Siguiendo con los resultados mostrados en la Tabla 33, en cuanto al PROMIAP se Aguirre C. habla que este se crea, entre otras razones, a partir de un interés creciente de CEA y SIOP por llevar a cabo un manejo más integral del agua y porque se tratan de copiar estrategias de infraestructura aplicadas en otros países donde han construido grandes estructuras de regulación para dar cabida a los volúmenes de agua de lluvia en áreas muy urbanizadas, sin embargo manifiesta preocupación o duda sobre el manejo que le vayan a dar al tema de la contaminación posible de las estructuras por un manejo inadecuado de drenajes combinados.

Gleason J. es más crítico sobre el desarrollo del PROMIAP, en cuanto a que no integra estrategias para conservar y aumentar áreas verdes o para incrementar la infiltración del agua pluvial. Comenta que es un programa de obras más, con un enfoque ingenieril sin buscar objetivos o estrategias ambientales y sociales. En este punto creo que es correcto lo que menciona Gleason J. y para agregar tal vez una de las posibles soluciones a lo que menciona es que no se involucran o integran otras dependencias que puedan tener voz y voto para modificar los proyectos, lo cual le dé mayor amplitud de criterios y conocimientos necesarios para que sean propuestas integrales. Por ejemplo podría integrarse a dependencias de ecología y medio ambiente, y de desarrollo social, así como solicitar asesoría internacional si es posible en lugares donde se ha aplicado algo similar.

Las menciones de ambos entrevistados sobre el trabajo del SIAPA son prácticamente sobre la falta de capacidad operativa, económica y técnica en la que se encuentra el organismo actualmente.

En el tema de SUDS, Aguirre C. mencionó que para lograr su implementación y adaptación en la región es necesario investigar casos similares, crear metodologías especiales para el cálculo de gastos y justificar bien el lugar en el que se buscan implementar. Este punto coincide con lo que se vio en la entrevista con la experta en SUDS, en cuanto a la necesidad de crear metodologías de cálculo de gastos adecuada a los SUDS. Gleason solo menciona que es necesario realizar investigación mediante experimentación práctica para impulsar su conocimiento e implementación.

En cuanto al Impacto Hidrológico Cero, Gleason hace un crítica de este como una política muy pobre en cuanto a regulación, ya que no desarrolla mucho el tema de la infiltración y no obliga ni propone el monitoreo de las estructuras.

En la Tabla 34 se observan los puntos relevantes en cuanto a la infraestructura y acciones realizadas en el municipio de Tlajomulco.

Como parte del Programa de Protección de a centros de Población se han realizado y se tienen en proyecto varias obras y acciones, como la construcción de presas de gavión en la zona alta de la cuenca, en el bosque de la Primavera, el desazolve de canales, arroyos y presas, presas de seguridad o rompepicos, etc. Además se trabaja en conjunto con Protección Civil y la aplicación del Impacto Hidrológico Cero es obligatorio bajo el Código Urbano. Gleason menciona que la zona es problemática y compleja por su gran extensión y por ser un valle y que no se ha realizado un buen trabajo de planeación para evitar riesgos a la población y para controlar la contaminación.

En la Tabla 35 se observa el desarrollo de la temática en Gobernanza y planeación, donde se contrastan los comentarios de tres entrevistados. Aguirre C. comento especialmente los detalles y fallas en la Ley de Aguas en relación con el manejo de aguas pluviales urbanas, menciona que no existe un reglamento definido y que es muy amplia y subjetiva, lo que coincide con lo que mencionó Gleason J. en la Tabla 33 en cuanto a que el Impacto Cero es una política muy pobre. Y vuelven a coincidir los comentarios de ambos en cuanto a que no se definen lineamientos de monitoreo y mantenimiento de las estructuras de regulación. Y que en dado caso si la responsabilidad fuera de SIAPA o SIAT, estos no tienen la capacidad operativa necesaria.

Tema	Puntos clave mencionados en entrevista	
	Zamora D.	Gleason J.
<i>Infraestructura y acciones del municipio</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Existen estructuras de presas de gaviones construidas en la parte alta de la cuenca, en la primavera para regular gastos de manera sencilla y económica. • Se han ampliado y desazolvado canales y cauces para aumentar su eficiencia hidráulica. • La vegetación en cauces ayuda a disminuir velocidad de flujos • Trabajo continuo de 24 horas del Protección Civil en conjunto con obras públicas para trabajar bajo el Programa de Protección a Centro de Población. • Se realizan operaciones cada año de desazolve de presas y cauces. • Está proyectada la construcción de una presa de seguridad que funcionará en caso de niveles altos en Canal de las Pintas. • Uso del impacto Hidrológico Cero como obligación bajo el Código Urbano. 	<ul style="list-style-type: none"> • La cuenca del Ahogado es un desastre y es complejo su manejo por tener una extensión enorme, siendo la mayor parte de su área zona valle. • Altos niveles de contaminación del agua en esta zona.

Tabla 34. Resumen de entrevistas (1 de 2)

Tema	Puntos clave mencionados en entrevista		
	Aguirre C.	Gleason.	Abellán A.
<i>Gobernanza y planeación</i>	<ul style="list-style-type: none"> • No existe un reglamento anexo a la Ley Estatal de Aguas • La Ley es muy subjetiva y amplia sobre como regular las agua pluviales • Falta de enfoque municipal a políticas federales o estatales • Detalles en ley acercados a la realidad de la situación • No se detalla bien en la Ley el tema del mantenimiento y operación de regulaciones, aunque en el manual diga que depende de la ubicación, si le toca al SIAPA este no tiene capacidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Nula planeación urbana, incremento desmedido de la mancha urbana impermeable debido a la urbanización. • Poca conciencia de las autoridades e instituciones como CNA, CEA y SIAPA sobre la problemática. • Es necesario una gran inversión en instrumentación para medir todos los componentes del ciclo hidrológico en la ciudad, lo que no se realiza en absoluto, para poder definir con mayor claridad las obras a realizar. 	<ul style="list-style-type: none"> • No hay documentación respecto a la aplicación de estrategias no estructurales, pero si se hacen acciones como limpieza regular de calles, de bocas de tormenta, retiro de residuos procedentes de la jardinería, varias actividades relacionadas con el mantenimiento viario • El ayuntamiento de Barcelona en colaboración con empresas privadas ha realizado jornadas informativas sobre aprovechamiento de agua de lluvia. • Indica que los pasos iniciales para la rápida implementación de los SUDS es la concienciación y educación sobre drenaje sustentable a los técnicos de la administración local

Tabla 35. Resumen de entrevistas (2 de 2).

Continuando con el tema de la Tabla 4-3 se repite lo que mencionó Gleason J. en cuanto a la poca planeación, poca conciencia de responsables y la necesidad de impulsar inversiones en instrumentación de medición de todos los elementos del ciclo hidrológico urbano. Aquí se incluyó lo mencionado en la entrevista a Abellán A., ella habla a que no hay legislación específica en cuanto a la aplicación de estrategias no estructurales en España como parte de algo relacionado con las aguas pluviales y viene más de otras iniciativas como limpieza de calles y mantenimiento urbano en general. Habló de que el Ayuntamiento de Barcelona ha impulsado información sobre captación del agua de lluvia, algo que en la región nunca se ha hecho de manera amplia. Luego menciona que lo más importante para iniciar con un manejo más sustentable del agua pluvial es la concientización y educación a los técnicos del agua de la región.

Por último la Tabla 36 es solamente sobre la entrevista a la Mtra. Ana Abellán, quien es una experta en SUDS y realizó la tesis "Sistemas de drenaje urbano sostenible: aplicación práctica a un tramo de la diagonal de Barcelona" en 2013 como parte del Master en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia.

Se dividieron los temas discutidos en la entrevista en 4 partes, los retos técnicos de los SUDS, retos socio-económicos y de planeación de SUDS, experiencia en España en la implementación de SUDS y por último las sugerencias y recomendaciones generales para nuestra región.

En cuanto a los retos técnicos es importante mencionar sugiere a los manuales internacionales como guía suficiente para lograr la implementación en cualquier lugar sin descuidar las características particulares de cada lugar, en este documento en la guía que más se basó fue en la de CIRIA y es la misma que ella recomienda, en especial por su sencillez y uso del sistema métrico.

En cuanto a la comparación económica de proyectos dice que es un tema complejo y recomienda investigar a fondo las publicaciones de la EPA en este tema. Y luego sugiere desarrollar bien los esquemas de adopción de los sistemas, o esquema de responsabilidad en función de la ubicación de estos para garantizar un mantenimiento y funcionamiento correcto en el largo plazo, pero para eso sugiere primero educar bien la educación.

La experiencia de España en la implementación de SUDS ha girado principalmente en el desarrollo de los sistemas de superficies permeables y los depósitos de detención e infiltración, en comparativa con la región lo que más se ha buscado implementar son las estructuras de regulación, por lo que ambos países se quedan cortos en la investigación de las técnicas naturalizadas, como las cunetas verdes, zanjas de infiltración, biorretenciones, techos verdes, etc, las cuales ofrecen mucho potencial y la mayoría más sencillas y con menores requerimientos energéticos para su construcción.

Entrevista a Mtra. Ana Abellán – Experta en la implementación de SUDS en España.

Tema	Puntos clave mencionados en entrevista
<i>Retos técnicos en la implementación de SUDS</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Opina que con las guías internacionales actuales de SUDS es suficiente para empezar la adaptación de los sistemas en cualquier lugar, pero siempre teniendo en cuenta las características especiales de cada localización. Menciona que se requiere especial atención en la metodología de cálculo de escorrentía, ya que en cada país es diferente. • Menciona el factor climatológico como importante en el diseño de SUDS, especialmente en las técnicas que hacen uso de vegetación, ya que su selección optima depende de la climatología del lugar. • Los temas más importantes a tener en cuenta menciona es el área drenante o volumen a tratar, el tipo de suelo, riesgo de contaminación de la escorrentía, identificación de masas de agua afectadas por la descarga, que objetivos busca cumplir con la instalación de un sistema pluvial y el presupuesto con el que se cuenta
<i>Retos económicos, sociales y de planeación de SUDS</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Un tema complicado menciona, es el de determinar previamente un porcentaje de ahorro mediante el uso de SUDS en comparación con sistemas convencionales y recomienda el uso de informes de la EPA para ahondar al respecto. • Depende de la ubicación y escala del sistema, quien queda encargado de la operación y mantenimiento, sugiere que la comunidad debe ser educada e involucrada para que apliquen sistemas "in situ" dentro de sus propiedades.
<i>Experiencia en la implementación de SUDS en España</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Las técnicas no se han vuelto obligatorias en las guías locales por lo que su aplicación viene más por necesidad e iniciativas aisladas. La mayor investigación y aplicación se ha dado en el campo de los pavimentos permeables y los depósitos de detención e infiltración por su capacidad de regular grandes caudales que se presentan por las lluvias torrenciales de España • No hay documentación respecto a la aplicación de estrategias no estructurales, pero si se hacen acciones como limpieza regular de calles, de bocas de tormenta, retiro de residuos procedentes de la jardinería, varias actividades relacionadas con el mantenimiento viario • El ayuntamiento de Barcelona en colaboración con empresas privadas ha realizado jornadas informativas sobre aprovechamiento de agua de lluvia. • Menciona un caso ejemplar en Santander, donde la gestión del agua pluvial se ha tenido en cuenta desde las etapas más tempranas del proyecto, es aún un proyecto piloto pero menciona que espera sirva de ejemplo para urbanizaciones futuras • Nos dice que las universidades actualmente son las más interesadas en el desarrollo y experimentación en SUDS, pero urge a la necesidad de trabajo conjunto de la administración pública con empresas privadas para participar en la investigación de mayor numero de técnicas
<i>Sugerencias y recomendaciones para nuestra región</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sugiere los manuales de CIRIA, de Reino Unido por su sencillez y su uso del sistema métrico • Menciona que existen variadas herramientas comparativas de alternativas de proyectos pluviales desarrolladas y enumera algunas disponibles en su blog • Recomienda incorporar el análisis de ciclo de vida en todo los proyectos de drenaje pluvial, principalmente para convencer a los responsables de los beneficios • Indica que los pasos iniciales para la rápida implementación de los SUDS es la concienciación y educación sobre drenaje sustentable a los técnicos de la administración local

Tabla 36. Resumen de entrevista a Mtra. Ana Abellán.

4.4.6 Análisis de las entrevistas realizadas.

En el tema de la ciudad se dejó claro con las entrevistas que el problema de las inundaciones tiene varias causas. La urbanización de la ciudad es algo para lo que la infraestructura hidráulica de drenaje no estaba diseñada ni planeada, además que la base teórica de la ingeniería de ríos basaba sus tiempos de concentración en cuencas en periodos largos mientras que en las cuencas urbanas, que estudia la reciente Hidrología Urbana debe manejar periodos de tiempo cortos, porque hablar de 15 min en una ciudad puede ser la diferencia entre un desastre o la correcta defensa ante este, mientras que en las zonas rurales y naturales en 15 min prácticamente hay muy poco escurrimiento porque las aguas se infiltran, entonces estamos bajo paradigmas en cambio y teoría en evolución. En el tema de la regulación de las aguas pluviales en los desarrollos habitacionales el Ing. Aguirre comenta que la Ley Estatal de Aguas es un avance pero es muy amplia y no cuenta con un reglamento que deje claro cómo y con qué espacios o estudios se debe llevar a cabo un proyecto de regulación de aguas de lluvia, esto deja a la interpretación de los constructores y proyectistas la dinámica que hay que seguir.

En el tema de los SUDS, se comentó que como son técnicas promovidas en países de primer mundo y dentro de contextos diferentes a nuestra región, es necesario llevar a cabo una “tropicalización” o adaptación de estos para poder analizar si son viables, por lo que es un reto pero no imposible, comenta que lo que les funciona a países como Australia, España, Francia y Reino Unido no necesariamente tiene que funcionar aquí en México y que es necesario primero analizar qué zonas con elementos y características similares a la nuestra pueden servir de ejemplo para comenzar a llevar pruebas piloto de estas estrategias.

La entrevista con la experta en SUDS deja en claro la complejidad del tema, y se puede destacar que lo más importante es empezar con la concientización de los encargados y el desarrollo técnico para comenzar lo más pronto posible con su implementación generalizada. Algunas actividades que están muy lejos de ser aplicadas en la región son los Análisis de Ciclo de Vida, la cual es una herramienta básica para comparar y justificar el uso de estos sistemas, por lo que se sugiere conjuntar este análisis en futuras investigaciones con la concientización de los técnicos en organismos operadores.

4.5 Análisis Estadístico de estación climatológica 14294

A partir de los registros diarios de lluvia se extraen los valores máximos anuales, que son los valores a los cuales se les debe ajustar la función de distribución de probabilidad. Los datos provienen de una estación meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional y de la Comisión Nacional del Agua, se eligió la estación 14294 (Tabla 38) por la cercanía al área de estudio y porque cuenta con un registro mayor a 30 años, lo que cumple con el requisito de antigüedad necesaria pero los registros totales usado fueron 25 años porque algunos contaban con información incompleta. Se presentan a continuación dos tablas con el resumen de los resultados. La Tabla 37 muestra el resumen de los datos elegidos y la Tabla 38 muestra la justificación de la elección de cada año, lo cual puede ser que le falten algunos o todos los datos. Algunos años tienen datos faltantes pero no se descartan porque en los meses lluviosos cuentan con la mayor parte de la información que es la que interesa.

DATOS ÚTILES PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO			
AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL	AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL
1974	34.00	1997	40.00
1984	53.00	1998	31.30
1986	36.30	1999	89.00
1987	30.70	2000	40.30
1988	86.00	2001	33.00
1989	32.50	2002	70.00
1990	37.50	2003	64.00
1991	44.00	2004	51.00
1992	78.00	2005	69.00
1993	37.00	2006	31.00
1994	37.00	2007	44.00
1995	78.00	2011	208.30
1996	62.00		

Tabla 37. Precipitaciones máximas diarias anuales en mm. Elaboración propia con datos de SMN y CNA. Elaboración propia.

JUSTIFICACIÓN DE DATOS ESTADÍSTICOS UTILIZADOS			
AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL	ÚTIL	JUSTIFICACIÓN
1973	18.00	NO	DATOS IMPORTANTES O TOTALES FALTANTES
1974	34.00	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
1975	41.50	NO	DATOS IMPORTANTES O TOTALES FALTANTES
1976	0.00	NO	DATOS IMPORTANTES O TOTALES FALTANTES
1977	0.00	NO	DATOS IMPORTANTES O TOTALES FALTANTES
1978	0.00	NO	DATOS IMPORTANTES O TOTALES FALTANTES
1979	0.00	NO	DATOS IMPORTANTES O TOTALES FALTANTES

1980	0.00	NO	DATOS IMPORTANTES O TOTALES FALTANTES
1981	0.00	NO	DATOS IMPORTANTES O TOTALES FALTANTES
1982	0.00	NO	DATOS IMPORTANTES O TOTALES FALTANTES
1983	0.00	NO	DATOS IMPORTANTES O TOTALES FALTANTES
1984	53.00	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
1985	30.30	NO	DATOS IMPORTANTES O TOTALES FALTANTES
1986	36.30	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
1987	30.70	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
1988	86.00	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
1989	32.50	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
1990	37.50	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
1991	44.00	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
1992	78.00	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
1993	37.00	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
1994	37.00	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
1995	78.00	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
1996	62.00	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
1997	40.00	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
1998	31.30	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
1999	89.00	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
2000	40.30	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
2001	33.00	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
2002	70.00	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
2003	64.00	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
2004	51.00	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
2005	69.00	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
2006	31.00	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
2007	44.00	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS
2008	98.40	NO	DATOS IMPORTANTES O TOTALES FALTANTES
2009	9.00	NO	DATOS IMPORTANTES O TOTALES FALTANTES
2010	65.80	NO	DATOS IMPORTANTES O TOTALES FALTANTES
2011	208.30	SI	DATOS SUFICIENTES O COMPLETOS

Tabla 38. Criterios de selección de años con datos fiables o suficientes para análisis estadístico. Elaboración propia.



Figura 36. Esquema de la ubicación del desarrollo en relación con la estación 14294 y el parteaguas de la cuenca del Ahogado. Elaboración propia.

Una vez que se completan estos datos se ingresan al Programa AX, el cual es un software que ajusta diferentes funciones de distribución a series de datos, estimando valores para diferentes periodos de retorno y calcula el error estándar de cada ajuste. Las funciones de distribución de probabilidad con las que trabaja este programa son: Normal, Log-Normal, Gumbel, Exponencial, Gamma y Doble Gumbel. Para determinar los parámetros de las funciones de distribución de probabilidad los métodos empleados por el programa son: máxima verosimilitud y momentos, en el caso de las funciones Gamma y Log-normal los parámetros pueden calcularse para dos o tres parámetros; el método utilizado en la función Doble Gumbel es el de mínimos cuadrados.

La función elegida fue la Doble Gumbel la cual presentó el mínimo error estándar y arrojó los resultados de la tabla 39 de la izquierda, después se multiplicaron esos valores por un factor de corrección por observación, igual 1.13, el resultado final se ve en la tabla de la derecha:

FUNCIÓN DOBLE GUMBEL
PROGRAMA AX

CURVA TR-PRECIPITACIÓN CON
CORRECCIÓN POR
OBSERVACIÓN

Tr. (años)	Precipitación (mm)	Tr. (años)	Precipitación (mm)
2	45.87	2	51.83
5	72.74	5	82.20
10	105.48	10	119.19
25	140.55	25	158.82
50	182.89	50	206.67
100	213.37	100	241.11
200	243.30	200	274.93
500	282.54	500	319.27
1,000	311.85	1,000	352.39
2,000	341.38	2,000	385.76
5,000	380.00	5,000	429.40
10,000	410.89	10,000	464.31

Tabla 39. Valores de precipitación máxima diaria para cada periodo de retorno y su corrección por observación obtenidos del programa AX. Elaboración propia.

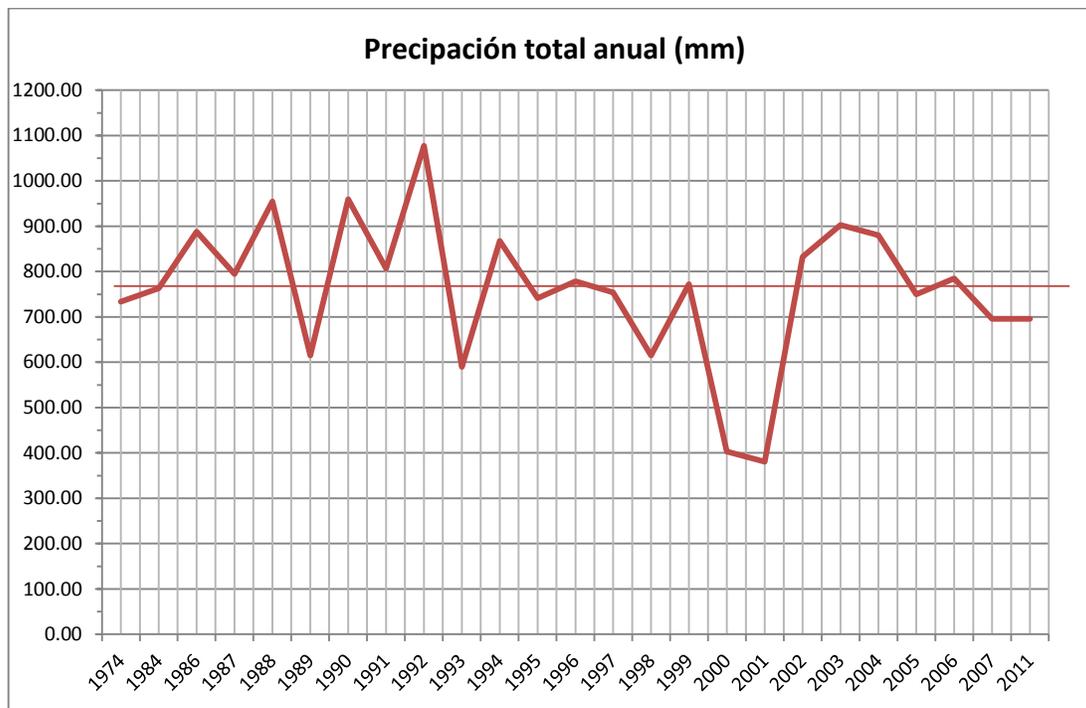
A partir de esa información se pueden generar las curvas representativas Hp-D-Tr (Altura de precipitación – Duración y Periodo de Retorno) e I-D-Tr (Intensidad – Duración – Período de Retorno), de las cuales se extrae la intensidad de lluvia para el tiempo crítico que se utilizara en el diseño de la red pluvial. En las tablas 40 se muestran esos valores, siendo los correspondientes al periodo de Retorno de 10 años los de mayor interés, en el eje horizontal, los valores del 5 a 60 son los minutos o duración de la lluvia. En los anexos de este documento se encuentran las tablas y Gráficas completas resultados del análisis estadístico.

Tr(años)	hp(mm)							
	5	10	15	20	30	40	50	60
1	7.3	10.9	13.3	15.2	18.1	20.3	22.1	23.7
2	9.6	14.4	17.5	20.0	23.8	26.8	29.2	31.3
5	12.7	18.9	23.2	26.4	31.4	35.3	38.5	41.3
10	15.0	22.4	27.4	31.3	37.2	41.8	45.6	48.8
25	18.0	27.0	33.0	37.7	44.8	50.3	54.9	58.8
50	20.4	30.5	37.3	42.5	50.6	56.8	62.0	66.4
100	22.7	34.0	41.5	47.4	56.3	63.3	69.0	74.0

Tr(años)	i (mm/hr)							
	5	10	15	20	30	40	50	60
1	87.2	65.3	53.2	45.5	36.1	30.4	26.5	23.7
2	115.1	86.1	70.2	60.1	47.6	40.1	35.0	31.3
5	151.9	113.7	92.6	79.3	62.9	53.0	46.2	41.3
10	179.7	134.5	109.6	93.8	74.4	62.7	54.7	48.8
25	216.5	162.0	132.1	113.0	89.6	75.5	65.9	58.8
50	244.3	182.9	149.0	127.5	101.2	85.2	74.4	66.4
100	272.2	203.7	166.0	142.1	112.7	94.9	82.8	74.0

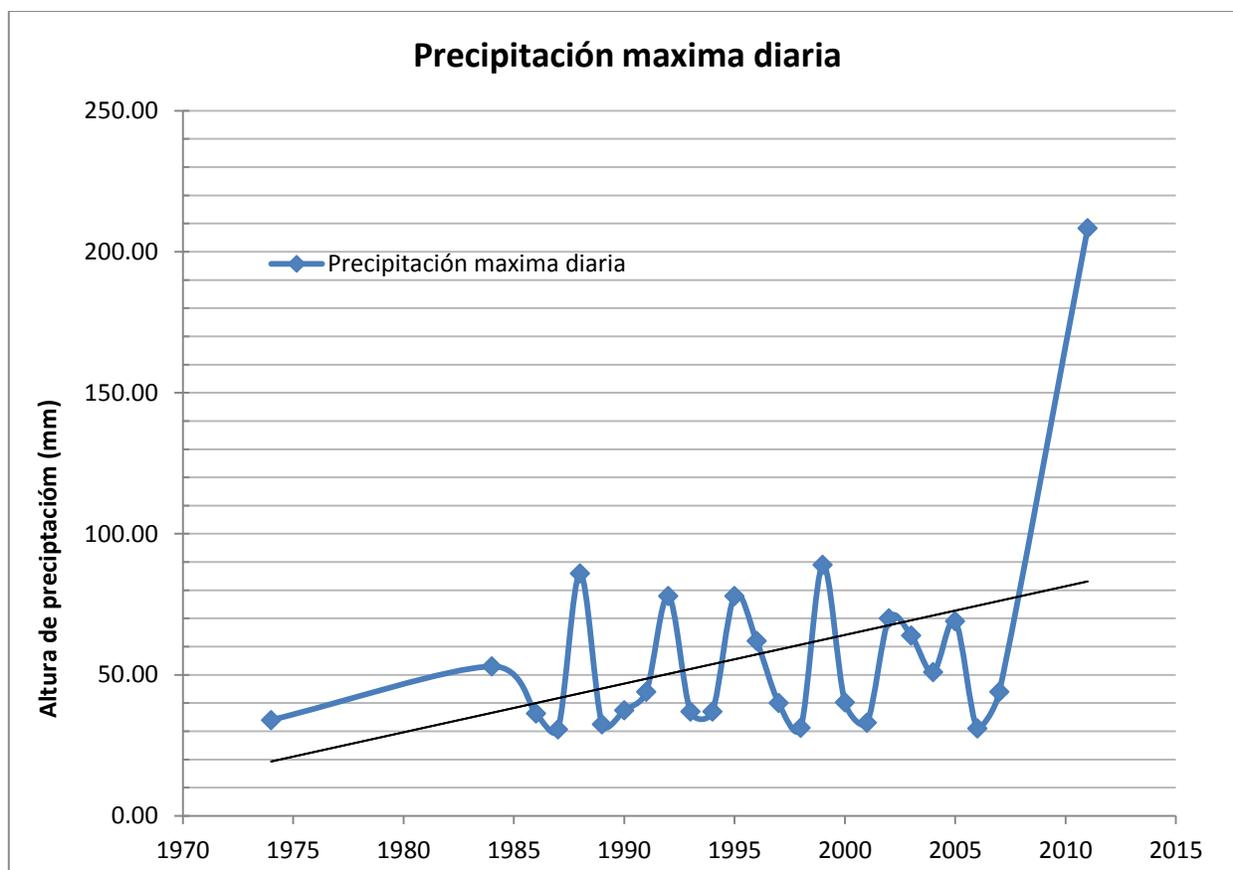
Tabla 40. Valores de precipitación acumulada e intensidad de lluvia para generar Curvas I-D-Tr de la estación 14294. Elaboración propia.

Otros resultados importantes a extraer puede ser la evolución del a precipitación total anual, la cual es la suma de todas las lluvias a lo largo de año, el resultado se da en mm de lluvia. En la Gráfica 3 se muestran esos valores, de los cuales podemos sacar un promedio, el cual sería la precipitación media anual, la línea roja horizontal muestra la media, que es igual a 761.40 mm.



Gráfica 3. Precipitación total anual de estación 14294. Elaboración propia.

También es de interés graficar los primeros resultados obtenidos del registro histórico de lluvias máximas diarias para notar la tendencia, el rango y el valor medio. En la Gráfica 4 se ve la tendencia en línea negra a la alza, pero evidentemente es por la lluvia extraordinaria que se presentó en el año 2011. La media es de 56 mm y el rango en el que se presentan las lluvias máximas podemos observarlo dentro de los 30 y los 90 mm.



Gráfica 4. Precipitación total anual de estación 14294. Elaboración propia.

4.5.1 Discusión de resultados del análisis estadístico

El valor máximo de la precipitación diaria que se encontró es de 208.30 mm que corresponde aproximadamente a una lluvia de 50 años de periodo de retorno, los demás años varían, como podemos observar la máxima cantidad de precipitación puede variar mucho en los años, actualmente por el cambio climático es aún más impredecible el comportamiento por lo que es necesario llevar a cabo otras metodologías para medir la precipitación y así poder medir los caudales necesarios para diseñar obras económicas y funcionales. Otro dato valioso que se pudo extraer, después del filtrado de los años que son útiles y tienen información completa es el valor de la lluvia promedio diaria, promediando entre la cantidad de días que normalmente llueve al año resulto el valor de 11.09 mm por día, considerando que llueven 76.64 días al año.

4.6 Encuesta

Este instrumento se diseñó con el objetivo de conocer la perspectiva u opinión de 4 actores de la región involucrados directamente con la planeación, diseño, aprobación y construcción de proyectos pluviales, tanto en el ámbito privado como en el público con respecto a los criterios que se toman en cuenta o se deberían en caso de que no, en proyectos de desarrollo urbano en relación con su proyecto pluvial correspondiente. Para esto fue necesario previamente realizar una búsqueda de criterios en literatura internacional principalmente por ser los sistemas SUDS más ampliamente reconocidos y desarrollados en otros países. Los criterios elegidos se acomodaron en 4 categorías principales, tres de ellas corresponden a las principales dimensiones o pilares de la sustentabilidad, lo ambiental, social y económico, y se agregó una más llamada Categoría Técnico-hidráulica/ Holística ya que los criterios que caben dentro de esta tienen una naturaleza que involucra el desarrollo técnico de los sistemas pluviales y a la vez en ciertos criterios su influencia puede abarcar otras o todas las demás categorías. Otro de los pasos es que los encuestados califiquen cada uno de los criterios en escala del 1 al 10 según la importancia que tiene para ellos desde su práctica profesional el desarrollo del criterio.

Una vez que se cuenta con los criterios calificados se genera una ponderación de sustentabilidad, basada en una parte de la metodología llamada SAT (Sustainability Assessment of Technologies) creada por la UNEP (United Nations Environment Programme) pero la cual modificó el Mtro. Francisco Álvarez Partida, asesor de la investigación y fue la que finalmente se utilizó, la cual se detallará más en el siguiente capítulo, su fin es establecer un carácter cuantitativo a cada criterio y de esa manera poder comparar dos proyectos, uno convencional y otro con SUDS.

La metodología que se utilizó para realizar este ejercicio es la siguiente:

1.- Revisión de literatura en drenaje sustentable para identificar los criterios que se sugieren a la hora de realizar e implementar un proyecto pluvial en una zona urbana. Elección de los más importantes o repetidos que abarquen el espectro de la sustentabilidad en general.

2.- Definir el ámbito laboral de los encuestados, que fueron 4 personas e investigar posibles personas que accedan a la encuesta. Los ámbitos laborales o sector que representan son los 4 siguientes:

- Institucional: Una persona que trabaje en SIAPA directamente involucrada en proyectos pluviales.
- Consultoría: Una persona que trabaje en la realización o consultoría de proyectos pluviales, públicos y privados.
- Proyectista: Persona con alto conocimiento técnico en la elaboración de proyectos pluviales
- Constructor: Persona dentro de una empresa constructora que conozca y esté involucrada en proyectos pluviales.

2.- Acomodo de los criterios en sus distintas categorías, ya sea ambiental, social, económico o técnico-hidráulico/holístico.

3.- Definición de los cuestionamientos para cada criterio en la encuesta:

- **Consideración en la realidad:** se le pregunta al actor, si se considera este en su práctica profesional o ámbito laboral. Posibles respuestas son Si, No y depende.

- **Nivel de trabajo o desarrollo del criterio:** Aquí en caso de que responda No, se puede omitir la respuesta, pero si la respuesta fue Si o depende, se le cuestiona en qué medida o nivel en su experiencia ve que se desarrolla este criterio, las posibles respuestas son: Escaso, poco, Regular, Poco, Excelente

- **Razón atribuida:** aquí se sugieren de parte del autor 6 razones posibles para que los encuestados marquen múltiples opciones si es necesario sobre porque creen que se considera poco, etc, algunas cosas ya se saben y están bien documentadas pero se considera valioso para la investigación ver sesgos particulares de los actores. Las razones sugeridas son las siguientes:

- A.- No se considera necesario
- B.- Falta de recursos
- C.- Poco desarrollo investigativo-técnico
- D.- Políticas, reglamentos, etc.
- E.- Normativa o lineamientos técnicos
- F.- Falta de coordinación con otras dependencias
- G.- Otro: cualquiera otra que se le ocurra al encuestado.

- **Observaciones y/o comentarios:** Después de contestar todas las secciones anteriores se le pide que haga alguna observación o sugerencia, se coloca dentro de la encuesta una guía de respuesta que dice lo siguiente: ¿Crees que debería considerarse esto? ¿Lo ves viable (técnica, económicamente, etc.)? ¿Porque? ¿Cómo lo sugieres?

4.- Contacto con personas y definición final de ellos. Las personas que se encuestaron fueron las siguientes:

- A. Institucional: Ing. Martín Cano de SIAPA ubicado en R. Michel, sección de desarrollo urbano, puesto en coordinación de proyectos.
- B.- Consultoría: M. Sc. Fernando Rueda Lujano, director de la empresa de consultoría en hidráulica IHS S.A. de C.V.
- C.- Proyectista: Ing. Sergio López Hernández, coordinador de proyectos en la empresa IHS S.A. de C.V.
- D.- Constructor: Arq. Lorenzo Rojo Barrón, proyectista en la empresa Garvi Grupo Inmobiliario.

5.- Realización de la encuesta, se les da una pequeña introducción para que entiendan el objetivo y que no haya malas interpretaciones y se les indica que si hay alguna duda pueden preguntar. Además se definieron una serie de indicadores para cada criterio, es decir una forma en que es posible cuantificar o calificar el cumplimiento de cada criterio y se les muestra a los encuestados para que se den una idea más clara del criterio, ya que algunos pueden ser muy amplios o ambiguos, o incluso parecer que no están dentro de la competencia de la persona encuestada.

6.- Análisis de resultados:

- Categorías y criterios que se consideran más y menos, contraste entre las respuestas de los actores, es decir obtener algunas inferencias en el caso de que no contesten lo mismo.
- Graficar el nivel de consideración de cada criterio.
- Suma y diseminación de razones que atribuyen a que no se aplique cierto criterio.
- Análisis cualitativo de las observaciones y comentarios que hicieron.

7.- A partir del análisis, cruzar información de los países o lugares donde se aplican estos criterios de mejor manera e integral en los proyectos pluviales, en cuanto a como lo hacen y en cierta medida definir mediante qué proceso o metodología lo aplican.

8.- Realizar conclusiones.

A continuación se muestra un extracto ejemplo del formato que se les entregó a los encuestados en la Tabla 41 y Tabla 42, después en la Tabla 43 se muestran todos los criterios tal y como aparecieron en la encuesta divididos en las categorías mencionadas y después de eso se comienza el análisis de las respuestas.

Categoría	ID del Criterio	Criterio	¿Se considera?	¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?	¿A qué se debe?	Observaciones - Comentarios
Ambiental	CA 1	Apoyar el manejo de la calidad del agua en las aguas superficiales y subterráneas receptoras	Si/no/depende	Escaso/Poco/Regular/Bueno/Excelente	No se considera necesario (A) /falta de recursos (B) /Poco desarrollo investigativo-técnico (C) / Políticas, reglamentos, etc. (D) / falta de normatividad (E) / Falta de coordinación con otras dependencias (F) / Otro (G)	Sugerencias: ¿Cree que debería considerarse esto, lo ves viable (técnica, económicamente, etc.)? ¿Porque? ¿Cómo lo sugiere?

Tabla 41. Extracto ejemplo de primera parte de la encuesta.

Como se mencionó antes se aplicó una parte de la metodología llamada SAT (Sustainability Impact Assesment) en la segunda parte de este ejercicio de encuesta, pero con una modificación por parte del Mtro. Francisco Álvarez Partida. Lo que se hizo consiste en una matriz, la cual incluye los mismos criterios que se verán en la Tabla 43, pero en este caso solo les hizo a los encuestados que calificarán en una escala del 1 al 10 según la importancia que ellos le otorgan en su perspectiva y en su práctica profesional a la consideración y desarrollo efectivo de determinado criterio que se esté preguntando. Esto con el fin de determinar o darle un carácter cuantitativo a la opinión y generar un sistema de puntuación que en el capítulo de diseño de propuesta pluvial sustentable será de utilidad para realizar una comparativa entre las dos propuestas: convencional y SUDS.

A continuación se muestra también un extracto de la segunda parte del ejercicio de encuesta donde colocaron los puntajes a cada criterio en la Tabla 42.

Categoría o dimensión	ID del Criterio	Criterio	Consultor		Proyectista		Constructor		Institucional		Promedio Aritmético	Ponderación relativa sustentable
Ambiental	CA 1	Apoyar el manejo de la calidad del agua en las aguas superficiales y subterráneas receptoras	10	18.5%	9	20.0%	9	16.7%	10	17.2%	18.1%	4.5%

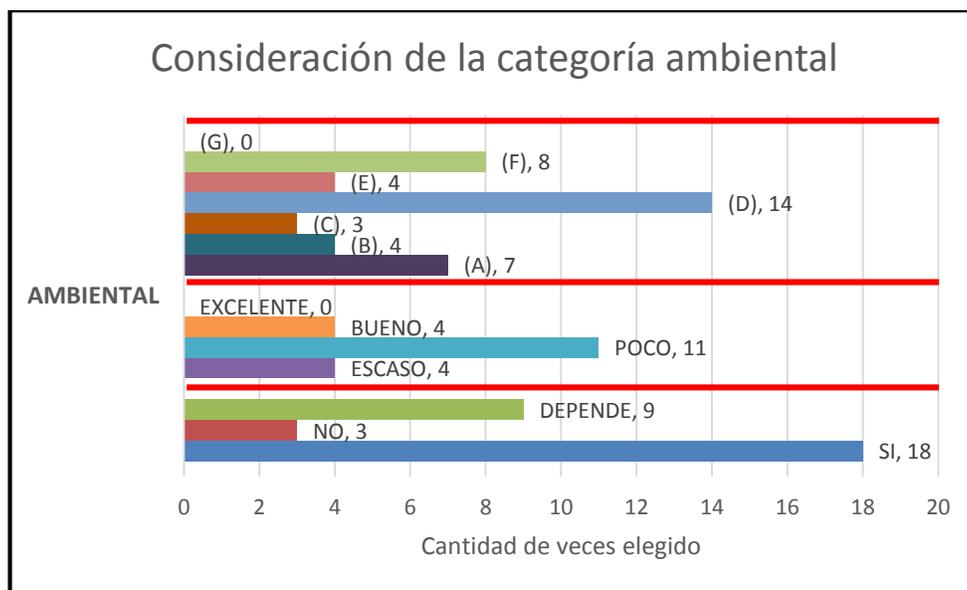
Tabla 42. Extracto ejemplo de segunda parte de encuesta para llenado de puntaje de cada criterio y definición de promedio y ponderación relativa sustentable

Ambiental		Técnico-Hidráulico/Holístico	
CA 1	Apoyar el manejo de la calidad del agua en las aguas superficiales y subterráneas receptoras	CH 1	Apoyar la gestión del riesgo de inundación en la cuenca receptora
CA 2	Usar el agua de escurrimiento como un recurso (Captación para uso, infiltración)	CH 2	Considerar las características del área y del drenaje en el proyecto
CA 3	Crear ecosistemas diversos, conectados, autosustentables y resilientes	CH 3	Considerar de manera integral las restricciones físicas del lugar para realizar una mejor selección de los sistemas a utilizar
CA 4	Apoyar y proteger hábitats y especies locales naturales	CH 4	considerar características del suelo y subsuelo, capacidad de infiltración y protección a acuíferos
CA 5	Preservar y proteger los sistemas hidrológicos naturales en el sitio, su morfología y ecología	CH 5	Garantizar una correcta captación y almacenamiento de los escurrimientos y control de inundaciones
CA 6	Uso de materiales y energía eficiente y baja en carbono. Reducir la cantidad de infraestructura necesaria	CH 6	Buscar la flexibilidad, adaptabilidad y potencial para la reutilización para ser resilientes a cambios futuros
Social		CH 7	Maximizar la multifuncionalidad de los sistemas (educación, recreación, canchas, estacionamientos)
CS 1	Crear lugares agradables para las personas mejorando la calidad estética del lugar, de esta manera creando mejor calidad de vida		
CS 2	Promover el aprendizaje ambiental en la comunidad		
CS 3	Garantizar la seguridad de las personas y propiedades en el sitio y en su interacción con los sistemas de manejo pluvial		
CH 8	Identificar el Impacto sobre el sistema de drenaje/ integración en el sistema	CH 9	Definir y hacer un plan para atender requerimientos de operación y mantenimiento
Económico			
CE 1	Realizar análisis de costes del ciclo de vida (capital, operación, mantenimiento, etc.)		
CE 2	Considerar los riesgos financieros, (si aplica)		
CE 3	Asequibilidad a largo plazo (si aplica)		

Tabla 43. Extracto ejemplo de segunda parte de encuesta para llenado de puntaje de cada criterio y definición de promedio y ponderación relativa sustentable.

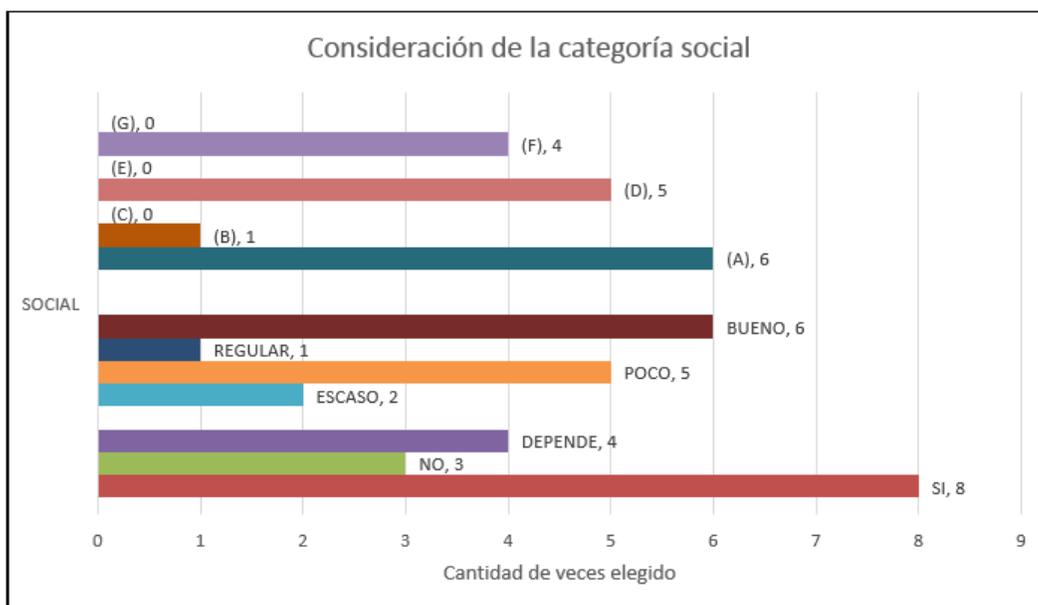
ANALISIS DE RESULTADOS DE ENCUESTA

A continuación se muestra en las Gráfica 5 a 8 los gráficos representativos generales de las respuestas por cada categoría definida. Es decir aquí se muestra la suma total por opción de respuesta de manera global para todos los encuestados sin desmenuzar o detallar en cada criterio o por cada sector encuestado. El objetivo es dar una vista rápida y general de las tendencias que mostraron en sus repuestas, por ejemplo en la Gráfica 5 que corresponde a la suma de respuestas dentro de la categoría ambiental, podemos observar en la primera sección de tres barras en la parte inferior que la tendencia más importante fue a responder que si se considera y en mucho menor medida la respuesta depende y no. Pero aquí es interesante observar que aunque ellos piensan mayoritariamente que si se considera después en la sección de barras del medio, después expresan que se considere poco y la última sección de barras en la parte superior nos dice que la mayor razón a la cual atribuyen esto es la opción D que corresponde como se detalló en la Gráfica 5 a Políticas y en menor medida a la opción A y F que son “No se considera necesario” y “Falta de coordinación con otras dependencias” respectivamente.



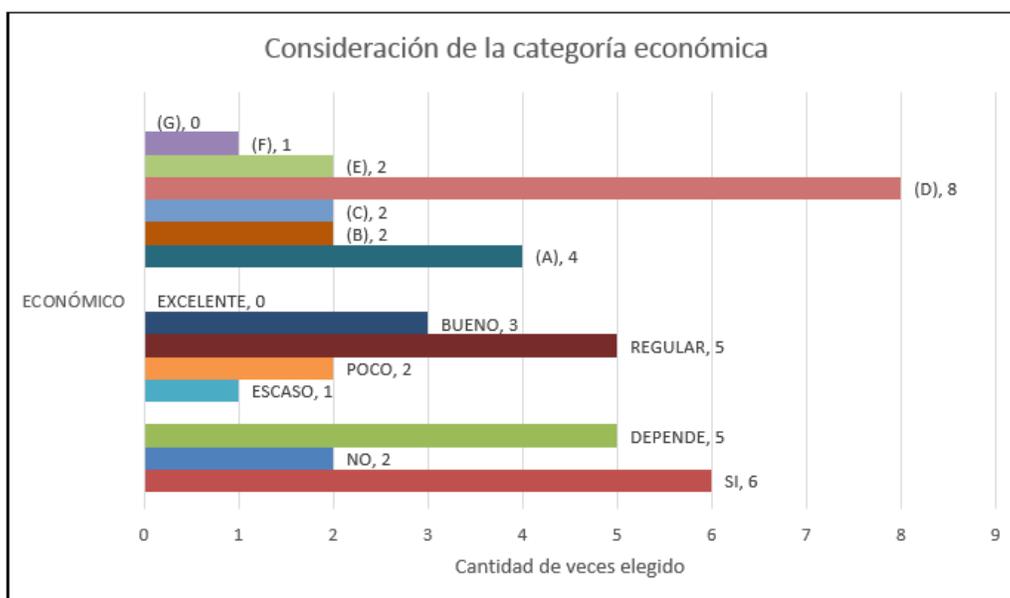
Gráfica 5. Vista de las tendencias generales en las respuestas de la encuesta en la categoría ambiental.

La Gráfica 6 correspondiente a las tendencias generales de respuesta en la categoría “Social” se puede analizar que al igual que en ambiental podemos ver que la mayoría respondió que si se consideran los criterios dentro de esta categoría. Además expresan que el nivel de consideración es de regular a bueno y los principales motivos a los que atribuyen la situación son las opciones A, D y F. La opción A como se mencionó antes corresponde a que “No se considera necesario”, esta es la respuesta principal, en segundo lugar la D que son las “Políticas” y en tercer lugar la F que es la “Falta de coordinación con otras dependencias”.



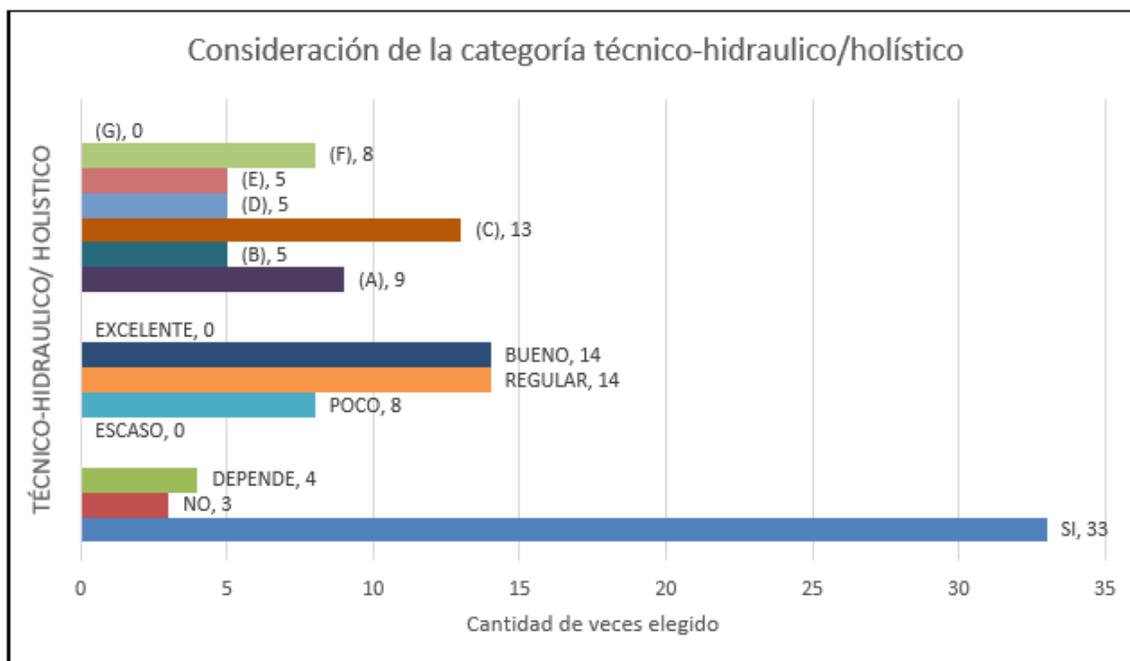
Gráfica 6. Vista de las tendencias generales en las respuestas de la encuesta en la categoría social.

En la Gráfica 7 se muestran las tendencias generales de la categoría económica, podemos observar que hubo un casi equilibrio entre expresar que “Si” se considera y la respuesta “Depende”. Después expresan que el nivel de consideración es mayoritariamente regular, seguido de bueno. La razón que atribuye que destaca más es evidentemente la D, que corresponde a “Políticas”, seguido de A que es que “no se considera necesario” y las demás opciones también fueron marcadas en menor medida.



Gráfica 7. Vista de las tendencias generales en las respuestas de la encuesta en la categoría económica.

En la Gráfica 8 se muestran las tendencias generales de la categoría económica, podemos observar que aquí hubo casi una unanimidad en respuestas “SI”, la razón por la que esta categoría muestra mayor cantidad de veces elegida en total es porque se le asignaron muchos criterios en relación con las otras categorías. En cuanto al nivel de consideración expresaron que es entre bueno y regular, con un número no despreciable de veces que dijeron que poco. Las razones fueron muy equilibradas, destacando la C, correspondiente a “Falta de desarrollo técnico-investigativo”, seguido de A y F, que son “no se considera necesario” y “falta de coordinación con otras dependencias” respectivamente. Las demás opciones de respuesta B, D y E mostraron un empate a 5 veces elegidas.

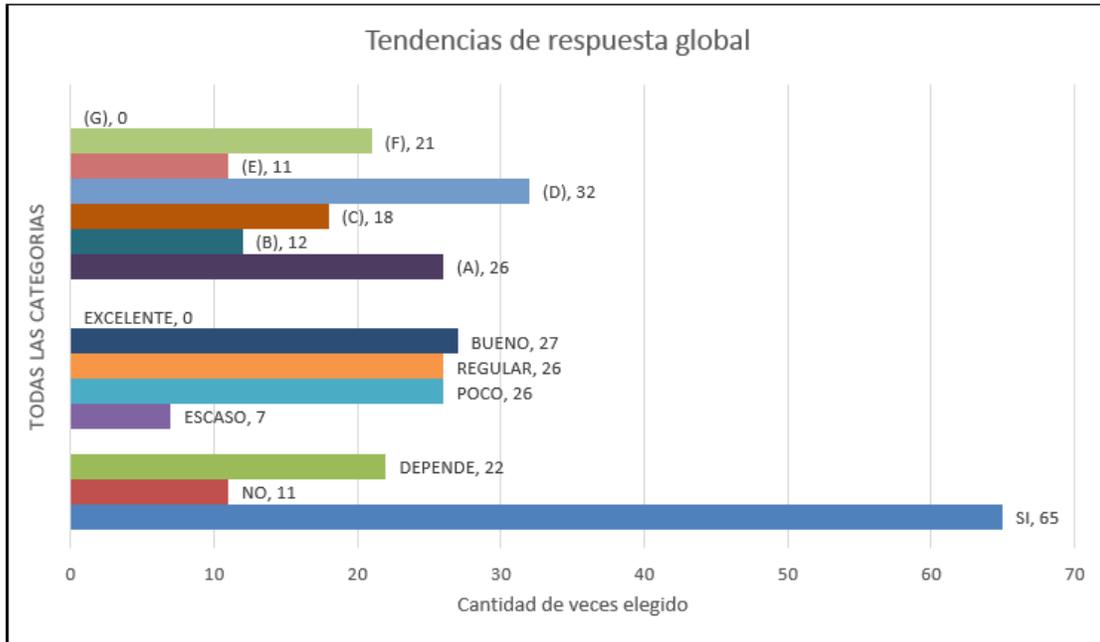


Gráfica 8. Vista de las tendencias generales en las respuestas de la encuesta en la categoría técnico-hidráulico/holístico.

Por lo tanto a partir de este primer análisis global podemos resumir que la tendencia de respuestas en cuanto a si se considera o no tal criterio es a expresar que sí y depende del caso específico, más sin embargo en cuanto al nivel de desarrollo de tal criterio analizado la situación se ve dividida entre expresar que es buena/regular en el caso de la categoría económica y la técnico/holística a poco considerada en el caso de lo social y ambiental. Y en cuanto a la razón o causa atribuida expresan que las políticas en turno son mayoritariamente la causa de que se trabaje cierto criterio en la efectividad que se debería. Las razones que le siguen son A y F, en cuanto a que no se considera necesario y que se necesitan mayor coordinación entre dependencias. Solamente en la categoría técnico-hidráulica/holística hubo un valor destacado de “Falta de desarrollo técnico-investigativo” por obvias razones, seguido de las opciones A y F ya mencionadas.

Algo que se puede inferir es que hay una correlación entre las tres razones más destacadas y es que son de índole o naturaleza política. Las respuestas que “no se considere necesario”, que “falte coordinación entre dependencias” y que “no existan políticas públicas dirigidas a esto” nos habla de una evidente atribución de todos los sectores involucrados en el manejo del agua pluvial a lo político como la mayor falla o debilidad y en ese sentido es bastante contundente.

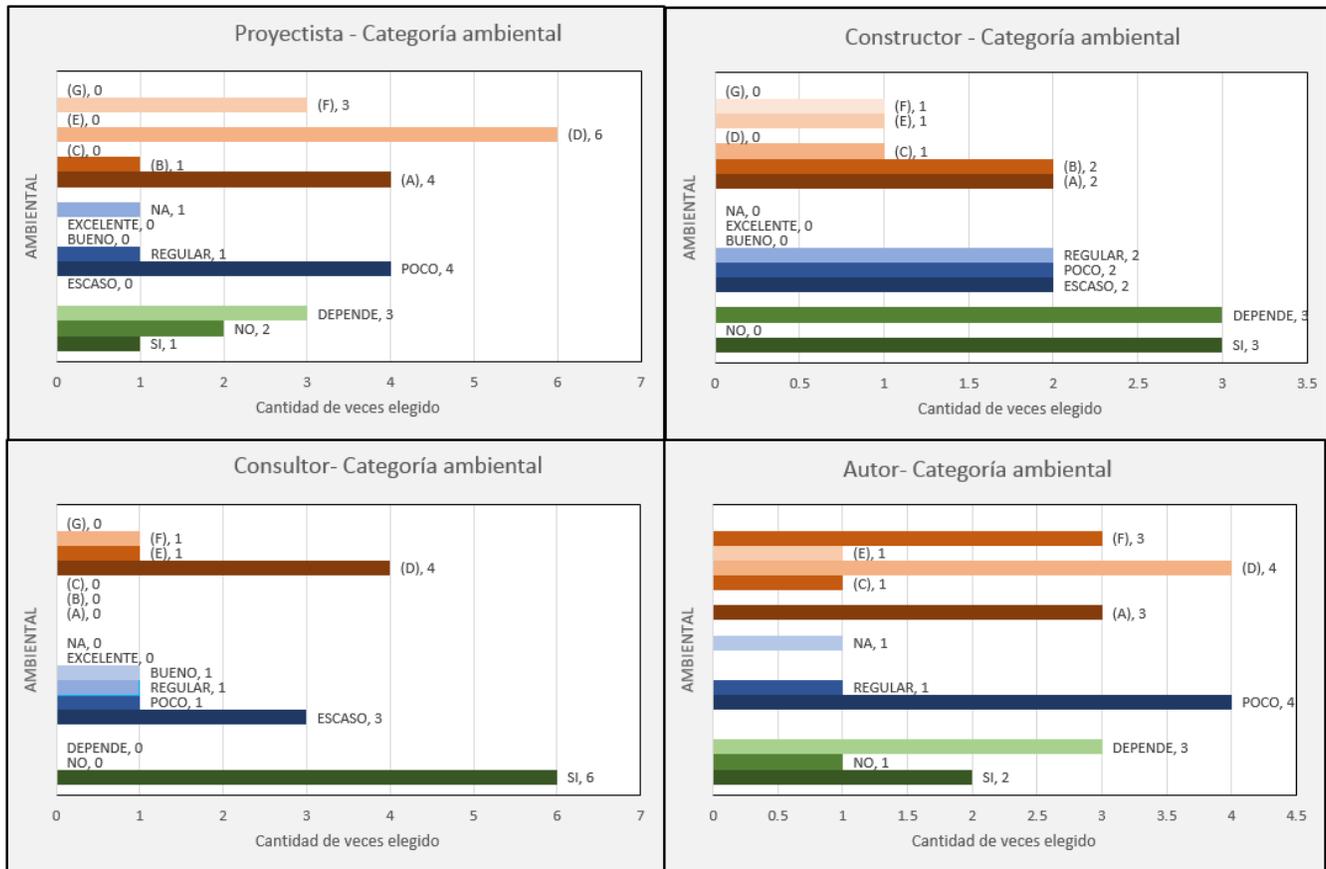
A continuación se muestra la Gráfica 9 que engloba todas las categorías con todas las respuestas sumadas en una sola gráfica para apreciar si se está analizando bien la perspectiva general como se describió anteriormente.



Gráfica 9. Vista de las tendencias globales en las respuestas de la encuesta en todas las categorías.

Aquí se observa claramente que el análisis anterior si responde a la tendencia global siendo la mayor parte de las respuestas que si se considera, con un nivel de desarrollo entre poco y bueno y las razones atribuidas siendo la mayor la D, seguida de A, F y C. Es importante también notar que no hubo una sola respuesta de nivel de consideración “Excelente”, lo cual significa que aún hay mucho campo de mejora. Falta de recursos económicos no fue de las respuestas más populares, siendo la quinta de seis, por lo que eso refuerza las otras respuestas en el carácter políticos de las soluciones, en cuanto que se puede inferir que el problema no es falta de dinero sino de acciones políticas que desemboquen en programas y proyectos.

Entonces esta es una primera aproximación, ahora se visualizarán los resultados de nuevo por categoría pero ahora desglosando las tendencias por sector encuestado para apreciar los contrastes que se pueden presentar en función de la práctica profesional en la que se desarrolla la persona. En este apartado se incluye gráficas con las respuestas del autor de esta investigación en lugar de la del sector institucional, ya que el encuestado no respondió de manera completa todas las preguntas.



Gráfica 10. Comparativa de tendencias de respuesta en categoría ambiental diferenciado por persona encuestada.

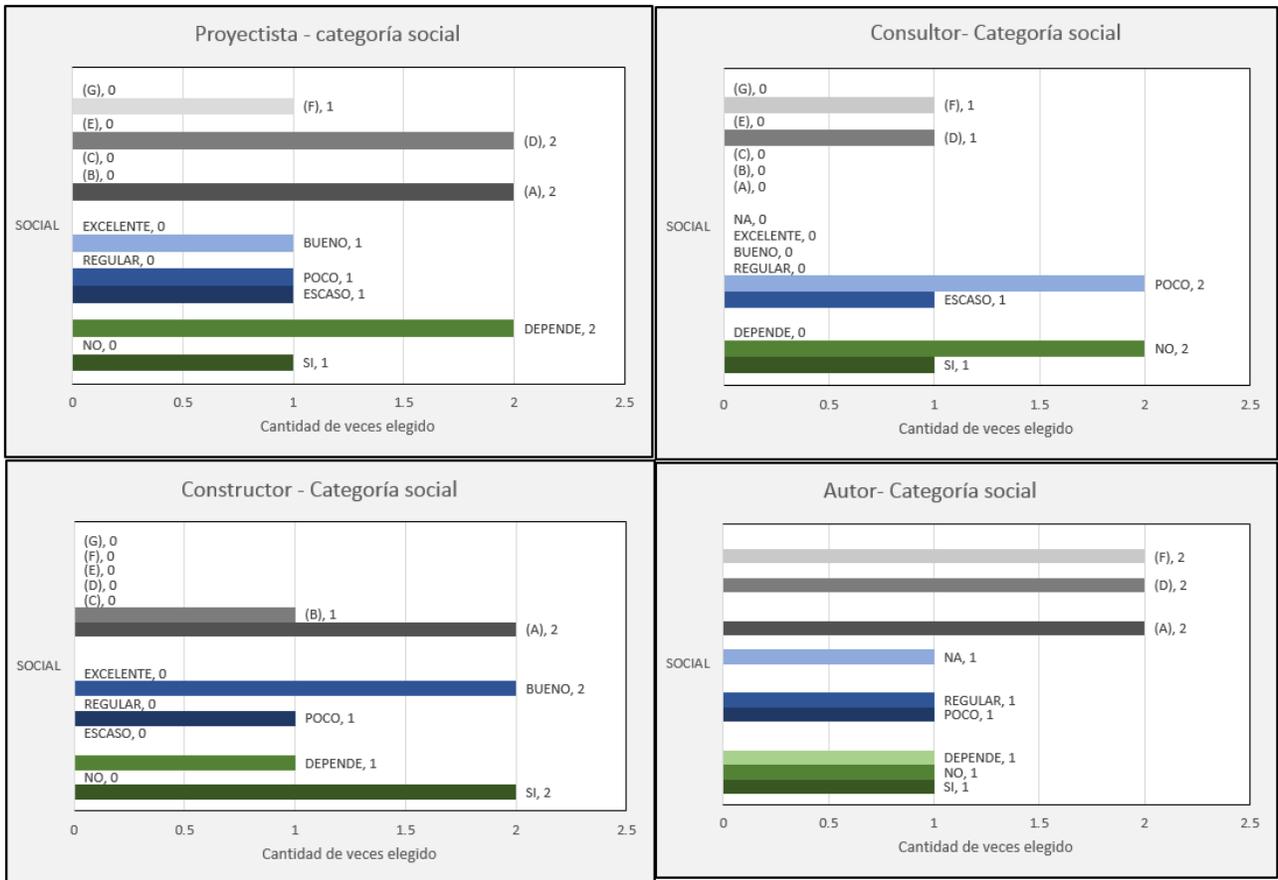
Aquí se observan las diferencias en apreciación de la realidad entre los distintos actores, el más optimista en cuanto a la consideración de los criterios ambientales es el consultor, seguido del constructor, autor y proyectista. También el encuestado institucional mostró optimismo en sus respuestas ya que todas fueron “Si” y nivel de consideración “Bueno”, excepto el criterio CA6, el cual expresó que se considera “Poco”.

Sin embargo podemos ver que aunque el encuestado Consultor mostro optimismo con sus respuestas “Si” luego expresó mayoritariamente que se considera a un nivel “escaso”. Entonces en realidad el más optimista es el constructor ya que tuvo varias respuestas con regular y bueno, por el otro lado el proyectista y autor expresaron que se considera “poco” mayormente.

En cuanto a la razón hay concordancia entre proyectista, consultor y autor en que la razón D es la más notable, seguido de A y F. En este punto contrastan muchas las respuestas con lo que expresa el constructor, el cual atribuye el problema a las opciones A y B, “no se considera necesario” y “falta de recursos” respectivamente, lo cual puede interpretarse como de sentido común según la manera de pensar de los constructores, quienes optan por descartar o ignorar condiciones que les eleven los costos.

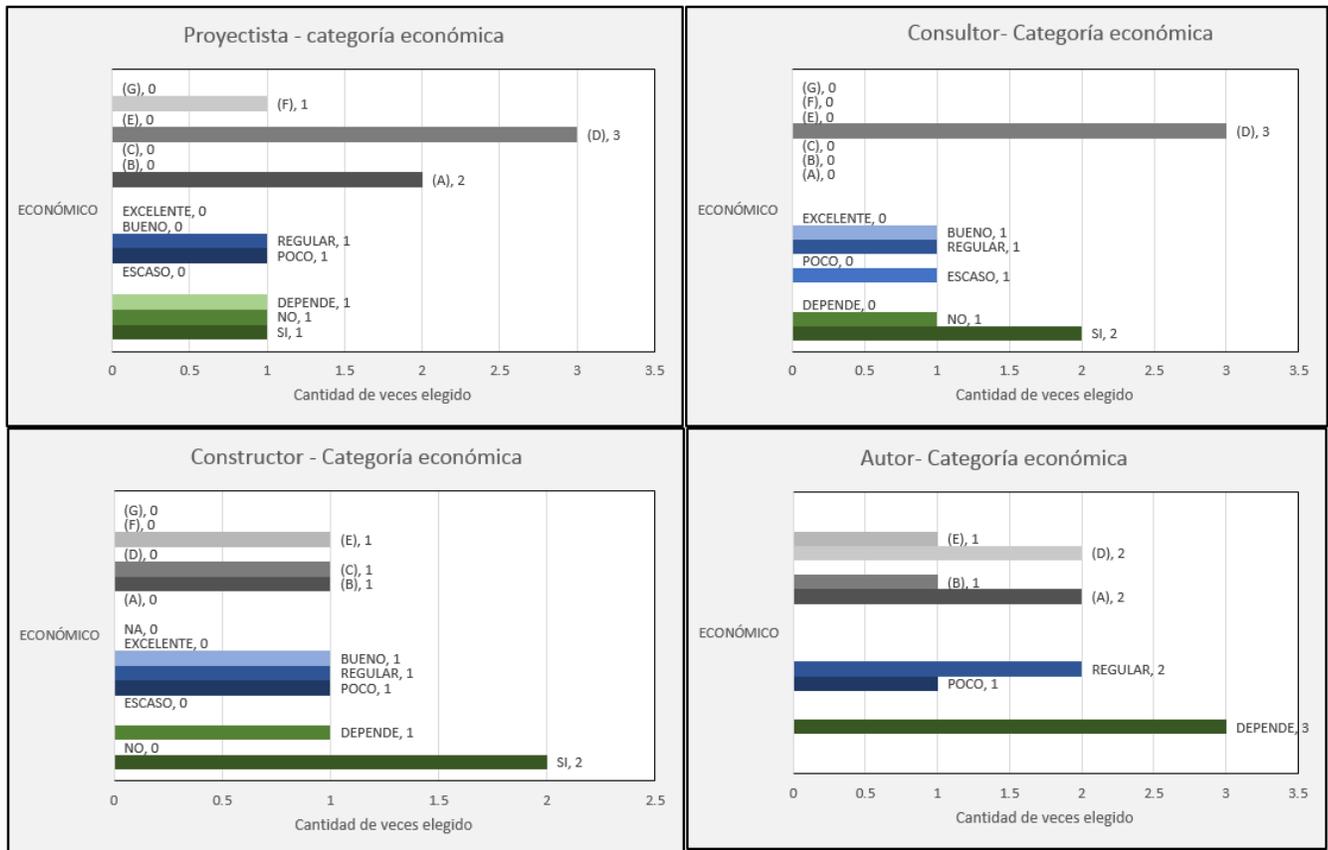
En las Gráficas 11 se puede observar la comparativa en la categoría social, todos coincidieron en mencionar al registrar mínimo un voto de “Si” de los tres criterios, el más optimista es el constructor y los demás expresaron duda o equilibrio en las respuestas. El nivel de consideración tuvo congruencia con lo anterior, siendo de nuevo el constructor el más optimista y los demás mostraron de nuevo poca confianza. Podemos inferir que esto se debe a que como la categoría social abarco tres criterios, los cuales de manera resumida cuenta son garantizar la seguridad de las personas, crear lugares agradables visualmente y promover la educación ambiental, esto es una preocupación directa del constructor ya que al buscar vender un

producto intenta que el lugar sea agradable y seguro para atraer al cliente, pero tal vez no sea directamente relacionado esto con los proyectos pluviales sino con otros factores de índole arquitectónica, ubicación, etc. Hubo un acuerdo evidente sobre que la razón A, D y F son las más importantes en este tema, excepto el constructor que incluyó la opción B, “falta de recursos”.



Gráfica 11. Comparativa de tendencias de respuesta en categoría social diferenciado por persona encuestada.

En la Gráficas 12 se tiene la comparativa de la categoría económica, aquí hubo una tendencia positiva sobre la consideración en general, pero con varias respuestas en “depende” por lo que no en todos los casos ni el nivel ideal se da. Esto lo podemos ver en el nivel de consideración que tiende a ser de poco a regular. En la razón atribuida las más repetidas fueron la opción D y A, con otras respuestas que evidencian parcialidad de juicio dependiendo del sector en el que se desempeña la persona. Hubo acuerdo entre el autor y consultor en que otras razones importantes son B y E, que son “falta de recursos económicos” y “falta de normativa”.



Gráfica 12. Comparativa de tendencias de respuesta en categoría económica diferenciado por persona encuestada.

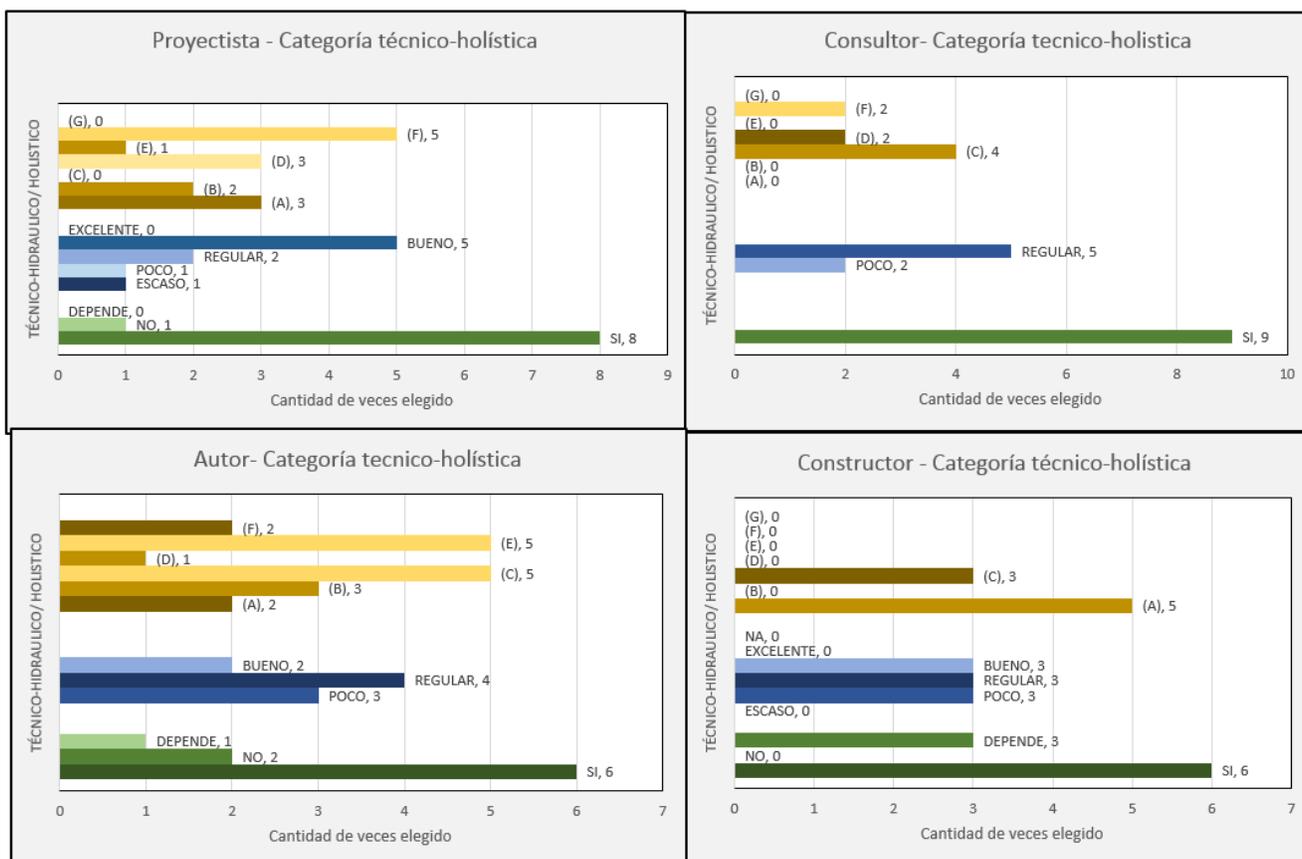
Por último en las Gráficas 13 se tiene la comparativa de la categoría técnico-hidráulica/holística. Aquí hubo mucho acuerdo entre las distintas personas encuestadas sobre que si afirman que se consideran la gran mayoría de los criterios identificados, estando equilibrada la cantidad de respuestas entre poco, regular y bueno. Aquí los más optimistas fueron el consultor y proyectista al afirmar que el nivel de consideración es de regular a bueno y el constructor y autor de la investigación mostraron más duda ya que indicaron más respuestas de nivel denominado “poco”. En este punto por ser un de dominio técnico se le debe dar mayor valor a las respuestas de consultor y proyectistas. Las razones atribuidas difirieron mucho, siendo la principal la “falta de desarrollo técnico-investigativo” seguido de la opción A (“no se considera necesario”) y F (“falta de coordinación con otras dependencias”). En las opciones B, D y E hubo también un número considerable de respuestas pero lo importante a identificar aquí es donde hubo acuerdos y desacuerdos y tratar de entender el motivo. En la opción A hubo acuerdo entre constructor, autor y proyectista, en el B entre autor y proyectista, en el C todos excepto el proyectista, en el D todos excepto el constructor, en E hubo acuerdo entre Autor y Proyectista, y en F todos de acuerdo excepto el constructor.

Entonces el análisis se simplifica en la visión de los desacuerdos, ¿Por qué podría ser que el consultor no eligió en la opción A?, quiere decir que él considera todos los criterios necesarios y se puede confiar en su juicio ya que tiene amplia experiencia y conocimiento técnico.

El hecho de que en la opción B, “falta de recursos” solo respondieron autor y proyectista te habla de que haya un sesgo, ya que los actores que se identifican como con mayor conocimiento del aspecto económico son el consultor y el constructor, por lo que se puede inferir que la problemática como se mencionó antes no viene de falta de recursos. En la opción C, todos identificaron que es una posible razón excepto el proyectista, que es el encuestado identificado como el de mayor conocimiento técnico, entonces se puede inferir que su respuesta es la más confiable y la problemática no es la “falta de desarrollo técnico-

investigativo” y existe un mal concepto por parte de los demás, probablemente. La opción D aunque fue poco elegida, todos marcaron este punto excepto el constructor, el cual no atribuye nada de esto a las políticas implementadas en turno.

La opción F fue elegida por todos excepto el constructor, el que la eligió mayor número de veces fue el proyectista, seguido por el autor y el consultor con igual número de veces elegida, esto nos habla de que si hay una falta de coordinación entre dependencias para lograr los criterios de esta categoría.



Gráfica 13. Comparativa de tendencias de respuesta en categoría técnica-hidráulica/holística diferenciado por persona encuestada.

ANALISIS DE RESULTADOS DE TENDENCIAS MOSTRADAS EN ENCUESTAS

De este apartado podemos concluir que evidentemente hay sesgos o perspectivas diferenciadas en función del ámbito en el que se desempeña el encuestado y que es necesario unificar criterios y sensibilizar más a los actores involucrados, especialmente en las categorías ambiental y social. Las políticas y la coordinación de dependencias es lo que más genera desconfianza para garantizar el cumplimiento de los criterios definidos y por el contrario hay mucha confianza en el aspecto técnico, en la normativa y en la cantidad de recursos económicos que se podrían disponer para generar proyectos.

La falta de desarrollo técnico estuvo en cuarto lugar de las razones atribuidas y a la vez “no se considera necesario” es de las más altas. Esta razón puede ser de doble naturaleza, puede ser que no se considere necesario por las políticas del gobierno en turno o porque las investigaciones que se han desarrollado no han logrado visibilizar de manera integral el problema y por

lo tanto no se tiene en un mayor rango de prioridad, es decir, el hecho de realizar una investigación que revele ciertas necesidades puede influir en que se desarrollen ciertas políticas y acciones puntuales.

DETALLE DE RESPUESTAS POR CRITERIO

En este apartado se revisará cada criterio individualmente, al contrario de cómo se realizó anteriormente donde se revisaron las tendencias por categoría y por sector o ámbito profesional del encuestado, pero ahora también se analizará el módulo de respuesta libre denominado Observaciones-comentarios en el cual se les indico a los encuestados una guía de la posible respuesta, esta es si consideran viable (técnica, económicamente, etc.) el criterio en cuestión, que explicarán porque y como lo sugerirían que se implementará. De nuevo aquí se incluirán las respuestas del autor, ya que este cuenta con la visión general de la filosofía de los sistemas SUDS por lo que es interesante contrastar las respuestas.

Se empezará por la categoría ambiental, seguido de social, económica y técnico-hidráulica/holística, se pondrá la tabla de cada criterio con las respuestas de todos y en el módulo de observaciones se mostrara de manera resumida por el autor solo los puntos más relevantes que se vieron como más pertinentes y útiles en las respuestas expresadas. La sigla P es para proyectista, C para consultor, G para el constructor, I para institucional y A para el autor, y N/A es para no aplica.

ID del criterio	¿Se considera?		¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?		¿A qué razón lo atribuyes?		Observaciones- comentarios
CA1	Si:	I, C, G, A	Escaso		(A)		<p>Proyectista: menciona que el pretratamiento y tratamiento de aguas pluviales ya se da en varias partes del país pero que por falta de rigor de las instituciones no se toma en cuenta de manera más general.</p> <p>Consultor: Simplemente mencionó que es necesario detener el arrastre de arenas y primeras lluvias con contaminantes.</p> <p>Institucional: mencionó que en ciertos casos especiales se incluyen cajas de separación de grasas y aceites como pretratamiento, por ejemplo en gasolineras.</p>
			Poco	A	(B)	A	
	No:	P	Regular	G, I	(C)		
			Bueno	C	(D)	P, C	
	Depende:		Excelente		(E)	A	
			N/A	P	(F)	P, G, A	
					(G)		

Podemos aquí observar de manera sencilla que casi todos concuerdan con que si se considera este criterio pero luego expresan que es de regular a bueno, con la excepción del autor y proyectista en donde ellos no concuerdan. Las razones más populares fueron la F y D, que son Políticas y coordinación.

Las observaciones mencionadas se consideran valiosas, en ciertos proyectos del PROMIAP como el Vaso del Dean se incluye un tanque de primeras lluvias por lo que el concepto si se entiende e involucra en ciertos casos pero no se ha ampliado a cada desarrollo urbano. Como se ha mencionado en los capítulos anteriores los SUDS pueden realizar esta función de tratar las primeras lluvias mediante procesos naturales, por lo que aquí se justifica su implementación ya que la consideración de este punto es en casos aislados. Es interesante ver que las políticas y la coordinación con otras dependencias hayan sido elegidas como las causas de la situación ya que en los países que se implementa los sistemas SUDS se involucra a las agencias o departamentos municipales ambientales en la revisión, consulta, estudios de impacto y/o aprobación de proyectos pluviales aplicables a desarrollos urbanos.

ID del criterio	¿Se considera?		¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?		¿A qué razón lo atribuyes?		Observaciones- comentarios
CA2	Si:	C, I, A	Escaso	C	(A)	P, G, A	Proyectista: Existe normativa en la región para que se regulen los volúmenes en exceso por impermeabilización del suelo pero no se obliga ni a infiltrar ni a reusar la misma. Consultor: Sugiere clarificar la separación de los conceptos control y aprovechamiento. Constructor: Solo realizan infiltración en sus proyectos pero dice que deberían buscar aprovecharla para mantenimiento de áreas verdes. Institucional: Se promueve la construcción de estructuras de infiltración (más no se obliga, depende de la permeabilidad)
			Poco	P, G, A	(B)		
	No:		Regular		(C)		
			Bueno	I	(D)	P, C, A	
	Depende:	P, G	Excelente		(E)		
			N/A		(F)	P	
					(G)		

Aquí podemos observar en primera instancia que todos consideran que si o dependiendo del proyecto se considera, pero el nivel al que se trabaja lo expresan como poco y escaso, excepto el sector institucional que considera bueno lo que se realiza. Y las razones hay mucho acuerdo en que son las políticas y que no se considera necesario, con una respuesta extra del proyectista que agrego la opción F, falta de coordinación entre dependencias como otra posible razón. Las observaciones que hicieron en el módulo libre nos habla de que si existen las herramientas para llevar a cabo un aprovechamiento integral mediante la captación, retención y la infiltración si se propone. Se sabe que los pozos de absorción siempre han sido implementados cuando las condiciones del suelo lo permiten y que recientemente el concepto de regulación se viene implementando en conjunto, y es interesante ver que se obliga la regulación pero no se obliga la infiltración ni la captación con fines de reúso, por lo que hay un hueco en los lineamientos aplicables en ese sentido.

El autor propone y apoya el hecho de que no siempre se debe o pueden realizar todos los conceptos mencionados, sea porque no es posible técnicamente o por recursos económicos (por ejemplo el suelo no tiene buena permeabilidad o el aprovechamiento requeriría tanques y sistemas de bombeo caros) o porque simplemente no es pertinente con la realidad del contexto. Por lo tanto lo que se propone es que se deben establecer e identificar objetivos específicos y pertinentes según las condiciones y necesidades del lugar, algo que no se realiza y lo que se hace es estandarizar lo más posible los criterios y/o lineamientos para agilizar y abaratar la elaboración y construcción de los proyectos. Esto puede ser inofensivo y se podría decir que se puede ignorar temporalmente cuando un área urbana aún no ha crecido mucho, pero en el contexto y la región que ya están altamente urbanizados realizar los proyectos de esta manera no está probando ser efectivo para prevenir o resolver los problemas relacionados.

Entonces lo que se propone como se dijo antes es que los criterios y lineamientos se adapten en función de las condiciones del lugar y sus necesidades, por ejemplo el caso más simple es que si el suelo no tiene buena permeabilidad no se debe infiltrar, esto es lógico y razonable, pero que pasa si hay muy buena permeabilidad y solo se aplica una escasa cantidad de sistemas de infiltración o incluso ninguno ya que no es obligado y solo se realiza la regulación mediante detención/retención. Además si en ese lugar hay sobreexplotación y escasez del agua subterránea, entonces la infiltración debería maximizarse o promoverse a lo más posible ya que las condiciones lo permiten y es una necesidad imperante por la situación particular del lugar. Otro ejemplo sería si se pide que se construya un tanque de concreto para regular las aguas pluviales que salen del lugar, pero puede que no sea necesario porque el desarrollo se ubica en un lugar bajo que no aporta hacia una zona con riesgo de inundación, por lo que podría ajustarse el criterio para regular una menor cantidad de agua, de esa manera reduciendo el

costo y uso de materiales innecesarios. Esta idea viene de la metodología de aplicación del enfoque de los SUDs, del manual de CIRIA (2015) en su capítulo “Applying the approach” donde dice que antes de comenzar con el diseño conceptual de las propuestas, deben establecerse y/o identificarse objetivos estratégicos de manejo del agua pluvial en consulta con diversos actores involucrados, basándose en las guías locales, estudios de impacto ambiental y estudios de riesgo/consecuencia de inundación disponibles, considerar todo esto en una etapa temprana provee a los diseñadores o proyectistas con herramientas para realizar un proyecto que garantice un mayor beneficio a la sociedad en concordancia con su situación particular.

En cualquiera de los ejemplos mencionados los criterios estandarizados que se implementan no garantizan el mayor beneficio para la sociedad por lo que se deben analizar y establecer objetivos por cuencas, zonas, polígonos para identificar puntualmente cuales son las mejores acciones a realizar en ese sitio, ya sea para las nuevas zonas a urbanizar en el futuro y como para las posibles acciones de mitigación en zonas ya construidas o consolidadas.

ID del criterio	¿Se considera?		¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?		¿A qué razón lo atribuyes?		Observaciones- comentarios
	Si:	C, G, I	Escaso	C, G	(A)	P	
CA3	Si:	C, G, I	Poco		(B)	G	Proyectista: Menciona que una prioridad de los nuevos desarrollos es aprovechar al máximo el terreno para urbanizar y cerrarlo con muros, lo cual crea fronteras y discontinuidad con el entorno. Consultor: Se debe priorizar esto en las partes altas de las cuencas, donde hay zonas forestales. Constructor: Solo se intenta conservar el arbolado existente. Institucional: No se crean ecosistemas, pero se tratan de proteger y mantener con medidas ambientales como el saneamiento.
			Regular		(C)	A	
	No:	P, A	Bueno	I	(D)	P, A	
			Excelente		(E)	C	
	Depende:		N/A	P, A	(F)	P, A	
					(G)		

En este punto 3 personas contestaron que sí y 2 que no, pero los que contestaron que si mencionaron que es escaso el desarrollo de esto, excepto la persona del sector institucional contesto que es bueno, por lo que es claro el poco optimismo en este punto. Se atribuye un poco a todas las razones siendo las más populares D y F, políticas y coordinación con dependencias.

En este punto hay varios puntos a revisar, primero es que el solo hecho de urbanizar ya significa perdida de cierto nivel de ecosistema, si no se tiene en cuenta esto para tratar de reducir o compensar un poco el daño con medidas de regeneración urbana no se logrará frenar el problema. La moda de cerrar las fraccionamientos con muros para establecer una sensación de seguridad, además de crear discontinuidad y perdida del tejido social, también puede crear perdida de conectividad en la biodiversidad del lugar, esto es algo que también debe evaluarse a la hora de establecer los objetivos en función de las necesidades y condiciones del lugar como se mencionó en el criterio CA2, y si es en conjunto y coordinación con una dependencia de protección al medio ambiente será mucho mejor.

En el caso de la subcuenca de este estudio se tiene un área forestal, el Bosque de la Primavera, el cual ha sufrido constantes cambios debido a la urbanización que se ha venido permitiendo. Entonces en ese punto se coincide con lo que menciona el consultor en que hay que priorizar y tener extremo cuidado y buen manejo de estas áreas ya que tienen alto valor ambiental y además sirven como esponjas del agua pluvial que recargan los acuíferos.

En cuanto a lo que comentó el constructor y persona institucional, se podría decir que dentro de sus alcances y concientización del problema hacen lo que pueden, pero es necesario presionar y crear restricciones para que se amplíe más el saneamiento y la conservación de hábitats.

ID del criterio	¿Se considera?		¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?		¿A qué razón lo atribuyes?		Observaciones- comentarios
CA4	Si:	C, I	Escaso	G	(A)	P, G, A	Proyectista: Existen programas en la ciudad para proteger áreas verdes y fauna, sin embargo no se mezclan técnicas SUDS Constructor: Conservación solo de arbolado Institucional: Con medidas y acciones de saneamiento ambiental
			Poco	P, C, A	(B)	P	
	No:		Regular		(C)		
			Bueno	I	(D)	P, C, A	
	Depende:	P, G, A	Excelente		(E)		
			N/A		(F)	A	
					(G)		

Aquí se considera que si hay acciones en torno a esto pero son pocas y se le atribuye de manera muy consensuada a las razones A, D y F, “no se considera necesario” y “políticas”, también siendo la coordinación y la falta de recursos otros factores indicados. Las acciones que mencionan en las observaciones si bien si van dirigidas a esto, como menciona el proyectista no va mezclado esto dentro de las técnicas de manejo del agua pluvial con criterios de sustentabilidad, por lo que, por decirlo de alguna manera desaprovechando la oportunidad de obtener estos beneficios con sistemas multifuncionales como son los SUDS, que además de cumplir su función hidrológica-hidráulica tienen beneficios ambientales y de cuidado y mejoramiento de los hábitats. Incluso si se conserva todo el arbolado y se realiza un saneamiento total de las cuencas habría problemas de impacto ambiental por la urbanización y pérdida de flora y fauna.

En este punto de nuevo se propone que se involucre a las agencias y dependencias de protección al ambiente en la revisión de los proyectos de desarrollo y pluviales.

ID del criterio	¿Se considera?		¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?		¿A qué razón lo atribuyes?		Observaciones- comentarios
CA5	Si:	P, C, I	Escaso	C	(A)		Proyectista: La Ley de Aguas de Jalisco exige la regulación de escurrimientos superficiales excedentes por impermeabilización y la Ley de Aguas Nacional exige que se respeten los cauces naturales que son propiedad de la nación, sin embargo, ninguna hace hincapié a la infiltración o en la conservación de cauces en estado natural Consultor: A nivel municipal se debe establecer coordinación estrecha entre quienes autorizan nuevos desarrollos y las direcciones de ecología Institucional: Se trata de preservar el ciclo hidrológico natural en la zona urbana (en la medida de lo posible)
			Poco	G	(B)	G	
	No:		Regular	P, A	(C)	G	
			Bueno	I	(D)	P, A	
	Depende:	G, A	Excelente		(E)		
			N/A		(F)	C	
					(G)		

En este punto se expresa que si se considera o depende del tipo de proyecto, y el nivel en que se desarrolla es de poco a regular, siendo el encuestado Institucional el único que considera bueno el trabajo en este criterio. Las razones principales son las políticas, principalmente de desarrollo urbano y también en menor medida la B, C y F.

El comentario más interesante en este punto fue del proyectista que menciona que no se hace énfasis en la Ley sobre la conservación de los cauces en estado natural o a la infiltración, en ese aspecto también sería necesario evaluar el valor e impacto de impermeabilizar o canalizar cauces. En cuanto a los comentarios del consultor, refuerza lo ya mencionado o sugerido anteriormente en cuanto a la necesaria coordinación de demencias ambientales o ecológicas con los organismos de agua. Y en el comentario del encuestado Institucional queda muy ambiguo lo que dice sobre que se hace lo posible, evidentemente se pueden hacer más cosas, como mejorar la infiltración a los acuíferos, proteger de la erosión los cauces, realizar un mejor manejo del arrastre de sedimentos, conservar lo máximo posible en estado natural los cauces, etc.

ID del criterio	¿Se considera?		¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?		¿A qué razón lo atribuyes?		Observaciones- comentarios
CA6	Si:	C, G, I	Escaso		(A)		Proyectista: Existen diferentes sistemas SUDS que se aplican en la ciudad pero de bajo perfil y de manera escasa debido a que la normatividad no lo exige Consultor: Se han construido depósitos de detención propios para detención e infiltración que no requieren equipos de bombeo. Constructor: Utilización de luminarias LED, (Alumbrado público), utilización de vasos reguladores
			Poco	P, I, A	(B)		
	No:		Regular	C, G	(C)	A	
			Bueno		(D)	P, C	
	Depende:	P, A	Excelente		(E)	G, A	
			N/A		(F)		
					(G)		

Aquí las respuestas fueron 3 si y 2 dependes, y se considera de poco a regular, siendo las principales razones la E, D y C. Este es uno de los pocos criterios que incluyeron la falta de normativa como una razón atribuida, siendo las políticas y la falta de investigación según el juicio del autor razones también importantes. Dentro de las observaciones vemos que el proyectista menciona que si hay algunas iniciativas SUDS que se aplican pero muy poco y de manera aislada y menciona a la normatividad como el motivo de que no se implemente. El consultor menciona que se ha aplicado el uso de vasos de detención que no necesitan de equipos de bombeo, lo cual es más sustentable al reducir el uso de energía y el constructor propone el uso de vasos reguladores y la aplicación de luminarias LED como algunas opciones.

ID del criterio	¿Se considera?		¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?		¿A qué razón lo atribuyes?		Observaciones- comentarios
CS-2	Si:	C, G, I	Escaso	P	(A)	P, G, A	Proyectista: La costumbre y política de los desarrolladores y de las dependencias es mantener lo más separado posible lo pluvial de la convivencia con los habitantes Consultor: Definir proyectos de uso múltiple que consideren control, aprovechamiento y uso recreativo en parques y jardines Constructor: la empresa se preocupa por la calidad de los desarrollos y la calidad del ambiente urbano, promueve la convivencia al construir los ACD (áreas de cesión) y jardines con equipamiento para su desenvolvimiento
			Poco	C, A	(B)		
	No:		Regular		(C)		
			Bueno	G, I	(D)	P, C	
	Depende:	P, A	Excelente		(E)		
			N/A		(F)	P	
					(G)		

Aquí se expresa que si se considera pero poco, de la perspectiva del constructor y del encuestado institucional dicen que es bueno. Se atribuye principalmente a la razón A y D, y en menor medida la F.

El hecho de que no se considere necesario en conjunto con los proyectos pluviales es entendible ya que se puede ver como dos temas que no tienen relación pero es ahí donde los SUDS ofrecen un beneficio extra en comparación con los sistemas convencionales como se ha mencionado en capítulos anteriores, ya que su diseño y funcionamiento es normalmente con mediante técnicas superficiales a la vista que pueden combinarse con el uso de plantas para mejorar tanto el beneficio de amenidad visual como la eliminación de contaminantes.

ID del criterio	¿Se considera?		¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?		¿A qué razón lo atribuyes?		Observaciones- comentarios
CS-2	Si:	I	Escaso	C	(A)	P, G, A	Proyectista: se ha dado en pocos casos que se alinean los 3 actores principales con esta idea, el proyectista, el desarrollador y la autoridad, sin embargo siempre es difícil que los dos últimos vean las ventajas y beneficios de los SUDS. Consultor: Debería ser parte de las obligaciones del gobierno estatal y municipales como parte de las actividades de promoción de cultura del agua Constructor: La empresa propicia el respeto de las áreas verdes Institucional: Campañas y programas de uso eficiente del agua y cultura del agua
			Poco	P, G	(B)		
	No:	C, A	Regular		(C)		
			Bueno	I	(D)	P, A	
	Depende:	P, G	Excelente		(E)		
			N/A	A	(F)	C, A	
				(G)			

En este punto hay mucha negativa, ya que dos personas pusieron que no y otras dos que sí, y además la mayoría respondieron que poco o escaso, solo el encuestado institucional respondió que considera bueno el desarrollo de este punto.

En el caso de los proyectos pluviales convencionales no hay mucha oportunidad para esto, sin embargo ha habido experiencias internacionales donde se aprovecha el uso de SUDS, como estanques, techos verdes, biorretenciones y cunetas verdes para poner letreros o realizar visitas escolares que explican los beneficios ambientales que estos proveen. Por lo que es una justificación o herramienta más que solo los SUDS pueden proveer.

ID del criterio	¿Se considera?		¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?		¿A qué razón lo atribuyes?		Observaciones- comentarios
CS-3	Si:	P, G, I, A	Escaso		(A)		Proyectista: Independientemente del costo y funcionamiento, tanto proyectistas, desarrolladores y dependencias priorizan la seguridad de los habitantes Consultor: No existe una política pública a nivel federal, estatal y municipal que impida la invasión de zonas federales Constructor: Encausamiento de las aguas pluviales a sistemas de infiltración (entubamiento) Institucional: Con la reglamentación y lineamientos técnicos aplicados a los proyectos ejecutivos se pretende mejorar el manejo y control de los escurrimientos originados por las lluvias
			Poco	C	(B)	G	
	No:	C	Regular	A	(C)		
			Bueno	P, G, I	(D)	A, C	
	Depende:		Excelente		(E)		
			N/A		(F)	A	
				(G)			

En este punto todos se expresaron positivos excepto el consultor, el cual expreso además en los comentarios que no existe política pública federal que impida la invasión de zonas federales.

Con los nuevos lineamientos y lo que requiere el Art. 86-Bis de la Ley de Aguas del Estado se pretende garantizar la seguridad de las personas mediante el control y regulación en la fuente de los escurrimientos, además de la captación del flujo en vialidades mediante bocas de tormenta en puntos estratégicos que no permitan el elevamiento del tirante en conjunto con una alta velocidad del flujo que impida que las personas o los vehículos puedan caminar o circular de manera segura.

ID del criterio	¿Se considera?		¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?		¿A qué razón lo atribuyes?		Observaciones- comentarios
CE-1	Si:	G, I	Escaso	C	(A)	P, A	<p>Proyectista: Se realizan comúnmente análisis de costos de la obra, pero se deja de lado el mantenimiento y otros costos como ambientales y sociales. Además las dependencias no tienen asignados impuestos o métodos de cobro por cuestiones pluviales</p> <p>Consultor: Se requiere establecer una política pública que obligue el mantenimiento regular de las obras hidráulicas</p> <p>Constructor: Se debe realizar el análisis del retorno de capital a invertir</p> <p>Institucional: Se realizan análisis de costos y presupuestos de los diferentes proyectos ejecutivos que se realizan y de los proyectos de inversión, programas de mantenimiento y de operación.</p>
			Poco	P, A	(B)	G, A	
	No:	C	Regular	G	(C)	G	
			Bueno	I	(D)	P, C	
	Depende:	P, A	Excelente		(E)		
			N/A		(F)		
				(G)			

Aquí solo el consultor expresó negativa, los demás consideraron que si pero re desarrolla de escaso a regular, de nuevo el encuestado institucional expresó que se trabaja a un nivel bueno. Los motivos principales fueron el A, B y D.

Aquí hubo desacuerdo entre el encuestado Institucional y proyectista y consultor, puede ser debido a que hubo un mal entendido en la pregunta o a lo que refiere el encuestado institucional sobre los presupuestos y análisis de costos de mantenimiento puede que se refiera también a proyectos pluviales de gran escala o proyectos de agua potable o drenaje.

Si se aplican estrategias SUDS es necesario considerar los costos de operación y mantenimiento, y en final de costo de ciclo de vida para comparar la alternativa con sistemas convencionales o combinaciones de estos. Un punto interesante que comentó el proyectista en este tema es que no se toman en cuenta los costos ambientales y sociales de ciertos proyectos por lo que deben desarrollarse metodologías y normativas que permitan esto.

ID del criterio	¿Se considera?		¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?		¿A qué razón lo atribuyes?		Observaciones- comentarios
CE-2	Si:	P, C, G	Escaso		(A)		<p>Proyectista: Los análisis B:C se llevan a cabo, por solicitud de las autoridades, en obras importantes que tienen un impacto en una zona general, sin embargo esto no se genera a pequeña escala. Tampoco se tiene una visión de recuperación del valor de un sitio basado en lo pluvial</p> <p>Consultor: Artículo 86-Bis establece una reducción de costos de inversión pública ya que se construyen unas</p>
			Poco		(B)		
	No:		Regular	P, A	(C)		
			Bueno	C, G	(D)	P, C, A	
	Depende:	A	Excelente		(E)	G, A	
			N/A		(F)	P	

	Depende:	G	Bueno	I	(D)	P, C, A	intentado replicar esta idea en zonas públicas pero con poco o nulo éxito hasta el momento. Consultor: continua la mejoría y actualización de los programas de manejo de agua de lluvia a nivel de la secretaria de Hacienda Institucional: Se realizan estudios y análisis hidrológicos de las diferentes subcuencas urbanas para determinación de los sitios y/o puntos de riesgo de inundación
			Excelente		(E)		
			N/A		(F)	P	
				(G)			

CH-1. Apoyar la gestión del riesgo de inundación en la cuenca receptora

Hay acuerdo en que si se considera y aun nivel regular y bueno. La razón principal atribuida a que no sea mejor el desarrollo de este criterio son las políticas públicas. Se menciona que ya existe la reglamentación en lugar como se ha mencionado en repetidas ocasiones sobre el Art- 86-Bis y que se continúan mejorando y actualizando los programas de inversión en manejo de agua de lluvia. En este punto se puede reiterar lo que se mencionó en el criterio ambiental CA-2, en cuanto a que este puede ser uno de los objetivos estratégicos y específicos en función de las necesidades y problemáticas particulares que se presentan en la zona o cuenca. Por ejemplo si el riesgo aguas abajo del desarrollo en cuestión no es muy elevado o es nulo, es preferible usar la inversión que se utilizaría en hacer un tanque de regulación en poner varios sistemas de infiltración o tratamiento mediante SUDS, depende el caso.

ID del criterio	¿Se considera?	¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?	¿A qué razón lo atribuyes?	Observaciones- comentarios		
CH-2	Si:	P, C, G, I, A	Escaso	(A)	P	Proyectista: La normatividad actual considera muchos de estos conceptos, sin embargo tiene como punto débil que no demanda más espacio para la aplicación de SUDS y en algunos casos hasta las dependencias se oponen. Consultor: Establecer índices de control y niveles de detención en función de las características del desarrollo y tipos de suelo a nivel de microcuencas Constructor: Falta apoyo por las dependencias
			Poco	(B)		
	No:		Regular	(C)	C, G, A	
			Bueno	P, G, I, A	(D)	
	Depende:		Excelente	(E)		
			N/A	(F)	P	
				(G)		

CH-2. Considerar las características del área y del drenaje en el proyecto.

Hay total acuerdo en que se considera este criterio a un nivel bueno, y la razón de que no sea excelente puede ser la opción C, el desarrollo técnico-investigativo, además de A y F.

En este punto no hay mucho que decir ya que si se integran la mayor parte de los indicadores especificados dentro de este criterio que aparecen en la Tabla, que son la pendiente del lugar, el nivel freático, uso de suelo e integración de los sistemas con la configuración de vialidades y propuestas arquitectónicas. Esto se considera en cuanto a los sistemas convencionales y las reglas que a estos les competen, pero su fuesen los SUDS considerados para implementarse estos funcionan bajo otras reglas, por lo que dependiendo de estas características puede restringir o crear la oportunidad para determinados sistemas SUDS a ser implementados.

ID del criterio	¿Se considera?		¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?		¿A qué razón lo atribuyes?		Observaciones- comentarios
CH-3	Si:	P, C, G, I, A	Escaso		(A)	G	Proyectista: Todo esto se toma en cuenta en la normativa Consultor: En el caso del proyecto del Depósito San Rafael donde la autoridad municipal impidió la construcción en el campo de futbol y propuso un área alterna Constructor: Para optimizar recursos, se busca aprovechar el entorno Institucional: Se analizan diferentes alternativas de solución para la selección del sistema más eficiente
			Poco		(B)		
	No:		Regular	A	(C)	A	
			Bueno	P, G, I	(D)		
	Depende:		Excelente		(E)	A	
			N/A		(F)	C, A	
				(G)			

CH-3. Considerar de manera integral las restricciones físicas del lugar para realizar una mejor selección de los sistemas a utilizar.

En este punto se mostraron acuerdos en que si se considera, aun un nivel entre regular y bueno, las razones atribuidas a porque es así, son principalmente la F y luego en igual medida A, C y E.

Este punto es igual que el anterior CH-2 en cuanto a que si se consideran las restricciones físicas, las cuales se definieron en los indicadores de la Tabla como el tipo de suelo, la permeabilidad y la cobertura vegetal principalmente, aunque se podrían agregar otros. En este sentido entonces aplica lo mismo que se mencionó anteriormente, en cuanto a que si se pretende utilizar los SUDS es necesario entender y aplicar nuevas reglas que aplican solo a estos.

ID del criterio	¿Se considera?		¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?		¿A qué razón lo atribuyes?		Observaciones- comentarios
CH-4	Si:	P, C, G, I, A	Escaso		(A)		Proyectista: En reglamentos se considera casi todo esto menos la protección a acuíferos, aunque existen normas federales que lo establecen Consultor: Falta trabajos en la zonificación de microcuencas. Es una obligación que debería hacer el municipio Institucional: Se realizan estudios específicos de geotecnia para la determinación de las características físicas del subsuelo y suelo, para propósitos de infiltración y protección de acuíferos
			Poco		(B)		
	No:		Regular	C, G	(C)	C	
			Bueno	P, I, A	(D)	P	
	Depende:		Excelente		(E)		
			N/A		(F)	P, A	
				(G)			

CH-4. Considerar características del suelo y subsuelo, capacidad de infiltración y protección a acuíferos

Aquí de nuevo la tendencia es positiva y las razones atribuidas son principalmente la falta de coordinación entre dependencias, seguido en menor medida de la falta de políticas y desarrollo técnico-investigativo.

En este punto es de importancia identificar que debería estar bien establecido las zonas de riesgo para acuíferos, especialmente los que son someros para evitar que se contaminen, que es lo que comenta el proyectista y contrasta con lo que menciona el encuestado institucional sobre que se realizan los estudio precisos para garantizar la infiltración y protección de acuíferos.

ID del criterio	¿Se considera?		¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?		¿A qué razón lo atribuyes?		Observaciones- comentarios
CH-5	Si:	P, C, A	Escaso		(A)	G	Proyectista: Igual que CH 3 excepto cuestiones de calidad del agua infiltrada Consultor: Mediante la aplicación de modelos matemáticos a nivel de microcuencas que sean accesibles para los técnicos de las dependencias Constructor: Se invierte poco recurso Institucional: Para el control y manejo de los escurrimientos se consideran las diferentes estructuras de infiltración, detención y retención (depósitos de tormenta)
			Poco	G	(B)		
	No:		Regular	C, A	(C)	C, A	
			Bueno	P	(D)		
	Depende:	G	Excelente		(E)	A	
			N/A		(F)		
				(G)			

CH-5. Garantizar una correcta captación y almacenamiento de los escurrimientos y control de inundaciones

En este punto hubo acuerdo en que el nivel de consideración es de regular a bueno, y los motivos de que no sea se atribuyen a el punto C mayormente, seguido en menor medida por A y E.

ID del criterio	¿Se considera?		¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?		¿A qué razón lo atribuyes?		Observaciones- comentarios
CH-6	Si:	C	Escaso	P	(A)	P, G	Proyectista: No existen posicionamientos oficiales por parte de las autoridades locales sobre si el cambio climático ha afectado el régimen de lluvias, por lo tanto no se exige Consultor: Falta promoción y apoyo de programas federales para el aprovechamiento del agua de lluvia Constructor: Se sacrifican algunos elementos por optimizar el proyecto Institucional: Se pretende que las medidas estructurales sean flexibles y puedan ser adaptables y susceptibles a cambios futuros
			Poco	C, G, A	(B)		
	No:	P, A	Regular		(C)	C, A	
			Bueno		(D)	P	
	Depende:	G	Excelente		(E)	P, A	
			N/A		(F)		
				(G)			

CH-6. Buscar la flexibilidad, adaptabilidad y potencial para la reutilización para ser resilientes a cambios futuros

En este punto no hubo acuerdo, siendo la opción más elegida la que dice que no, luego se considera que se trabaja a un nivel escaso y poco. Las 3 principales razones atribuidas fueron la A, C y E, y en menor medida la D. En este criterio la respuesta que parece ser la más pertinente es la del proyectista, quien nos menciona que no hay posicionamientos oficiales por parte de los organismos para atender los riesgos que representa el cambio climático en el manejo de las aguas pluviales, esto es de

sería relevancia ya que es necesario que se acepte la ciencia del cambio climático la cual ya está muy desarrollada y se tenga en cuenta en los proyectos pluviales.

En este criterio los SUDS son sistemas más adaptables y flexibles ya que fácilmente se les puede dar mantenimiento, aumentar su tamaño en caso de ser necesario o en dado caso removerlos.

ID del criterio	¿Se considera?		¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?		¿A qué razón lo atribuyes?		Observaciones- comentarios
CH-7	Si:	P, C, G	Escaso		(A)	G,A	Proyectista: La normatividad actual considera muchos de estos conceptos, sin embargo tiene como punto débil que no demanda más espacio para la aplicación de SUDS y en algunos casos hasta las dependencias se oponen. Consultor: Se requiere considerar el uso múltiple de los sistemas de control para que consideren el uso lúdico con el uso para control y aprovechamiento Institucional: Se trata de hacer multifuncionales algunas medidas estructurales como lo son pavimentos permeables en estacionamientos.
			Poco	A	(B)		
	No:	A	Regular	C	(C)	C	
			Bueno	P, G	(D)		
	Depende:		Excelente		(E)	A	
			N/A		(F)		
				(G)			

CH-7. Maximizar la multifuncionalidad de los sistemas (educación, recreación, canchas, estacionamientos)

Hubo acuerdo en que si se considera, al contrario del autor que considera que no. El nivel en que se desarrolla va de poco a bueno, siendo regular y bueno lo más aceptado. Las razones asociadas son principalmente que no se considera necesario en muchos casos, que es la opción A, seguido de la opción C y E.

En este sentido los SUDS ofrecen estos beneficios por su misma naturaleza sin buscarlo como un objetivo específico. Es decir al realizar los proyectos pluviales utilizando SUDS estas creando un sistema que es multifuncional ya que además de proveer las funciones hidráulico-hidrológicas, también dan tratamiento al agua, generan hábitats y sirven como elementos de amenidad que mejoran la calidad estética de los lugares donde las personas habitan. Por lo tanto su uso se debe promover y generalizar en la región.

ID del criterio	¿Se considera?		¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?		¿A qué razón lo atribuyes?		Observaciones- comentarios
CH-8	Si:	P, C, G, I, A	Escaso		(A)	G	Proyectista: Se consideran estos conceptos pero en desarrollos nuevos, más no se aplica en la ciudad ya construida Consultor: Una vez que se tenga una base de datos confiable de las características y condiciones de la infraestructura hidráulica se podrán manejar mejor los sistemas Institucional: Se trata de mitigar el impacto tanto hidrológico como en el sistema de drenaje existente al desarrollar nuevas zonas urbanas
			Poco	G	(B)	P,A	
	No:		Regular	P, C, A	(C)		
			Bueno	I	(D)	C	
	Depende:		Excelente		(E)		
			N/A		(F)	P	
				(G)			

CH-8. Identificar el Impacto sobre el sistema de drenaje/ integración en el sistema.

Hubo acuerdo en que si se considera, en un nivel regular mayoritariamente, y las razón atribuida a que sea regular y no excelente es la falta de recursos y después en menor medida las opciones A, D y P.

Como ya se ha mencionado el Impacto Hidrológico Cero aplica solo para nuevos desarrollos que es lo que menciona el proyectista y el encuestado Institucional. El comentario del consultor es interesante en cuanto a que en realidad no se considera de manera correcta porque aún no se tiene información detallada y confiable sobre el estado y ubicación de toda la infraestructura, lo que deja en claro que sea necesario invertir más en levantamientos de infraestructura y generación de bases de datos en sistemas de información geográfica que sean accesibles y confiables.

En este punto los SUDS pueden funcionar como sistemas descentralizados que le quitan presión a la red o sistema existente, por lo que es otro punto más a favor para justificar y promover su utilización.

ID del criterio	¿Se considera?		¿En qué nivel se desarrolla/trabaja este punto?		¿A qué razón lo atribuyes?		Observaciones- comentarios
			Escaso		(A)	A	
CH-9	Si:	P, C, G	Poco	P, C,A	(B)	P, C, A	Proyectista: El mantenimiento y la operación se enfoca en el drenaje combinado pero por falta de recursos y coordinación, el que se lleva a cabo en sistemas pluviales es mínimo Consultor: Se deben atender las mejores prácticas de manejo como una obligación permanente Constructor: A través del departamento de post-venta, que atiende el mantenimiento aunado a la contratación de empresas que no solo construye sino que da servicio de mantenimiento Institucional: Se realizan y elaboran programas de los diferentes sistemas que tiene el organismo operador para el abastecimiento de agua potable y saneamiento de la zona metropolitana de Guadalajara.
			Regular	G	(C)	G	
	No:		Bueno		(D)		
			Excelente		(E)		
	Depende:	A	N/A		(F)	P, C	
					(G)		

CH-8. Definir y hacer un plan para atender requerimientos de operación y mantenimiento

En general se expresó que si se considera, sin embargo se puso que se hace poco. La principal razón atribuida fue la B, falta de recursos, seguido de la F, "Falta de coordinación entre dependencias".

En opinión del autor y por lo que ha investigado el mantenimiento que se da al sistema pluvial es muy poco y es de carácter correctivo cuando debería ser preventivo, más aun así es verdad que últimamente se ha puesto más atención a esta problemática y se desazolván canales y colectores en mal estado poco antes de la temporada de lluvias. En el caso de sistemas en desarrollos pequeños, especialmente los pozos de infiltración no hay quien se encargue de revisar su estado y darles mantenimiento de parte de los organismos y si se da es por iniciativa de la comunidad que se hace responsable.

En el caso de que se implementen SUDS es de gran importancia que se realice un análisis de los costos y actividades necesarias para el mantenimiento, así como identificar a los responsables para garantizar el correcto funcionamiento al mediano y largo plazo. Una característica de los sistemas por su carácter superficial, es que son más fáciles de visualizar que digamos un pozo de infiltración o un tanque enterrado, por lo que en caso de que este azolvado o lleno de basura las personas pueden notificar o levantar un reporte de manera más sencilla.

En este criterio, en entrevista informal con el Constructor mencionó que ellos como empresa constructora definen áreas de cesión para destino al municipio que los habitantes del desarrollo después de un periodo de tiempo pueden solicitar un

“comodato” que es un esquema bajo el cual la comunidad se hace cargo del mantenimiento del espacio, de esta manera el municipio se ve beneficiado al delegar la responsabilidad y ahorrar recurso público. Bajo este esquema se podría manejar o incluir el mantenimiento de los SUDS que se vayan a implementar en algún proyecto.

4.6.1 Resumen de información relevante de encuestas

El desarrollo de esta encuesta fue útil para evaluar las opiniones y contrastes de diferentes actores que representan varios sectores involucrados en el manejo del agua pluvial. Se puede concluir que la tendencia general es que se tiene conciencia sobre los criterios que se deben considerar pero en muchas de las ocasiones resultó que aunque se consideran se desarrollan poco y en ningún criterio se expresó que el trabajo fuera excelente, lo que deja lugar a un gran campo de mejora.

Las políticas, la falta de coordinación entre dependencias y el hecho de que no se considere necesario fueron las razones más repetidas que expresan son los causantes de la situación en la región. Fue interesante que ni el desarrollo técnico-investigativo, ni la falta de recursos ni la creación de normativas más estrictas haya sido más relevante, lo que nos deja en claro que las herramientas necesarias y básicas para mejorar la situación ya existen lo que se necesita entonces es un trabajo de voluntad política para dirigir las inversiones a donde deben ir.

Las categorías ambiental y social fueron las que mostraron menor optimismo o debilidad ya que hubo acuerdo en que se consideran poco dentro de los criterios de diseño de los proyectos pluviales o dependen mucho del tipo y escala del proyecto que se esté tratando.

Bajo este entendimiento se reitera la propuesta mencionada en el criterio ambiental 2 (CA-2) que sirve o abarca la mayoría de los criterios, esta propuesta se basa en las mejores prácticas internacionales en el manejo de las aguas pluviales y consta en que antes de comenzar el diseño conceptual o detallado del proyecto pluvial es necesario determinar e identificar objetivos estratégicos en función de las condiciones y necesidades del lugar. Esto debe hacer en cooperación y consulta con los involucrados más relevantes y con herramientas como estudios de riesgo de inundación y de impacto ambiental disponibles, con el fin de proveer al proyectista con las mejores herramientas para diseñar el proyecto pluvial más acorde a la realidad del lugar y que entregue el mayor beneficio posible a la comunidad en la que se inserta.

Los beneficios que esto puede ofrecer bajo un esquema de sistemas SUDS pueden ser pero no se limitan a, contar con una fuente alternativa de agua para mejorar la seguridad de agua, mayor valor de amenidad, recreación y educación dentro de los espacios públicos, hábitats y biodiversidad mejorados, mayor Resiliencia al cambio climático, reducción de la presión a la infraestructura de drenaje y reducción de inundaciones, una estructura natural que integra el espacio público, las vialidades y edificaciones con las rutas de flujo del agua superficial y se integra con componentes azules y verdes de almacenamiento y tratamiento, un mecanismo para mejorar y definir la calidad, carácter y estética visual tanto del espacio construido como de las áreas verdes/abiertas y en definitiva un sistema de manejo del agua superficial que puede ser manejado de manera fácil y costo-efectiva (CIRIA, 2015).

4.6.2 Matriz de Ponderación de criterios

Los resultados del ejercicio de ponderación se muestran en las Tablas 44 y 45. En este, como se mencionó anteriormente, al momento de hacer la encuesta y llenar la información que se solicitó sobre los criterios, se entregó a las personas encuestadas la misma lista de criterios pero con una casilla que llenaban con un valor de la escala 1 a 10, según la importancia que tiene para ellos en su práctica o ámbito profesional, por lo que es subjetivo. Con estos valores luego se procede a promediar lo que los 4 encuestados respondieron y a ponderarlo dándole un peso del 25% a cada categoría con el fin de establecer que todas

las categorías tienen el mismo peso global y de esa manera se puede calificar y comparar distintas alternativas de proyectos pluviales, partiendo de convertir un juicio cualitativo a un valor cuantitativo que permite dar una idea buena de los beneficios de cada proyecto, en este caso el encargado de realizar la calificación final fue el autor de la investigación por los alcances y tiempos del proyecto, pero habría sido más recomendable juntar a los encuestados en una dinámica tipo “focus group” y hacer que calificarán el proyecto convencional y con SUDS a partir de su cumplimiento con cada criterio y tener un juicio compartido. En este caso no fue así, la calificación final de cada criterio la realizó el autor en base a una serie de indicadores cuantitativos y cualitativos dentro de cada criterio basados en literatura, más adelante se detallarán los resultados.

Categoría	ID del Criterio	Representante 1		Representante 2		Representante 3		Representante 4		Promedio Aritmético	PONDERACIÓN RELATIVA SUSTENTABLE
		Consultor		Proyectista		Constructor		Institucional			
Ambiental	CA 1	10	18.5%	9	20.0%	9	16.7%	10	17.2%	18.1%	4.53%
	CA 2	8	14.8%	7	15.6%	10	18.5%	10	17.2%	16.5%	4.13%
	CA 3	8	14.8%	6	13.3%	9	16.7%	10	17.2%	15.5%	3.88%
	CA 4	9	16.7%	6	13.3%	9	16.7%	10	17.2%	16.0%	3.99%
	CA 5	10	18.5%	9	20.0%	9	16.7%	10	17.2%	18.1%	4.53%
	CA 6	9	16.7%	8	17.8%	8	14.8%	8	13.8%	15.8%	3.94%
		54	100%	45	100%	54	100%	58	100%	100%	25.00%
Social	CS 1	10	33.3%	6	24%	10	34%	7	25.9%	29.4%	7.36%
	CS 2	10	33.3%	9	36%	9	31%	10	37.0%	34.4%	8.59%
	CS 3	10	33.3%	10	40%	10	34%	10	37.0%	36.2%	9.05%
		30	100.00%	25	100%	29	100%	27	100%	100%	25.00%
Económico	CE 1	8	28.6%	8	33.3%	10	35.7%	8	32.0%	32.4%	8.10%
	CE 2	10	35.7%	8	33.3%	8	28.6%	9	36.0%	33.4%	8.35%
	CE 3	10	35.7%	8	33.3%	10	35.7%	8	32.0%	34.2%	8.55%
		28	100%	24	100%	28	100%	25	100%	100%	25.00%

Tabla 44. Comparación de puntaje ponderado entre el proyecto pluvial convencional y el proyecto con SUDS en las categorías ambiental, social y económica.

Categoría	ID del Criterio	1		2		3		4		Promedio Aritmético	PONDERACIÓN RELATIVA SUSTENTABLE
		Consultor	Proyectista	Constructor	Institucional						
Técnico- Hidráulico/Holístico	CH 1	10	11.1%	10	11.8%	10	11.8%	10	11.4%	11.5%	2.88%
	CH 2	10	11.1%	10	11.8%	9	10.6%	10	11.4%	11.2%	2.80%
	CH 3	10	11.1%	10	11.8%	8	9.4%	10	11.4%	10.9%	2.73%
	CH 4	10	11.1%	9	10.6%	9	10.6%	10	11.4%	10.9%	2.73%
	CH 5	10	11.1%	10	11.8%	10	11.8%	10	11.4%	11.5%	2.88%
	CH 6	10	11.1%	8	9.4%	10	11.8%	10	11.4%	10.9%	2.73%
	CH 7	10	11.1%	9	10.6%	9	10.6%	8	9.1%	10.3%	2.59%
	CH 8	10	11.1%	10	11.8%	10	11.8%	10	11.4%	11.5%	2.88%
	CH 9	10	11.1%	9	10.6%	10	11.8%	10	11.4%	11.2%	2.80%
		90	100%	85	100%	85	100%	88	100%	100%	25.00%

Tabla 45. Comparación de puntaje ponderado entre el proyecto pluvial convencional y el proyecto con SUDS en las categoría técnico-hidráulico/holístico.

4.6.3 Discusión de resultados de Matriz de ponderación de criterios

Aquí fácilmente se puede observar las preferencias y juicios de cada actor, cada criterio y cada categoría y hacer inferencias de nuevo sobre las tendencias generales, igual que en el ejercicio anterior, pero aquí solo mediante valores cualitativos. Por ejemplo, en la Tabla 44 tenemos los resultados de las categorías ambiental, social y económica, si se empieza por un análisis de lo general a lo particular por categoría, podemos observar que el actor que dio más puntos al tema ambiental, fue el institucional con 58 y el que dio menos fue el proyectista con 45. Otra dato importante sería que el Criterio CA-1 y el CA-5 obtuvieron el mayor promedio aritmético, en cambio el CA-3 obtuvo la menor valoración, dando entender que la calidad del agua y el tema de proteger los sistemas hidrológicos tiene mayor valoración general al contrario del crear ecosistemas diversos, autosustentables y resilientes. También se puede analizar de esta manera observando la tendencia de cada actor individualmente para observar su valoración comparativa entre criterios, por ejemplo observando únicamente al constructor en la categoría ambiental, podemos ver que valora altamente usar el agua como un recurso, criterio CA-2 y el que menos valora es el uso eficiente de materiales y energía, que sean bajos en carbono.

De esta manera se pueden analizar las demás categorías pero no es el objetivo del ejercicio, su objetivo es ser utilizado en el capítulo 5.9, en el cual después de haber definido el proyecto convencional en el capítulo 5.2 y el proyecto con SUDS en los capítulos 5.6 y 5.7 se hará una comparativa de estos utilizando esa matriz en combinación con una serie de indicadores cuantitativos y cualitativos que generarán un puntaje logrado por cada proyecto, con lo que se podrá concluir con un proyecto ganador.

5. DISEÑO DE LAS PROPUESTAS

En este apartado se realizará y revisará la propuesta de sistemas de manejo del agua pluvial que se han mencionado en capítulos anteriores, los resultados y conclusiones se basarán principalmente bajo la discusión de la información que arroje el software especializado de diseño xpdrainage® que se eligió para estudiar los posibles sistemas y su funcionalidad hidrológica e hidráulica. A continuación se enlistan la metodología o pasos que se seguirán:

- 1.- Explicación de base teórica del software
- 2.- Caracterización descriptiva del sistema convencional y ubicación en relación con la Subcuenca El Guayabo
- 2.- Hidrología del fraccionamiento: Hidrogramas y caudales máximos
- 3.- Definición de ubicación y tipos de SUDS a aplicar
- 4.- Selección de SUDS en conjunto con evaluación de criterios de instrumento de encuesta
 - Aplicación de metodología internacional: discusión con actores para definición de criterios: nivel de servicio, sustentabilidad, costos.
 - Clasificación de criterios e indicadores
- 5.- Selección preliminar de técnicas SUDS a utilizar y apoyo mediante matriz de restricción/oportunidad
- 6.- Ubicación y dimensionamiento de propuestas
- 7.- Diseño detallado de sistemas
- 8.- Evaluación de los sistemas mediante una comparativa con el proyecto convencional mediante una tabla de ponderación de puntajes ponderados
- 9.- Comparativa de costos y materiales para estructuras/sistemas de regulación
- 10.- Análisis y conclusiones

Para el diseño y ubicación de las propuestas se utilizará un software especializado en SUDS llamado xpdrainage®, como se mencionó anteriormente. Este software es un paquete de diseño para uso de arquitectos paisajistas e ingenieros civiles. Te permite crear nuevos diseños mediante elementos tanto tradicionales (tubos, pozos de visita, tanques, etc) combinados con técnicas LID/SUDS/WSUD.

Este software le permite al usuario manejar el proceso de diseño completo, desde diseño conceptual, hasta análisis de calidad del agua y gastos hidráulicos. El diseño es construido sobre un mapa base del sitio y puede incluir SUDS conectados como sistemas de biorretención, estanques-lagos, cunetas verdes, pavimentos permeables, entre otros. También cuenta con calculadoras prácticas que apoyan a dimensionar los sistemas de manera individual y arroja resultados gráficos y tabulares claros sobre la funcionalidad de la red en conjunto.

5.1 Referencias/ Teoría del software

Es necesario explicar la base teórica hidráulica que utiliza el software para conocer sus beneficios y limitaciones, la información que se describe a continuación se obtuvo principalmente del sitio de soporte técnico de la página de los desarrolladores del software y del manual de usuario y explica las ecuaciones, también se consultaron otras fuentes para conocer un poco más, se presenta a continuación la información.

Formula de Manning

La fórmula de Manning es usada para cálculos de la velocidad del agua dentro del software. Se define de la siguiente manera:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Dónde:

V= Velocidad (m/s)

n= Coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional)

R = Radio Hidráulico (Área Hidráulica / Perímetro mojado) (m)

S = Pendiente (m/m).

Algoritmo Muskingum-Cunge

El software utiliza un algoritmo Muskingum-Cunge para calcular el tiempo de viaje y el coeficiente de retención para todos los sistemas SUDS. En el caso de que los SUDS consistan de dos subsistemas, por ejemplo una biorretención tiene un área de estancado del agua y capas de filtrado, el software llevara a cabo un conjunto de cálculos para cada subsistema individual.

El algoritmo Muskingum-Cunge es una variación del método de tránsito de Muskingum. El algoritmo calcula los parámetros hidráulicos básicos en una forma modificada, usando la ecuación de Manning para la velocidad y una ecuación modificada de celeridad de la onda de flujo.

Siendo la ecuación de Manning para la velocidad:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Radio Hidráulico:

$$R = \frac{A_w}{P_w}$$

Y la profundidad de referencia, se asume que el caudal de referencia es:

$$R = V_R A_R$$

La celeridad de la onda de flujo:

$$C_k = \frac{5}{3} V_R$$

El Coeficiente K es definido de la manera siguiente:

$$K = \frac{L}{C_K} = \frac{3}{5} \frac{L}{V_R}$$

Y eventualmente el Coeficiente de Retención:

$$\theta = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{3}{5} \frac{A}{W S_0 L} \right]$$

Dónde:

A = Área mojada

W= Ancho de la estructura

S₀= Pendiente de la estructura

L = Largo de la estructura

Con el radio hidráulico, el área mojada y el ancho de referencia calculados, el sistema calculara la velocidad y K, y llevara a cabo mayores cálculos para el método Muskingum.

En otro documento consultado en el Hydrology Research Group de Nevada donde describen los métodos de transito de hidrogramas para dos tipos de sistemas, reservorios o vasos y para canales. El tránsito de vasos es usado para determinar la atenuación al caudal pico que experimenta un hidrograma al entrar a un reservorio u algún otro tipo de espacio de almacenamiento. Los datos de entrada necesarios para este tipo de análisis son el hidrograma de entrada y las características del reservorio (almacenamiento e instalaciones de salida). El tránsito en canales es utilizado para conocer los efectos de un canal en el caudal pico de un hidrograma y el tiempo de traslado, los datos de entrada son el hidrograma de entrada y las características geométricas del canal.

Los métodos de transito de hidrogramas se pueden clasificar en métodos empíricos, lineares, hidrológicos e hidráulicos, siendo el método Muskingum y el Muskingum-Cunge (que se detallara a continuación) clasificados dentro de los **métodos hidrológicos**.

Los métodos hidrológicos están basados en el concepto de que el caudal de entrada, caudal de salida y almacenamiento deben adherirse al principio de conservación de masa o continuidad que se explicara a más adelante.

El método Muskingum ignora totalmente la ecuación de momento y se basa solamente en la de continuidad. El método es aplicable para ondas de difusión.

Análisis de SUDS/uniones

Muskingum

El tránsito mediante Muskingum es usado en xpdrainage para representar el flujo canalizado o flujo filtrado. Es adecuado para sistemas de drenaje con tiempos de traslado significativos entre la entrada y salida y con algo de atenuación del hidrograma, ya sea por un largo flujo canalizado o porque el flujo es filtrado lentamente. Está disponible para todos los SUDS excepto para el Pozo de Infiltración (Soakaway). La descripción del método aquí es también relevante para el flujo que corre entre conexiones. El método de tránsito de Muskingum está basado en las dos siguientes ecuaciones:

La ecuación de la continuidad del flujo es:

$$I - Q = \frac{d}{dt}$$

El modelo de almacenamiento en el sistema de canal/tramo/tubería es:

$$S = K [\theta I + (1 - \theta)Q]$$

Dónde:

I = Caudal de entrada

Q = Caudal de salida

S = almacenamiento en el tramo considerado

θ = es un coeficiente de ponderación (asigna mayor o menor importancia relativa al almacenamiento en cuña o en prisma). Puede variar de 0 a 0.5.

K = es el tiempo de traslado entre dos puntos.

t = es el tiempo, en la ecuación de la continuidad

Estos pueden ser convertidos a una ecuación de tránsito relacionando el caudal de salida con el de entrada sobre el intervalo de tiempo Δt desde el tiempo t_n al tiempo t_{n+1} que puede ser computado simplemente como:

$$Q_{n+1} = \frac{-K\theta + 0.5 \Delta t}{K(1 - \theta) + 0.5 \Delta t} I_{n+1} + \frac{K\theta + 0.5 \Delta t}{K(1 - \theta) + 0.5 \Delta t} I_n + \frac{K(1 - \theta) - 0.5 \Delta t}{K(1 - \theta) + 0.5 \Delta t} Q_n$$

Estas ecuaciones simples están bien adecuadas para representar el flujo a través de los sistemas de drenaje sustentable por la elección natural de estados y parámetros (natural en términos del proceso de diseño). Primero que nada, el máximo almacenamiento puede ser el objetivo de diseño o puede ser estimado fácilmente. De manera similar, el tiempo de traslado puede ser el objetivo de diseño o se puede realizar una aproximación justa simplemente usando una ecuación de pérdidas por fricción y la longitud entre los puntos de entrada y salida.

El coeficiente de ponderación es más difícil de estimar. 0.5 es el valor máximo posible y no da dispersión del hidrograma (solamente traslación). Los valores entre 0.2 y 0.4 son recomendados para canales naturales. 0.4 sería un valor por defecto para cunetas verdes y 0.2 para sistemas de biorretención. Incluso un valor de 0.0 es posible, si se da mayor extensión o propagación. Hay que mencionar que la propagación es simétrica.

Para sistemas de drenaje sustentables, el tiempo de traslado es calculado tanto a lo largo de la longitud del sistema y hacia abajo a través de las capas de filtrado. Esto es realizado mediante un cálculo simple de a largo + abajo, donde a lo largo es a través de la ruta más rápida dentro del sistema (a lo largo del canal para una cuneta vegetada y a través de la capa de fondo de una biorretención).

Mientras que el método de Muskingum da el valor del hidrograma de salida en cada intervalo de tiempo, no calcula los niveles. Como es esencial para el usuario del software saber los niveles dentro del sistema de almacenamiento, que tanto se ha llenado el sistema en cada intervalo de tiempo, y si rebosará o no, xpdrainage calcula los niveles del agua en cada estructura desde el volumen actualmente almacenado, después de que los volúmenes han sido actualizados. Esto permite al software mostrar la línea piezométrica.

Xpdrainage también ofrece las siguientes dos alternativas al método de Muskingum para el tránsito a través de los sistemas SUDS.

Retraso de tiempo simple

Mientras que cierto grado de atenuación es natural en la mayoría de las medidas de almacenamiento y sistemas de conducción por gravedad, no siempre es claro cuál debería ser el grado de aplanamiento del hidrograma, y el usuario podría preferir solamente especificar un retraso de tiempo. El hidrograma es propagado a través de la estructura con un desfase o demora pero sin atenuación. Esto es en realidad calculado como un caso particular del método Muskingum cuando el coeficiente de ponderación θ es igual a 0.5.

Sin Retraso

Alternativamente el usuario puede especificar que el tránsito sea calculado a través de la estructura sin ningún retraso en el tiempo.

Habría que mencionar que en general el sistema SUDS de todos modos puede generar atenuación del caudal en este caso si la descarga restringe el caudal de salida.

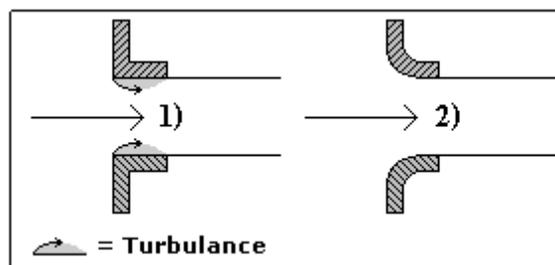
Fórmula para el cálculo de orificios

La información aquí presentada es extraída y traducida del manual y el sitio de soporte del software xpdrainage.

La estructura de salida definida como orificio es un control de salida de los sistemas a ser modelado en el software. La salida por orificio utiliza una fórmula de orificio para calcular el flujo cuando este tiene tirante sobre el o esta sobrecargado. Cuando el orificio no está sobrecargado, el flujo a través del orificio es calculado usando una fórmula de vertedor en forma circular.

Los parámetros que se ingresan son los siguientes:

- Diámetro: Diámetro del orificio en metros (m). Si se trabaja con una máxima descarga permisible una calculadora dentro del software es provista para ayudar a dimensionar el control. Para esto se necesitan dos parámetros adicionales:
 - Profundidad de diseño: Entra la máxima profundidad o tirante de agua para la que estas diseñando. Esto se ingresa como la altura sobre el nivel de arrastre del control y variara dependiendo
 - Caudal de diseño: Se entra el flujo requerido cuando el nivel de agua alcanza la altura o tirante de diseño. Esto debería ser la máxima descarga deseada a través del control.
- Coeficiente de descarga: Se entra el coeficiente según el tipo de salida que tengas, que puede ser de borde redondeado o borde cuadrado como se puede ver en la siguiente imagen.



Un coeficiente de 0.6 puede ser usado para entradas cuadradas (opción 1). El coeficiente puede ser incrementado a 0.95 si la entrada está bien redondeada usando un radio de curva igual al 15% del diámetro del orificio (opción 2). Debe ser disminuido a 0.5 si el orificio es formado por un tubo que sobresale hacia el interior del flujo.

- Nivel de base o arrastre del orificio.

Las siguientes fórmulas son usadas para calcular el caudal en el orificio:

$$\text{if } h \geq 1.431D \quad Q = C_d \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2g(h - D/2)} \quad (1)$$

$$\text{else if } h < 0.03D \quad Q = \frac{C_d}{0.575} 0.0463 \frac{h}{D} D^{2.5} \quad (2)$$

$$\text{else if } h < 0.06D \quad Q = \frac{C_d}{0.575} \left(0.12867 \left(\frac{h}{D} - 0.03 \right) + 0.00139 \right) D^{2.5} \quad (3)$$

$$\text{else if } h < 0.151D \quad Q = \frac{C_d}{0.575} \left(0.309 \left(\frac{h}{D} - 0.06 \right) + 0.00525 \right) D^{2.5} \quad (4)$$

$$\text{else if } h < 0.212D \quad Q = \frac{C_d}{0.575} \left(0.513 \left(\frac{h}{D} - 0.151 \right) + 0.0334 \right) D^{2.5} \quad (5)$$

$$\text{else if } h < 0.305D \quad Q = \frac{C_d}{0.575} \left(0.713 \left(\frac{h}{D} - 0.212 \right) + 0.0647 \right) D^{2.5} \quad (6)$$

$$\text{else if } h < 0.462D \quad Q = \frac{C_d}{0.575} \left(1.000 \left(\frac{h}{D} - 0.305 \right) + 0.131 \right) D^{2.5} \quad (7)$$

$$\text{else if } h < 0.587D \quad Q = \frac{C_d}{0.575} \left(1.712 \left(\frac{h}{D} - 0.462 \right) + 0.288 \right) D^{2.5} \quad (8)$$

$$\text{else if } h < 0.795D \quad Q = \frac{C_d}{0.575} \left(1.293 \left(\frac{h}{D} - 0.587 \right) + 0.502 \right) D^{2.5} \quad (9)$$

$$\text{else if } h < 0.976D \quad Q = \frac{C_d}{0.575} \left(1.768 \left(\frac{h}{D} - 0.795 \right) + 0.771 \right) D^{2.5} \quad (10)$$

$$\text{else if } h < 1.181D \quad Q = \frac{C_d}{0.575} \left(1.839 \left(\frac{h}{D} - 0.976 \right) + 1.091 \right) D^{2.5} \quad (11)$$

$$\text{else if } h < 1.431D \quad Q = \frac{C_d}{0.575} \left(1.860 \left(\frac{h}{D} - 1.181 \right) + 1.468 \right) D^{2.5} \quad (12)$$

Fórmulas para calcular el caudal en el orificio en función del diámetro y altura del agua sobre el nivel de base. Fuente: página de soporte de software xpadrainage.

Donde:

D= es el diámetro del orificio.

H= profundidad al centro del orificio (descarga libre es supuesta).

C= Coeficiente de descarga. Un valor por defecto de 0.6 es viable para bordes cuadrados pero puede ser cambiado.

La fórmula 1 representa el caudal a través en un orificio en carga. Las fórmulas de la 2 a la 12 representan el caudal a través del orificio cuando este actúa como un vertedor.

Fórmula para el cálculo de vertedores

La información aquí presentada es extraída y traducida del manual y el sitio de soporte del software xpadrainage. El caudal por una estructura de salida tipo vertedor es calculado usando la siguiente fórmula:

$$Q = C_d b g^{0.5} h^{1.5}$$

Donde:

Q= Caudal de descarga

Cd= Coeficiente de descarga

B= ancho del vertedor

H= altura del agua.

Cálculo de bocas de tormenta

Se utiliza el siguiente conjunto de fórmulas extraídas del libro de “Diseño de sistemas de sumideros en medio urbano” (Russo, B. & Gómez M., 2011), con el fin de obtener la eficiencia de captación que después se multiplica por el gasto de llegada de la vialidad calculado en la hidrología del sitio que se hará a continuación de esta sección introductoria.

$$E = \frac{Q_{\text{captado}}}{Q_{\text{calle}}}$$

Donde:

Q_{captado} es el caudal captado por la estructura de captación

Q es el caudal circulante por la calle

$$E = A \left[\frac{Q}{y} \right]^{-B}$$

Donde:

E Eficiencia de captación de la reja

Q caudal circulante por un ancho de 3 metros junto al bordillo (m³/s)

Y tirante de agua captado inmediatamente antes de la reja (m)

A, B parámetros de ajuste

$$A = \frac{1.998 \cdot A_g^{0.403}}{p^{0.190} \cdot (n_t + 1)^{0.088} \cdot (n_l + 1)^{0.012} \cdot (n_d + 1)^{0.082}}$$

$$B = 1.346 \cdot \frac{L^{0.179}}{W^{0.394}}$$

Donde:

A_g área del mínimo rectángulo que engloba todos los huecos (m²)

P porcentaje de área de huecos respecto al área que los engloba a todos $p = A_{\text{huecos}}/A_g$

n_t número de barras transversales

n_l número de barras longitudinales

n_d número de barras diagonales

L Longitud de la reja (cm)

W anchura de la reja (cm)

Glosario y traducción de términos utilizados en el software

Retention coefficient: En el análisis de SUDS/conexiones coeficiente de retención – su escala esta entre 0.1 y 0.5. Estos serán calculados automáticamente de las dimensiones del sistema usando el método Muskingum-Cunge. Alternativamente el valor puede ser entrado por el usuario si es conocido para evitar cálculos.

En conexiones tipo flujo atenuado. Este afecta la propagación del hidrograma de salida de las conexiones con valores más cercanos a 0.5 teniendo menor efecto. El valor de defecto es 0.1.

Como se mencionó el coeficiente de retención puede ser estimado por el usuario, la siguiente guía puede ser usada para establecer un valor. 0.5 es el máximo valor posible y no da dispersión del hidrograma (solo traslación). Valores entre 0.2 y 0.4 son recomendados para canales naturales. 0.4 sería un valor razonable de defecto para cunetas verdes y 0.2 para sistemas de biorretención. Un valor de 0.1 es el mínimo permitido, el cual da mayor propagación. Hay que notar que la propagación es simétrica. Si el tirante en la estructura aguas abajo es más alto que el tirante en la estructura aguas arriba, entonces no hay flujo a través de la conexión.

Bypass connection: Este es el tipo de conexión que conecta flujos derivados o que no logran entrar por cierta estructura de entrada por falta de capacidad o se puede considerar también como conducción de flujos rebosados.

Lagged Flow: Significa flujo retrasado. Este tipo de conexión retrasa el flujo mediante el tiempo de traslado especificado (sin atenuación).

Attenuated flow: Se refiere a un flujo atenuado. Este es un tipo de conexión que realiza un tránsito del flujo de acuerdo al método de Muskingum usando el tiempo de traslado especificado y el coeficiente de retención.

Hor. Retention: Especifica el tiempo para que el agua pase de la entrada a la salida en la dirección horizontal. El valor puede ser calculado basado en las dimensiones del sistema en diversas maneras:

Ecuación de Manning: El software puede determinar el tiempo de retención basado en las dimensiones que serán usadas mediante la ecuación. Para hacerlo un valor n de Manning debe ser especificado en la calculadora. La velocidad calculada luego será aplicada a la longitud del sistema para determinar el tiempo de retención.

Especificado por usuario: Si el tiempo de retención es un valor conocido simplemente puede ser entrada en el campo para evitar cálculos.

Ver. Retention: Especifica el tiempo para que el agua pase de la entrada a la salida en la dirección vertical. Este es usado en el método de análisis de SUDS/nodos para calcular la velocidad, flujo y volumen para cada intervalo de tiempo. El valor puede ser calculado basado en las dimensiones del sistema en diversas maneras:

Conductividad hidráulica: El software puede determinar el tiempo de retención basado en la tasa de filtrado dentro del sistema, que puede ser entrada en la calculadora. Esto será entonces aplicado a la profundidad de la zanja para determinar el tiempo de retención.

Especificado por usuario: Si el tiempo de retención es un valor conocido simplemente puede ser entrada en el campo para evitar cálculos.

Void ratio: El porcentaje del sistema de control del agua pluvial que está disponible para almacenamiento. Esto es dictado por el tipo de material que es utilizado. Por ejemplo 100% es vacío o típicamente 30% para grava.

Filtration rate: Define la tasa de flujo a través del medio filtrante basado en el material usado. Puede ser referido como conductividad hidráulica saturada.

Base Infiltration rate: Define la tasa de infiltración a través de la base del área de filtrado. Esta debe ser determinada mediante una prueba en sitio.

Side infiltration rate - Define la tasa de infiltración a través de los lados del área de filtrado. Esta debe ser determinada mediante una prueba en sitio.

Términos incluidos en gráficas:

Flow: Se refiere al caudal o gasto, su unidad es en l/s.

Total inflow: Se refiere al caudal o gasto de ingreso total al sistema. Su unidad es en l/s.

Total Outflow: Se refiere al caudal o gasto de salida total del sistema. Su unidad es en l/s.

Inlet: En las gráficas de hidrogramas se refiere al gasto de una sola estructura de entrada. Para distinguirlos se puede ponerle un nombre distinto, pero se dejaron así y se distinguen con un número entre paréntesis. Su unidad es en l/s.

Inlet Continuation: Cuando un inlet o entrada al Sistema tiene una restricción por capacidad, deja entrar ciertos gastos y otros no según como se configure. El gasto que se indique con este nombre es el que si ingresó al sistema. Su unidad es en l/s.

Inlet Bypass: Cuando un inlet o entrada al Sistema tiene una restricción por capacidad, deja entrar ciertos gastos y otros no según como se configure. El gasto que se indique con este nombre es el que no ingresó al sistema. Su unidad es en l/s.

Outlet: En las gráficas de hidrogramas se refiere al gasto de una sola estructura de salida. Para distinguirlos se puede ponerle un nombre distinto, pero en la mayoría de los sistemas se dejó así y se distinguen con un número entre paréntesis. Su unidad es en l/s.

Infiltration: En las gráficas de hidrogramas se refiere al caudal o gasto de infiltración. Su unidad es en l/s.

Depth: Es la profundidad. En las gráficas de tirante este se refiere al nivel del agua medido desde el nivel de la capa más baja de este, su unidad es en metros (m).

Depth (swale): En las cunetas verdes representa el nivel de agua o tirante de agua presentado en determinado tiempo en la parte superficial de conducción de estas. Su unidad es en metros (m)

Depth (trench): En las cunetas verdes representa el nivel de agua o tirante de agua presentado en determinado tiempo dentro de la zanja rellena con cierto material. Su unidad es en metros (m)

Exceedence depth: Es el nivel de excedencias, a partir del cual, si el tirante de agua dentro de un sistema lo supera te notifica como inundación. Su unidad es en metros y depende del sistema de coordenadas z que se esté utilizando.

Base level: Es el nivel de base de la parte superficial de todos los sistemas. Su unidad es en metros y depende del sistema de coordenadas z que se esté utilizando.

Volumen: Es el volumen. En las gráficas de curvas tiempo-volumen representan el volumen en el interior. Su unidad es en metros cúbicos (m³).

Total resident volume: Es el volumen total en determinado tiempo que se encuentra dentro del Sistema en cuestión. Su unidad de medida es en metros cúbicos (m³).

Resident volume (Ponding area): Es el volumen total en determinado tiempo que se encuentra en el área superficial o área de estancado del agua en el sistema. Su unidad de medida es en metros cúbicos (m³).

Resident volume (Filter area): Es el volumen total en determinado tiempo que se encuentra en el área de las capas filtrantes del sistema. Su unidad de medida es en metros cúbicos (m³).

Resident volume (swale): En el caso de cunetas verdes es el volumen total en determinado tiempo que se encuentra en el área de superficial de conducción del sistema. Su unidad de medida es en metros cúbicos (m³).

Total lost volume: Es el volumen total en determinado tiempo que se infiltró en el intervalo de tiempo analizado. Su unidad de medida es en metros cúbicos (m³).

Lost volume (ponding area): Es el volumen que se infiltró en el área de estancado o superficial en el intervalo de tiempo analizado. Su unidad de medida es en metros cúbicos (m³).

Lost volume (filter area): Es el volumen que se infiltró en el área de capas de filtrado en el intervalo de tiempo analizado. Su unidad de medida es en metros cúbicos (m³).

Flooded volume: Es el volumen que excedió el nivel de excedencias o nivel de tapa en el intervalo de tiempo analizado. Su unidad de medida es en metros cúbicos (m³).

Herramienta de diseño y revisión de los sistemas SUDS en cuanto a calidad del agua

Volumen de tratamiento del agua

En el capítulo 5.8 se realizará una revisión del volumen de tratamiento logrado por la propuesta mediante SUDS, por lo tanto a continuación se explican dos métodos para calcularlo según la información del manual del software xpdrainage.

El objetivo del volumen de tratamiento es retener y tratar el agua más contaminada de los todos los eventos lluvia-escurrimiento, y retener el volumen total de la mayoría de los eventos. El volumen de tratamiento puede ser manejado dividiéndolo entre varios componentes en serie o tren de tratamiento como se mencionó anteriormente.

El Water Quality Volume (WQv) es una medida para determinar cuál es el volumen necesario que deben disponer los SUDS utilizados en el proyecto. El software utilizado XP-Drainage cuenta con una herramienta de diseño la cual rápidamente te puede calcular el WQv por medio de dos métodos:

- Método de Cálculo simple de calidad del agua
- Método de cálculo de tratamiento del agua mediante reducción de la escorrentía

Ambos métodos pueden ser analizados desde una sola cuenca o todas las cuencas a la vez, y desglosar por cada sistema LID utilizado.

A continuación se explican las fórmulas de cálculo de cada método:

Cálculo simple de calidad del agua

$$WQv = R (P * Cv * A)$$

WQv= Volumen de tratamiento del agua

P= Altura de precipitación

Cv = Coeficiente de escurrimiento

A= Área

R= Proporción del volumen de escurrimiento requerido (normalmente entre 80 y 100%)

Reducción del escurrimiento

$$WQv = P * Rv * A / 12$$

WQv = Volumen de calidad de Agua/Volumen Tratable (acre-pie)

P = Tormenta de percentil 90 (pulgadas)

$$Rv = 0.05 + 0.009 * I$$

I = Porcentaje de área impermeable

A = Área (acres)

Este método es usado en un gran número de regiones de Estados Unidos donde el Coeficiente de Escurrimiento (RV) se calcula a partir del Porcentaje Impermeable, incluyendo el NYS Design Manual y el Atlanta Stormwater Manual

En el caso de todos los sistemas de biorretención el Volumen de tratamiento es lo que cabe en el área de agua estancada más lo que cabe en los vacíos de la capa filtrante. En cuanto los estanques de retención este es el volumen permanente o que queda después del evento de lluvia, durante el periodo seco que hay entre una lluvia y otra. El proceso de tratamiento es por medio de sedimentación de partículas y captación biológica.

5.2 Caracterización descriptiva del proyecto pluvial mediante sistema convencional y ubicación en relación con la subcuenca el guayabo

El fraccionamiento se encuentra ubicado en la zona alta de la Cuenca del Ahogado y por ende de la subcuenca El Guayabo como se vio en el capítulo 2.2 “Medio Físico”. En la siguiente Figura 38 se observa la ubicación con la vista de toda la Subcuenca de El Guayabo, por estar en zona alta y justo en el parte aguas le aportan poco caudal otras zonas, pero si pasa un arroyo a 200 metros, al cual se descargarán los escurrimientos en exceso. El fraccionamiento aporta volumen de escurrimientos aguas abajo a las zonas de riesgo de inundación.

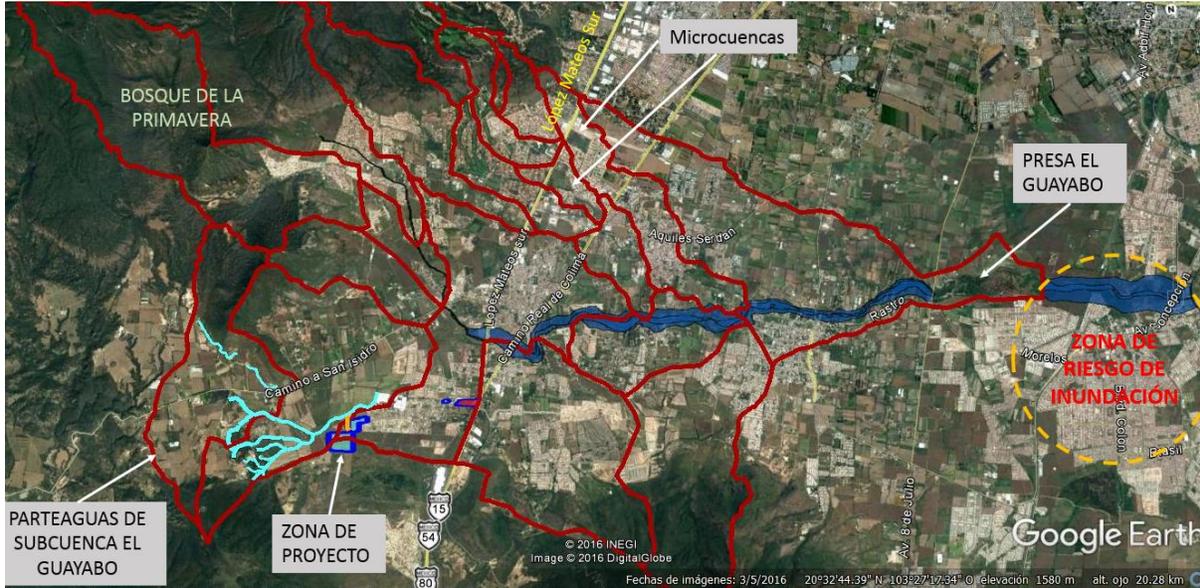


Figura 37. Vista general de Subcuenca el Guayabo, con delimitación de microcuencas, relación con zona de proyecto e identificación de zona de riesgo de inundación.

En la Figura 39, se observa la zona desde donde los escurrimientos bajan del Bosque de la primavera y de la zona poniente de la subcuenca.

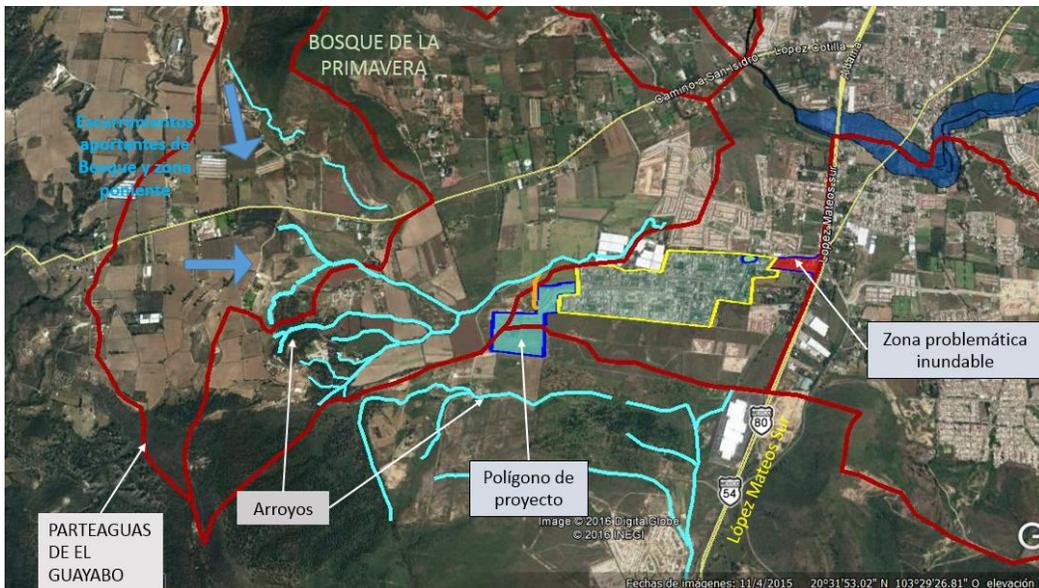


Figura 38. Acercamiento a zona de proyecto, y su relación con arroyos y delimitación de microcuencas de Subcuenca El Guayabo en relación con el polígono de proyecto.

En la siguiente Figura 40, se aprecia la zona de inundación que se presentaba en el lugar antes de que construyeran un vaso de regulación el cual también se muestra su ubicación en la imagen. En visita al lugar y platica con encargados del mantenimiento mencionaron que el agua de lluvia en la zona baja, junto a López Mateos llegaba a subir hasta un metro aproximadamente, afectando a las casetas de vigilancia, algunos negocios, viviendas y al paso desnivel que se encuentra en ese punto, debido al cambio de suelo el mismo fraccionamiento causo la problemática dentro de sus mismos límites.

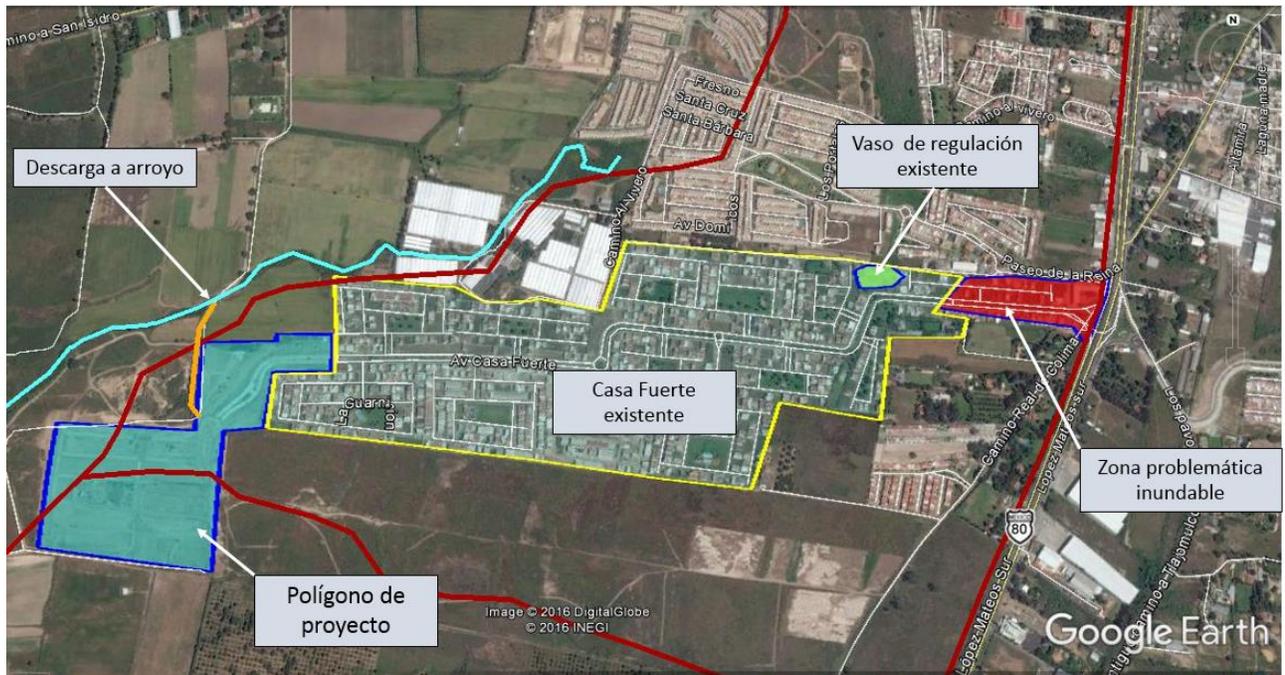


Figura 39. Vista en planta de polígono de proyecto, fraccionamiento existente, zona de inundación, vaso de regulación existente y arroyo de descarga. Fuente: Elaboración propia y Google Earth.

Una de las razones que se eligió este fraccionamiento es que se quiso conocer como resolvieron la problemática en la primera etapa de casa fuerte (Casa Fuerte existente) y conocer además cual era el plan de mitigación para la segunda etapa (Polígono de proyecto), mostrada en la Figura 40, ya que volvería a haber cambio de uso de suelo, el cual aportaría volúmenes en exceso hacia la misma zona de problema por la conectividad de la avenida principal, ya que es del mismo desarrollador. Entonces la propuesta que realizaron para prevenir el problema mediante varios vasos de regulación en serie, que son sistemas SUDS, fue una razón para analizar la viabilidad del funcionamiento de estos, en conjunto con otras posibles técnicas a aplicar.

En la Figura 41, se puede apreciar de manera más clara la configuración de la red hidrológica natural, los arroyos y como convergen cerca del sitio del proyecto. Este proyecto de investigación, como se mencionó en capítulos anteriores no tiene el objetivo de realizar un estudio a nivel macro de la cuenca, sino simplemente identificar los elementos del contexto para analizar si pudieron influir en el funcionamiento del sistema, pero está reconocido que la zona está fuera de peligro de un elevamiento del nivel del cauce del arroyo que pasa cerca, a 200 metros, que pudiera afectarlo, más bien la problemática solo es autogenerada en la zona aguas abajo junto a López Mateos y no hay aportación de otras zonas, ya que el arroyo se desvía hacia el norte después de pasar cerca del polígono de proyecto.

Por lo tanto el objetivo solo es analizar como mitigar la problemática que se presenta local y puntualmente en los fraccionamientos mediante sistemas sustentables que ofrezcan beneficios añadidos a la función hidráulica y de seguridad ante el riesgo de inundación.

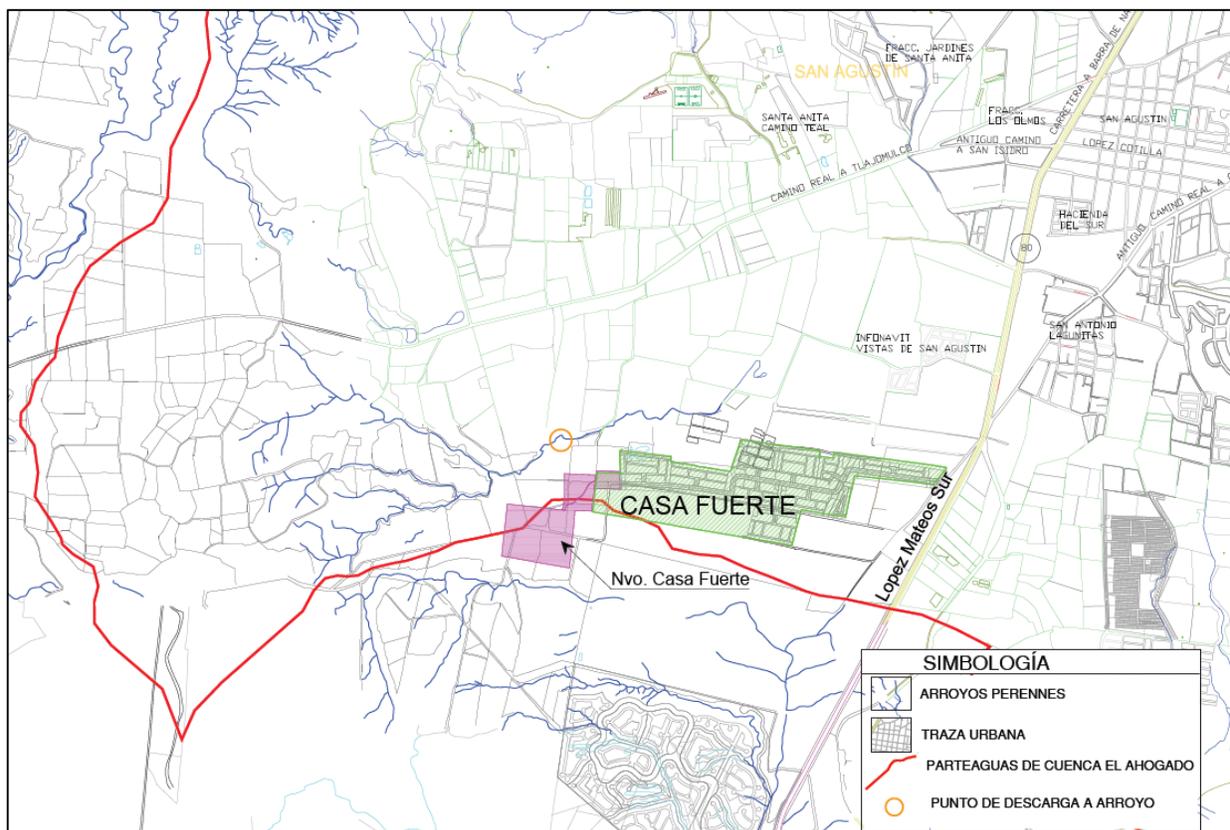


Figura 40. Acercamiento a zona de proyecto, y su relación con arroyos y delimitación de microcuencas de Subcuenca El Guayabo en relación con el polígono de proyecto. Fuente: elaboración propia con información de CEAS (2005)

ELEMENTOS QUE COMPONEN EL PROYECTO PLUVIAL CONVENCIONAL

A continuación se describirá el proyecto pluvial de la Figura 42 como lo realizó la constructora en la realidad, el cual consistió básicamente en una red de pluvial separada, con sus respectivos pozos de visita, bocas de tormenta, cajas especiales de conexión, pozos de absorción y 3 vasos de regulación pluvial. Se describirá esquemáticamente, sin entrar en detalles constructivos solo para mostrar el arreglo y cantidad de infraestructura utilizada, sin embargo en la siguiente Tabla 46 se cuantifica y da una breve descripción de los elementos utilizados:

COMPONENTE DEL PROYECTO PLUVIAL	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Red de tuberías	1040.52 m	Tubería 36" = 39.51 m Tubería 30" = 69.40 m Tubería 24" = 409.72 m Tubería 18" = 154.29 m Tubería 16" = 114.02 m Tubería 12" = 253.58 m
Pozos de visita común	16 pzas	Profundidades entre 1 y 2.50 m
Cajas de conexión especiales	34 pzas	Cajas de concreto pequeñas para conexión de múltiples tuberías
Pozos de absorción	33 pzas	

		17 metros de profundidad
Vasos de regulación	3 unidades	Vaso 1 = 362.5 m ³ Vaso 2 = 821.18 m ³ Vaso 3 = 978.3 m ³ Vol. Total= 2161.98 m ³
Bocas de tormenta	18 pzas	Medidas de 2 x 4 m = 14 pzas Medidas de 1.10 x 6 m = 4 pzas

Tabla 46. Elementos que conforman el proyecto pluvial convencional en el fraccionamiento de estudio.



Figura 41. Vista completa y esquemática de los componentes del proyecto pluvial convencional del fraccionamiento de estudio.

En las siguientes Figuras 43 a 45 se ve con más detalle el arreglo del proyecto pluvial convencional, el cual va a ser muy similar al proyecto SUDS en cuanto a la llegada de las tuberías al Vaso 1 y Vaso 3, que captarán de la misma manera los escurrimientos, con la diferencia de que antes de ingresar el gasto a estos habrá intercepciones mediante otros sistemas que

reducirán la carga sobre la red y los vasos de regulación, y también habrá similitud por la ubicación de los pozos de absorción en la parte sur del fraccionamiento, antes de llegar al Vaso 1, con la diferencia que en el proyecto convencional son 10 pozos en esta zona y en el proyecto con SUDS se implantaron 6, como se verá en las siguientes secciones donde se detalla el proyecto mediante SUDS.

Donde hay mayor diferencia entre los dos proyectos es en la parte norte, mostrada en la Figura 5-9, donde se implementaron la mayor cantidad de pozos de absorción (23 en esa zona) en conjunto con sus captaciones mediante bocas de tormenta y red de tuberías.

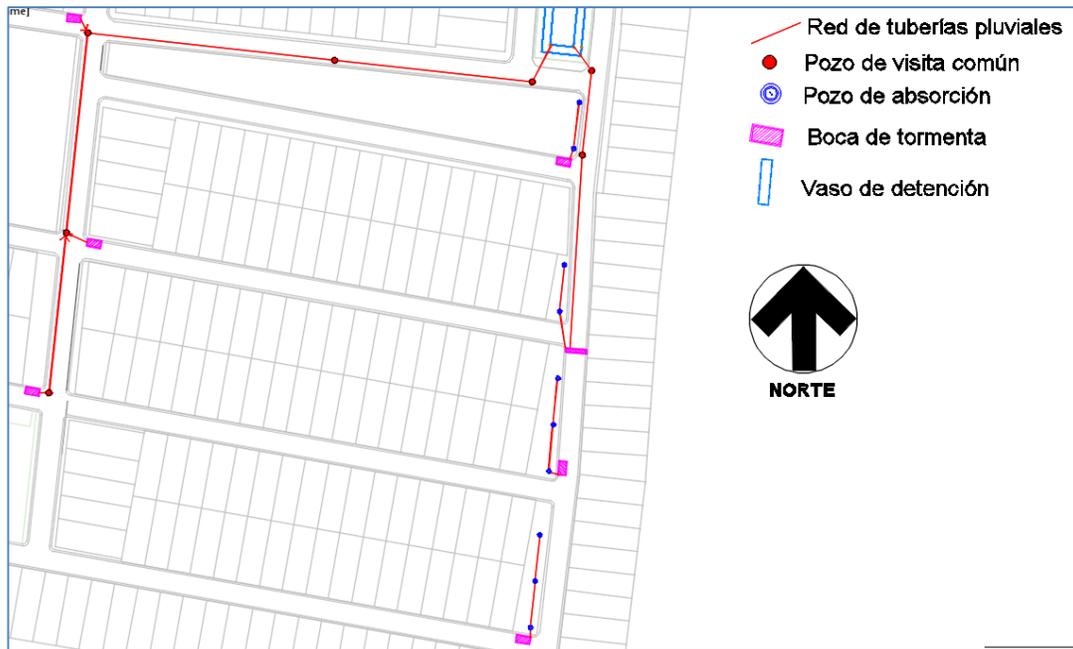


Figura 42. Vista esquemática de la zona sur mostrando los componentes del proyecto pluvial convencional del fraccionamiento de estudio.



Figura 43. Vista esquemática de la zona central mostrando los componentes del proyecto pluvial convencional del fraccionamiento de estudio.

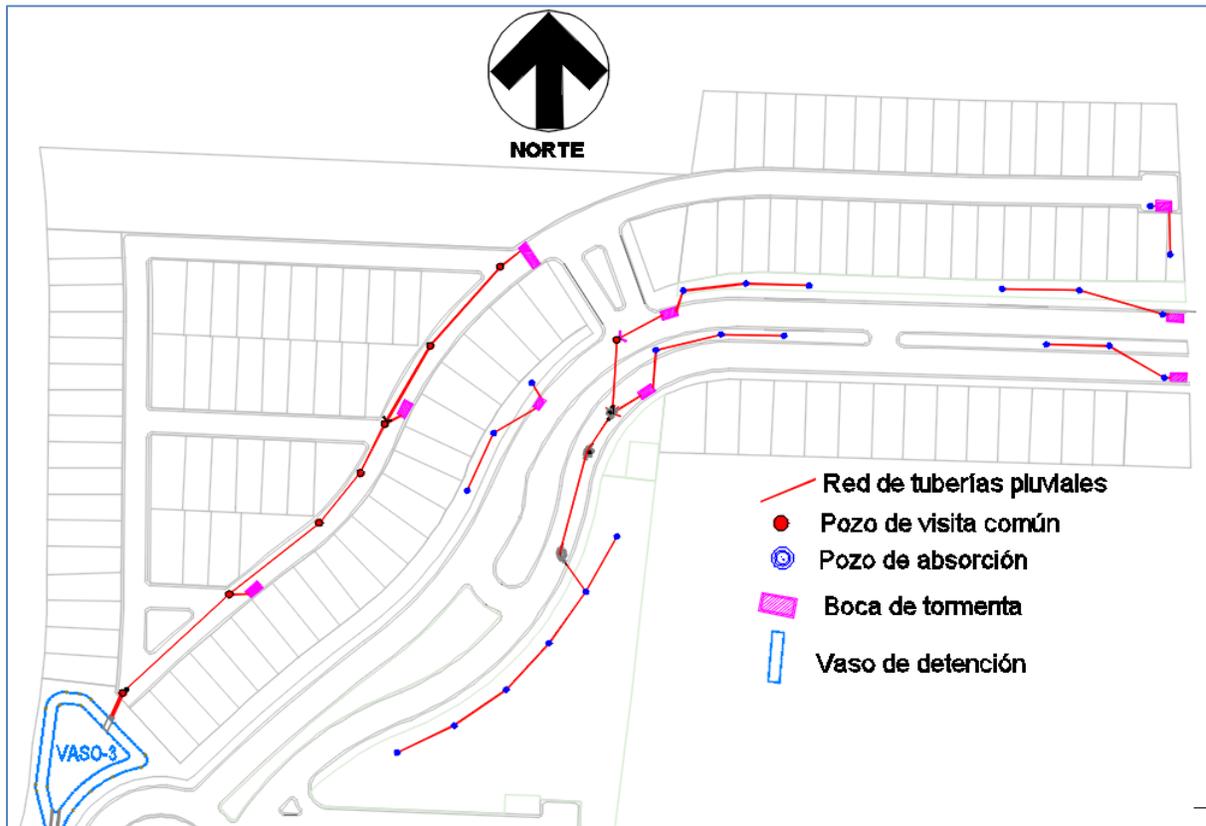


Figura 44. Vista esquemática de la zona más al norte mostrando los componentes del proyecto pluvial convencional del fraccionamiento de estudio.

5.3 Información hidrológica básica para obtención de caudales máximos e hidrogramas

Para obtener el gasto máximo se utilizará el método Racional Americano, el cual está en función del coeficiente de escurrimiento de la superficie, la intensidad de la lluvia y el área de aportación. Para obtener el coeficiente de escurrimiento “Ce” es necesario determinar los usos de suelo que se tienen y su correspondiente Ce para posteriormente ponderar un único valor a cada subcuenca y al predio en general.

Entonces se han determinado los siguientes usos de suelo:

- Habitacional H4-H (Ce = 0.70)
- Áreas verdes (Ce = 0.25)
- Vialidades (Ce = 0.85)
- Estacionamientos (Ce = 0.40)

Estos valores se obtienen de la Tabla 6 de este documento, en el caso de los estacionamientos sugiere un valores entre 0.75 y 0.85 pero se considerará o supondrá que estos cuentan con algún tipo de superficie permeable.

Para el valor de la intensidad de lluvia, la estandarización del proceso de cálculo sugiere en el manual de CEAS (2007) que se obtenga el tiempo de concentración del desarrollo contemplado para que con este valor se elija la duración crítica de la lluvia, donde de las Curvas I-D-Tr se obtiene un valor único de intensidad de lluvia.

En los Anexos de este documento se puede observar la Tabla 12.5 la cual muestra el cálculo del tiempo de concentración de cada subcuenca trazada y para todo el predio por medio de 4 de las fórmulas más utilizadas para ello. Estas fórmulas necesitan de los parámetros como el la cota del punto más alto y más bajo, la longitud del cauce y la pendiente. El resultado de las cuatro formulas se promedia para obtener un solo valor en unidades de minutos.

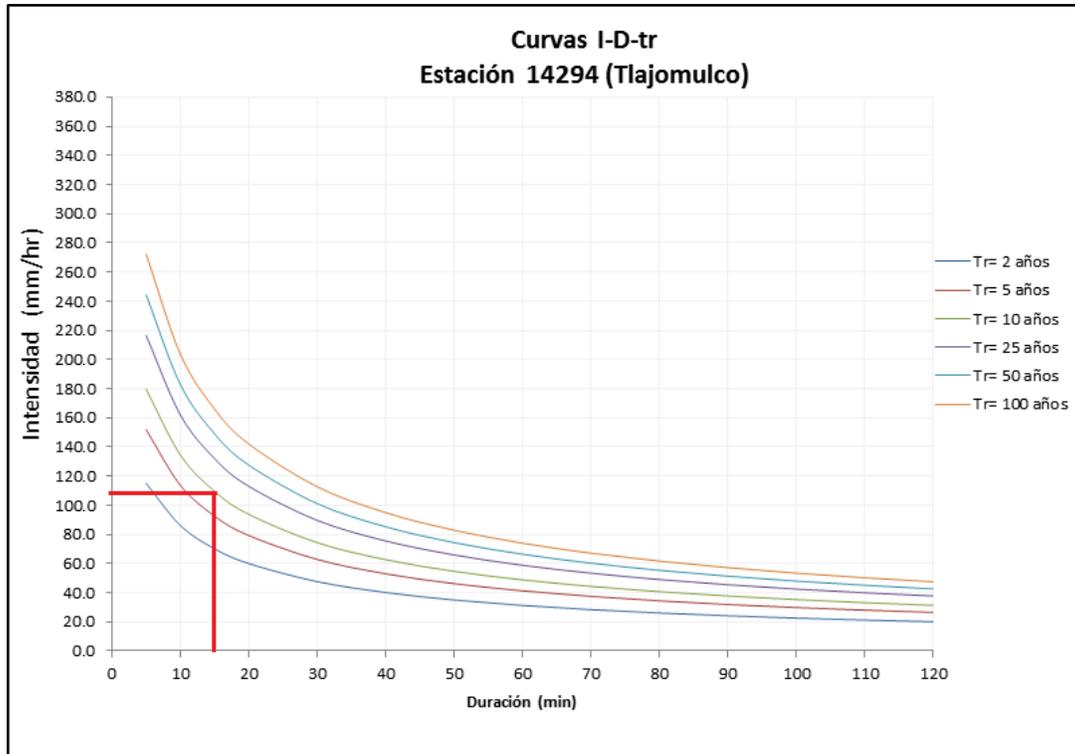
Como se puede observar en la tabla 12.5 el Tc para todo el predio fue de 19.42 minutos, sin embargo, por fines de comparación con el proyecto original y como factor de seguridad se elegirá el valor a los 15 minutos ya que corresponde a una lluvia más intensa. Además el valor que se tomara es el que corresponde al Manual de CEAS (2007), donde este documento cuenta con sus propias curvas I-D-Tr, las cuales se muestran también en el anexo. Para la cuenca del Ahogado, que es donde se ubica este proyecto el valor de la intensidad a los 15 minutos para un período de retorno de 10 años es de 98.48 mm/hr. Para contrastar, el valor que se obtuvo para esas mismas condiciones en el análisis estadístico de la estación 14294 de Tlajomulco fue de 109.6 mm/hr, por lo que no existe una gran diferencia, pero se elige el valor de 98.48 mm/hr ya que ese valor eligieron los responsables del proyecto real, entonces si se busca realizar una comparación con este, lo más adecuado sería manejar los mismo parámetros.

De las Tabla 47 y Gráfica 14 que contienen las curvas I-D-Tr se puede observar que el valor de la intensidad para los 15 minutos y periodo de retorno de 10 años es de 109.6 mm/hr.

Tr(años)	hp(mm)							
	5	10	15	20	30	40	50	60
1	7.3	10.9	13.3	15.2	18.1	20.3	22.1	23.7
2	9.6	14.4	17.5	20.0	23.8	26.8	29.2	31.3
5	12.7	18.9	23.2	26.4	31.4	35.3	38.5	41.3
10	15.0	22.4	27.4	31.3	37.2	41.8	45.6	48.8
25	18.0	27.0	33.0	37.7	44.8	50.3	54.9	58.8
50	20.4	30.5	37.3	42.5	50.6	56.8	62.0	66.4
100	22.7	34.0	41.5	47.4	56.3	63.3	69.0	74.0

Tr(años)	i (mm/hr)							
	5	10	15	20	30	40	50	60
1	87.2	65.3	53.2	45.5	36.1	30.4	26.5	23.7
2	115.1	86.1	70.2	60.1	47.6	40.1	35.0	31.3
5	151.9	113.7	92.6	79.3	62.9	53.0	46.2	41.3
10	179.7	134.5	109.6	93.8	74.4	62.7	54.7	48.8
25	216.5	162.0	132.1	113.0	89.6	75.5	65.9	58.8
50	244.3	182.9	149.0	127.5	101.2	85.2	74.4	66.4
100	272.2	203.7	166.0	142.1	112.7	94.9	82.8	74.0

Tabla 47. Datos estadísticos para generación de curvas I-D-Tr de la estación 14294 de Tlajomulco. Elaboración propia.



Gráfica 14. Curvas I-D-Tr generadas a partir de la información histórica de la estación 14294 de Tlajomulco.

Usos de suelo y Ce

Lo siguiente es determinar los parteaguas de las subcuencas y obtener los Ce ponderados, a continuación, se muestra en la Figura 46 la configuración final de las subcuencas, las cuales se generan en función de la pendiente longitudinal de las rasantes, el bombeo de las vialidades, el arreglo de los lotes y manzanas, etc. Estas determinan cuanta área aportará a la escorrenría que llegará al punto de salida o de concentración.

Como se puede observar en la Tabla 48 se generaron un total de 27 subcuencas en todo el predio, además podemos ver el área de cada una y su coeficiente de escurrimiento particular, en la parte baja de la tabla se tiene el resultado ponderado de todas las áreas, que es el resultado de sumar el Ce ponderado parcial de cada subcuenca multiplicado por el porcentaje que representa cada área en relación con el total. El valor obtenido fue de 0.665 para las 16.03 hectáreas. Se incluye la azotea de la casa club como una cuenca independiente para generar su propio hidrograma el cual ira dirigido a un solo sistema de biorretención. En el apartado de Anexos de este documento se puede ver el cálculo del Ce para cada subcuenca particular.

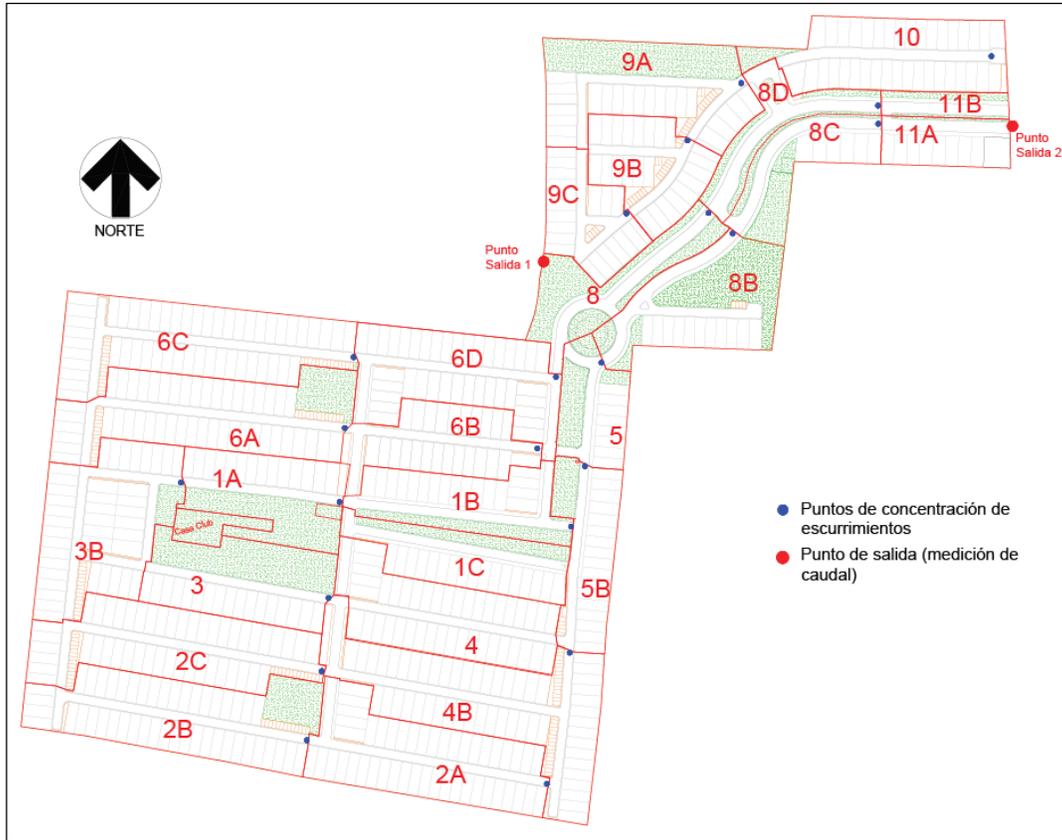


Figura 45. Configuración final de subcuencas dentro del fraccionamiento.

En la siguiente Figura 47 se identifican los usos de suelo en un plano general:



Figura 46. Usos de suelo considerados en el análisis hidrológico del sitio.

CALCULO DE COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PONDERADO "Ce"				
ID. CUENCA	AREA (M2)	CE	AREA RELATIVA	CE ponderado
6B	5054.31	0.74	3.15%	0.0234
6D	7499.18	0.74	4.68%	0.0345
2A	8098.91	0.73	5.05%	0.0368
22B	9133.64	0.66	5.70%	0.0375
2C	8472.26	0.71	5.28%	0.0376
3	6241.44	0.51	3.89%	0.0199
3B	8388.65	0.72	5.23%	0.0374
1A	5517.17	0.50	3.44%	0.0174
4B	10578.89	0.71	6.60%	0.0470
4	7300.25	0.73	4.55%	0.0331
1B	5318.26	0.66	3.32%	0.0219
1C	5009.16	0.65	3.12%	0.0203
6A	9564.99	0.65	5.96%	0.0390
6C	9336.73	0.71	5.82%	0.0416
5	3332.15	0.57	2.08%	0.0119
5B	4311.33	0.66	2.69%	0.0178

8B	6782.23	0.53	4.23%	0.0225
8	4459.04	0.48	2.78%	0.0134
8C	4083.78	0.60	2.55%	0.0153
8D	3304.47	0.79	2.06%	0.0163
9A	7972.33	0.55	4.97%	0.0275
9B	4683.36	0.71	2.92%	0.0207
9C	3936.74	0.73	2.45%	0.0180
10	7117.57	0.70	4.44%	0.0311
11A	2475.97	0.72	1.54%	0.0111
11B	1443.39	0.80	0.90%	0.0072
AZOTEA CASA CLUB	948.89	0.85	0.59%	0.0050
TOTAL	160365.09	M2	CE TOTAL	0.6653

Tabla 48. Cálculo del coeficiente de escurrimiento general mediante ponderación.

Una manera de resumir el cálculo general es por usos de suelo, aun así es necesario el cálculo del coeficiente para cada cuenca para obtener su gasto individual, esto se agrega en la Tabla 5-4 en anexos del documento. A continuación se muestra la Tabla 49 con la obtención general:

CALCULO DE COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PONDERADO "Ce"					
USO DE SUELO	Ce	SUPERFICIE EN M2	SUPERFICIE EN HECTAREAS	%	Ce Ponderado
AREAS DE TODO EL FRACCIONAMIENTO					
Habitacional H4-H	0.70	94664.78	9.47	59%	0.413
Áreas verdes	0.25	22119.49	2.21	14%	0.034
Estacionamientos	0.40	3551.28	0.36	2%	0.009
Vialidades	0.85	40029.54	4.00	25%	0.212
TOTAL		160365.09	16.04	100%	0.665

Tabla 49. Calculo de coeficiente de escurrimiento general.

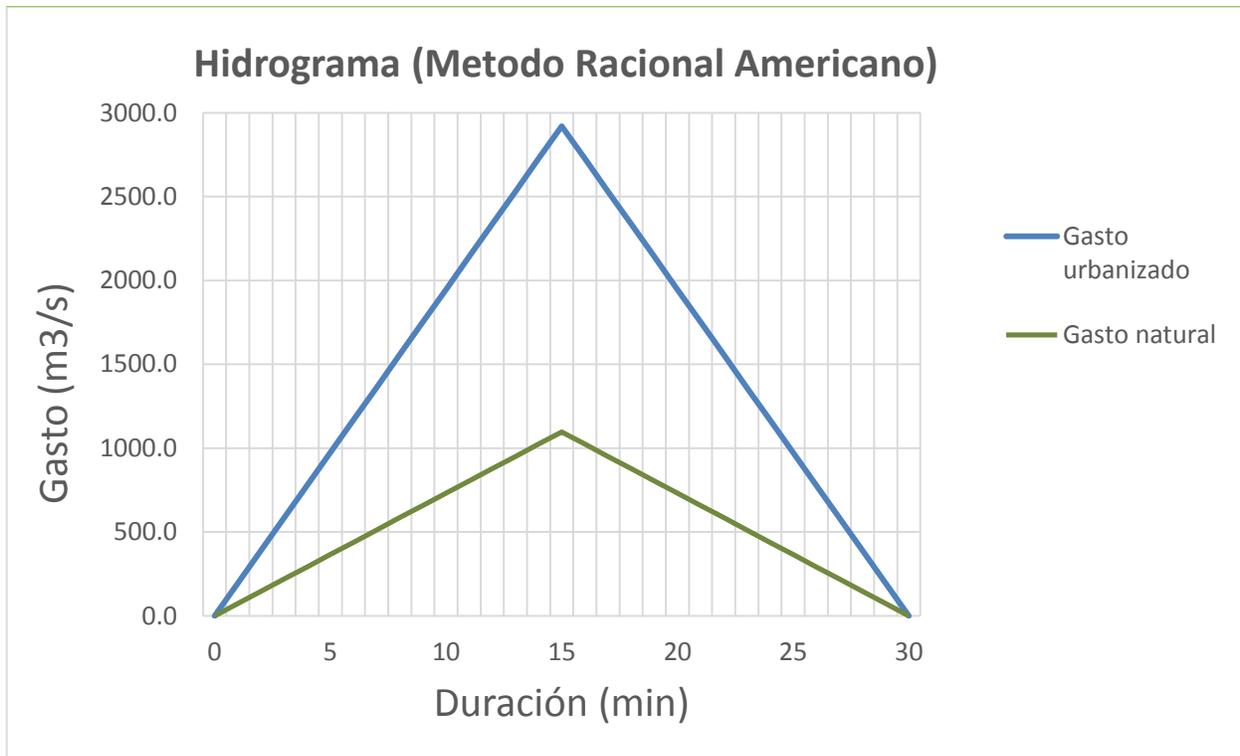
El siguiente paso es obtener el gasto máximo para cada subcuenca, a partir de eso es posible construir el hidrograma representativo de cada una, esos datos irán directamente al software de Xpdrainage para generar los hidrogramas, que representarán los caudales de entrada o "inflows" a cada sistema SUDS o red pluvial.

En la siguiente Tabla 50 se muestran los gastos máximos para cada subcuenca, tanto para el periodo de retorno de 10 años como para 1 año, que será el evento de calidad del agua que se correrá en el software.

MICROCUENCA	Área m2	Ce Adimensional	GASTO MAX - Método Racional Americano (lps)						
			Periodo de retorno Tr (años)						
			1	2	5	10	25	50	100
			Intensidad de lluvia 15 min (mm/hr)						
			56.54	69.77	86.12	98.48	114.82	127.19	139.55
6B	5054.31	0.74	59.05	72.87	89.94	102.85	119.92	132.84	145.75
6D	7499.18	0.74	86.88	107.20	132.32	151.32	176.42	195.43	214.42
2A	8098.91	0.73	92.68	114.36	141.17	161.43	188.21	208.49	228.75
2B	9133.64	0.66	94.53	116.65	143.99	164.65	191.97	212.66	233.32
2C	8472.26	0.71	94.72	116.88	144.27	164.98	192.36	213.08	233.78
3	6241.44	0.51	50.09	61.81	76.29	87.24	101.72	112.67	123.62
3B	8388.65	0.72	94.39	116.48	143.77	164.40	191.68	212.33	232.97
1A	5517.17	0.50	43.79	54.03	66.70	76.27	88.92	98.50	108.08
4B	10578.89	0.71	118.46	146.18	180.44	206.33	240.57	266.48	292.38
4	7300.25	0.73	83.47	103.00	127.14	145.39	169.51	187.77	206.02
1B	5318.26	0.66	55.12	68.02	83.96	96.01	111.93	123.99	136.04
1C	5009.16	0.65	51.21	63.19	78.00	89.19	103.99	115.19	126.39
6A	9564.99	0.65	98.43	121.45	149.92	171.43	199.88	221.41	242.93
6C	9336.73	0.71	104.82	129.35	159.66	182.57	212.87	235.80	258.71
5	3332.15	0.57	30.04	37.07	45.76	52.33	61.01	67.58	74.15
5B	4311.33	0.66	44.82	55.31	68.27	78.07	91.02	100.82	110.62
8B	6782.23	0.53	56.84	70.14	86.57	99.00	115.42	127.86	140.28
8	4459.04	0.48	33.87	41.80	51.60	59.00	68.79	76.20	83.61
8C	4083.78	0.60	38.55	47.57	58.71	67.14	78.28	86.71	95.14
8D	3304.47	0.79	41.11	50.73	62.62	71.60	83.48	92.48	101.46
9A	7972.33	0.55	69.43	85.67	105.74	120.92	140.98	156.17	171.35
9B	4683.36	0.71	52.09	64.28	79.34	90.73	105.78	117.18	128.56
9C	3936.74	0.73	45.29	55.89	68.98	78.88	91.97	101.88	111.78
10	7117.57	0.70	78.45	96.80	119.49	136.64	159.31	176.47	193.62
11A	2475.97	0.72	27.97	34.51	42.60	48.72	56.80	62.92	69.03
11B	1443.39	0.80	18.22	22.49	27.76	31.74	37.01	40.99	44.98
CASA CLUB	948.89	0.85	12.68	15.64	19.31	22.08	25.75	28.52	31.29

Tabla 50. Gastos máximos por subcuenca para cada periodo de retorno a los 15 minutos de lluvia.

Con esa información como se mencionó anteriormente se pueden generar los hidrogramas, en la siguiente Gráfica 15 se muestran los valores hidrológicos correspondientes a todo el fraccionamiento, y seguido de eso en la Tabla 51 se aprecian los datos hidrológicos principales, el gasto urbanizado, gasto en breña (natural) y los volúmenes de escurrimiento que se generan en la duración de la lluvia de diseño de 15 minutos.



Gráfica 15. Hidrograma característico para todo el fraccionamiento.

En la Tabla 51 se define a partir del gasto urbano y el correspondiente al estado en breña los volúmenes de escurrimiento totales, siendo 2628.81 m³ y 987.84 m³ respectivamente. La diferencia entre ambos es lo que hay que detener o “captar” para acercarse a lograr el Impacto Hidrológico Cero, el resultado son 1641 m³, esto es un volumen aproximado, que sirve de guía para el predimensionamiento de los sistemas de regulación, lo importante antes que el volumen detenido es regular el gasto máximo, de 2.921 m³/s a 1.098 m³/s, la diferencia entre ambos es de 1.823 m³/s. En los anexos de este documento se desglosan por subcuenca los gastos y volúmenes de regulación

Otra manera más clara de exponer esto es que se necesita detener de 1.023 m³ por cada 100 m².

Cálculo hidrológico general y predimensionamiento CASA FUERTE								
CUENCA	Estado analizado	Superficie	Ce	Tc	Tr	Intensidad	Gasto	Volumen (predimen.)
		hectáreas		minutos	años	mm/hr	m3/s	m3
TOTAL	Total (urbano)	16.03	0.67	15	10	98.48	2.921	2,628.81
	Total (breña)	16.03	0.25	15	10	98.48	1.098	987.84
	Diferencia		0.42				1.823	1,640.97

Tabla 51. Cálculo hidrológico de predimensionamiento de volúmenes de regulación.

El paso siguiente dentro del software es introducir los valores para cada minuto y generar los hidrogramas necesarios. En la Figura 48 la línea roja muestra a donde se dirige e ingresa el caudal. En este caso, la subcuenca 3B y la azotea de la Casa club drenan hacia el sistema de biorretención 3. La línea azul punteada muestra el destino del gasto que no entra al sistema,

llamado "Bypass Connection" o conexión de derivación, que en este caso va hacia la cuneta verde al costado derecho. En el análisis detallado de los sistemas se hablará del propósito y configuración de este tipo de conexión.

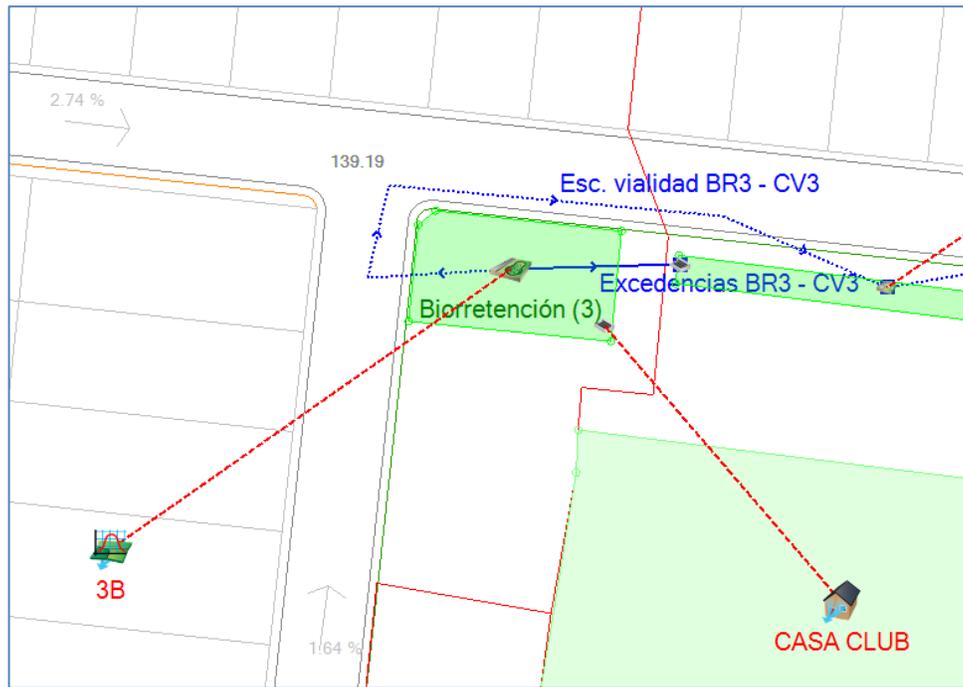


Figura 47. Conexión de hidrogramas a punto de descarga.

En las siguientes Figura 49 y Figura 50 se muestra como se introducen y como se ven en el software los datos de caudales de cada cuenca y la gráfica representativa del Método Racional.

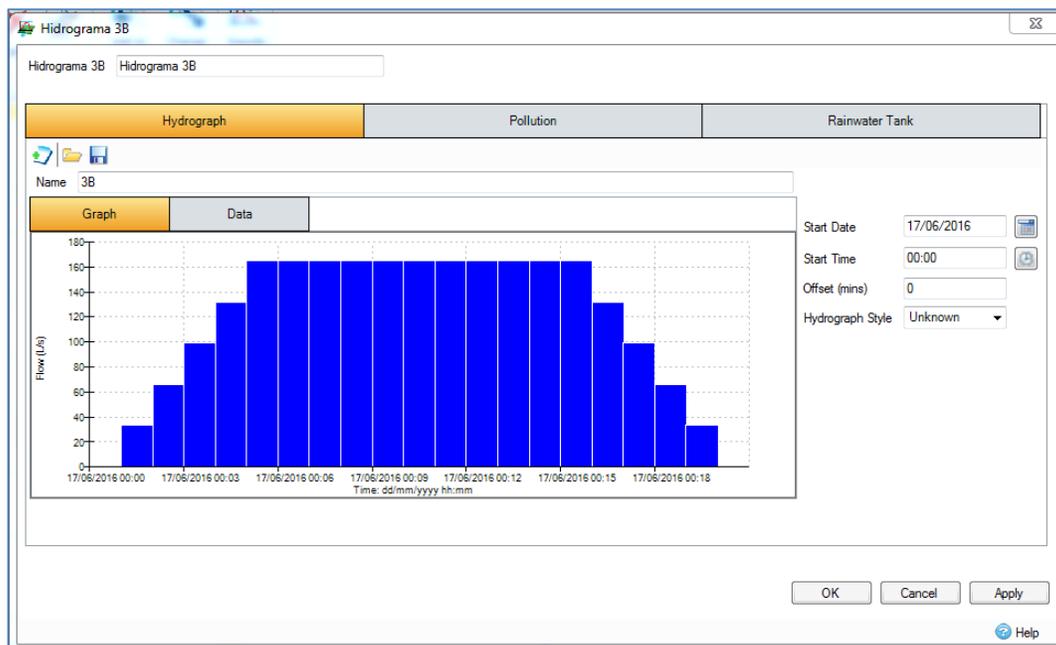


Figura 48. Módulo de configuración de hidrograma 3B en el software xpdrainage.

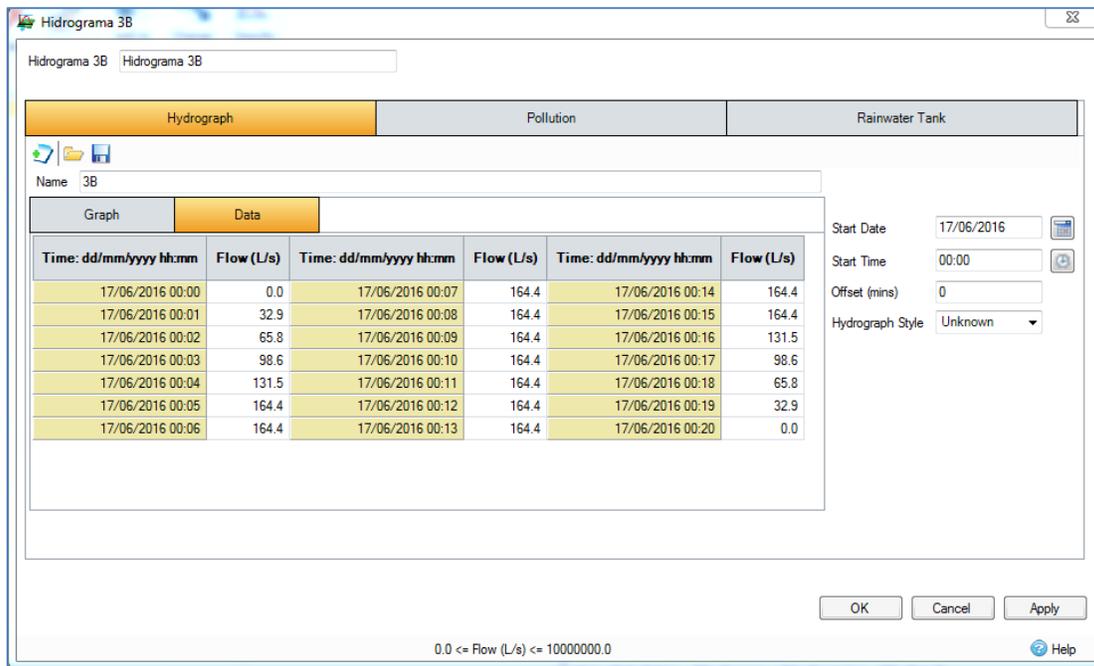


Figura 49. Tabla dentro del módulo de configuración de hidrograma 3B para ingresar el caudal por minuto.

El motivo por el cual el hidrograma tiene una forma trapezoidal en lugar de triangular como el que se mostró en la Figura 50 donde se mostraba el hidrograma del gasto máximo para todo el fraccionamiento, es que la suposición en el Método Racional Americano es que la lluvia tiene un inicio espontáneo o instantáneo en el minuto 0 y es constante durante toda la duración de lluvia de diseño considerada. Entonces dado que el gasto máximo ocurre cuando la subcuenca llega a su tiempo de concentración, si ese tiempo es menor que la duración de la lluvia la línea del hidrograma deja de incrementarse y se mantiene como línea recta hasta los 15 min y de ahí empieza a decaer en el mismo tiempo de concentración, en este caso particular se tiene que para la subcuenca 3B el tiempo de concentración es de 5 minutos. A partir de ahí el gasto se mantiene en 164.5 l/s durante 10 minutos, cuando acaba la lluvia a los 15.

En la siguiente Figura 51 se puede apreciar rápidamente el gasto máximo correspondiente a cada subcuenca, además se muestra dentro de ella una tabla al lado derecho, que nos dice el gasto unitario y volumen unitario del proyecto, el primero es el caudal generado por hectárea y el otro es el volumen generado por hectárea y por cada 100 metros cuadrados. Los valores fueron 182.14 lps/ha y 165.93 m³/ha que equivale a 1.64 m³ por cada 100 m².

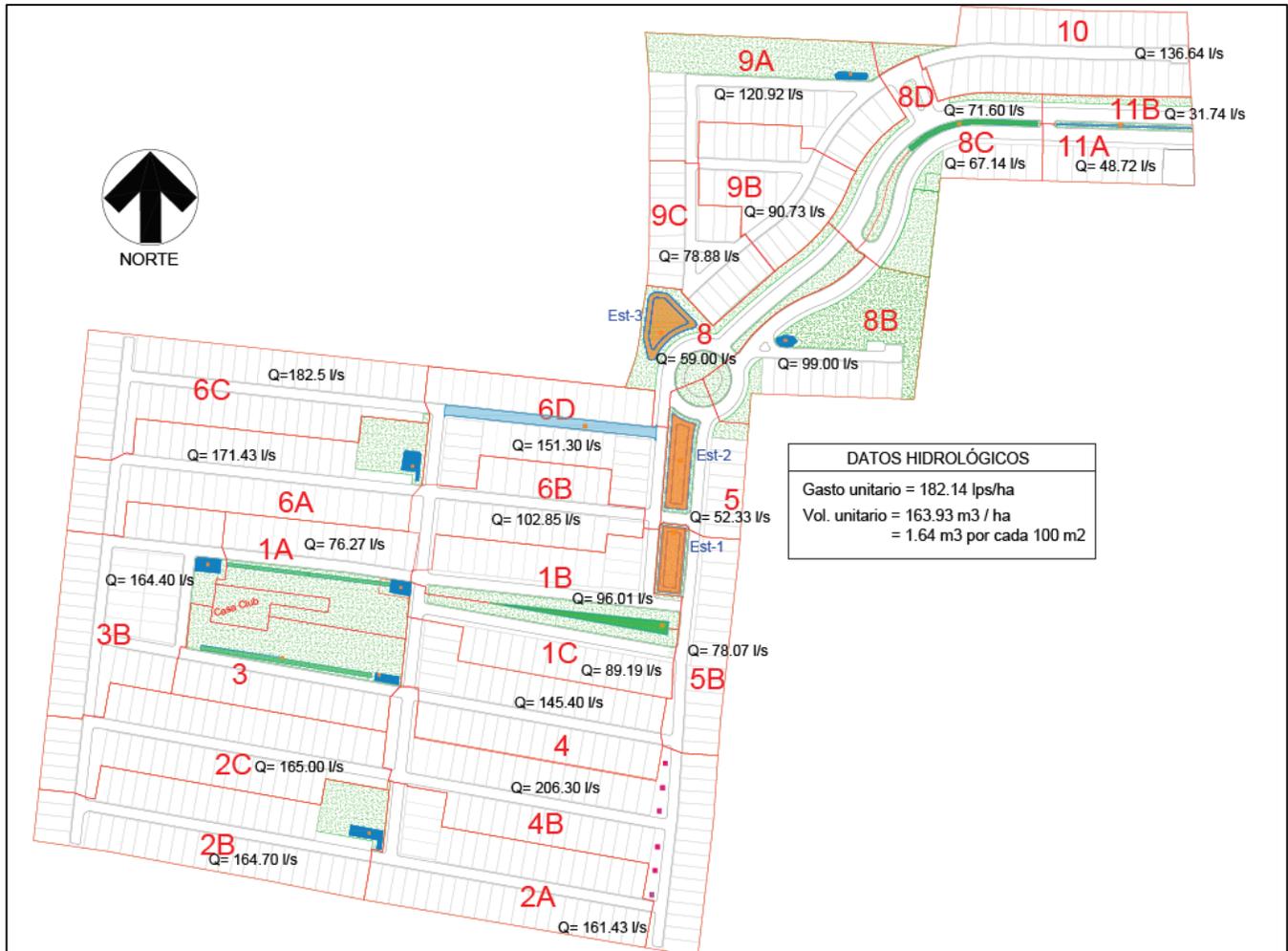


Figura 50. Tabla dentro del módulo de configuración de hidrograma 3B para ingresar el caudal por minuto.

5.4 Definición de ubicación y tipo de SUDS a aplicar

Esta es la fase elemental del proceso de diseño, donde se eligen los sistemas y su ubicación de manera preliminar, donde dependiendo de distintos factores, en este caso, se adaptarán los sistemas a las áreas verdes que se establecieron previamente, sin modificar la configuración del arreglo de manzanas, lotes y vialidades, que aunque no es el proceso ideal, es el escenario más probable por los esquemas de trabajo de la región.

Siguiendo la metodología del SuDs Manual de CIRIA (2007), se enumeran y describen los pasos sugeridos.

1. Identificar las datos hidrológicos básicos de la zona

- Precipitación media anual = 761.40 mm (datos históricos de 1974-2011)
- Intensidad de lluvia para 15 min= 98.48 mm/hr (cuenca El Ahogado)
- Precipitación promedio diaria: 11.09 mm.
- Días con lluvia promedio al año: 76.64 días.

2. Detalles del sitio (Áreas y grado de impermeabilización)

En la Tabla 52 se indica el grado de impermeabilización de cada subcuenca definida, esto no tiene que ver con el coeficiente de escurrimiento, en este caso no se ponderan áreas y se sumaron las áreas correspondientes a vivienda y vialidades, después será de utilidad para el diseño de algunos sistemas SUDS.

Cuenca	AREA DE LA CUENCA (M2)	%IMP	Área impermeable
6B	5054	79%	3975.63
6D	7499	77%	5804.62
2A	8099	76%	6123.34
2B	9134	77%	7000.24
2C	8472	72%	6078.78
3	6241	41%	2587.57
3B	8389	74%	6191.76
1A	5517	40%	2213.22
4B	10579	72%	7589.56
4	7300	75%	5510.88
1B	5318	66%	3501.91
1C	5009	64%	3221.29
6A	9565	63%	6032.42
6C	9337	72%	6762.06
5	3332	52%	1740.40
5B	4311	65%	2801.45
8B	6782	46%	3109.48
8	4459	39%	1733.83
8C	4084	57%	2330.63
8D	3304	90%	2982.07
9A	7972	47%	3785.10
9B	4683	71%	3315.66
9C	3937	76%	2998.54
10	7118	71%	5061.33
11A	2476	75%	1848.12
11B	1443	92%	1330.78
Casa club	949	100%	948.89
TOTAL	159416	67%	106580

Tabla 52. Porcentajes de impermeabilidad de las microcuencas del fraccionamiento. Elaboración propia.

3 Plano con principales características del sitio



Figura 51. Curvas de nivel, polígonos de manzanas, áreas verdes, vialidades y dirección de flujo pluvial.

Como se puede apreciar en esta la Figura 52 las áreas verdes están bien distribuidas aun cuando el desarrollo es de alta densidad, los flujos pluviales se dirigen al noroeste, concentrándose en la entrada.

4 Discusión con actores para llegar a acuerdos sobre los criterios de diseño

En el proceso de establecer los criterios, en cada paso debe darse consideración total a los siguientes principios:

1. Nivel de servicio requerido
2. Sustentabilidad de la propuesta
3. Costo de la solución de drenaje

Estos principios se desarrollan más en la tabla 53:

Principios	Objetivos
Nivel de servicio	<ol style="list-style-type: none"> 1 Protección contra inundaciones deberá ser provisto para un periodo de retorno de 10 años 2 Riesgos a las personas, propiedades y vehículos, así como beneficios estéticos o amenidad deberán ser provistos
Sustentabilidad	<ol style="list-style-type: none"> 1 Los sistemas de drenaje deben apuntar a replicar en la medida de lo posible los procesos naturales del ciclo hidrológico que ocurren en el sitio antes de ser urbanizado

	<p>2 Tratamiento a la calidad de la escorrentía deberá minimizar el impacto ambiental a cuerpos de agua receptores mediante ingreso del agua pluvial a zonas vegetadas.</p> <p>3 Los beneficios ecológicos y de biodiversidad deberán ser promovidos en la medida de lo posible, por ejemplo generar hábitat para flora y fauna.</p> <p>4 Los sistemas de drenaje deberán buscar utilizar recursos que puedan ser reusados y sean eficientes en energía en términos de los productos constituyentes, procesos de construcción y las actividades de operación y mantenimiento.</p>
Costo	<p>1 El costo directo de construcción deberá ser igual o menor que el uso de infraestructura convencional. Los costos del ciclo de vida, lo que incluye mantenimiento y operación también deben analizarse pero quedan fuera del alcance de este estudio.</p>

Tabla 53. Principios que conducen la selección de criterios de diseño del drenaje pluvial.

A partir de tomar en cuenta estos tres puntos es que se elaboran cada uno de los criterios del proyecto específico acorde a las necesidades y reglamentación local, pero buscando por supuesto nuevos objetivos en función de mejorar la sustentabilidad del proyecto. Los tres puntos están sujetos a cierto grado de subjetividad, por lo que se realizó un ejercicio de consulta a modo de encuesta a 4 expertos o actores involucrados en el proceso de los proyectos pluviales, con el fin de detectar a cuál de los criterios definidos según los manuales ellos le dan más importancia desde su punto de vista, el cual puede variar dependiendo de su experiencia y actividades laborales. Estos criterios se definieron mediante la revisión de bibliografía de diseño de SUDS y según los requerimientos locales. Los actores representan a 4 sectores, por una parte a un consultor, proyectista, constructor e Institucional (SIAPA).

Se utilizó una metodología para el proceso de evaluación de puntajes incluido en la misma encuesta, llamado Matriz de sumas ponderadas o "Weighted Sum Matrix" la cual es parte de la metodología más amplia que se llama Sustainability Assessment of Technology (SAT) (UNEP, 2012), en español se traduce como Evaluación de Sustentabilidad de Tecnologías, fue elaborada en 2011 por la División de Tecnología, Industria y Economía del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés).

A continuación se enlistan los criterios generales en conjunto con los objetivos que las guías locales o reglamentación local requiere.

Criterios o lineamientos locales básicos para proyectos pluviales

- Para todo desarrollo que genere áreas impermeables es requisito lograr el Impacto Hidrológico Cero para un periodo de 10 años, según lo que solicita a los proyectos pluviales en toda la ZMG.
- Estar fuera de la Zona Federal de cualquier arroyo cercano para un periodo de retorno (Tr) de 25 años.
- La red general de tuberías para el drenaje pluvial diseñado para tener la capacidad ante un evento con periodo de retorno de 10 años.
- El volumen de atenuación o detención para lograr el IHC, será diseñado también para el evento crítico de 10 años de periodo de retorno.
- El gasto que puede salir por superficie o entubado del área a urbanizar será limitado a máximo gasto en breña (gasto pre-urbanización)
- Los sistemas de captación deben estar correctamente dimensionados para garantizar el ingreso a la red y a los sistemas de regulación del volumen necesario
- Los escurrimientos pluviales deben entubarse en una red separativa de la red sanitaria o negras de las viviendas obligatoriamente

A continuación se muestra los criterios de sustentabilidad elegidos en la Tabla 54 seguido de los resultados del puntaje que los encuetados asignaron a cada uno de los criterios en las Tablas 55 a 58.

Ambiental		Económico	
CA 1	Apoyar el manejo de la calidad del agua en las aguas superficiales y subterráneas receptoras	CE 1	Realizar análisis de costes del ciclo de vida (capital, operación, mantenimiento, etc.)
CA 2	Usar el agua de escurrimientos como un recurso (Captación para uso, infiltración)	CE 2	Considerar los riesgos financieros, (si aplica)
CA 3	Crear ecosistemas diversos, conectados, autosustentables y resilientes	CE 3	Asequibilidad a largo plazo (si aplica)
CA 4	Apoyar y proteger hábitats y especies locales naturales	Técnico-Hidráulico/Holístico	
CA 5	Preservar y proteger los sistemas hidrológicos naturales en el sitio, su morfología y ecología	CH 1	Apoyar la gestión del riesgo de inundación en la cuenca receptora
CA 6	Uso de materiales y energía eficiente y baja en carbono. Reducir la cantidad de infraestructura necesaria	CH 2	Considerar las características del área y del drenaje en el proyecto
Social		CH 3	Considerar de manera integral las restricciones físicas del lugar para realizar una mejor selección de los sistemas a utilizar
CS 1	Crear lugares agradables para las personas mejorando la calidad estética del lugar, de esta manera creando mejor calidad de vida		
CS 2	Promover el aprendizaje ambiental en la comunidad	CH 4	considerar características del suelo y subsuelo, capacidad de infiltración y protección a acuíferos
CS 3	Garantizar la seguridad de las personas y propiedades en el sitio y en su interacción con los sistemas de manejo pluvial	CH 5	Garantizar una correcta captación y almacenamiento de los escurrimientos y control de inundaciones
		CH 6	Buscar la flexibilidad, adaptabilidad y potencial para la reutilización para ser resilientes a cambios futuros
		CH 7	Maximizar la multifuncionalidad de los sistemas (educación, recreación, canchas, estacionamientos)
		CH 8	Identificar el Impacto sobre el sistema de drenaje/ integración en el sistema
		CH 9	Definir y hacer un plan para atender requerimientos de operación y mantenimiento

Tabla 54. Definición de criterios sustentables para proyectos pluviales en desarrollos urbanos.

		Representantes o actores del sector del agua									
		1		2		3		4			
categoria	ID del Criterio	Consultor		Proyectista		Constructor		Institucional		Promedio Aritmético	Ponderación relativa
Ambiental	CA 1	10	18.5%	9	20.0%	9	16.7%	10	17.2%	18.1%	4.5%
	CA 2	8	14.8%	7	15.6%	10	18.5%	10	17.2%	16.5%	4.1%
	CA 3	8	14.8%	6	13.3%	9	16.7%	10	17.2%	15.5%	3.9%
	CA 4	9	16.7%	6	13.3%	9	16.7%	10	17.2%	16.0%	4.0%
	CA 5	10	18.5%	9	20.0%	9	16.7%	10	17.2%	18.1%	4.5%
	CA 6	9	16.7%	8	17.8%	8	14.8%	8	13.8%	15.8%	3.9%
	Subtotal	54	100%	45	100%	64	100%	58	100%	100%	25%

Tabla 55. Resultado de técnica de ponderado para la categoría ambiental.

		Representantes o actores del sector del agua									
		1		2		3		4			
Categoría	ID del Criterio	Consultor		Proyectista		Constructor		Institucional		Promedio Aritmético	Ponderación relativa
Social	CS 1	10	33.3%	6	24.0%	10	34.5%	7	25.9%	29.4%	7.4%
	CS 2	10	33.3%	9	36.0%	9	31.0%	10	37.0%	34.4%	8.6%
	CS 3	10	33.3%	10	40.0%	10	34.5%	10	37.0%	36.2%	9.1%
	Subtotal	30	100%	25	100%	29	100%	27	100%	100%	25%

Tabla 56. Resultado de técnica de ponderado para la categoría social.

		Representantes o actores del sector del agua									
		1		2		3		4			
categoria	ID del Criterio	Consultor		Proyectista		Constructor		Institucional		Promedio Aritmético	Ponderación relativa
Económico	CE 1	8	28.6%	8	33.3%	10	35.7%	8	32.0%	32.4%	8.1%
	CE 2	10	35.7%	8	33.3%	8	28.6%	9	36.0%	33.4%	8.4%
	CE 3	10	35.7%	8	33.3%	10	35.7%	8	32.0%	34.2%	8.5%
	Subtotal	28	100%	24	100%	28	100%	25	100%	100%	25%

Tabla 57. Resultado de técnica de ponderado para la categoría económica.

		Representantes o actores del sector del agua									
		1		2		3		4			
Categoría	ID del Criterio	Consultor		Proyectista		Constructor		Institucional		Promedio Aritmético	Ponderación relativa sustentable
Técnico-Hidráulico/Holístico	CH 1	10	11.1%	10	11.8%	10	11.8%	10	11.4%	11.5%	2.9%
	CH 2	10	11.1%	10	11.8%	9	10.6%	10	11.4%	11.2%	2.8%
	CH 3	10	11.1%	10	11.8%	8	9.4%	10	11.4%	10.9%	2.7%
	CH 4	10	11.1%	9	10.6%	9	10.6%	10	11.4%	10.9%	2.7%
	CH 5	10	11.1%	10	11.8%	10	11.8%	10	11.4%	11.5%	2.9%
	CH 6	10	11.1%	8	9.4%	10	11.8%	10	11.4%	10.9%	2.7%
	CH 7	10	11.1%	9	10.6%	9	10.6%	8	9.1%	10.3%	2.6%
	CH 8	10	11.1%	10	11.8%	10	11.8%	10	11.4%	11.5%	2.9%
	CH 9	10	11.1%	9	10.6%	10	11.8%	10	11.4%	11.2%	2.8%
Subtotal	90	100%	85	100%	85	100%	88	100%	100%	25%	

Tabla 58. Resultado de técnica de ponderado para la categoría técnico-hidráulica/holística.

El propósito es definir dentro de cada una de las 3 dimensiones de la sustentabilidad los criterios que definirán el tipo de proyecto pluvial a implementar, los actores revisan cada uno de los criterios y califican desde su opinión el nivel de importancia basado en una escala del 1 al 10. Después de eso se obtiene el porcentaje relativo para cada dimensión y cada actor el porcentaje de importancia que le dio a cada criterio en relación con los otros. Por ejemplo el actor uno “consultor” en la dimensión económica le dio mayor importancia al requerimiento criterio CE-2, que es considerar los riesgos financieros que a al criterio CE-1 que es realizar un análisis de costos del ciclo de vida, 35.70% y 28.6% respectivamente. La suma de los porcentajes de cada actor en cada dimensión debe dar 100%, después se procede a realizar el promedio aritmético para cada criterio. Por ejemplo en el primer criterio ambiental “CA 1” los actores calificaron con 18.50%, 20.00%, 16.70% y 17.20%, estos se promedian entre 4 y se obtiene 18.10%. Después de esto se pondera ese valor al multiplicarlo por 0.25 que es la proporción que le corresponde a cada una de las cuatro categorías de sustentabilidad definidas, de esta manera se obtiene que ese criterio representa el 4.5 % de la calificación final.

Esta herramienta es útil para definir el nivel de importancia de cada criterio en función de distintas perspectivas de naturaleza subjetiva, para de esta manera ver los obstáculos y oportunidades, así como para tomar mejores decisiones y enfocar los esfuerzos en ciertos puntos clave.

Esta es solo una parte de la metodología, su función principal crear una base comparativa entre distintos proyectos, tecnologías, sistemas, etc. Por lo que puede ser utilizada para comparar distintas alternativas de proyectos, en el caso de esta investigación es muy útil para comparar el uso de SUDS contra un proyecto pluvial convencional, o también proyectos mixtos (o híbridos) que combinan el uso de infraestructura convencional con la sustentable, más allá de los criterios basados en datos duros y funcionalidad técnica.

Resultados de los criterios

Una vez calificado cada criterio se ordenaron dentro de cada dimensión en orden del mayor al menor según la columna del promedio aritmético, para saber por ejemplo que el criterio CS-3, “Garantizar la seguridad de las personas y propiedades en el sitio y en su interacción con los sistemas de manejo pluvial” es el más valorado entre los tres actores dentro de la dimensión social de la sustentabilidad, y así sucesivamente en los otros casos.

También se pueden sacar otro tipo de análisis generales de las cuatro categorías, por ejemplo después de generar la columna de ponderación relativa sustentable, esta permite comparar cuales fueron los criterios mejor y menor valorados transversalmente en todas las dimensiones, por ejemplo el criterio económico 1 (CE 1) definido como requerimiento de espacio e infraestructura fue el más valorado de los 15. A continuación se presentan ordenados del mayor al menor para visualizar las preferencias generales en las Tablas 59.

Orden	Dimensión	ID Criterio	Ponderación relativa sustentable
1	Social	CS 3	9.05%
2	Social	CS 2	8.59%
3	Económico	CE 3	8.55%
4	Económico	CE 2	8.35%
5	Económico	CE 1	8.10%
6	Social	CS 1	7.36%
7	Ambiental	CA 1	4.53%

Orden	Dimensión	ID Criterio	Ponderación relativa sustentable
7	Ambiental	CA5	4.53%
8	Ambiental	CA 2	4.13%
9	Ambiental	CA 4	3.99%
10	Ambiental	CA 6	3.94%

11	Ambiental	CA 3	3.88%
12	Holístico	CH 1	2.88%

12	Técnica	CH 5	2.88%
12	Técnica	CH 8	2.88%

Orden	Dimensión	ID Criterio	Ponderación relativa sustentable
13	Técnica	CH 9	2.80%
13	Técnica	CH 2	2.80%
14	Técnica	CH 4	2.73%
14	Técnica	CH 3	2.73%
14	Técnica	CH 6	2.73%
15	Técnica	CH 7	2.59%
16	Técnica	CH 9	2.80%

Tabla 59. Orden de criterios mediante su ponderación relativa de sustentabilidad.

A partir de esto podemos observar que los criterios sociales y económicos son los mejor valorados, seguidos de los ambientales y económicos, esto sucedió debido a que hay menos criterios en estas categorías y al momento de promediar se dividen entre un número más chico, lo que influye a la hora de ponderar. A pesar de esto, después de la definición de la propuesta con SUDS se utilizará para comparar cual es la diferencia en puntaje contra el proyecto convencional.

Si se analiza por categoría de manera separada es más útil inferir información sobre la percepción de los encuestados como se observa en las Tablas 60 a 63.

CATEGORIA AMBIENTAL			
Orden	ID Criterio	Descripción del criterio	Ponderación relativa sustentable
1	CA 1	Apoyar el manejo de la calidad del agua en las aguas superficiales y subterráneas receptoras	4.53%
1	CA 5	Preservar y proteger los sistemas hidrológicos naturales en el sitio, su morfología y ecología	4.53%
2	CA 2	Usar el agua de lluvia como un recurso (Captación para uso, infiltración)	4.13%
3	CA 4	Apoyar y proteger hábitats y especies locales naturales	3.99%
4	CA 6	Uso de materiales y energía eficiente y baja en carbono. Reducir la cantidad de infraestructura necesaria	3.94%
5	CA 3	Crear ecosistemas diversos, conectados, autosustentables y resilientes	3.88%

Tabla 60. Criterios ordenados según porcentaje de ponderación relativa sustentable en la categoría ambiental

CATEGORIA SOCIAL			
Orden	ID Criterio	Descripción del criterio	Ponderación relativa sustentable
1	CS3	Garantizar la seguridad de las personas y propiedades en el sitio y en su interacción con los sistemas de manejo pluvial	9.05%
2	CS 2	Promover el aprendizaje ambiental en la comunidad	8.59%
3	CS 1	Crear lugares agradables para las personas mejorando la calidad estética del lugar, de esta manera creando mejor calidad de vida	7.36%

Tabla 61. Criterios ordenados según porcentaje de ponderación relativa sustentable en la categoría social.

CATEGORIA ECONÓMICA			
Orden	ID Criterio	Descripción del criterio	Ponderación relativa sustentable
1	CE 3	Asequibilidad a largo plazo (si aplica)	8.55%
2	CE 2	Considerar los riesgos financieros, (si aplica)	8.35%
3	CE 1	Realizar análisis de costes del ciclo de vida (capital, operación, mantenimiento, etc.)	8.10%

Tabla 62. Criterios ordenados según porcentaje de ponderación relativa sustentable en la categoría económica.

CATEGORIA AMBIENTAL			
Orden	ID Criterio	Descripción del criterio	Ponderación relativa sustentable
1	CH 1	Apoyar la gestión del riesgo de inundación en la cuenca receptora	2.88%
1	CH 5	Garantizar una correcta captación y almacenamiento de los escurrimientos y control de inundaciones	2.88%
1	CH 8	Identificar el Impacto sobre el sistema de drenaje/ integración en el sistema	2.88%
2	CH 9	Definir y hacer un plan para atender requerimientos de operación y mantenimiento	2.80%
2	CH 2	Considerar las características del área y del drenaje en el proyecto	2.80%
3	CH 4	Considerar características del suelo y subsuelo, capacidad de infiltración y protección a acuíferos	2.73%

3	CH 3	Considerar de manera integral las restricciones físicas del lugar para realizar una mejor selección de los sistemas a utilizar	2.73%
3	CH 6	Buscar la flexibilidad, adaptabilidad y potencial para la reutilización para ser resilientes a cambios futuros	2.73%
4	CH 7	Maximizar la multifuncionalidad de los sistemas (educación, recreación, canchas, estacionamientos)	2.59%

Tabla 63. Criterios ordenados según porcentaje de ponderación relativa sustentable en la categoría técnica-hidráulica/holística

Uso de matrices de selección

Antes de comenzar con la definición o diseño conceptual de los sistemas es necesario revisar las matrices de selección que toman en cuenta los criterios ya definidos para realizar un filtrado de los sistemas a elegir, ya que sirven para identificar las restricciones técnicas que pueden presentar, estas matrices se pueden dividir cinco categorías, según lo que presenta el manual de SUDS (CIRIA, 2007). Estas son las siguientes:

1. Uso de suelo
2. Características del sitio
3. Características de la cuenca
4. Requerimientos de cantidad y calidad del agua
5. Requerimientos de amenidad y ambientales

Matriz de selección por uso de suelo									
Grupo de SUDS	Sistema	Baja densidad	Residencial	Vialidades locales	Comercial	Puntos críticos	Sitio de construcción	Baldíos	Terreno contaminado
Retención	Lago de retención	Si	Si	Si ¹	Si ²	Si ²	Si ³	Si	Si ²
	Almacenamiento subsuperficial	Si	Si	Si	Si	Si	Si ³	Si	Si
Infiltración	Zanja de infiltración	Si	Si	Si ¹	Si ²	No	No	Si	Si ⁴
	Estanque de infiltración	Si	Si	Si ¹	Si ²	No	No	Si	Si ⁴
	Pozo de infiltración	Si	Si	Si ¹	Si ²	No	No	Si	Si ⁴
Filtración	Filtro de arena superficial	No	Si	Si ¹	Si ²	Si ²	No	Si	Si ²
	Filtro de arena-subsuperficial	No	Si	Si ¹	Si ²	Si ²	No	Si	Si ²
	Filtro de arena perimetral	No	No	Si ¹	Si ²	Si ²	No	Si	Si ²
	Biorretención	Si	Si	Si ¹	Si ²	Si ²	No	Si	Si ²
	Zanja de filtrado	Si	Si	Si ¹	Si ²	Si ²	No	Si	Si ²
Detención	Estanque de detención	Si	Si	Si ¹	Si ²	Si ^{1,2}	Si ³	Si	Si ²
Canales abiertos	Cuneta verde de conducción	Si	Si	Si ¹	Si ²	Si ²	Si ³	Si	Si ²
	Cuneta verde seca mejorada	Si	Si	Si ¹	Si ²	Si ²	Si ³	Si	Si ²
	Cuneta verde húmeda mejorada	Si	Si	Si ¹	Si ²	Si ¹	Si ³	Si	Si ²
Control en la fuente	Techo verde	Si	Si	No		Si	No	Si	Si
	Captación de lluvia	Si	Si	No	Si ²	No	No	Si	Si
	Pavimentos permeables	Si	Si	No	Si ²	Si ¹	No	Si	Si ²

Tabla 64. Identificación de viabilidad de implementación de diferentes SUDS en función de los usos del suelo en el sitio. Fuente: CIRIA (2007)

- 1 Puede requerir dos etapas de tratamiento, dependiendo del tipo e intensidad del uso de viabilidad y la sensibilidad del agua receptora
- 2 Puede requerir tres etapas de tratamiento, dependiendo de la sensibilidad del cuerpo de agua
- 3 Requerirá retiro y rehabilitación después de las actividades de construcción, antes de ser usado como un sistema de drenaje permanente
- 4 Proveyendo diseño que prevengan la movilización de la contaminación

Matriz de selección por características del sitio													
Grupo de SUDS	Sistema	Suelos		Área que drena a un solo componente		Mínima profundidad a nivel freático		Pendiente del sitio		Carga hidráulica disponible		Espacio disponible	
		Impermeable	Permeable	0 - 2 ha	> 2 ha	0 - 1 m	> 1 m	0 - 5 %	> 5 %	0 - 1 m	1 - 2 m	Bajo	Alto
Retención	Lago de retención	Si	Si ¹	Si	Si ⁵	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si
	Almacenamiento subsuperficial	Si	Si	Si	Si ⁵	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Infiltración	Zanja de infiltración	No	Si	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si
	Estanque de infiltración	No	Si	Si	Si ⁵	No	Si	Si	Si	Si	No	No	Si
	Pozo de infiltración	No	Si	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si
Filtración	Filtro de arena superficial	Si	Si	Si	Si ⁵	No	Si	Si	No	No	Si	No	Si
	Filtro de arena-subsuperficial	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	No	No	Si	Si	Si
	Filtro de arena perimetral	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si
	Biorretención	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	No	Si	Si	No	Si
	Zanja de filtrado	Si	Si ¹	Si	No	No	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si
Detención	Estanque de detención	Si	Si ¹	Si	Si ⁵	No	Si	Si	Si	No	Si	No	Si
Canales abiertos	Cuneta verde de conducción	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	No ³	Si	No	No	Si
	Cuneta verde seca mejorada	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	No ³	Si	No	No	Si
	Cuneta verde húmeda mejorada	Si ²	Si ⁴	Si	No	Si	Si	Si	No ³	Si	No	No	Si
Control en la fuente	Techo verde	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	Captación de lluvia	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	-	-	-

	Pavimentos permeables	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si
--	-----------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Tabla 65. Identificación de viabilidad de implementación de diferentes SUDS en función de las características del lugar. Fuente: CIRIA (2007)

- 1 Con recubrimiento perimetral
- 2 Con flujo base superficial
- 3 Excepto si sigue el contorno
- 4 Con recubrimiento y constante flujo base superficial, o alto nivel freático
- 5 Posible, pero no recomendado (implica que tren de manejo apropiado no está implementado)
- 6 Donde caudales altos son desviados alrededor de un componente SUDS.

En la Tabla 66 se muestran resaltados los sistemas que se van a implementar en el caso de estudio para ver fácilmente la viabilidad de estos en función de los objetivos que se busquen, como se mencionó antes cumplir con los requerimientos locales del IHC, promover la infiltración y reducir el volumen de escorrentía son los principales. En el tema de calidad del agua se tratará como beneficio colateral sin forzar el diseño a cumplir estándares exigentes. En el control hidráulico de reducción del volumen de escurrimiento los sistemas de infiltración son los mejores, también las cunetas verdes poseen calificación de potencial medio. Los demás sistemas son buenos para reducir el caudal pico del período de retorno de 10 años, es decir los sistemas de almacenamiento y detención.

Matriz de selección por desempeño en cantidad y calidad del agua										
Grupo de SUDS	Sistema	Potencial de tratamiento de calidad del agua					Control Hidráulico			
		Remoción total de sólidos suspendidos	Remoción de metales pesados	Remoción de Nitrógeno y Fosforo	Remoción de bacterias (*)	Capacidad para tratar sedimentos finos suspendidos y contaminantes disueltos	Reducción de volumen de escurrimiento	Tr = 1-2 años	Tr = 10-30 años	Tr = 100 años
Retención	Lago de retención	A	M	M	M	A	B	A	A	A
	Almacenamiento o subsuperficial	B	B	B	B	B	B	A	A	A
Infiltración	Zanja de infiltración	A	A	A	M	A	A	A	A	B
	Estanque de infiltración	A	A	A	M	A	A	A	A	A
	Pozo de infiltración	A	A	A	M	A	A	A	A	B
Filtración	Filtro de arena superficial	A	A	A	M	A	B	A	M	B
	Filtro de arena-subsuperficial	A	A	A	M	A	B	A	M	B
	Filtro de arena perimetral	A	A	A	M	A	B	A	M	B
	Biorretención	A	A	A	M	A	B	A	M	B
	Zanja de filtrado	A	A	A	M	A	B	A	A	B
Detención	Estanque de detención	M	M	B	B	B	B	A	A	A
	Cuneta verde de conducción	A	M	M	M	A	M	A	A	A

Canales abiertos	Cuneta verde seca mejorada	A	A	A	M	A	M	A	A	A
	Cuneta verde húmeda mejorada	A	A	M	A	A	B	A	A	A
Control en la fuente	Techo verde	N/A	N/A	N/A	N/A	A	A	A	A	B
	Captación de lluvia	M	B	B	B	N/A	M	M	A	B
	Pavimentos permeables	A	A	A	A	A	A	A	A	B

Tabla 66. Identificación de viabilidad de implementación de diferentes SUDS en función del tratamiento y control de los escurrimientos requeridos. Fuente: CIRIA (2007)

N/A No aplica

A= Alto potencial

M= Medio potencial

B= Bajo potencial

El desarrollo es de tipo habitacional solamente de alta densidad pero con vialidades y áreas verdes, por lo que en concordancia con la Tabla 67 del Manual de SUDS de CIRIA (2007), dos niveles de tratamiento deben de ser considerados necesarios para este desarrollo. Lo que significa por ejemplo, si un área de aportación o cuenca dentro del desarrollo drena hacia un sistema de cuneta verde, esa misma agua después debe pasar por otro sistema después, como una biorretención, etc., antes de ser descargada a cuerpos receptores o infiltrada. La sensibilidad de las aguas receptoras se considera media por no haber áreas o ecosistemas protegidos en la parte baja de la Subcuenca del Guayabo, pero por visitas de campo al cauce se detectó la presencia de descargas de aguas contaminadas, por lo que es necesario reducir a lo mínimo posible la contaminación. Más adelante se definirán los criterios específicos, en esta etapa de diseño esto es lo básico.

Sensibilidad de las aguas receptoras	Baja	Media	Alta
Características de escurrimiento de la cuenca			
Solo azoteas	1	1	1
Vialidades privadas, áreas de estacionamientos, zonas comerciales	2	2	3
Recolección de basura/ áreas industriales/ zonas de carga/ carreteras	3	3	4

Tabla 67. Número de elementos del tren de tratamiento (asumiendo que un pretratamiento efectivo ya se encuentra implementado). Adaptado de CIRIA, 2007.

Matriz de selección por factores de comunidad y ambientales					
Grupo de SUDS	Sistema	Mantenimiento	Aceptación de la comunidad	Costo	Potencial de creación de hábitat
Retención	Lago de retención	A	A*	M	A
	Almacenamiento subsuperficial	B	A	M	B
Infiltración	Zanja de infiltración	B	M	B	B
	Estanque de infiltración	M	A*	B	M
	Pozo de infiltración	B	M	M	B
Filtración	Filtro de arena superficial	M	B	A	M
	Filtro de arena-subsuperficial	M	B	A	B
	Filtro de arena perimetral	M	B	A	B
	Biorretención	A	A	M	A
	Zanja de filtrado	M	M	M	B
Detención	Estanque de detención	B	A*	B	M
Canales abiertos	Cuneta verde de conducción	B	M*	B	M
	Cuneta verde seca mejorada	B	M*	M	M
	Cuneta verde húmeda mejorada	M	M*	M	A
Control en la fuente	Techo verde	A	A	A	A
	Captación de lluvia	A	M*	A	B
	Pavimentos permeables	M	M	M	B

Tabla 68. Identificación de viabilidad de implementación de diferentes SUDS en función de mantenimiento, costos, aceptación de la comunidad y potencial de creación de hábitat. Fuente: CIRIA (2007)

A= Alto

M= Medio

B= Bajo

* Podría haber algunas preocupaciones de seguridad pública asociados con agua al aire libre que requieren atenderse desde la etapa de diseño

Factibilidad del sitio y oportunidades ambientales

La factibilidad viene determinada principalmente por el espacio disponible (densidad proyectada), el presupuesto, la topografía, el régimen pluvial, la infraestructura existente, el contexto hidrológico y la normativa del lugar.

Como se muestra en la Tabla 70, el espacio disponible de áreas verdes entre parques y camellones suman 2.53 has y más los cajones de estacionamiento para visitas que se pueden fácilmente construir con pavimentos permeables que son 0.40 hectáreas, ambas áreas representan el 18.27% del uso total del suelo, lo cual representa una buena oportunidad de manejo del agua hacia estas zonas. De ese espacio 0.286 ya están proyectadas como zonas de retención, como tanques de concreto o lagunas. Lo que representa un 1.78% del área total de los fraccionamientos y un 11.29% relativo de las áreas verdes.

Las oportunidades ambientales tienen alcance en la maximización de los espacios verdes, la correcta ubicación y direccionamiento de los escurrimientos a zonas de infiltración y biorretención para mejorar su calidad, la ubicación de la mayor cantidad de arbolado, la ubicación de pavimentos permeables en los 4000 m² de estacionamientos para visitantes, sin contar los estacionamientos dentro del lote, la captación de agua de lluvia en vivienda de azoteas, etc

5.5 Definición conceptual de SUDS

Basado en la metodología del Manual de SUDS de CIRIA (2007), una vez establecidos los criterios de diseño y que se revisaron las matrices de selección de los SUDS, se revisan las principales restricciones y oportunidades que controlaran la selección, estos se resumen en la siguiente Tabla 69.

Característica	Restricción/oportunidad
Tipo de desarrollo	<ul style="list-style-type: none"> • La densidad es Alta, del tipo H3-U (Horizontal Unifamiliar), con 200 hab/ha y 40 viviendas por ha, por lo tanto deberá haber un uso eficiente de las áreas verdes para lograr los objetivos establecidos. • Las viviendas son de nivel económico alto, con ingreso controlado, las viviendas cuentan con espacio en el patio para colocar cisternas o tanques de captación de lluvia • Existe riesgo bajo-medio de contaminación por la gran cantidad de azoteas y vialidades del sitio, por lo que el control en el origen será clave.
Suelos	<ul style="list-style-type: none"> • Se presenta buena permeabilidad, entre 1.2×10^{-2} cm/s y 3.4×10^{-2} cm/s en los 3 puntos de sondeo.
Aguas subterráneas	<ul style="list-style-type: none"> • En 5 de los 14 pruebas de pozo a cielo abierto que se realizaron se encontró nivel de aguas freáticas, siendo el máximo el cual se encuentra en un rango de profundidad entre 0.70m y 3.15 m. • Los cuerpos de agua subterráneos no están identificados como sensibles o protegidos • La buena permeabilidad detectada y el hecho de que no se encontró nivel freático en la mayoría de los puntos vuelve viable la implementación de medidas de control mediante infiltración
Espacio disponible	<ul style="list-style-type: none"> • Lagos de detención/retención superficial son posibles de implementar ya que hay 6 espacios abiertos de buen tamaño • No hay espacio para jardines de lluvia o zonas de biorretención dentro de los lotes privados • Estacionamientos de visitas pueden ser aprovechados para la implementación de pavimentos permeables y sistemas de cajas matriciales • Las áreas verdes se pueden conectar mediante cunetas verdes ya que la mayoría fueron ubicadas de manera adyacente. Ver figura 52
Características topográficas del sitio	<ul style="list-style-type: none"> • En general las pendientes son medias a altas, en promedio de 19 al millar, por lo que el tiempo de concentración será corto, pero basado en el proyecto que se realizó por la constructora, el cual tomo 15 min como tiempo de concentración es el valor que se elegirá para diseñar los SUDS. • Se pueden conectar y dirigir los escurrimientos de las áreas verdes mediante cunetas verdes (swales) ya que la pendiente lo permite. Ver Figura 52 • Vulnerabilidad media-alta a inundación aguas abajo
Propiedad/mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • La red de drenaje pluvial será propiedad del ayuntamiento local • Los sistemas superficiales de retención y detención son propiedad privada y el mantenimiento va por cuenta de las cuotas de la junta de colonos • Los sistemas de infiltración serán propiedad de los residentes • El mantenimiento de los sistemas de biorretención será por parte de las cuota de la junta de colonos

Aceptación de la comunidad	<ul style="list-style-type: none"> • Los lagos proveen oportunidad de mejora de la calidad estética de los espacios, educación y recreación si se ubican el espacio público abierto • Las áreas de detención que se llenan frecuentemente pueden cumplir doble uso (hidráulico y amenidad) cuando son ubicados en espacio público abierto
Costo	<ul style="list-style-type: none"> • Los sistemas de tuberías y de almacenamiento serán diseñados para minimizar los costos de capital y mantenimiento • Zanjas de infiltración son consideradas más eficientes en costo y espacio que el uso de pavimentos permeables sin recubrimiento
Seguridad del público	<ul style="list-style-type: none"> • Los riesgos de salud y seguridad serán reducidos mediante diseños y ubicación adecuados de las medidas adoptadas • Los taludes deben ser diseñados con una relación de 1:4 como valor mínimo para garantizar la seguridad ante caídas • Los sistemas de detención/retención superficial deberán contar con un perímetro cercado o con vegetación densa que dificulte su acceso al público • Se necesita educar y concientizar al público sobre el uso de los sistemas superficiales
Biodiversidad	<ul style="list-style-type: none"> • Los lagos serán diseñados para beneficios de biodiversidad • Los lagos serán ubicados apropiadamente para el desarrollo natural de la flora y fauna nativa

Tabla 69. Restricciones/oportunidades de los SUDS.

Los desarrollos habitacionales elegidos para evaluar la viabilidad de las propuestas y realizar un análisis de criterios de sustentabilidad están ubicados en el límite sur-oeste de la subcuenca del Guayabo, en las coordenadas 20°31'49.37"N y 103°29'48.83"O, se observa en la Figura 53. Tiene una extensión territorial de 16.03 hectáreas y contara con 646 lotes, actualmente se encuentra en fase de proyecto, para la realización de las propuestas se cuenta con la topografía, la ubicación del sistema de drenaje pluvial, el tamaño de los lotes, y el diseño urbanístico, es decir la disposición de los lotes, cajones de estacionamientos, vialidades, áreas verdes, entre otra información necesaria para el diseño del drenaje sanitario. Los fraccionamientos nuevos son tres, llamados Baluarte, Almena y Fracción Nuevo Casa Fuerte los cuales serán parte de una ampliación adyacente por parte de la misma constructora que previamente construyó el fraccionamiento llamado Casa Fuerte, el cual ya está habitado y tiene una extensión de 59.89 hectáreas. El acceso principal a todos los fraccionamientos es por la Avenida López Mateos Sur para después ingresar por la avenida Casa Fuerte como se ve en la Figura 54.

En cuanto a la información provista sobre la infraestructura de drenaje pluvial se construirá una línea de 1040 metros lineales, el sistema de eliminación será por gravedad, habrá 17 bocas de tormenta y 33 pozos de absorción que están en el rango entre 13 y 17 metros de profundidad.

Como podemos observar en la Tabla 70 se tiene proyectado construir 9.45 hectáreas para las viviendas y 3.69 hectáreas de vialidades (incluye banquetas), lo que en conjunto representa el total de área impermeable con un 81.73 % del total, por otro lado el área de áreas verdes será de 2,54 has y por último los cajones de estacionamiento serán 0,40 has, que en conjunto representan un 18.27 % como el área permeable del total (estacionamientos se suponen de material permeable).

USO DE SUELO	AREA M2	AREA HAS	% DE USO DE SUELO	PROPORCIÓN IMPERMEABLE	PROPORCIÓN PERMEABLE
LOTES MANZANAS	94449.39	9.44	58,76	58,76 %	
AREAS VERDES	25360.6	2.54	15,78		15,78 %
ESTACIONAMIENTOS	4007.25	0.4	2,49		2,49 %
VIALIDADES	36926.28	3.69	22,97	22,97 %	
AREA TOTAL	160743.52	16.07	100,00		
SUMA	160743.52	16.07	100	81,73 %	18,27 %

Tabla 71. Análisis de áreas permeables e impermeables del desarrollo habitacional.

5.6 Diseño final implementado utilizando sistema de drenaje pluvial sustentable

El diseño final de la propuesta utilizando sistemas de drenaje urbano sustentables se explica a continuación en este capítulo, debe mencionarse que el proceso tiene un alcance de diseño esquemático, la cual es la etapa siguiente después del establecimiento de objetivos estratégicos de manejo del agua pluvial y el diseño conceptual. Entonces es un diseño esquemático pero a la vez tiene algunos elementos de un diseño detallado, que es la etapa final según las recomendaciones en cuanto al proceso de planeación y diseño de SUDS del manual de SUDS de CIRIA (CIRIA, 2015, pp- 94-127).

En el diseño esquemático ya se hace un dimensionado y optimización de los sistemas, para posteriormente en el diseño detallado se realizan las pruebas, se incluyen detalles y sistemas constructivos y se finalizan todo el esquema de operación, mantenimiento, financiamiento, etc. Por lo tanto, se reitera que esta propuesta tiene el alcance de un diseño esquemático ya que se dimensionaron los sistemas con el objetivo principal de cumplir con el criterio local en cuanto a manejo de aguas pluviales del Impacto Hidrológico Cero, el cual se tiene como eje transversal en el diseño de esta propuesta.

El objetivo de esta propuesta no es entonces presentar un proyecto ejecutivo por decirlo así, sino más bien dar una demostración de los beneficios y posibles capacidades de los sistemas SUDS, para posteriormente hacer una comparativa económica de capital e hidrológica entre un proyecto pluvial convencional y con SUDS.

Se partió de varios supuestos para facilitar el proceso y explicar una funcionalidad hidráulica de manera general. En la siguiente Tabla 72 se especifican los supuestos:

SUPUESTO DE DISEÑO	DESCRIPCIÓN	RESULTADO DE APLICACIÓN
Bombeo de las vialidades	En este punto para facilitar la entrada de los escurrimientos a los sistemas se presupone que el bombeo de la vialidad es en la dirección de la ubicación del sistema utilizado	Pueden ser dos casos, bombeo hacia un solo lado y en donde hay sistemas en camellones el bombeo de ambas vialidades a los costados se dirige hacia estos. En el caso de los estanques, al ser 3 de ellos y de grandes dimensiones, todo flujo por superficie que llegaba a estos se supuso que entraba completamente, ya sea mediante captación con bocas de tormenta, cortes o eliminación de machuelos y/o colocación estratégica de topes para contener el flujo.
Estructura, diseño y capacidad de entrada de escurrimientos a los sistemas	La estructura de entrada a los sistemas es a través de cortes en los machuelos o eliminación de estos en su totalidad a lo largo del sistema, lo que sea necesario en caso de un diseño detallado para garantizar el ingreso de caudal en la medida óptima. Para la entrada a los pozos de infiltración se realizó mediante la implementación de unos elementos en el software que se pueden suponer como bocas de tormenta para su correspondiente conexión mediante tubería.	Para todos los sistemas de biorretención se supone la entrada por corte en machuelo, asemejándose su función a una boca de tormenta de tipo banqueteta. La capacidad de entrada se especificó entre los 30 y 60 l/s. En los estanques de detención, cunetas verdes y zanja de infiltración es libre por superficie mediante la eliminación del machuelo o los cortes que sean necesarios. Si en cualquier caso la capacidad especificada es muy elevada para ser viable técnicamente se podrían proponer pequeños topes viales antes de la entrada como medida de seguridad para optimizar la captación. La velocidad de entrada no fue considerada, pero se recomienda en caso de que sea mayor a 1.5 m/s una estructura reductora de velocidad en la entrada de los sistemas, especialmente los de biorretención.
Estructura, diseño y capacidad de salida de escurrimientos a los sistemas	Para la mayoría de los sistemas se propuso una salida para eventos de lluvia extremos mediante una estructura tipo vertedor, el cual manda los flujos ya sea por vialidad al siguiente sistema o a la red pluvial según sea el caso. El software calcula el vertedor con la fórmula mostrada en la sección 10.1 "Referencias/Teoría del software"	Esto se implementó para todos los sistemas excepto para los estanques y pozos de infiltración, los primeros tienen una salida que trabaja hidráulicamente como tipo orificio, el cual conecta a una tubería de desfogue hacia el siguiente sistema o al exterior del proyecto. Los pozos están conectados en serie, cuando se llena uno manda el flujo al siguiente y finalmente conectan a la red pluvial. Lo demás sale por infiltración o por superficie en caso de no poder ser captados en su totalidad. Las dimensiones de estos fueron de entre 0.40 y 1.60 m dependiendo el caso.
Iteración o diseño retroactivo para el dimensionamiento de los sistemas	Esto tiene que ver con la definición de las estructuras de entrada y salida de flujos en cuanto a que se llevó a cabo un proceso iterativo dentro del software	El proceso involucraba el ajuste de dimensiones de los sistemas, así como de la capacidad y configuración de las estructuras de entrada y salida para garantizar principalmente que el sistema no se inundará y aportará su volumen en exceso al siguiente sistema aguas abajo de manera correcta.

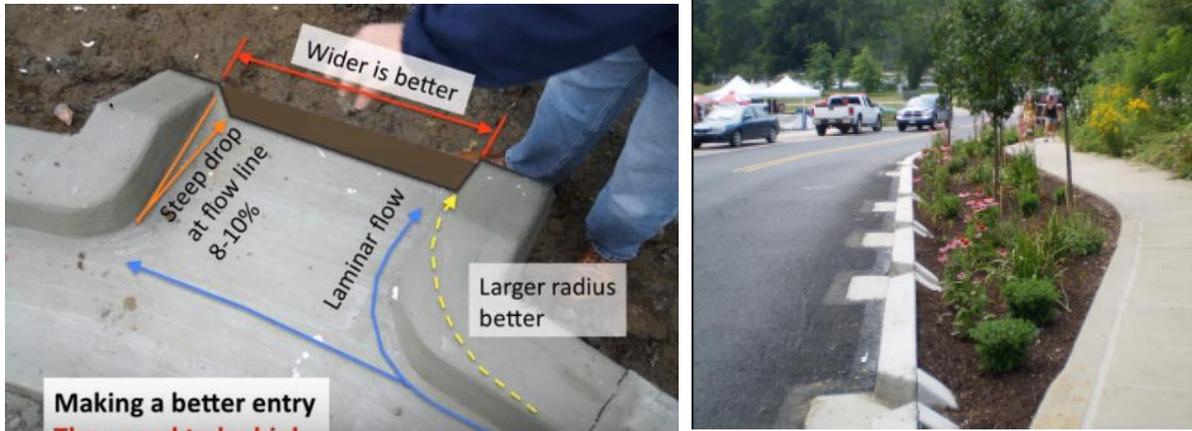
Tabla 72. Definición y descripción de los supuestos de diseño del proyecto con SUDS.

Estructuras de entrada y salida

Estructura de entrada

Como se mencionó en la Tabla 72, sobre los supuestos de diseño, las estructuras de entrada para la mayor parte de los sistemas es a través de cortes en los machuelos o la eliminación total de estos, para que el escurrimiento por vialidad entre directamente sin necesidad de bocas de tormenta u otro tipo estructuras de captación.

A continuación se muestra la Fotografía 11 de ejemplo de estas entradas:



Fotografía 11. Fotografía de un corte en machuelo con diseño óptimo para garantizar el ingreso del escurrimiento (izquierda) y fotografía de entrada múltiple por cortes en machuelo (derecha). Fuente: YouTube: canal Deeproot ,2013 y Manual de soporte de xpdrainage.

La imagen de la Fotografía 11 muestra el diseño recomendado para garantizar la entrada del escurrimiento, a lo largo del sistema en cuestión se puede colocar varios de estos según sean necesarios. Las recomendaciones mostradas en inglés indican que un radio de curva grande y más ancho de entrada es mejor y que debe haber una pendiente de caída hacia la entrada de entre el 8 y 10%.

Como se mencionó en la Tabla 72 sobre los supuestos y que luego se detallará para cada sistema en las siguientes secciones, el gasto de entrada que se supuso que ingrese por este tipo de entradas estuvo en el rango entre 30 y 60 l/s, dependiendo de las necesidades, por lo que ahí se ajustaba de manera iterativa, de manera que no fueran valores inviables.

Estructura de salida

Se muestra en las Fotografías 12 y 13 varios tipos de salida posibles a implementar para los sistemas. Como se mencionó en la tabla de supuestos de diseño, en la mayoría de los sistemas se configuró dentro del software la salida tipo “vertedor”, con anchos que variaron entre los 0.40 y 1.60 m según fueran las necesidades de retención y vaciado del caudal de agua para evitar inundación del sistema o sobredimensionamiento de este. Los rangos de gastos de salida presentados fueron entre los 19 y los 154 l/s. Cuando se presentó el gasto de salida tan elevado fue debido a que se le dio mucho ancho y el nivel de salida se colocó muy abajo, permitiendo que el tirante se elevará en gran medida sobre la base del vertedor, de esta manera permitiendo por momentos cortos que saliera una gran cantidad de caudal igualándose al caudal de entrada.



Figure 28.15 Example of screened orifice outfall with T-piece structure (courtesy Robert Bray Associates)

Fotografía 12. Fotografía de opción de vertedor para sistemas de detención (izquierda) y salida con filtro de basuras en cuneta verde (derecha). Fuente: Manual de soporte de xpdrainage y CIRIA (2015).



Fotografía 13. Fotografía de opción de vertedor mediante muro sencillo de mampostería apoyado de una lámina o tabla. Fuente: CIRIA (2015).

UBICACIÓN Y TIPO DE SISTEMAS SUDS IMPLEMENTADOS

Entonces con los supuestos y alcances definidos se puede proceder a explicar el contenido de la propuesta realizada. En la Figura 55 se pueden observar el tipo y ubicación de los sistemas así como el espacio que ocupó cada uno. La propuesta consta de los siguientes elementos:

- 7 sistemas de biorretención
- 4 cunetas verdes
- 3 estanques de detención e infiltración
- Una vialidad con pavimento permeable
- Una zanja de infiltración
- 6 pozos de infiltración

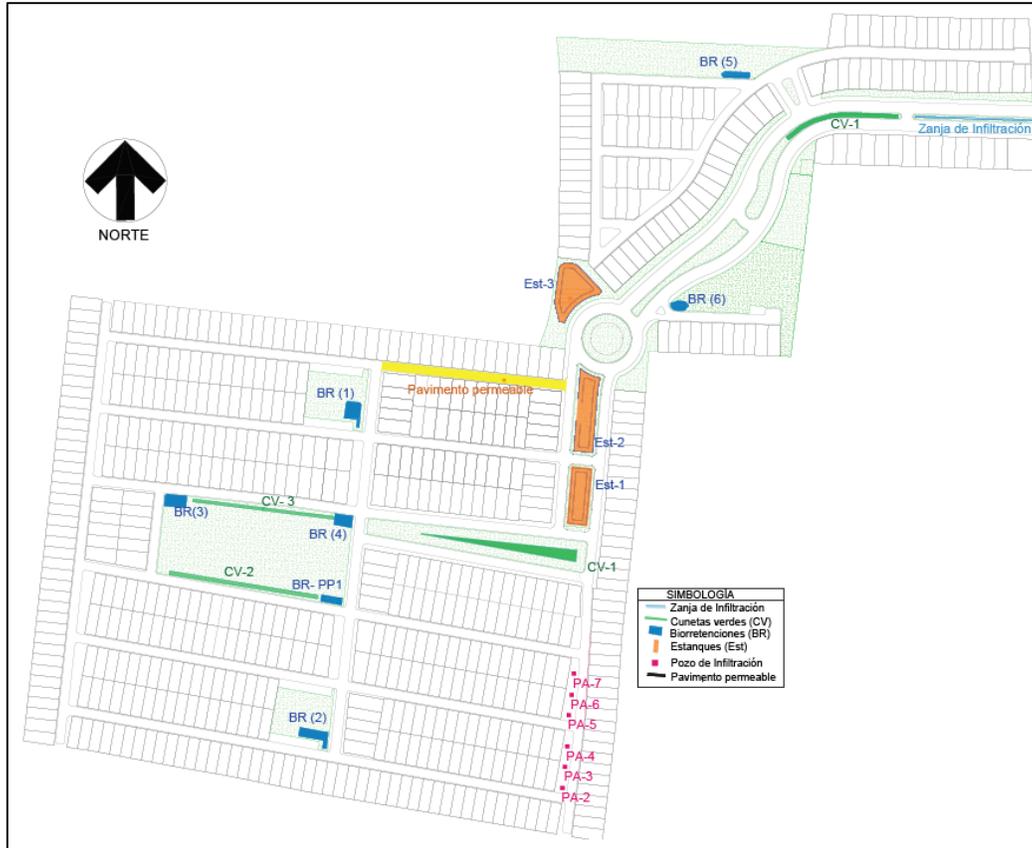


Figura 54. Vista en planta de la ubicación final de los sistemas SUDS.

Como se puede observar la mayor parte de los sistemas se encuentran antes de los estanques, ya que es donde se genera el mayor volumen de escurrimiento y se aprovecha la gran buena cantidad de espacios verdes. La definición de la red pluvial quedo como se observa en las Figuras 56 y 57.



Figura 55. Proyecto con SUDS con red de tuberías pluviales (zona sur).



Figura 56. Proyecto con SUDS con red de tuberías pluviales (zona norte).

El proyecto se dividió en tres zonas que se identifican en la Figura 58, lo cual después en el diseño y resultados de los sistemas se menciona para facilitar el entendimiento del proyecto, básicamente se dividió para ver las zonas de aportación a los estanques o que serán regulados finalmente por los estanques, que son las zonas 1 y 2, y la zona que será regulada por un grupo de tres sistemas SUDS aislados y lo que no logre ser captado o interceptado por estos saldrá del fraccionamiento por superficie. El caudal que sale por el punto de salida 1 es lo que corresponde a la zona 1 y 2, a partir del orificio de salida del Estanque 3, y lo que sale de la zona 3 es por el punto de salida 2. A partir de esos caudales se medirá el caudal para ver si se cumplió la regulación para cumplir el Impacto Hidrológico Cero.

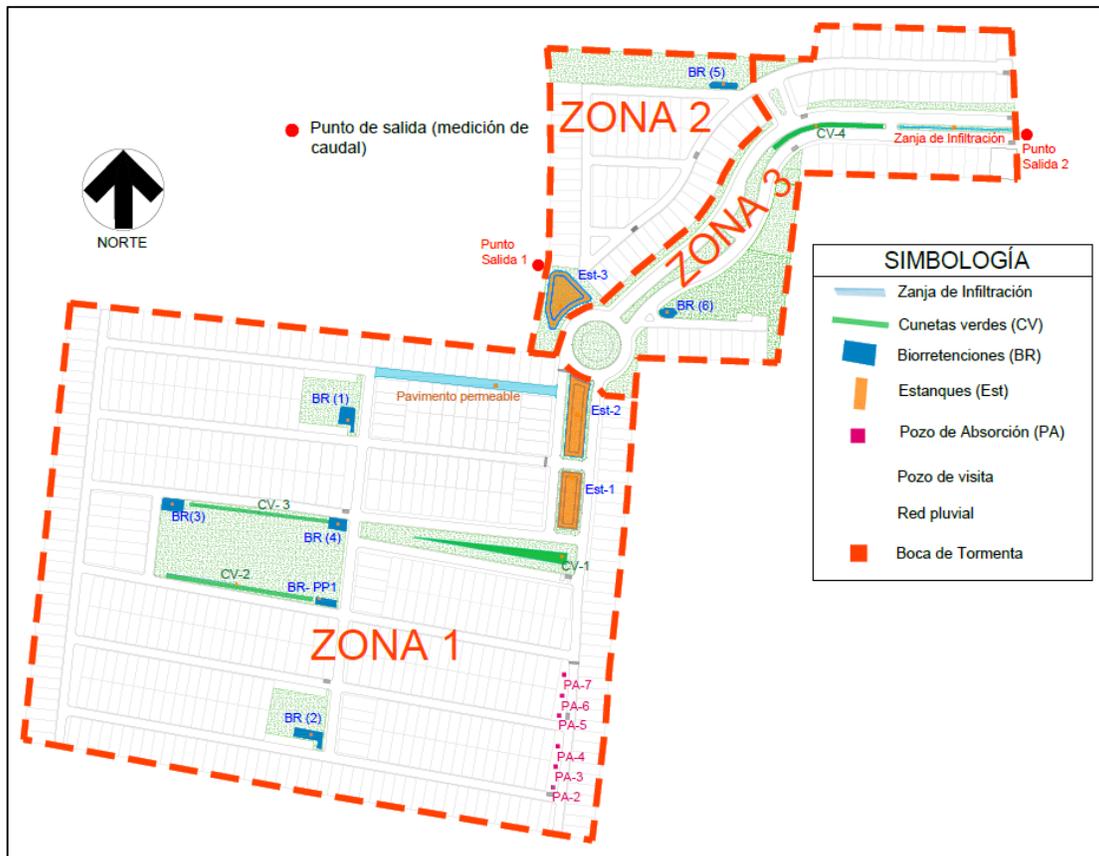


Figura 57. Delimitación de zonas de proyecto en relación con los SUDS.

La zona 2 drena completa y directamente hacia el estanque 3, aunque la pendiente superficial de esta va hacia el punto de salida 2 se capta todo el volumen mediante 3 bocas de tormenta.

A continuación se muestra un resumen de los resultados hidráulicos y funcionales principales de cada sistema en la Tabla 73. El Volumen perdido total hace referencia al volumen que quedó en el sistema y que solo podría salir por infiltración. El volumen de descarga total es lo que ingresó al sistema pero salió por vialidad o por un vertedor. El porcentaje disponible especifica que proporción de la capacidad total había disponible aún por llenar cuando el sistema llegó a su tirante máximo de llenado, en algunos casos parecerá que le sobra mucho volumen pero en realidad fue porque se ajustó la profundidad para que no registrará inundación y que ese volumen de agua no se perdiera, ya que lo que se inunda no es transferido a otro sistema aguas abajo, e incluso si el sistema se llegaba a su bordo libre por solo un segundo marcaba inundación o riesgo de inundación por lo que se exageró un poco la profundidad, pero en realidad la profundidad efectiva es la que provee el nivel de salida con respecto al fondo.

Sistema SUDS	Max Volumen residente (m³)	Máx. Profundidad (m)	Max gasto de entrada (L/s)	Máx. volumen inundado (m³)	Volumen perdido total(m³)	Max gasto salida (L/s)	Volumen de descarga total (m³)	Porcentaje disponible (%)	Estados
Biorretención PP1	12.67	1.61	115.00	0.00	0.00	28.80	25.43	71.47	OK
cuneta verde 1	40.22	1.40	229.50	0.00	65.02	36.20	19.18	10.54	OK*
Estanque 1	526.26	1.57	1141.10	0.00	344.30	685.10	648.73	2.13	OK*
Estanque 3	428.59	1.04	502.40	0.00	359.39	178.10	817.51	44.94	OK
Zanja de Infiltración	26.89	1.00	265.50	0.00	66.19	153.50	123.99	10.38	OK
Estanque 2	535.11	1.32	1245.80	0.00	366.11	352.20	852.12	21.98	OK
Biorretención (1)	36.08	1.00	171.40	0.10	1.13	54.00	48.09	41.05	OK
Biorretención (2)	32.40	1.57	164.70	0.00	0.00	19.00	15.84	61.53	OK
Biorretención (3)	29.30	1.02	172.10	0.00	1.04	38.40	41.88	49.26	OK
Pozo Abs 2	25.05	14.17	100.00	0.00	38.73	87.40	68.81	5.52	OK*
Pozo Abs 3	25.61	14.49	87.40	0.00	34.68	76.30	34.13	3.38	OK*
Pozo Abs 4	26.81	14.95	75.60	0.40	31.78	17.50	2.35	0.00	OK*
Pozo Abs 5	24.99	14.14	95.00	0.00	39.15	83.80	72.43	5.73	OK*
Pozo Abs 6	25.33	14.34	82.30	0.00	35.25	72.00	37.18	4.43	OK*
Pozo Abs 7	25.45	14.40	71.60	0.00	31.18	58.10	5.99	3.98	OK*
Cuneta verde 4	61.18	1.19	296.20	0.00	88.10	71.20	78.48	0.00	OK
Pavimento permeable - Salida	12.08	0.24	333.90	0.00	49.57	103.80	96.93	37.77	OK
Cuneta Verde 2	5.06	1.01	165.00	0.00	15.07	38.20	36.18	75.00	OK
cuneta verde 3	13.59	1.27	234.80	0.00	41.08	70.00	63.17	34.51	OK
Biorretención (4)	21.43	1.65	208.70	0.00	0.00	97.10	88.05	65.82	OK
Biorretención (5)	12.59	1.58	120.90	0.00	0.00	44.80	63.98	68.97	OK*
Biorretención (6)	8.47	1.02	99.00	0.00	0.34	39.80	45.44	57.74	OK

Tabla 73. Resumen de resultados hidráulicos arrojados por software xpdrairage después del modelado final, corrida de 6 horas de duración.

Cálculo de bocas de tormenta

En la sección introductoria de este capítulo se mencionaron las ecuaciones para calcular las bocas de tormenta, se implementaron 9 bocas de tormenta, a continuación se muestra los resultados del cálculo en Excel, que luego se introdujeron al software xpdamage, es importante notar que la mayoría son de 1.00 x 2.00 metros pero hubo algunas que se diseñaron para todo el ancho de la vialidad a 7 metros, en la Figura 59 se observa la ubicación de las bocas de tormenta y en la Tabla 74 los resultados del cálculo de eficiencia de captación.

SUBCUENCA No.	BT No.	Largo cm	Ancho cm	Ancho vial metros	Número de barras			Ag m2	Ah m2	P	A	B	K	Q calle lps	Tirante calle mm	Eficiencia %	Q captado lps	Q rebasado lps
					longitudinales	transversales	diagonales											
2A	2	200.00	100.00	7.00	10.00	33.00	0.00	2.00	1.83	91.59	0.79	0.57	0.92	326.08	101.23	43%	139.78	186.30
2C	3	200.00	100.00	7.00	10.00	33.00	0.00	2.00	1.83	91.59	0.79	0.57	0.97	164.98	71.80	50%	83.02	81.96
4B	4	400.00	150.00	7.00	20.00	50.00	0.00	6.00	5.51	91.80	1.18	0.55	0.91	474.59	116.54	58%	274.50	200.09
4B	5	700.00	100.00	7.00	35.00	33.00	0.00	7.00	6.12	87.39	1.31	0.71	0.93	200.09	96.25	82%	164.44	35.65
1A	7	200.00	100.00	7.00	10.00	33.00	0.00	2.00	1.83	91.59	0.79	0.57	0.94	240.67	88.17	47%	112.21	128.46
6B	9	700.00	100.00	7.00	35.00	33.00	0.00	7.00	6.12	87.39	1.31	0.71	0.93	274.28	91.76	63%	173.55	100.73
9C	12	200.00	100.00	7.00	10.00	33.00	0.00	2.00	1.83	91.59	0.79	0.57	0.95	78.88	79.25	82%	64.48	14.40
9B	13	200.00	100.00	7.00	10.00	33.00	0.00	2.00	1.83	91.59	0.79	0.57	0.94	105.13	88.27	75%	78.40	26.73
9A	14	200.00	100.00	7.00	10.00	33.00	0.00	2.00	1.83	91.59	0.79	0.57	0.94	147.65	89.32	62%	91.54	56.11

Tabla 74. Cálculo de eficiencia de bocas de tormenta implementadas en proyecto con SUDS.



Figura 58. Ubicación de bocas de tormenta.

Con el valor obtenido de Q_{captado} que es lo máximo que logra captar con la configuración que se le dio, se ingresó al software como se observa en la Figura 60. Se configura primero en "capacity type" (tipo de capacidad) y se elige el tipo "Low/high Flow" (Flujo Bajo/Alto) en el cual se determina en el "High Bypass Rate" (Gasto derivado Alto) el gasto máximo que aceptará ese sistema y a partir del cual, si el gasto de llegada es mayor seguirá por superficie, el destino de ese gasto rebasado se ve en la esquina inferior izquierda, en el caso de la boca de tormenta BT-4, ese gasto continua por la conexión llamada Esc. Vialidad

BT4 -BT5, nombre abreviado para identificar que el gasto que no entra escurre por vialidad y pasa a la boca de tormenta BT-5.

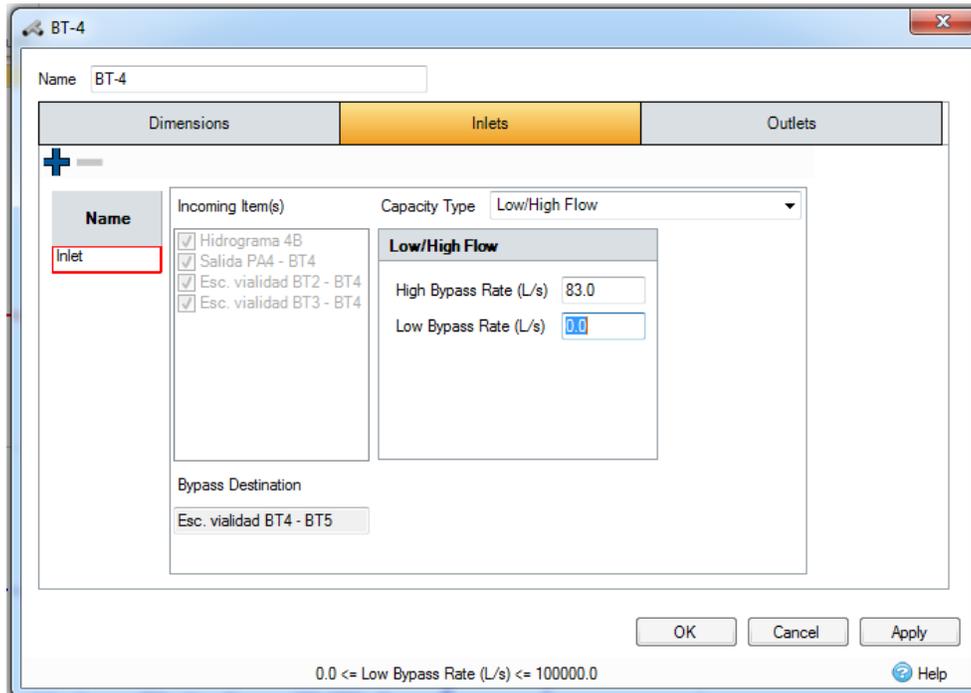


Figura 59. Módulo de configuración de bocas de tormenta en software xpdrainge.

Definición de red de tuberías pluviales

A continuación se muestra la Tabla 75 de red de tuberías implementada, con su punto de salida y destino indicado, así como los gastos máximos que conducen, par al final mostrar el cociente del gasto máximo y la capacidad a máxima (no a tubo lleno), la cual está en función de su diámetro, pendiente y n de Manning, la cual se calculó con un valor de 0.009 para todas las tuberías. Las tuberías que tienen una relación Flujo/capacidad mayor a uno trabajan en carga, es decir a tubo lleno para el evento de lluvia de diseño, en este caso son las tuberías de conexión entre los estanques las que funcionan de este modo ya que están ahogadas al trabajar como orificio cuando se llenan los tanques.

Nombre de Tubería	Longitud (m)	Pendiente (%)	Desde	Hacia	Máximo caudal (L/s)	Flujo / Capacidad
PVC 18" (2)	47.352	0.49%	PV-5	PV-6	251.2	0.89
PVC 6"	9.608	11.45%	Biorretención PP1	PV-5	28.8	0.39
PVC 16" (2)	47.687	0.57%	PV-4	PV-5	105.4	0.46
PVC 24" (7)	46.830	0.40%	PV-1	PV-2	200.0	0.78
PVC 27"	28.275	0.40%	PV-2	PV-3	200.0	0.78
PVC 8" (2)	17.733	0.23%	cuneta verde 1	PV-3	4.6	0.21
PVC 12" (6)	16.992	0.47%	BT-9	Estanque 2	98.4	0.76
PVC 16" (3)	7.785	1.00%	BT-5	PV-1	200.0	0.66
PVC 18"	17.664	0.40%	Estanque 1	Estanque 2	197.4	0.78
PVC 12" (4)	8.852	0.50%	BT-3	PV-4	99.0	0.80
PVC 12"	37.906	1.35%	Estanque 2	Estanque 3	176.4	1.09
PVC 18" (4)	36.042	0.40%	PV-13	PV-14	135.0	0.59
PVC 12" (2)	8.928	0.56%	BT-12	PV-14	78.9	0.75
PVC 16" (6)	6.917	2.31%	BT-14	PV-10	0.0	0.50

PVC 10" (4)	24.123	0.50%	PV-10	PV-11	44.9	0.74
PVC 10" (5)	32.737	0.50%	PV-11	PV-12	45.0	0.74
PVC 12" (5)	7.606	0.66%	BT-13	PV-12	90.7	0.8
PVC 18" (3)	27.873	0.50%	PV-12	PV-13	134.9	0.53
PVC 18" (5)	45.458	0.29%	PV-14	Estanque 3	213.5	0.78
PVC 12" (8)	4.862	1.49%	BT-2	Pozo Abs 2	100.0	0.59
PVC 12" (3)	13.908	1.48%	Pozo Abs 2	Pozo Abs 3	87.4	0.51
PVC 12" (7)	13.320	2.01%	Pozo Abs 3	Pozo Abs 4	75.6	0.38
PVC 12" (3)	5.808	12.05%	BT-4	Pozo Abs 5	95.0	0.2
PVC 14"	13.220	1.49%	Pozo Abs 5	Pozo Abs 6	88.3	0.34
PVC 14" (2)	14.002	1.49%	Pozo Abs 6	Pozo Abs 7	72.0	0.25
PVC 12" (2)	39.011	0.10%	Estanque 2	Estanque 3	176.3	3.94
PVC 8" (3)	13.283	0.75%	Cuneta verde 4	Zanja de Infiltración	70.3	0.83
PVC 10" (8)	16.250	6.15%	Biorretención (4)	PV-6	109.7	0.51
PVC 6" (2)	14.455	0.76%	Biorretención (5)	PV-10	0.0	0
PVC (8")	35.705	1.18%	Biorretención (2)	PV-4	19.5	0.37
PVC 14" (3)	14.546	1.51%	Pozo Abs 7	PV-1	55.6	0.21
PVC 10"	25.433	11.36%	Cuneta Verde 2	PV-5	38.2	0.13
PVC 24" (3)	18.000	0.44%	PV-6	PV-7	354.5	0.61
PVC 24" (4)	78.298	1.62%	PV-7	PV-8	418.2	0.38
PVC 24" (8)	53.226	2.74%	PV-8	PV-9	415.9	0.29
PVC 24" (9)	7.470	0.94%	PV-9	Estanque 1	415.5	0.5
PVC 24" (5)	10.676	0.40%	PV-3	Estanque 1	200.0	0.78
PVC 16"	13.875	0.40%	Estanque 1	Estanque 2	509.9	2.73
PVC 10" (2)	5.706	13.14%	BT-7	PV-7	66.4	0.21
PVC 10" (3)	14.455	0.28%	Biorretención (5)	PV-10	44.8	0.99

Tabla 75. Resumen de datos y gastos conducidos de tuberías implementadas en proyecto con SUDS. Fuente: xpdrainage

5.7 Diseño detallado de SUDS

5.7.1 Diseño detallado de sistemas de biorretención

Las áreas de biorretención deben drenar pequeñas áreas con el fin de que se infiltren en el suelo en un lapso no mayor a 48 horas y mejorar la calidad del agua que entra, a la vez regulando en poca medida los volúmenes y caudales de escurrimiento. Están compuestos normalmente por una capa de materia orgánica de máximo 75 mm, una capa de plantación de máximo de entre 600 y 1200 mm, una capa de grava de mínimo 300mm, y en la superficie debe poder estancar un tirante de 150 mm máximo recomendado, pero por ser un predio altamente urbanizado en algunos casos se emplearon tirantes de 300 o 400mm. El área y profundidad total del sistema de biorretención estará en función del volumen de agua que se desea introducir para que reciba tratamiento, la permeabilidad de los materiales, la profundidad de las capas a utilizar (las cuales a su vez están en función de la disponibilidad económica del proyecto) y el tiempo requerido para que se filtre el agua completamente.

Fórmula para calcular el área superficial requerida

$$Af = \frac{Vt \times L}{k(h+L)t} \text{ (Fórmula 5.1)}$$

Fuente: Manual de SUDS (2013).

Af= Área superficial del estrato filtrante (m²)

Vt= Volumen de tratamiento de calidad del agua (m³)

L= Profundidad del estrato de filtración (m)

k= Coeficiente de permeabilidad de medio filtrante para el agua (m/s)

k= 0.000002 m/s – valor promedio para un limo arcilloso

h= altura promedio de agua arriba de estrato de filtrado (mitad de altura máxima, en m)

t= tiempo requerido para que el volumen de tratamiento de calidad del agua pase a través del estrato de filtrado (s).

La ubicación de estos sistemas debe ser por naturaleza lo más cerca posible del origen, es decir interceptar el escurrimiento lo más pronto posible, después de poco recorrido superficial de la lluvia, por lo tanto y para visualizar la ubicación de los sistemas de biorretención a continuación se muestra la siguiente Figura 61 esta información.



Figura 60. Ubicación de sistemas de biorretención.

Determinación del área y tiempo de drenado del sistema

En las subcuencas que se implementó un sistema de biorretención fueron la 2B, 3, 3B, 6A, 8C y 9A como se mostró en la figura anterior, a continuación se detalla el cálculo del área requerida y los tiempos de drenado en la Tabla 76 para cada sistema según la fórmula 5-1. El volumen de tratamiento (V_t) como se mencionó antes se puede calcular de diferentes maneras, se busca que el 80% del área impermeable de la subcuenca en cuestión reciba tratamiento para los primeros milímetros de lluvia, se recomienda entre 10 y 15 mm, para este caso se utilizaron 11 mm por ser la precipitación diaria promedio.

Nombre sistema	Subcuenca	Volumen de tratamiento	Profundidad de medio filtrante	Permeabilidad del medio	Tirante promedio de agua estancada	Tiempo de drenado	Resultado
		V_t	L	k	h	t	Área requerida
Biorretención 1	6A	$= (6032.42 \text{ m}^2) \times (0.8) \times (0.011 \text{ m}) = 53 \text{ m}^3$	0.75 m	$3.5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	0.15 m	129,600 s (36 horas)	98 m ²
Biorretención 2	2B	$= (7000.24 \text{ m}^2) \times (0.8) \times (0.011 \text{ m}) = 62 \text{ m}^3$	1.00 m	$3.5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	0.15 m	129,600 s (36 horas)	118 m ²
Biorretención 3	3B	$= (6,191.76 \text{ m}^2) \times (0.8) \times (0.011 \text{ m}) = 54 \text{ m}^3$	0.75 m	$3.5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	0.15 m	129,600 s (36 horas)	100 m ²

Biorretención 4	1A	$= (2213.22 \text{ m}^2) \times (0.8) \times (0.011 \text{ m}) = 19 \text{ m}^3$	1.00 m	$3.5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	0.15 m	129,600 s (36 horas)	37 m ²
Biorretención 5	9A	$= (3785.10 \text{ m}^2) \times (0.8) \times (0.011 \text{ m}) = 33 \text{ m}^3$	1.00 m	$3.5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	0.15 m	129,600 s (36 horas)	64 m ²
Biorretención 6	8C	$= (2330.63 \text{ m}^2) \times (0.8) \times (0.011 \text{ m}) = 21 \text{ m}^3$	0.75 m	$3.5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	0.15 m	129,600 s (36 horas)	38 m ²
Biorretención PP1	3	$= (2,587.57 \text{ m}^2) \times (0.8) \times (0.011 \text{ m}) = 23 \text{ m}^3$	1.00 m	$3.5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	0.15 m	129,600 s (36 horas)	44 m ²

Tabla 76. Determinación del área requerida por biorretención.

Entonces se tiene que las áreas requeridas van de entre los 90 y 180 m² cada una, se menciona en CIRIA (2015) que normalmente deben ser de entre el 2 y el 4% del área a drenar, en este caso todas las áreas son menores del 2% porque en la mayoría de los casos el agua pasa antes por otro sistema o después, como es el caso de las cunetas verdes o los estanques de infiltración-detención.

- El tiempo de drenado especificado para el medio filtrante de 36 horas está dentro de lo recomendado en los manuales de buenas prácticas, que es entre 24 y 48 horas, este tiempo de retención garantiza una mejor eliminación de los contaminantes presentes en la escorrentía al ser tratados mediante biodegradación y otros procesos dentro del medio filtrante.

A continuación se muestran los principales datos de entrada y para los sistemas de biorretención, esto incluye los gastos o caudales de ingreso, los caudales de derivación o que no logran entrar al sistema en el caso de una lluvia extrema, los caudales de salida por infiltración y por estructuras de salida o “outlets”, comportamiento del tirante, volumen infiltrado, etc.

A continuación se muestra la tabla 77y 78 con los detalles técnicos de ingreso al software.

Nombre sistema		Indicador de entrada	Biorretención 2	Biorretención 4	Biorretención 5	Biorretención PP1
Categoría	Dimensiones principales	Área	120 m ²	86 m ²	70 m ²	60 m ²
		Profundidad agua en superficie	0.15 m	0.15 m	0.15 m	0.15 m
Capas de filtrado						
Medio filtrante	Relación de vacíos		30 %	30 %	30 %	30 %
	Espesor		1000 mm	1000 mm	1000 mm	1000 mm
	Tasa de infiltración		0.0126 m/hr	0.0126 m/hr	0.0126 m/hr	0.0126 m/hr
Capa transición	Relación de vacíos		30 %	30 %	30 %	30 %
	Espesor		100 mm	100 mm	100 mm	100 mm
	Tasa de infiltración		0.1 m/hr	0.1 m/hr	0.1 m/hr	0.1 m/hr
Capa drenante (grava)	Relación de vacíos		35 %	35 %	35 %	35 %

	Espesor	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm
	Tasa de infiltración	2.0 m/hr	2.0 m/hr	2.0 m/hr	2.0 m/hr
Entradas y salidas de agua					
Estructura de entrada de escurrimientos (corte en machuelo) "Inlets"	Capacidad	35 L/s	35 L/s	35 L/s	35 L/s
Estructura de salida de (corte en machuelo) "Inlets"	Vertedor	1.60 m	1.60 m	1.60 m	1.80 m
Configuración avanzada					
Tasa de infiltración	Geomembrana perimetral	SI (0 m/hr)	SI (0 m/hr)	SI (0 m/hr)	SI (0.4 m/hr)
Retención horizontal		1 min	1 min	1 min	1 min
Retención vertical		1440 mins	1440 mins	1440 mins	1440 mins
Coefficiente de retención		0.20	0.20	0.20	0.20

Tabla 77. Datos de configuración en el software xpdrainage necesarios para biorretenciones 2, 4, 5 y PP1.

Nombre sistema / Categoría	Indicador de entrada	Biorretención 1 (Jardín de lluvia)	Biorretención 3 (Jardín de lluvia)	Biorretención 6 (Jardín de lluvia)
Dimensiones principales	Área final	120 m ²	100 m ²	50 m ²
	Profundidad agua en superficie	0.15 m	0.15 m	0.15 m
Capas de filtrado				
Medio filtrante	Relación de vacíos	30 %	30 %	30 %
	Espesor	750 mm	750 mm	750 mm
	Tasa de infiltración	0.0126 m/hr	0.0126 m/hr	0.0126 m/hr
Entradas y salidas de agua				
Estructura de entrada de escurrimientos (corte en machuelo) "Inlets"	Capacidad	60 L/s	58 L/s	40 L/s
Estructura de salida de (corte en machuelo) "Inlets"	Vertedor	0.50 m	0.50 m	0.50 m
Configuración avanzada				
Tasa de infiltración	Geomembrana perimetral	NO (0.4 m/hr)	NO (0.4 m/hr)	NO (0.4 m/hr)
Retención horizontal		1 min	1 min	1 min
Retención vertical		1440 mins	1440 mins	1440 mins
Coefficiente de retención		0.20	0.20	0.20

Tabla 78. Datos de configuración en el software xpdrainage necesarios para biorretenciones 1, 3 y 6.

Resultados hidráulicos del software

A continuación se muestran los datos de caudales de entrada y principales resultados hidráulicos del diseño final para los sistemas de biorretención, esto incluye los gastos o caudales de ingreso, los caudales de derivación (caudales que por capacidad de la estructura de entrada no entran y continúan por vialidad), los caudales de salida por infiltración y por estructuras de salida o "outlets", tirante máximo presentado y reducción de volumen escurrido. En el resultado de reducción de volumen escurrido el primer valor es lo que entra al sistema y permanece en este, por lo tanto su salida solo es por infiltración, ya sea hacia el suelo de alrededor o solo a través del medio filtrante y posteriormente a los tubos perforados de desfogeo al fondo del sistema en caso de que este protegido con una capa impermeable. El otro valor, por ejemplo en la Biorretención 1, dice 18 de 153, el valor de 153 es el valor que se genera en la subcuenca o área de aportación del sistema en cuestión.

Aquí se muestra un resumen de los principales resultados hidráulicos obtenidos en la Tabla 79:

Nombre del sistema	Caudal de llegada máximo	Caudal de ingreso máximo	Caudal derivado o máximo	Caudal por estructura de salida máximo	Profundidad máxima presentada	Reducción de volumen escurrido	Eficiencia en la reducción de volumen de escurrimiento
	l/s				m	m ³	
Biorretención 1 (Jardín de lluvia)	171.4	60	111.4	Vertedor = 27.1	0.94 (de 0.95)	18 de 153	(11.76%)
Biorretención 2	164.7	35	129.7	Vertedor = 19	1.57 (de 1.60)	18 de 136	(13.2%)
Biorretención 3 (Jardín de lluvia)	187.4	58	129.4	Vertedor = 51.4	1.04 (de 1.05)	16.5 de 167	(9.88%)
Biorretención 4	224.6	117.1	110.7	Vertedor = 109.8	1.67 (de 1.75)	12.9 de 34	(37.94 %)
Biorretención 5	120.9	45	75.9	Vertedor = 44.8	1.58 (de 1.60)	10.5 de 108.2	(9.70%)
Biorretención 6 (Jardín de lluvia)	99	40	59	Vertedor = 39.8	1.02 (de 1.05)	7.5 de 89.1	(8.41 %)
Biorretención PP1	115	35	80	Vertedor = 28.5	1.61 (de 1.75)	9 de 73	(12.3 %)

Tabla 79. Resumen de resultados hidráulicos arrojados por el software xpdrainage para todos los sistemas de biorretención.

Diseño geométrico de los sistemas de biorretención

A continuación se muestra un esquema en la Figura 62 de los elementos que conforman las biorretenciones que se implementaron en el diseño, es necesario diferenciar entre una biorretención y un jardín de lluvia, que son similares pero se distinguen en que el jardín de lluvia son más sencillos en su composición, normalmente se sugiere que se utilicen para que se drene hacia ellos de una sola propiedad, además se construyen con una sola capa de menor espesor Figura 63. Más adelante se mostrará el esquema de estos, ya que la biorretención 1, 3 y 6 son considerados jardines de lluvia porque solo tienen una capa de filtrado de 750 mm y se permitió que estos infiltrarán al suelo de alrededor, en cambio los sistemas de biorretención normales tienen 1000 mm de capa de filtrado más 100mm de capa de transición y 200 mm de capa de drenado mediante grava o gravilla.

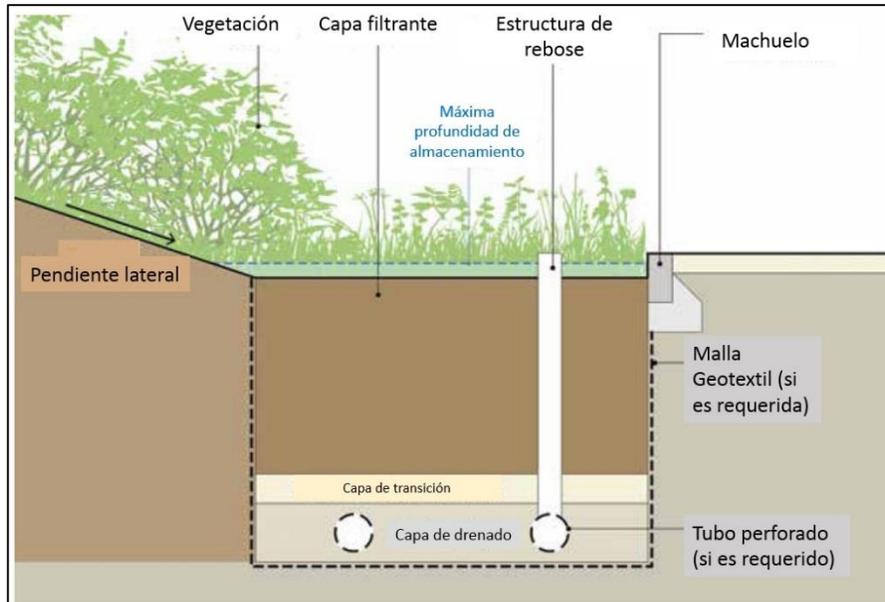


Figura 61. Detalle de elementos de una biorretención típica. Fuente: adaptación de CIRIA (2015).

Este es el arreglo que se aplicó para las biorretenciones 2, 4, 5 y PP1. El hecho de que tenga una malla geotextil y un tubo perforado es porque se recomienda en el manual de CIRIA (2015) que si el suelo circundante tiene mayor valor de permeabilidad que el medio filtrante se debe proteger con una malla impermeable para conservar el agua durante más tiempo y así garantizar la retención hidráulica necesaria para el tratamiento. La capa de transición puede ser de material granular o ser una malla que permita el paso del agua pero no de partículas finas, normalmente se sugiere que sea de un espesor de 100 mm. El hecho de elegir que tenga tubos perforados en el fondo está en función de que el sistema se encuentre cerca de alguna línea de drenaje pluvial, si no es así se optó en este caso que fuesen jardines de lluvia, aunque también se puede evaluar la posibilidad de conectarlos a la red de aguas negras si es necesario y tiene la capacidad, ya que esta se encuentra en todas las vialidades.

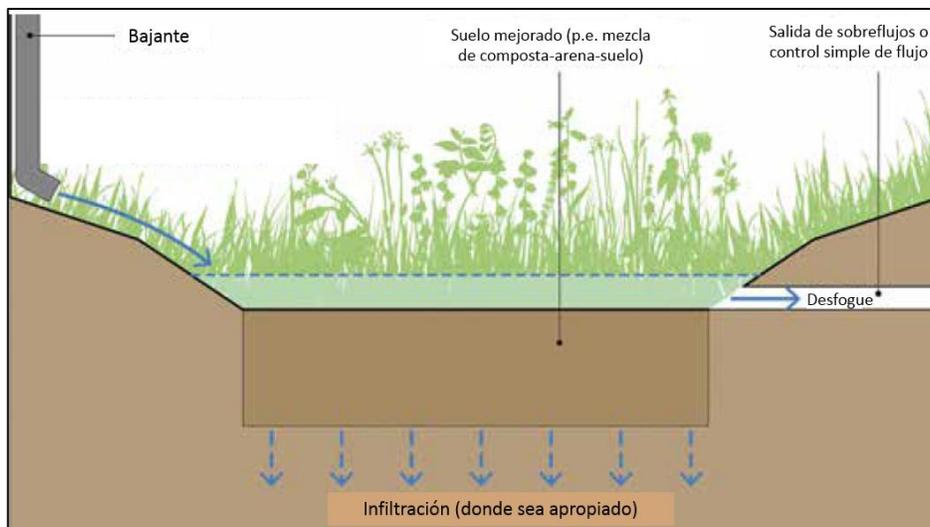


Figura 62. Esquema de componentes de un jardín de lluvia. Fuente: adaptación de CIRIA (2015).

Gráficas resultantes del comportamiento hidráulico

En este apartado se vaciarán los resultados obtenidos directamente del software de diseño, lo que incluye principalmente los hidrogramas para cada sistema y las curvas tiempo-tirante, en conjunto con su respaldo expresado tabularmente el cual se incluye en los anexos de este documento. Por simplificar en este apartado se incluirán solamente los hidrogramas de entrada y salida de cada sistema, las curvas tiempo-tirante y de volumen-tiempo se incluirán también en los Anexos, excepto que a manera de ejemplo se mostrarán todas las gráficas para la biorretención 2.

Resultados de biorretención 2

Como se puede observar en la siguiente Gráfica 16 el caudal de entrada (Total Inflow), en el eje de las ordenadas se fijó en 35 lps por segundo, es decir, la estructura de entrada que se va a utilizar tendrá una capacidad máxima de 35L/s, lo que es un valor viable para cualquier sistema de captación, en este caso como se comentó antes la entrada a estos sistemas se desarrolla mediante una abertura en el machuelo (que funciona como un vertedor lateral o una boca de tormenta tipo banqueteta), que apoyada por la pendiente transversal de la vialidad y su diseño de radio de curva facilita la entrada de los escurrimientos.

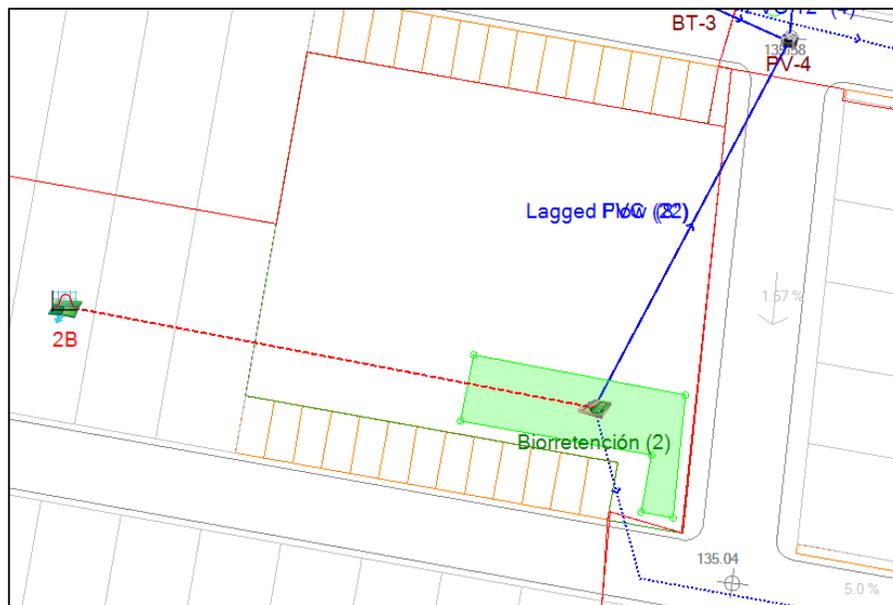
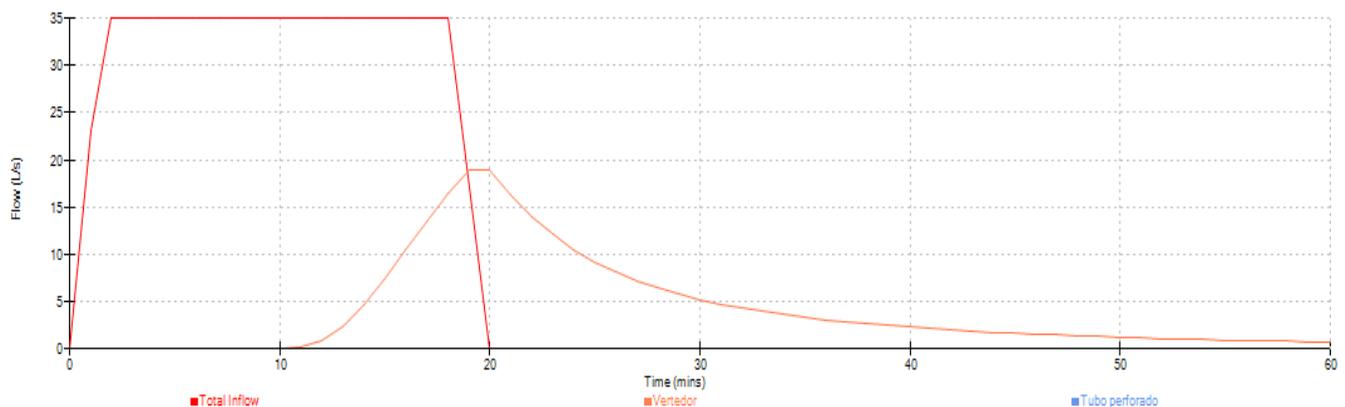
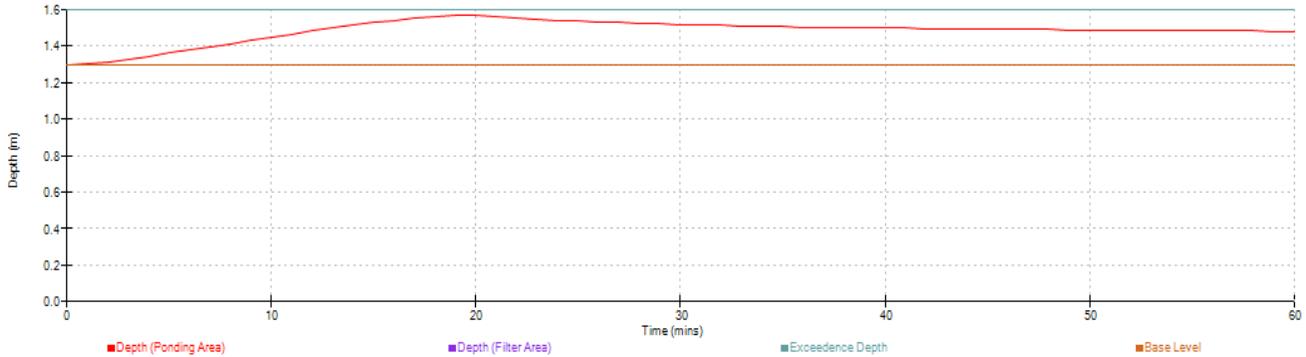


Figura 63. Vista en planta de biorretención 2 y su conexión de salida.



Gráfica 16. Hidrograma de entrada y salida de biorretención 2.

El caudal de salida empieza a presentarse alrededor de los 10 min, cuando el tirante alcanza los 15 cm de altura, que es la altura a la cual se ubicó el vertedor de salida. Este consta de 4 bordes, de 40 cm cada uno, lo cual genera un vertedor de 1.60 m. El caudal de salida máximo es de 18.5 l/s. A continuación se muestra la gráfica 17 con el comportamiento del tirante en el interior del sistema.



Gráfica 17. Gráfica del comportamiento del tirante dentro de Biorretención 2.

La línea café muestra el inicio de la parte superficial del sistema que está a 1.30 m y la línea azul muestra el nivel de excedencia, 30 cm sobre el nivel de base, la línea roja representa el comportamiento del tirante dentro del sistema durante los 15 min de lluvia y los 45 siguientes, siendo un análisis de la primera hora. El tirante de 15 cm que permanece debajo de la salida es el volumen de tratamiento que se infiltrará a través de la capa de filtrado y saldrá por el tubo ubicado en la base del sistema. A partir de esta gráfica se concluye que el sistema no se inundó, por lo tanto las estructuras de entrada y salida están correctamente diseñadas con una capacidad adecuada.

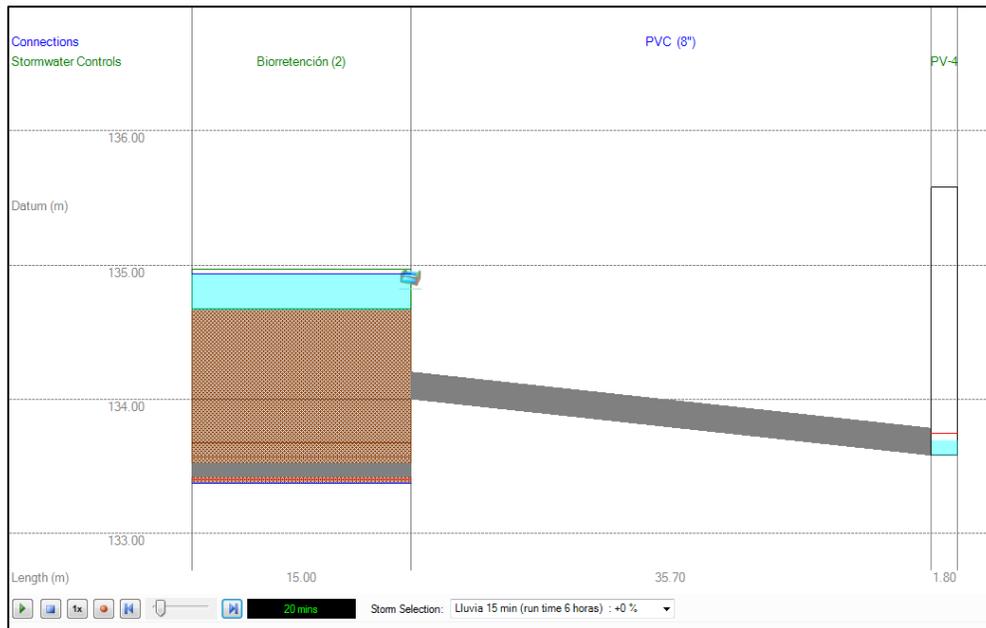
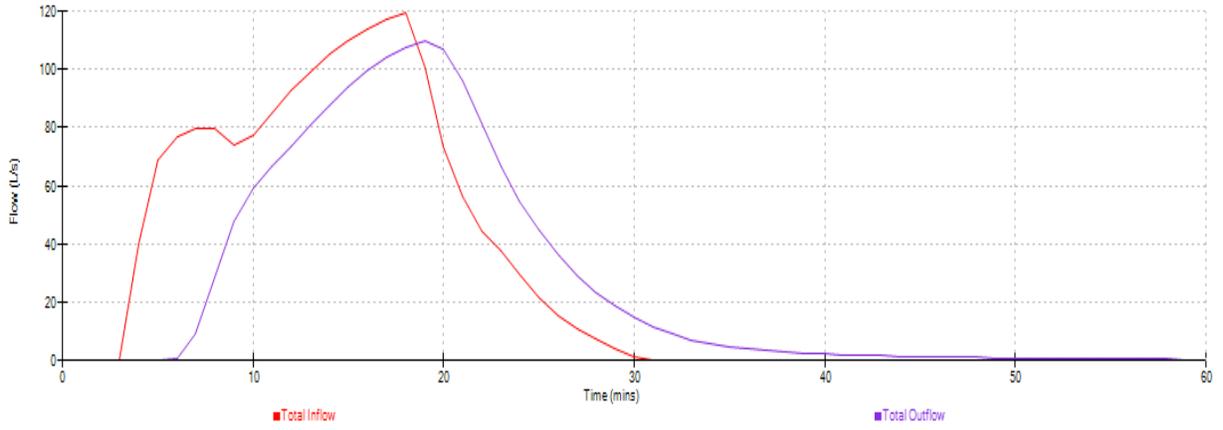
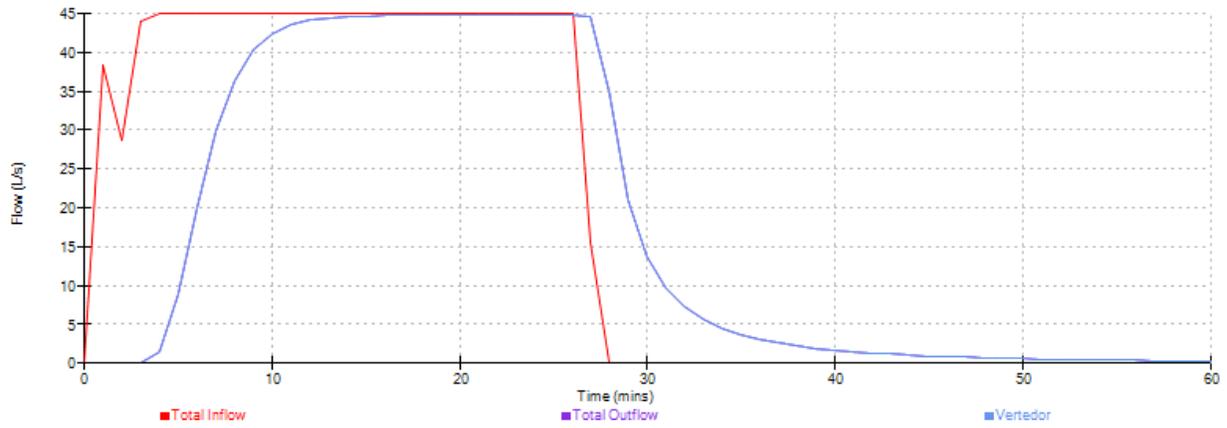


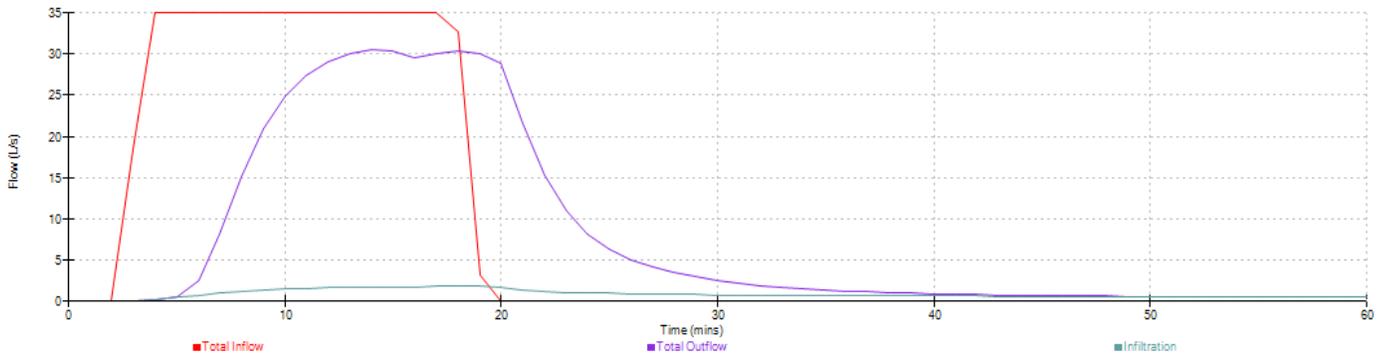
Figura 64. Perfil de llenado y conexión de salida de biorretención 2. Fuente: xpdrainage.



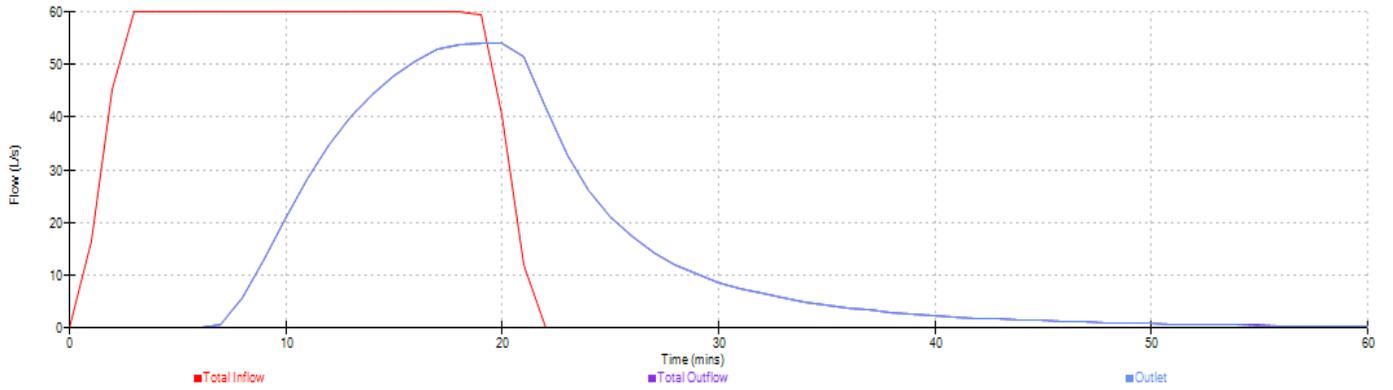
Gráfica 18. Hidrograma de entrada y salida de biorretención 4



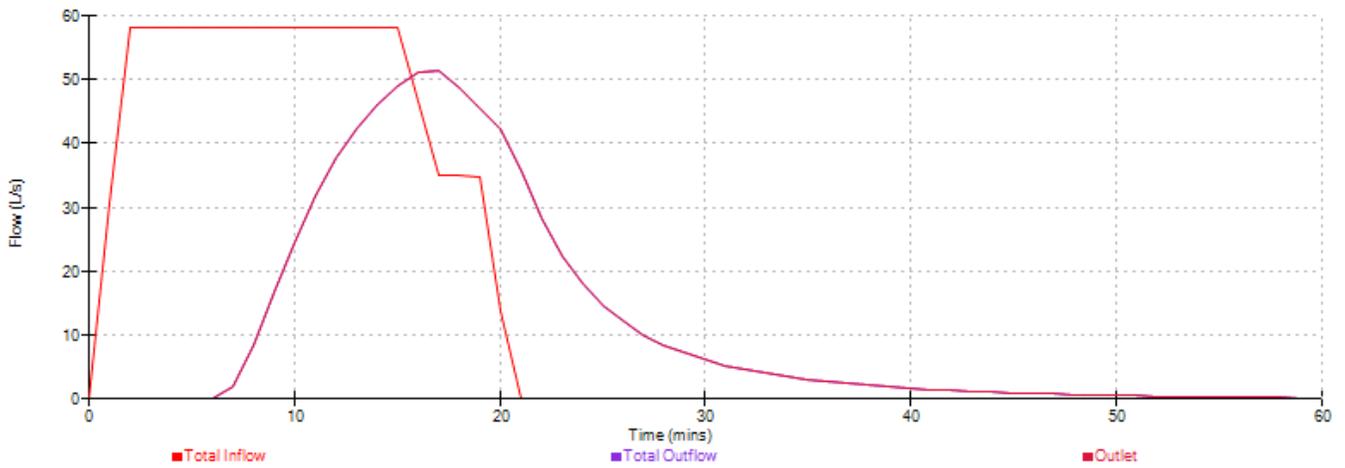
Gráfica 19. Hidrograma de entrada y salida de biorretención 5.



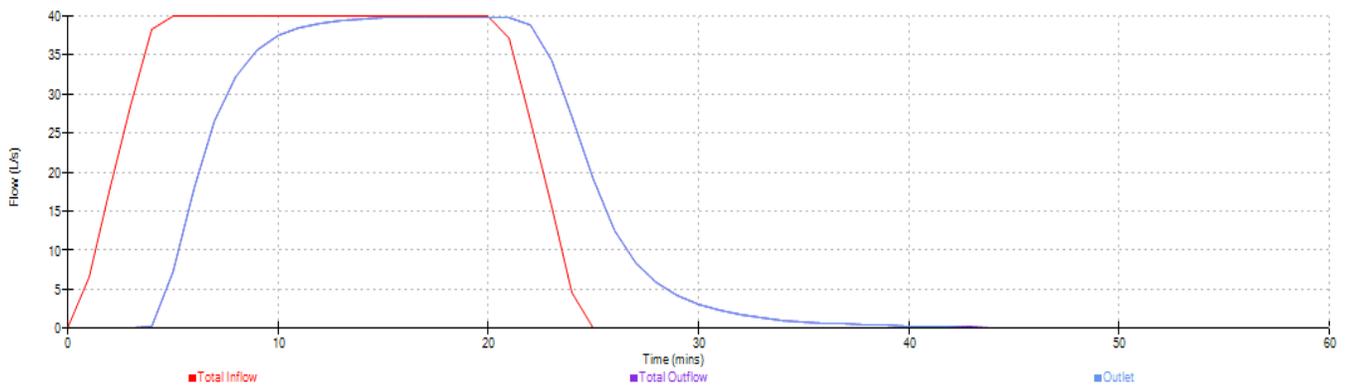
Gráfica 20. Hidrograma de entrada y salida de biorretención PP1.



Gráfica 21. Hidrograma de entrada y salida de biorretención 1 (Jardín de lluvias).



Gráfica 22. Hidrograma de entrada y salida de biorretención 3 (Jardín de lluvias).



Gráfica 23. Hidrograma de entrada y salida de biorretención 6 (Jardín de lluvias).

Eficiencia en la remoción de contaminantes

Como se mencionó anteriormente el objetivo de este estudio principalmente es investigar el comportamiento hidrológico e hidráulico de los sistemas, comprobar que pueden lograr los objetivos locales, principalmente el Impacto Hidrológico Cero y realizar una comparativa paramétrica de costos de construcción entre la alternativa convencional y con SUDS.

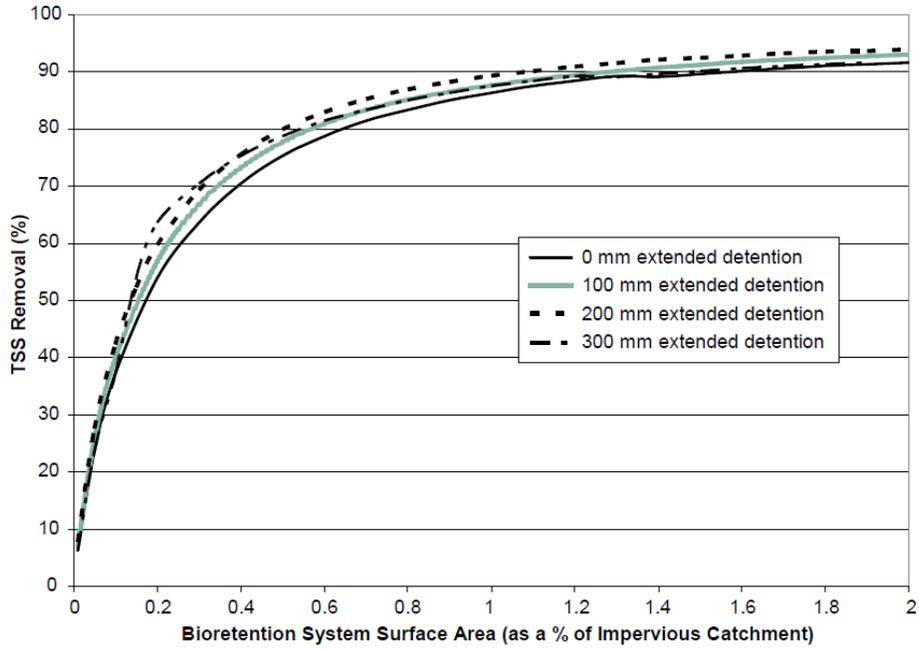
Por lo tanto, el enfoque a los procesos de mejoramiento de la calidad del agua llevados a cabo dentro de cada sistema no es uno de los objetivos dentro de esta investigación, sin embargo se identificarán algunas características generales que pueden ser de guía para estudios posteriores.

Como podemos observar en la Tabla 80, la efectividad de remoción de contaminantes en los sistemas de biorretención es alto casi para todos los tipos, se observa que en basura residuos no pone datos ya que no aplica para estos sistemas esa función que corresponde más bien a un sistema de pretratamiento primario.

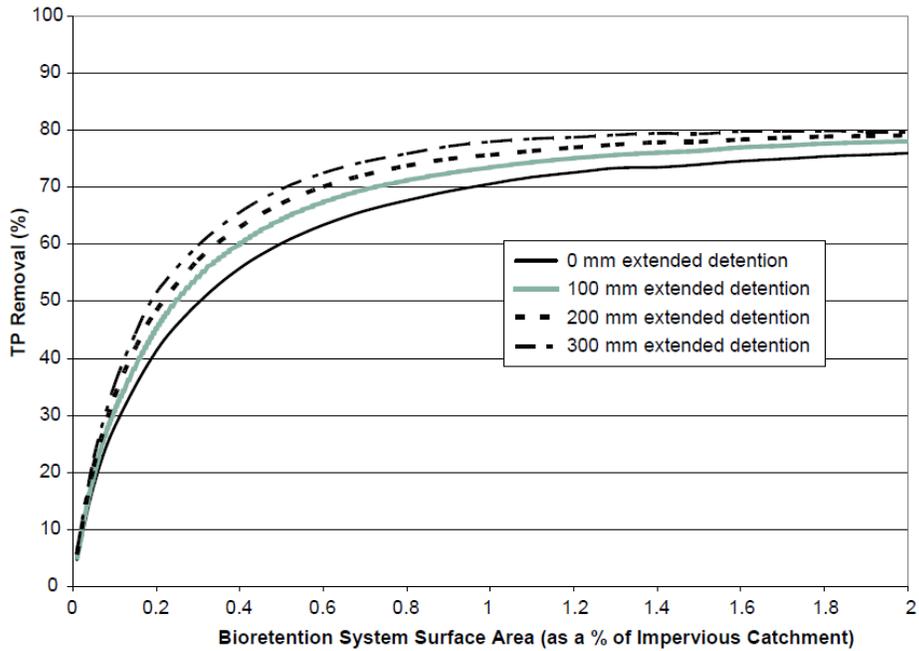
En las Gráficas 24 y 25 que se obtuvieron del Manual para el Manejo de Aguas Pluviales para Australia (Department of Water, 2007) se observan las gráficas que representan el desempeño en remoción de contaminantes en función de la relación entre el área de biorretención y el área impermeable que drena hacia esta (considerando que el área impermeable es del 100% y se recibe el agua directamente sin ningún pretratamiento), se obtuvieron esas gráficas gracias a un software llamado Modelo para la Conceptualización de Mejoras de Aguas Pluviales Urbanas (MUSIC, por sus siglas en ingles), como base para los cálculos se tomó en cuenta, además de lo mencionado, que el espesor de la capa de filtrado es de 600mm, el tamaño de las partículas es del tipo d50 de 0.45 mm y la conductividad hidráulica de suelo saturado es de 180 mm/hr lo que corresponde a un suelo limo-arenoso, se especifica y clarifica que el programa no está bien calibrado para las condiciones hidrogeológicas locales, ya que está hecho para estados en el lado oeste de Australia y dice que para los del lado este puede variar ya que el tipo de suelo y los niveles freáticos son distintos. Por ejemplo, En los suelos arenosos donde la tasa de infiltración es mayor el porcentaje de eliminación de contaminantes es mayor.

Contaminante	Efectividad	% de eliminación
Basura/residuos	-	-
Sedimentos gruesos	Alta	90%
Solidos Suspendidos Totales	Alta	80%
Nitrógeno Total	Media	50%
Fosforo Total	Media	60%
Metales Pesados	Alta	80%

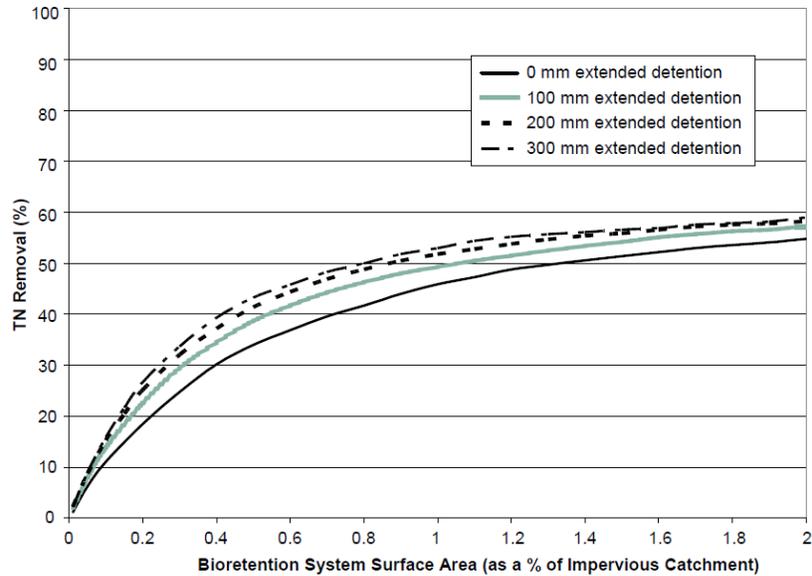
Tabla 80. Efectividad de sistemas de biorretención. Fuente: Department of Water, 2007.



Gráfica 24. Desempeño en la eliminación de Sólidos Suspendedos Totales (SST) en un sistema de Biorretención. Fuente: Department of Water, 2007



Gráfica 25. Desempeño en la eliminación de Fosforo (P) en un sistema de Biorretención. Fuente: Department of Water, 2007



Gráfica 26. Desempeño en la eliminación de Nitrógeno (N) en un sistema de Biorretención. Fuente: Stormwater Management Manual for Australia.

5.7.2 Diseño detallado de cunetas verdes

Las cunetas verdes juegan la función principal de ser un sistema de conducción superficial, pero puede ser combinado para ser un sistema además de infiltración, retención y/o detención, estos dos últimos en menor medida. Esto viene en función de sus dimensiones y volumen, su estructura de salida (vertedor, libre, etc.) y si se le construye una zanja en la parte inferior con algún medio filtrante como grava y/o arena. Todos estos aspectos determinan su funcionamiento y capacidad así como los beneficios que pueda proveer basándose en los objetivos predefinidos. Su efectividad en el tratamiento de la calidad del agua de escurrimientos también es significativa y por lo tanto son bastante buenos para crear un tren de tratamiento.

En el caso de este proyecto se optó por implementar las 4 cunetas con zanja inferior con el fin de elevar la infiltración y capacidad de retención de volumen pluvial dentro de ellos. La configuración para todas es en forma trapezoidal en su sección transversal, las medidas varían entre los 2 y 3 metros en la base mayor (parte superior), y 0.50 y 1 un metro en la menor (parte baja). En cuanto a la zanja inferior esta es de 0.60 cms de profundidad a partir de la base de la cuneta y su ancho corresponde con la base menor de la cuneta.

A continuación se muestra la Figura 66 con la ubicación:



Figura 65. Ubicación de cunetas verdes.

En la primera zona del proyecto, parte sur, se ubican 3 de las 4 cunetas, la numero cuneta verde 1 (CV-1) vierte sus excedencias hacia el Estanque de Regulación 1. La cuneta verde 2 (CV-2) vierte excedencias hacia la biorretención PP1 y la cuenta verde 3 recibe las excedencias de la biorretención 3 y a la vez vierte excedencias hacia la biorretención 4, de esta manera reteniendo y tratando el agua pluvial durante un mayor tiempo.

La cuneta verde 4 que corresponde a la zona 3 del proyecto, la cual tiene su punto de salida por la vialidad en la parte más al noreste del fraccionamiento conecta sus excedencias mediante una tubería hacia una zanja de infiltración.

A continuación se muestra un esquema de los componentes de una cuneta verde en la Figura 67 para posteriormente detallar los datos del diseño final que se implementaron en la Tabla 81.

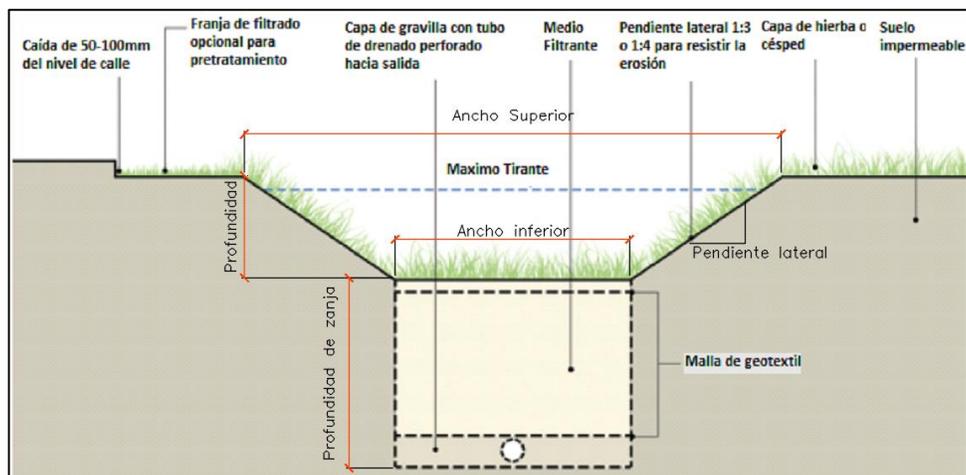


Figura 66. Detalle de elementos de una biorretención típica. Fuente: adaptación de CIRIA (2015).

Nombre sistema Categoría	Indicador de entrada	Cuneta verde 1	Cuneta verde 2	Cuneta verde 3	Cuneta verde 4	
Dimensiones principales	Longitud	102 m	97.53 m	92.30 m	74.01 m	
	Profundidad	0.85 m	0.85 m	0.85 m	0.60 m	
Cuneta	Ancho superior	3 m	2.50 m	2 m	2.55 m	
	Ancho inferior	1 m	1 m	1 m	1 m	
	Pendiente lateral (1x)	1.18	0.88	0.59	1.29	
	Pendiente longitudinal	1.5 %	3.0%	2.7 %	1.35 %	
	Tasa de infiltración hacia zanja	2.0 m/hr	2.0 m/hr	2.0 m/hr	2.0 m/hr	
Zanja	Profundidad	0.60 m	0.60 m	0.60 m	0.60 m	
	Porcentaje de vacíos	40%	40%	40%	40%	
	Entradas y salidas de agua					
Estructura de entrada de escurrimientos (corte en machuelo) "Inlets"	Capacidad	40 L/s	50 L/s	50 L/s	100 L/s	
	Estructura de salida de (corte en machuelo) "Inlets"	Vertedor (Ancho)	1.60 m	1.60 m	0.40 m	1.60 m
		Coeficiente de descarga	0.60	0.59	0.60	0.59
		Altura de vertedor sobre fondo de cuneta	0.75 m	0.30 m	0.40 m	0.30 m
Configuración avanzada						
Zanja (grava)	Tasa de infiltración	0.7 m/hr	0.7 m/hr	0.7 m/hr	0.6 m/hr	
	Retención horizontal	5 min	7 min	6 min	5 min	
	Retención vertical	0.4 min	0.4 min	0.4 min	0.4 min	
	Coeficiente de retención	0.40	0.40	0.40	0.40	
Cuneta (parte superficial)	Tasa de infiltración	0.7 m/hr	0.7 m/hr	0.7 m/hr	0.6 m/hr	
	Retención horizontal	1 min	1 min	1 min	1 min	
	Coeficiente de retención	0.40	0.40	0.40	0.40	

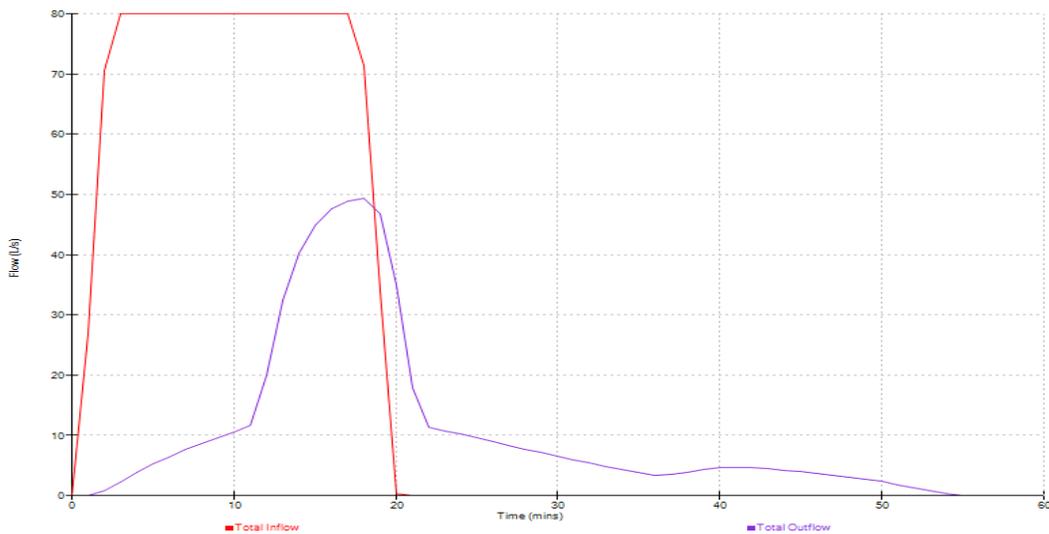
Tabla 81. Datos de configuración en el software xpdrainage necesarios para cunetas verdes.

Nombre del sistema	Caudal de llegada máximo	Caudal de ingreso máximo	Caudal derivado máximo	Caudal por estructura de salida máximo	Gasto por infiltración máximo	Profundidad máxima presentada	Volumen de llegada	Volumen ingresado	Reducción de volumen escurrido
	l/s				m	m ³			
Cuneta verde 1	229.5	80	100.3	Vertedor = 36.2	13.1	1.40 (de 1.45)	199.71	84.201	66.23 (33.16%)
Cuneta verde 2	165	50	115	Vertedor = 38.2	1.8	1.01 (de 1.45)	148.56	51.25	15.07 (10.1%)
Cuneta verde 3	253.8	111.6	145.7	Vertedor = 85.2	4.9	1.32 (de 1.45)	219.12	104.63	32.17 (14.7%)
Cuneta verde 4	269.2	140	156.2	Vertedor = 70.4	13.9	1.19 (de 1.20)	242.60	166.58	89.44 (36.87%)

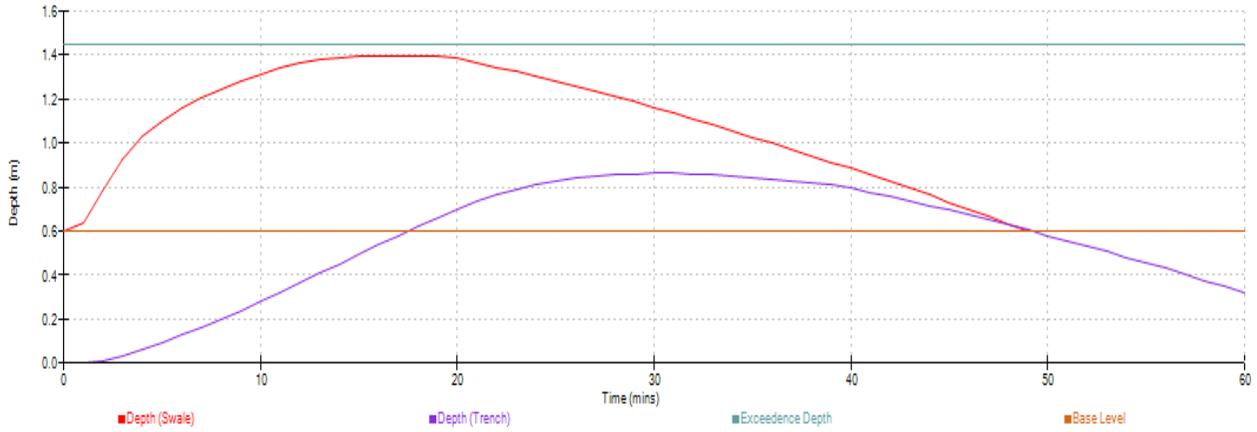
Tabla 82. Resumen de resultados hidráulicos en el software xpdrainage necesarios para cunetas verdes.

En la Tabla 82 se observan las reducciones de volumen de escurrimientos por la implementación de las cunetas verdes y luego se muestran las gráficas de los hidrogramas de entrada y salida para cada una de las 4 cunetas (Gráficas 30 a 32), las gráficas de curva tiempo-tirante y tiempo-volumen se incluyen en los anexos del documento. A manera de ejemplo se incluyen las tres Gráficas de la cuneta verde 1 (Gráficas 27 a 29), así como su vista en planta (Figura 68) y perfil al momento de llenado (Figura 69).

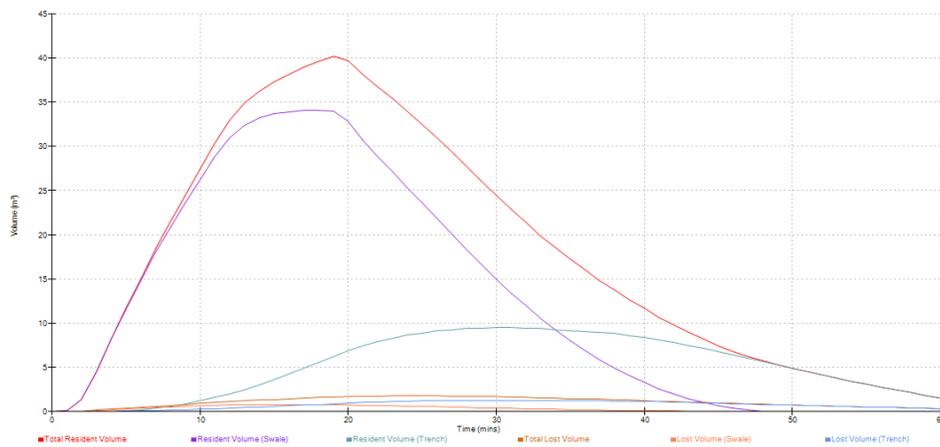
Gráficas de resultados hidráulicos de cuneta verde 1



Gráfica 27. Hidrograma de entrada y salida de cuneta verde 1 (línea roja= caudal entrada, Línea azul= caudal salida).
Fuente: xpdrainage.



Gráfica 28. Curva tiempo-tirante de cuneta verde 1 (línea roja= tirante superficial, Línea azul= tirante en zanja). Fuente: xpdrainage.



Gráfica 29. Curva tiempo-volumen de cuneta verde 1 (línea roja= Volumen total ingresado, Línea azul= volumen en superficie, línea azul claro= volumen en zanja, línea café= volumen infiltrado). Fuente: xpdrainage.

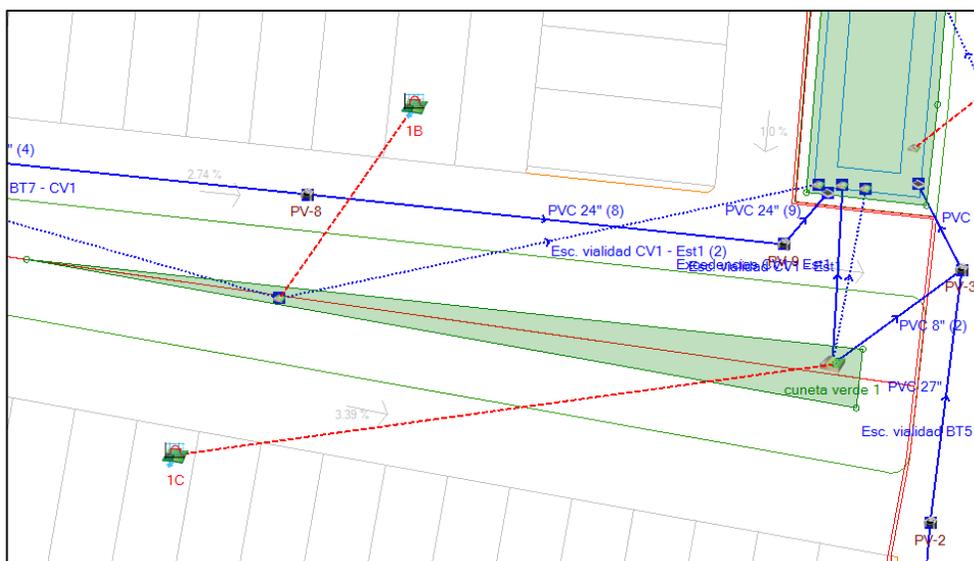


Figura 67. Vista en planta de cuneta verde 1 y sus conexiones. Fuente: xpdrainage.

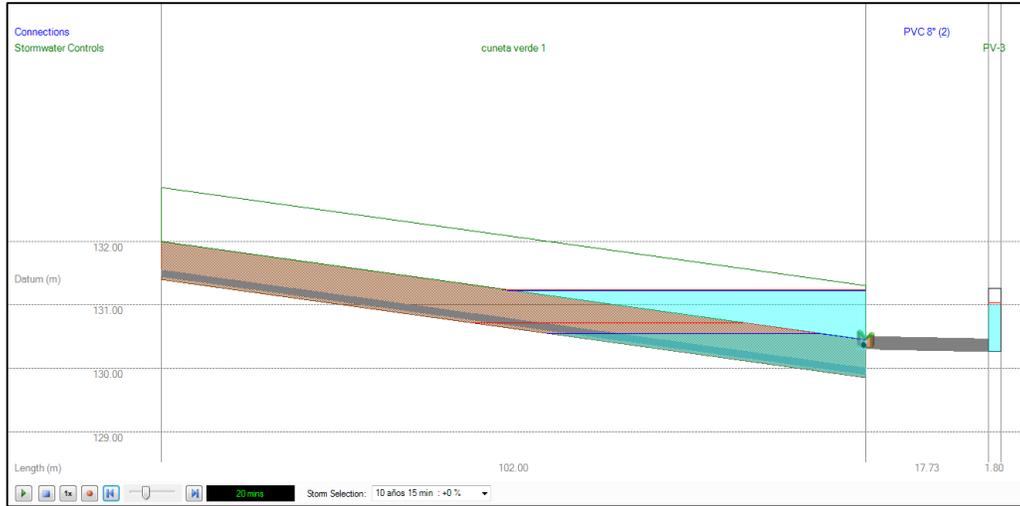
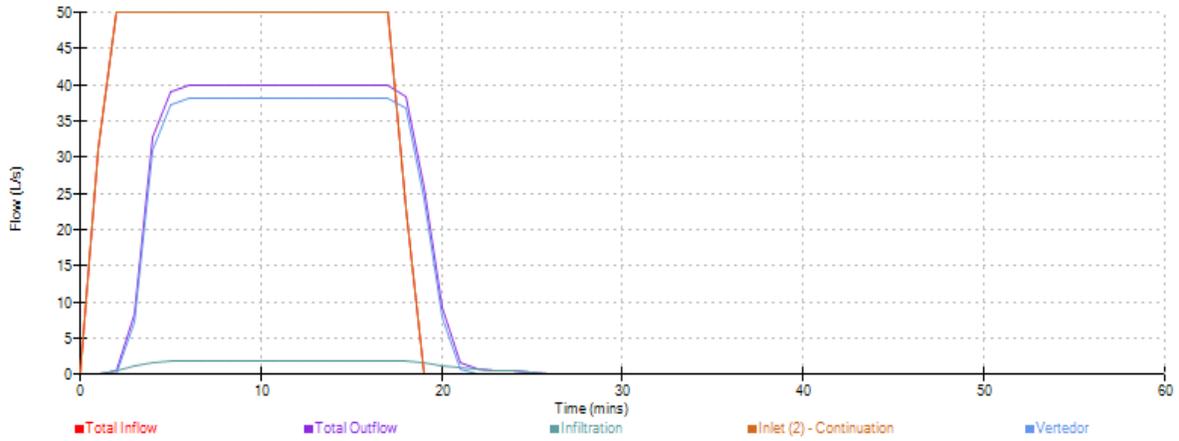
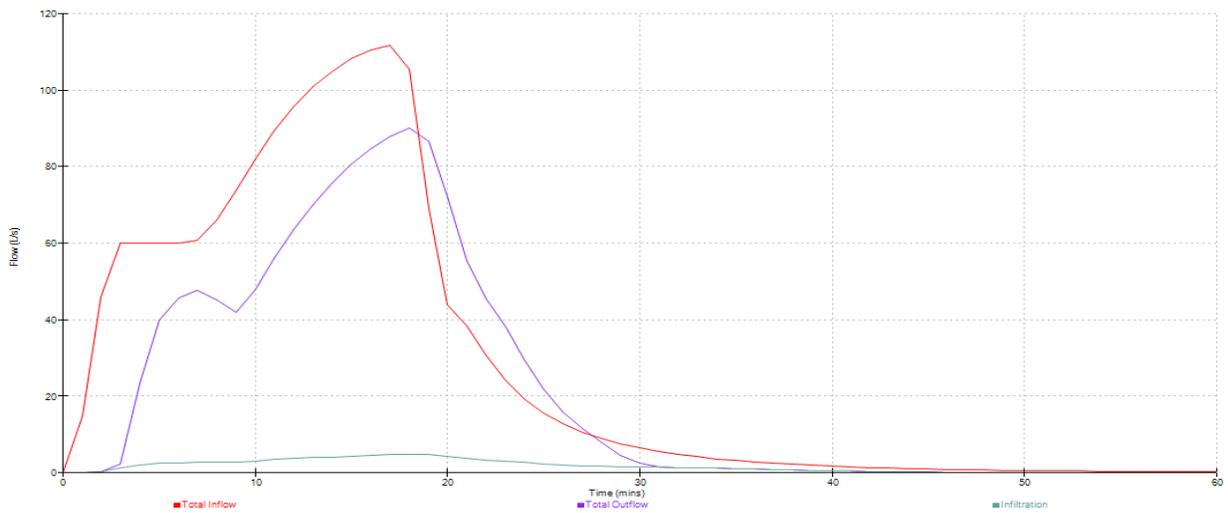


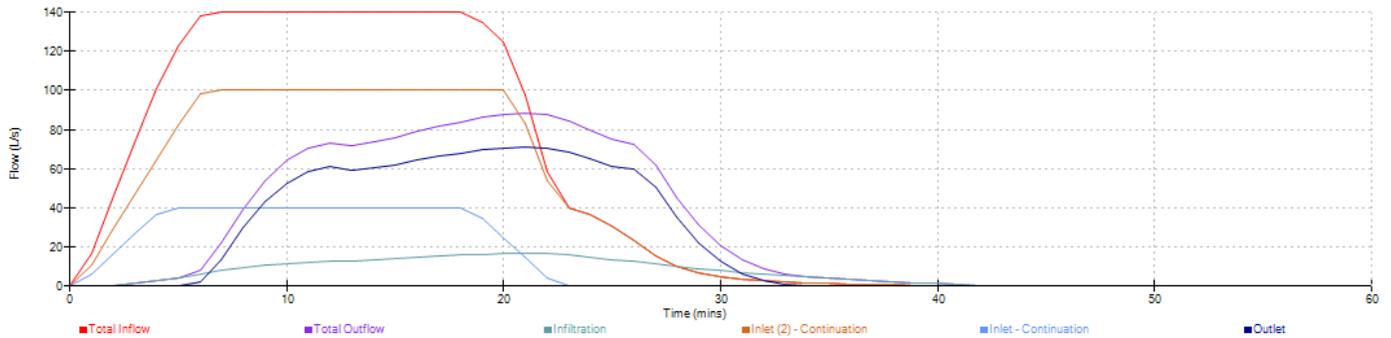
Figura 68. Perfil del momento de llenado máximo de cuneta verde 1. Fuente: xpdrainage.



Gráfica 30. Hidrograma de entrada y salida de cuneta verde 2. Fuente: xpdrainage.



Gráfica 31. Hidrograma de entrada y salida de cuneta verde 3 (línea roja= caudal entrada, Línea azul= caudal salida total, línea azul claro= caudal salida por infiltración). Fuente: xpdrainage.



Gráfica 32. Hidrograma de entrada y salida de cuneta verde 4 (línea roja= caudal entrada, Línea azul= caudal salida total, línea azul claro= caudal salida por infiltración). Fuente: xpdrainage.

5.7.3 Diseño detallado de zanja de infiltración

Se implementó un solo sistema de zanja de infiltración y se ubicó en el camellón en el Punto de salida 2 del proyecto, este recibe el caudal de la vialidad y de las excedencias del vertedor de la cuneta verde 4. Se hace el supuesto que el bombeo de ambas vialidades va hacia el camellón para facilitar el vertido de los escurrimientos al interior del sistema, es por eso que ambos hidrogramas de las subcuencas 11A y 11B, que se encuentran a ambos costados del camellón, se conectaron a este sistema por lo tanto el gasto de entrada que se permite es alto de 80 l/s, más lo que entra por el tubo de 8" de la cuneta 4. Además también se conectan los escurrimientos por vialidad que no pudieron ser captados por la cuneta verde 4, como se puede apreciar en la siguiente vista en planta de la Figura 70 extraída del software.

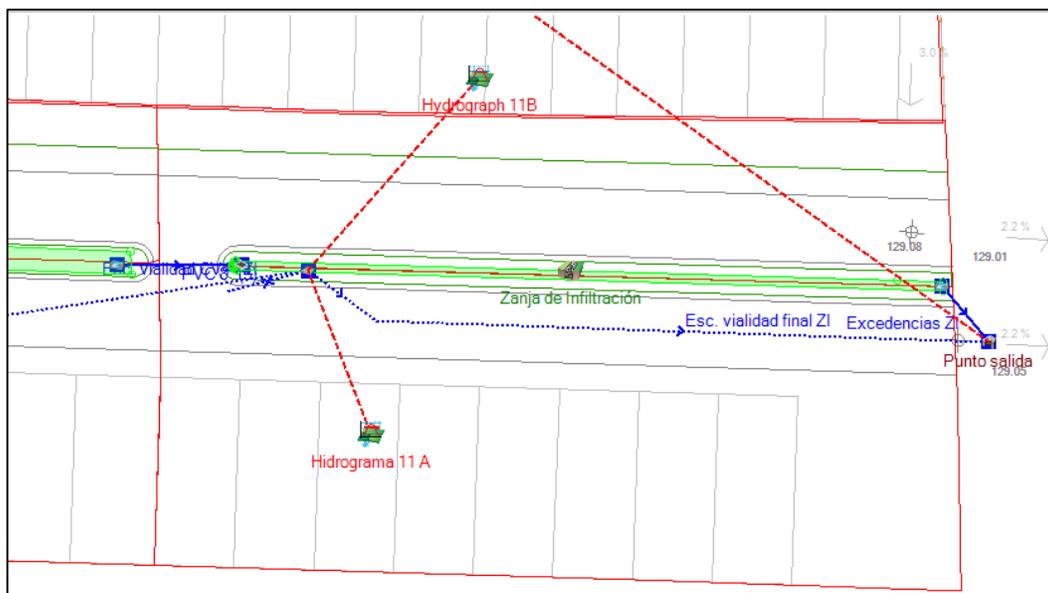


Figura 69. Vista en planta de zanja de infiltración y sus respectivas conexiones de entrada y salida. Fuente: xpdrainage

A continuación se muestran los datos de configuración dentro del software en la Tabla 83 y los resultados en la Tabla 84:

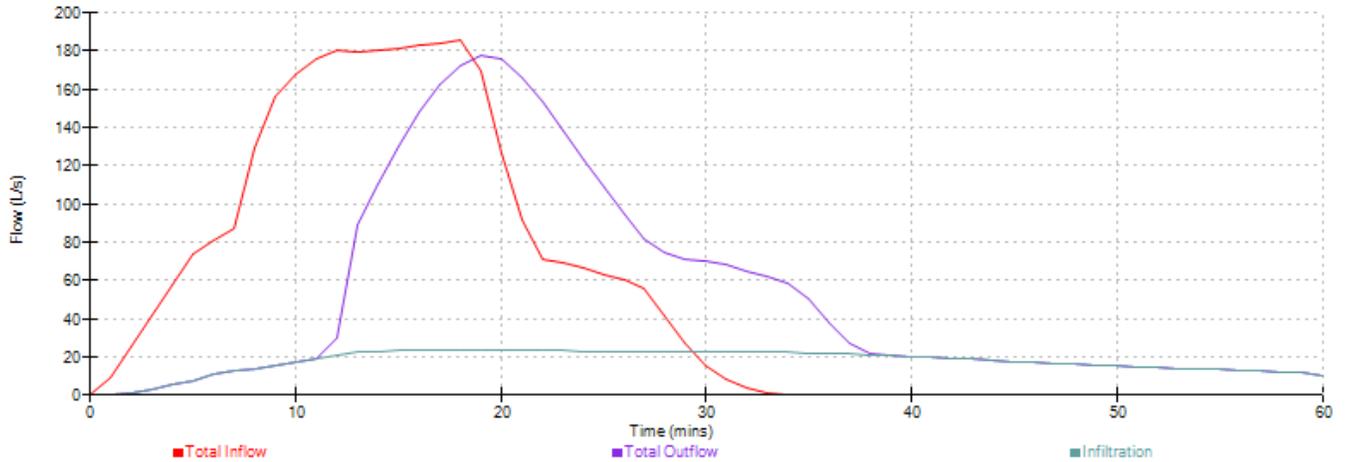
Nombre sistema Categoría	Indicador de entrada	Zanja de infiltración
Dimensiones principales	Longitud	50 m
	Profundidad	1.10 m
	Ancho superior	1.50 m
	Pendiente longitudinal	0.004
	Porcentaje de vacíos	40%
	Volumen total	30 m ³
Estructura de entrada de escurrimientos (tubo 8" de CV-4)	Máximo caudal aportante	70.3 L/s
Estructura de entrada de escurrimientos (corte en machuelo)	Capacidad	80 L/s
Estructura de salida de (corte en machuelo) "Inlets"	Vertedor (Ancho)	1.60 m
	Coefficiente de descarga	0.60
	Altura de vertedor sobre fondo de cuneta	0.86 m
Configuración avanzada		
Zanja (grava)	Tasa de infiltración (Base y lados)	0.5 m/hr
	Retención horizontal	7 min
	Coefficiente de retención	0.40

Tabla 83. Datos de configuración en el software xpdrainage necesarios para la zanja de infiltración.

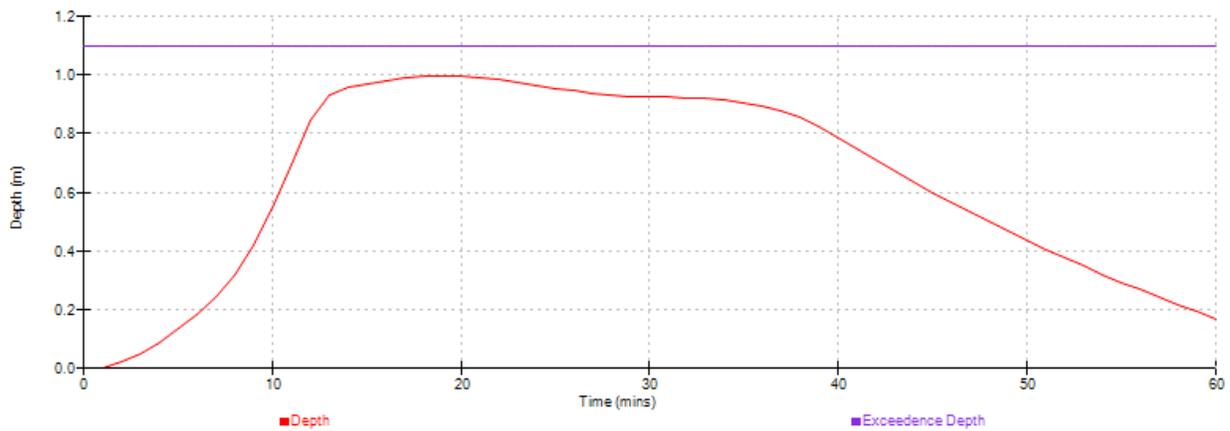
Nombre del sistema	Caudal de llegada máximo	Caudal de ingreso máximo	Caudal derivado máximo	Caudal por estructura de salida máximo	Gasto por infiltración máximo	Profundidad máxima presentada	Volumen de llegada	Volumen ingresado	Reducción de volumen escurrido
	l/s					m	m ³		
Zanja de infiltración	266.2	185.8	84.7	154.2	23.66	1.0 de 1.10	255.61	188.93	66.18

Tabla 84. Resumen de resultados hidráulicos para zanja de infiltración.

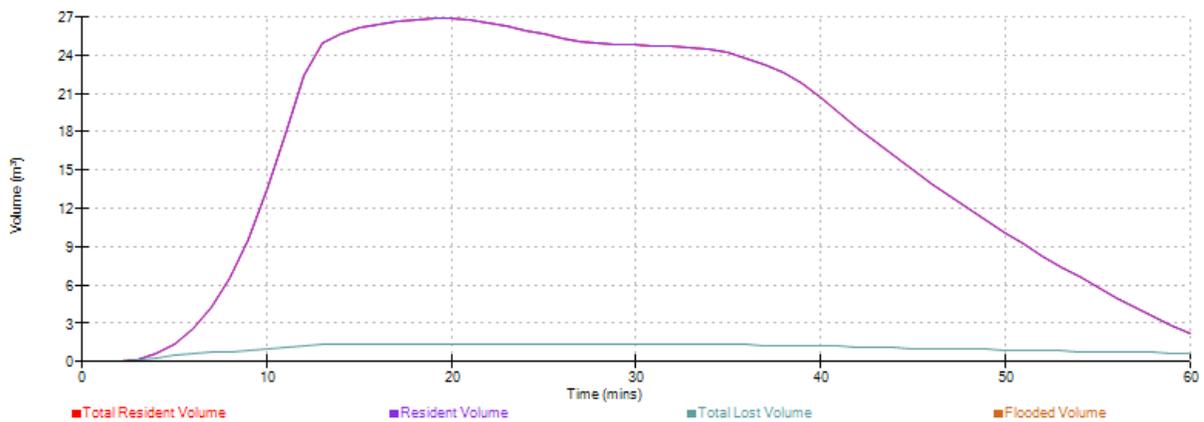
A continuación se muestran los hidrogramas y Gráficas de curva tiempo-tirante y tiempo-volumen (Gráficas 33 a 35). Después se puede apreciar el perfil del momento de llenado de la zanja en la Figura 71.



Gráfica 33. Hidrograma de entrada y salida de zanja de infiltración (línea roja= caudal entrada, Línea azul= caudal salida total, línea azul claro= caudal salida por infiltración). Fuente: xpdrainage.



Gráfica 34. Curva tiempo-tirante de zanja de infiltración (línea roja= tirante superficial, Línea azul= tirante en zanja). Fuente: xpdrainage.



Gráfica 35. Curva tiempo-volumen de zanja de infiltración (línea azul= Volumen ingresado, línea azul claro= volumen infiltrado). Fuente: xpdrainage.

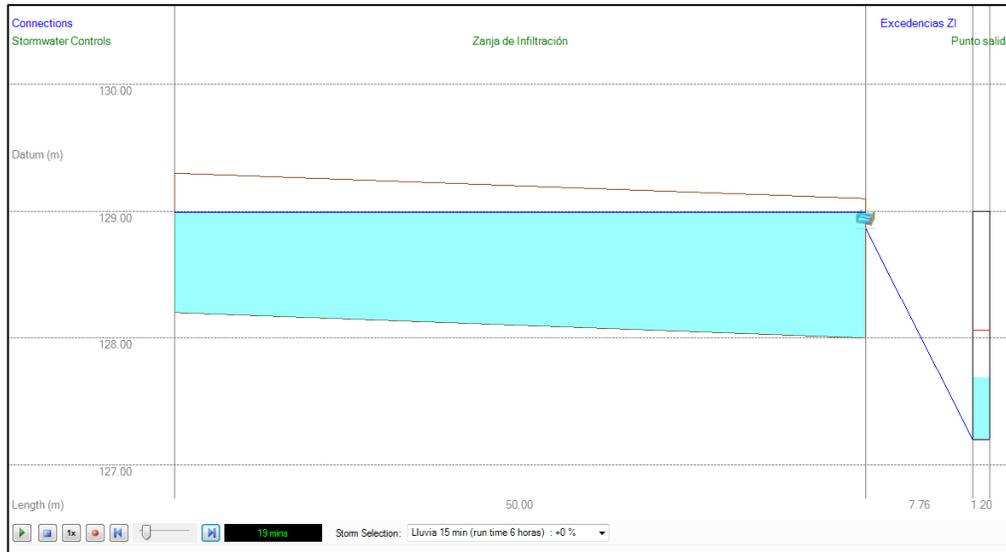


Figura 70, Perfil del momento de llenado máximo de cuneta verde 1. Fuente: xpdainage.

5.7.4 Diseño de pozos de infiltración

Se implementaron 6 pozos de infiltración, de 1.50 m de diámetro útil y 15 metros de profundidad, en el estudio de permeabilidad realizado en el sitio se recomendó o aconsejó profundidades de 13, 16 y 17 metros, por lo tanto por motivos de simplicidad y por ser un proyecto conceptual se hicieron del mismo tamaño y se colocaron en series de 3. A continuación se muestran en las Figuras 72 y 73 que muestra el arreglo en planta de los 6 pozos extraída del software. Existe un criterio recomendado en los lineamientos de factibilidad de SIAPA el cual dice que los pozos de absorción se deben colocar a un radio o distancia mínima entre ellos igual a la profundidad de estos, este no es el caso en el proyecto SUDS que se implementó, por motivos de tiempo no se arregló este detalle pero por la buena extensión de las áreas verdes, especialmente la de la casa club y la que se encuentra en la subcuenca 8B si hay espacio suficiente para realizar la distribución adecuada.

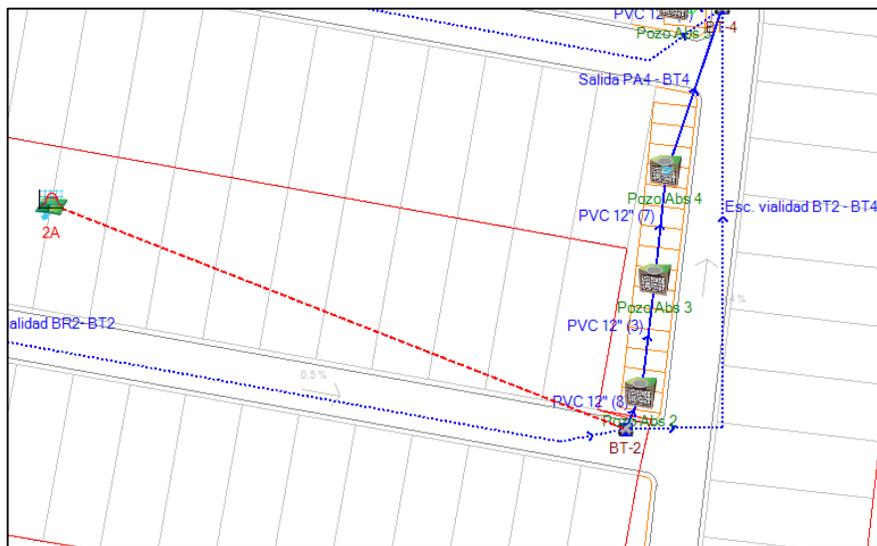


Figura 71. Vista en planta de los pozos de infiltración 2,3 y 4. Fuente: xpdainage.

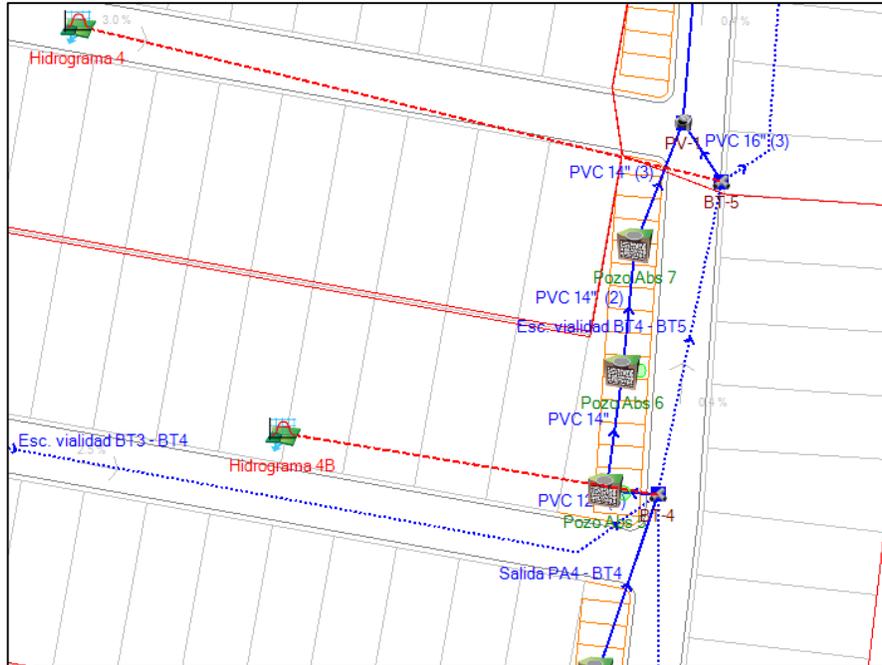


Figura 72. . Vista en planta de los pozos de infiltración 5,6 y 7. Fuente: xpdrainage.

Para resumir el funcionamiento se mostraran a continuación los perfiles del momento de llenado y vaciado de los pozos (Figuras 74 y 75) y los hidrogramas de entrada y salida de los pozos 4 y 7 (Gráficas 36 y 37), ya que estos son los últimos de cada serie de 3. A los 6 pozos se les configuró con una tasa de infiltración de 0.7 m/hr ya que se ubicaron en la ubicación del sondeo 3 el cual resultó en 0.648 m/hr y se redondeó al valor al siguiente mayor. En la Tabla 85 se muestra el resumen de las pruebas de permeabilidad realizadas por una empresa certificada de la región.

PRUEBAS DE PERMEABILIDAD EN EL SITIO				
	SONDEO	Permeabilidad (m/s)	Permeabilidad (m/hr)	Capacidad combinada de regulación (m/s)
Coeficiente de permeabilidad a los 15 min	Sondeo 1	3.40E-04	1.224	5.77E-04
	Sondeo 2	1.20E-04	0.432	3.67E-04
	Sondeo 3	1.80E-04	0.648	4.19E-04
	PROMEDIO	2.13E-04	0.768	4.54E-04

Tabla 85. Resumen de pruebas de permeabilidad realizadas en el sitio. Fuente: privada.

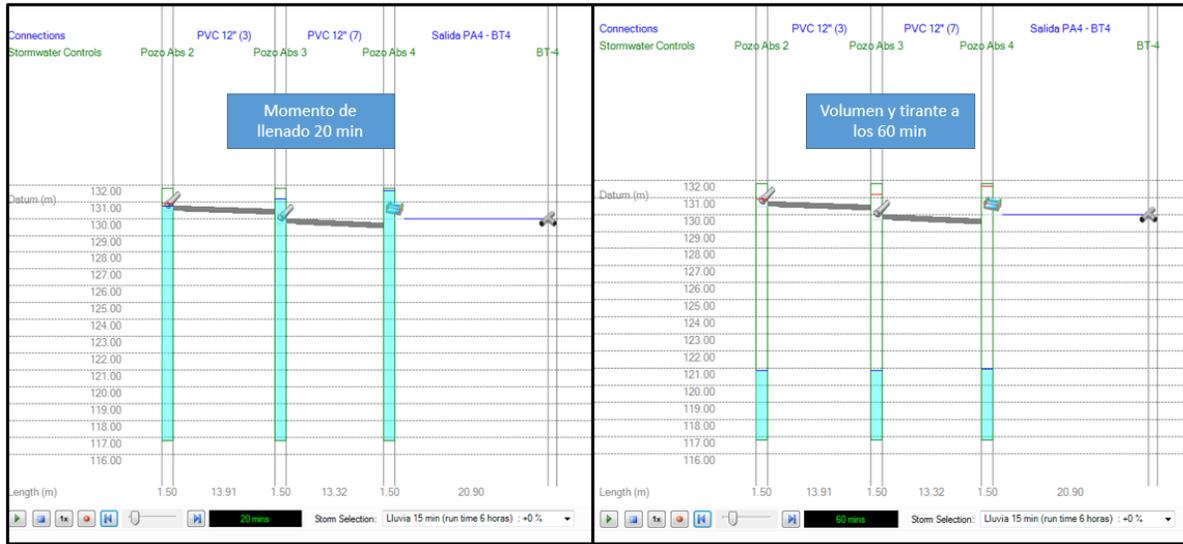


Figura 73. Comparativa entre el momento de llenado máximo y el volumen remanente a los 60 min desde el inicio de la lluvia. Fuente: xpdRAINAGE.

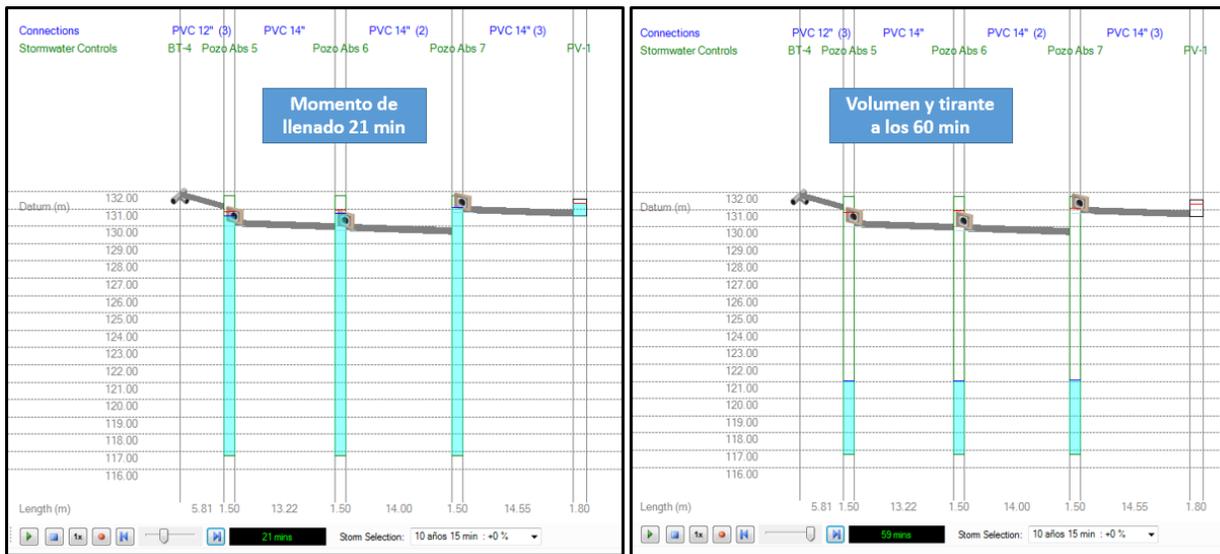
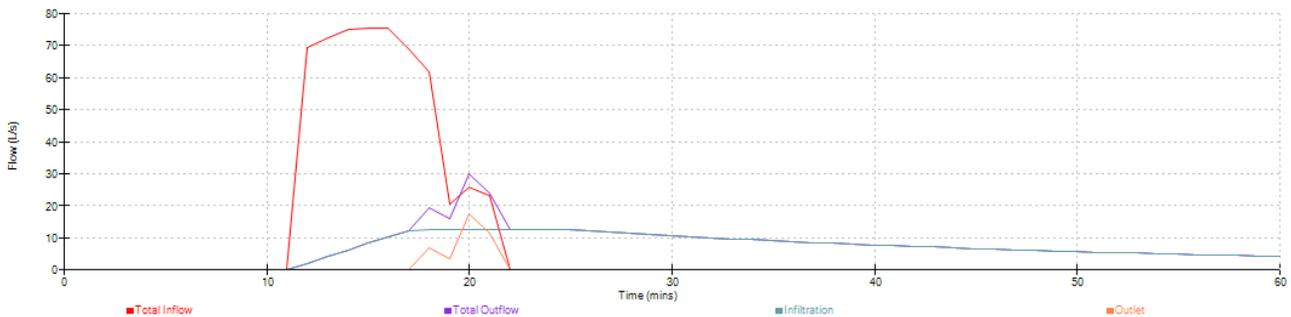
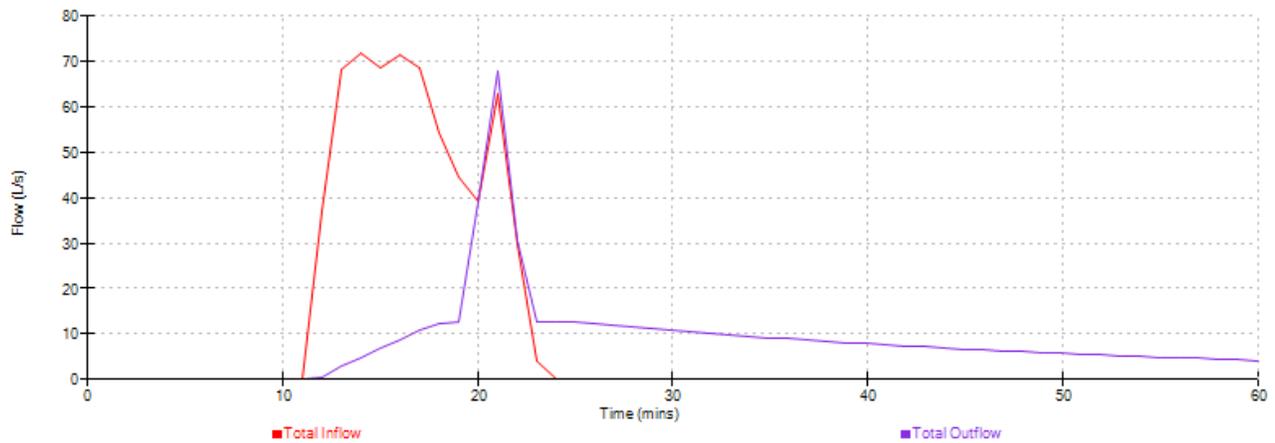


Figura 74. Comparativa entre el momento de llenado máximo y el volumen remanente a los 60 min desde el inicio de la lluvia. Fuente: xpdRAINAGE.



Gráfica 36. Hidrograma de entrada y salida de pozo de infiltración 4. Fuente: xpdRAINAGE.



Gráfica 37. Hidrograma de entrada y salida de pozo de infiltración 7. Fuente: xpdrainage.

En las Tablas 86 y 87 se observa el resumen de los resultados hidráulicos primero para los pozos de entrada y salida, continuado con el resumen del volumen interceptado e infiltrado total por los 6 pozos de absorción.

Nombre del sistema	Caudal de ingreso máximo	Caudal de salida máximo	Gasto por infiltración máximo	Tirante máximo presentado	Tiempo de llenado máximo	Volumen infiltrado total
	l/s			m	min	m ³
PA-2	100	100	12.6	14.17	21	38.82
PA-4	75.6	30.2	12.7	14.94	20	31.88
PA-5	95	95	12.7	14.16	22	39.24
PA-7	71.6	68	12.7	14.41	20	31.31

Tabla 86. Resumen de resultados hidráulicos de pozos de infiltración.

No. Pozo	Volumen interceptado
PA2	38.8
PA3	34.8
PA4	31.9
PA5	39.2
PA6	35.4
PA7	31.3
TOTAL	211.4

Tabla 87. Resumen de volumen de escurrimiento reducido por pozos de absorción.

5.7.5 Diseño de pavimento permeable

El pavimento permeable se ubicó en la subcuenca 6D antes de que los escurrimientos lleguen al estanque 2 (Figura 76). A continuación se muestran los datos de configuración y los principales resultados.

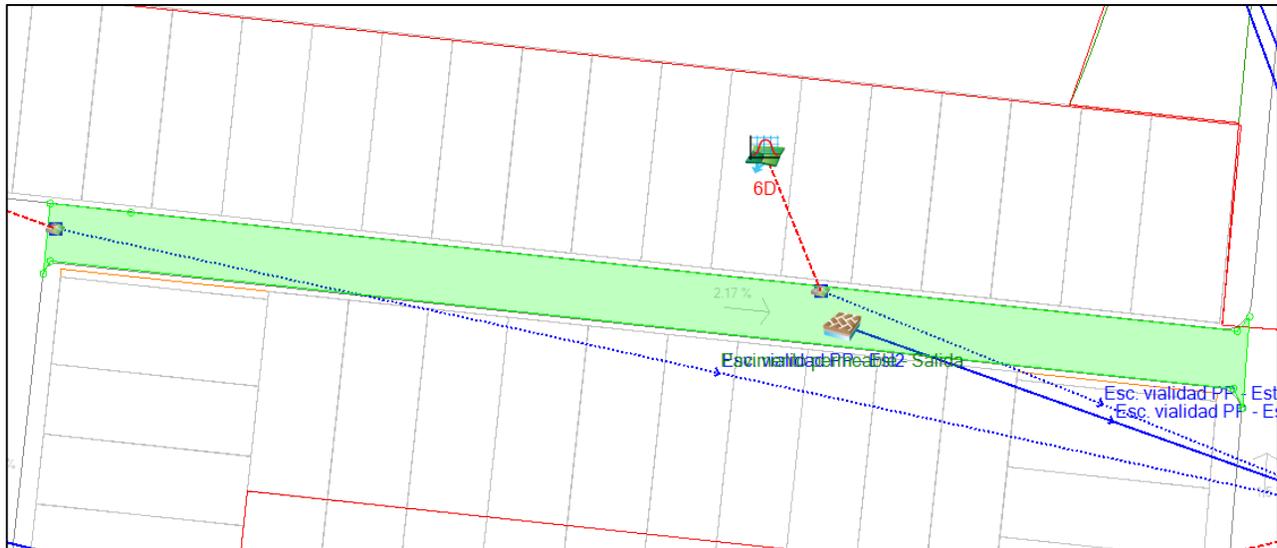


Figura 75. Ubicación en planta de pavimento permeable.

Nombre sistema	Indicador de entrada	Pavimento permeable
Categoría		
Dimensiones principales	Longitud	343.79 m
	Profundidad	0.40 m
	Ancho superior	7 m
	Pendiente longitudinal	0.0217 m/m
	Porcentaje de vacíos	40%
	Volumen total	19.41 m ³
Entrada de escurrimientos	Máximo caudal de llegada	333.90 l/s
	Capacidad	134 l/s
Estructura de salida de (corte en machuelo) "Inlets"	Vertedor (Ancho)	7 m
	Coefficiente de descarga	0.544
	Altura de vertedor sobre fondo de pavimento	0.20 m
Configuración avanzada		
Pavimento permeable	Percolación	0.5 m/hr

	Tasa de infiltración (Base y lados)	0.4 m/hr
	Retención horizontal	8.09 min
	Coefficiente de retención	0.48

Tabla 88. Datos de configuración en el software xpdrainage necesarios para el pavimento permeable.

Nombre del sistema	Caudal de llegada máximo	Caudal de ingreso máximo	Caudal derivado máximo	Caudal por estructura de salida máximo	Gasto por infiltración máximo	Profundidad máxima presentada	Volumen de llegada	Volumen ingresado	Reducción de volumen escurrido
	l/s					m	m ³		
Pavimento permeable	333.90	134	197.2	103.8	30.2	0.236	300.51	146.50	49.57 (16.5%)

Tabla 89. Resumen de resultados hidráulicos para pavimento permeable.

5.7.6 Diseño de estanques de regulación

Como se mencionó anteriormente se adaptaron las estrategias SUDS al proyecto original, especialmente los estanques de retención e infiltración se utilizaron casi las mismas dimensiones del proyecto original para realizar la corrida del modelo. Estos estanques son 3 y están conectados en serie, reciben casi todo el volumen de escurrimiento de la Zona 1 y 2 del proyecto. En porcentaje del volumen escurrido estos sistemas están encargados de recibir el 82.86 % del volumen que se genera en todo el fraccionamiento, menos lo que logran captar antes los otros sistemas SUDS como son las biorretenciones excepto la 6, las cunetas 1 a 3 y los 6 pozos de infiltración. Estos sistemas interceptan el 18.3 % del escurrimiento (409 m³), por lo tanto corresponde a los estanques el 64.5 % del volumen total del fraccionamiento.

A continuación en la Tabla 90 se muestra los datos de configuración dentro del software:

Nombre sistema	Indicador de entrada	Estanque 1			Estanque 2			Estanque 3	
Categoría									
Dimensiones principales	Profundidad	1.90 m			1.80 m			2.00 m	
Configuración geométrica	Tirante	0m	1.60m	2.30m	0m	1.80m	2.30m	0m	2.00m
	Área	250 m ²	430.23 m ²	641.10 m ²	299.10 m ²	613.33 m ²	886.34 m ²	341.64 m ²	634.67 m ²
	Perímetro	76.78 m	95.99 m	110.26 m	102.25 m	128.24 m	143.53 m	80.33 m	107.40 m
Entradas y salidas de agua									
Estructuras de entrada	Tuberías	Max. Caudal= 602 L/s			Max. Caudal= 763.6 L/s			502.4 L/s	
	Escurremientos por vialidad	Max. Caudal = 566.8 L/s			Max. Caudal = 519.7 L/s			0 L/s	
Estructura de salida 1	Tipo de salida	Orificio (Ø=18")			Orificio (Ø=12")			Orificio (Ø=12")	
	Caudal máx.	199 L/s			176.1 L/s			178.3 l/s (Salida 1 de proyecto)	
	Coefficiente de descarga	0.60			0.60			0.60	
	Altura sobre fondo	0.20 m			0.20 m			0 m	
2	Tipo de salida	Vertedor			Orificio (Ø=12")			N/A	
	Ancho o diámetro	1.00 m			0.30 m			N/A	
	Caudal máx.	524.2 L/s			176.1 L/s			N/A	
	Coefficiente de descarga	0.60			0.60			N/A	
	Altura de sobre fondo	0.86 m			0 m			N/A	
Configuración avanzada									
	Tasa de infiltración por base	0.7 m/hr			0.7 m/hr			0.5 m/hr	
	Retención horizontal	0.3 min			0.4 min			0.2 min	

	Coefficiente de retención	0.10	0.10	0.10
--	---------------------------	------	------	------

Tabla 90. Datos de entrada para configurar el modelo hidráulico en el software xpdrainage.

Nombre del sistema	Caudal de ingreso máximo	Momento de llenado	Caudal de salida máximo	Gasto por infiltración máximo	Profundidad máxima presentada	Volumen ingresado	Reducción de volumen escurrido
	l/s	min	l/s		m	m ³	
Estanque 1	1149.5	22	689.9	48.6	1.58 / 1.90	992.86	344.3
Estanque 2	1248.4	25	352.7	58.2	1.33 / 1.80	1171.73	366.11
Estanque 3	497.7	38	178.2	47.5	1.05 / 2.00	1068.7	359.31

Tabla 91. Resultados hidráulicos entregados por el software.

Perfil de llenado

El momento crítico de llenado de los estanques 1 y 2 se presentó entre los minutos 22 y 25 (Gráfica 38) y para el estanque 3 en el minuto 38. El estanque 1 llega al límite de su bordo libre, el estanque 2 y 3 queda con un 21.78% y un 44.8 % de espacio disponible, por lo que desde un punto de vista de seguridad están correctamente dimensionados. A continuación se muestra la Figura 77, que muestra el perfil de llenado de los sistemas, en este caso el del estanque 3, el cual descarga posteriormente fuera del predio y es uno de los dos puntos de medida del gasto de salida. El nivel máximo que alcanzaron los otros dos estanques se aprecia en la línea de color rojo color rojo y el bordo libre en achurado naranja.

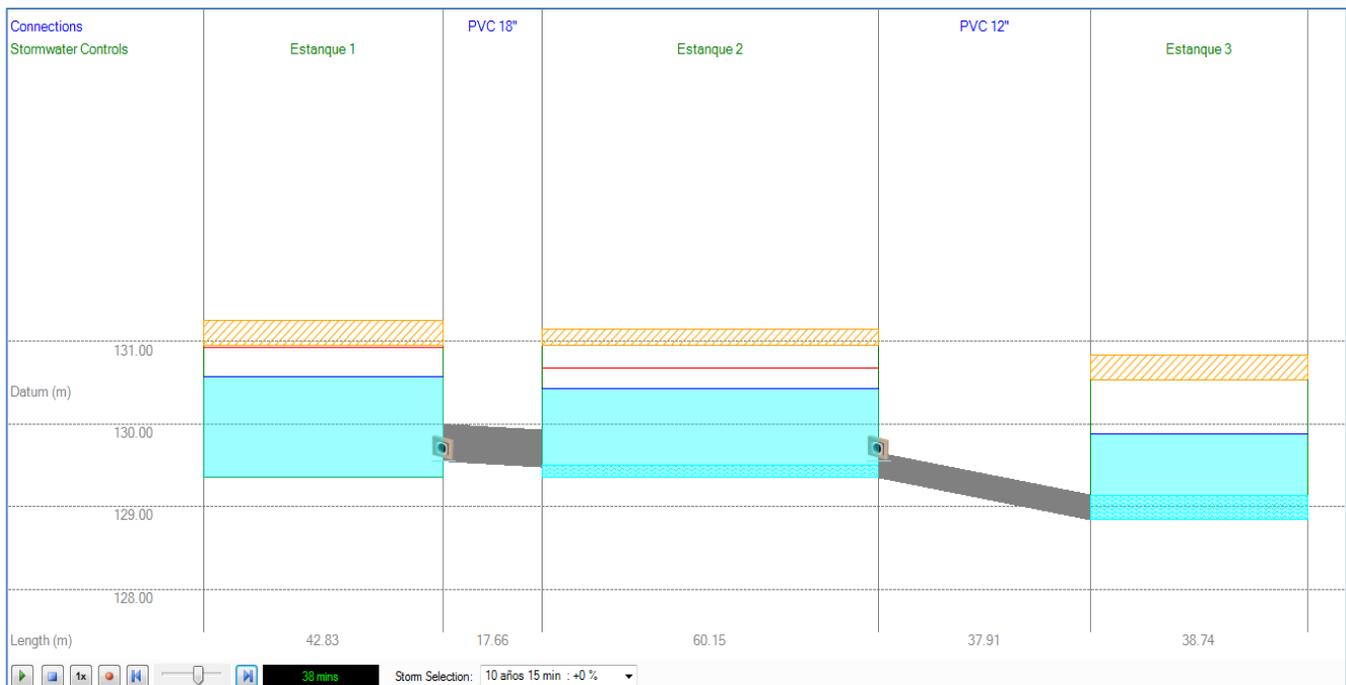
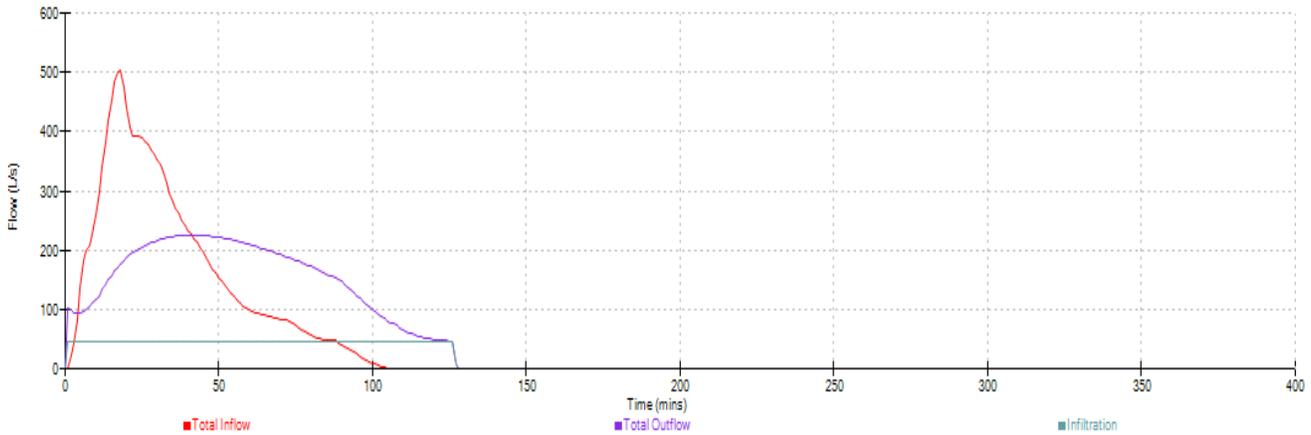


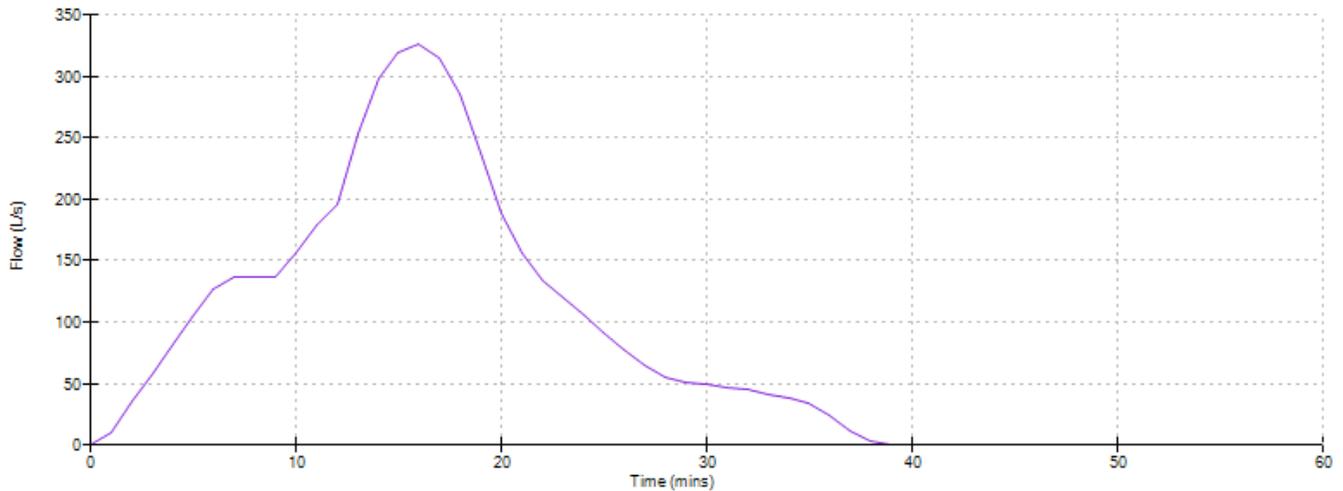
Figura 76. Perfil del momento de llenado máximo de estanque 3. Fuente: xpdrainage.

La siguiente gráfica 38 muestra el comportamiento de los caudales dentro del estanque 3, en línea roja el caudal de entrada, línea morada caudal de salida y azul claro caudal de infiltración. Claramente se ve el efecto de regulación que se reduce a la mitad aproximadamente, de 497.7 a 178.2 l/s. Con este gasto de salida y en conjunto con lo que sale por el punto de Salida 2 (vialidad noreste, a un costado de Zanja de Infiltración) se cumple el Impacto Hidrológico Cero por mucho, estando sobrado.



Gráfica 38. Hidrogramas de entrada y salida de estanque 3.

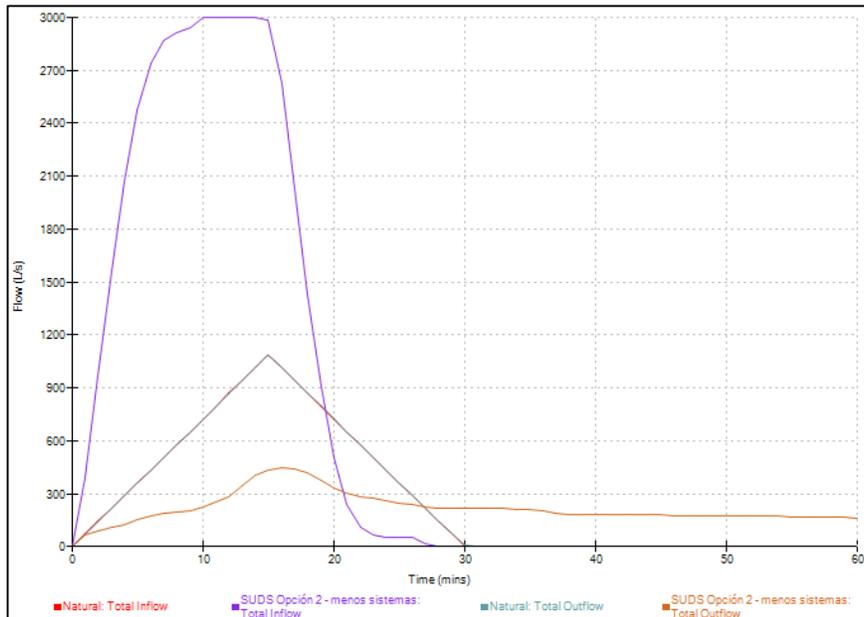
A continuación se anexa la Gráfica 39 de los hidrogramas del punto de Salida 2 para posteriormente observar como su gasto conjunto con el del estanque 3 se suma para lograr el objetivo hidrológico.



Gráfica 39. Hidrograma de salida del punto de salida 2 del fraccionamiento.

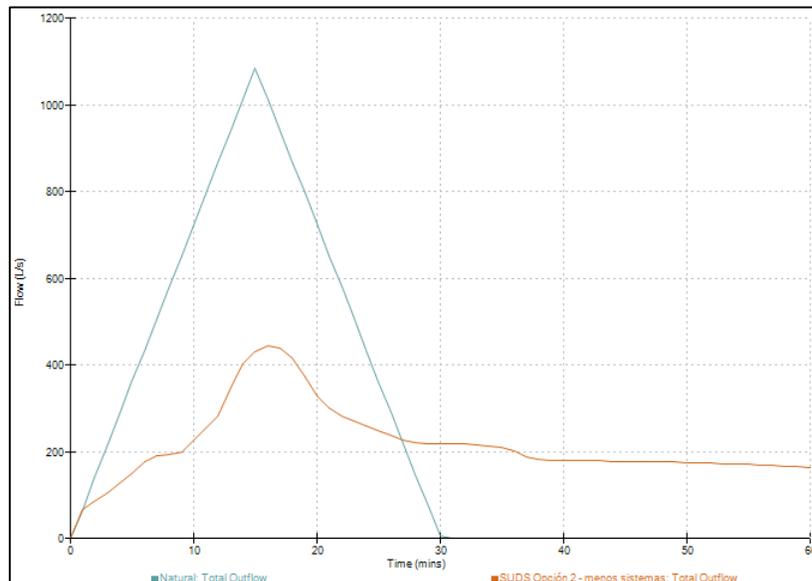
Mediante la gráfica anterior se aprecia que el gasto de salida del Punto de salida 2 es de aprox. 326 l/s, entonces la suma de este más los 178.2 l/s del estanque suman 504.8 l/s, pero esto no es el valor máximo de salida real ya que estos valores no ocurren en el mismo momento en el tiempo. Este momento es cuando el punto de salida 2 saca su máximo, en el minuto 16, un minuto después de la final de la lluvia, en este momento del estanque están saliendo 117.3 l/s por lo que el valor máximo real es de 443.9 l/s. En cualquiera de los dos casos el gasto de salida es mucho más bajo que el gasto en breña o natural mostrado en la Tabla 92, el cual ronda los 1098 l/s, por lo que el resultado con sistemas SUDS resulta en una proporción de

reducción del caudal máximo de aproximadamente la mitad de lo necesario, en dado caso se podría optar por reducir la cantidad y/o volumen de los sistemas si se pretende reducir costos de capital, operación, mantenimiento, etc. Para visualizar el efecto del caudal de salida se presentan los siguientes hidrogramas representativos del funcionamiento de todo el fraccionamiento. La Gráfica 40 muestra 3 líneas, la azul representa el gasto de entrada o urbanizado, la línea azul claro es el gasto natural y la café el gasto de salida utilizando SUDS.



Gráfica 40. Hidrogramas generales del fraccionamiento (azul oscuro = caudal urbanizado, azul claro= gasto natural, café= gasto con SUDS).

Con esta imagen se puede apreciar que el gasto urbanizado se disminuye de 2999 l/s a 443.9 l/s, lo que representa un 85.2 % de reducción, cuando solo era necesario 63.8% para lograr el impacto cero. En la siguiente Gráfica 41 se aprecia más claramente la relación del gasto de salida con SUDS con el gasto natural.



Gráfica 41. Hidrogramas natural y de salida con SUDS.

Como ya se mencionó, en cuanto al gasto o caudal de salida se cumple de manera sobrada, ahora en cuanto al volumen generado, reducido y de salida se analizó o corrió de dos maneras el modelo, una de duración 60 minutos desde el inicio de la lluvia para obtener gráficas compactas y fáciles de visualizar y otra de 6 horas con el objetivo de registrar el comportamiento del vaciado de los sistemas. En el caso de las biorretenciones su vaciado total lleva mínimo un día como como se comentó en el capítulo de diseño detallado de biorretenciones, pero fue necesario hacer una corrida más larga principalmente para cuantificar el volumen y tiempo de salida de los estanques. En cuanto a los otros sistemas, los pozos de infiltración, cunetas verdes, pavimento permeable y zanja de infiltración no fue necesario revisar esto ya que por la elevada permeabilidad del suelo y su menor volumen se vaciaron en un tiempo menor, igual o un ligeramente después de los 60 min, por lo que no hay preocupación en cuanto a ellos.

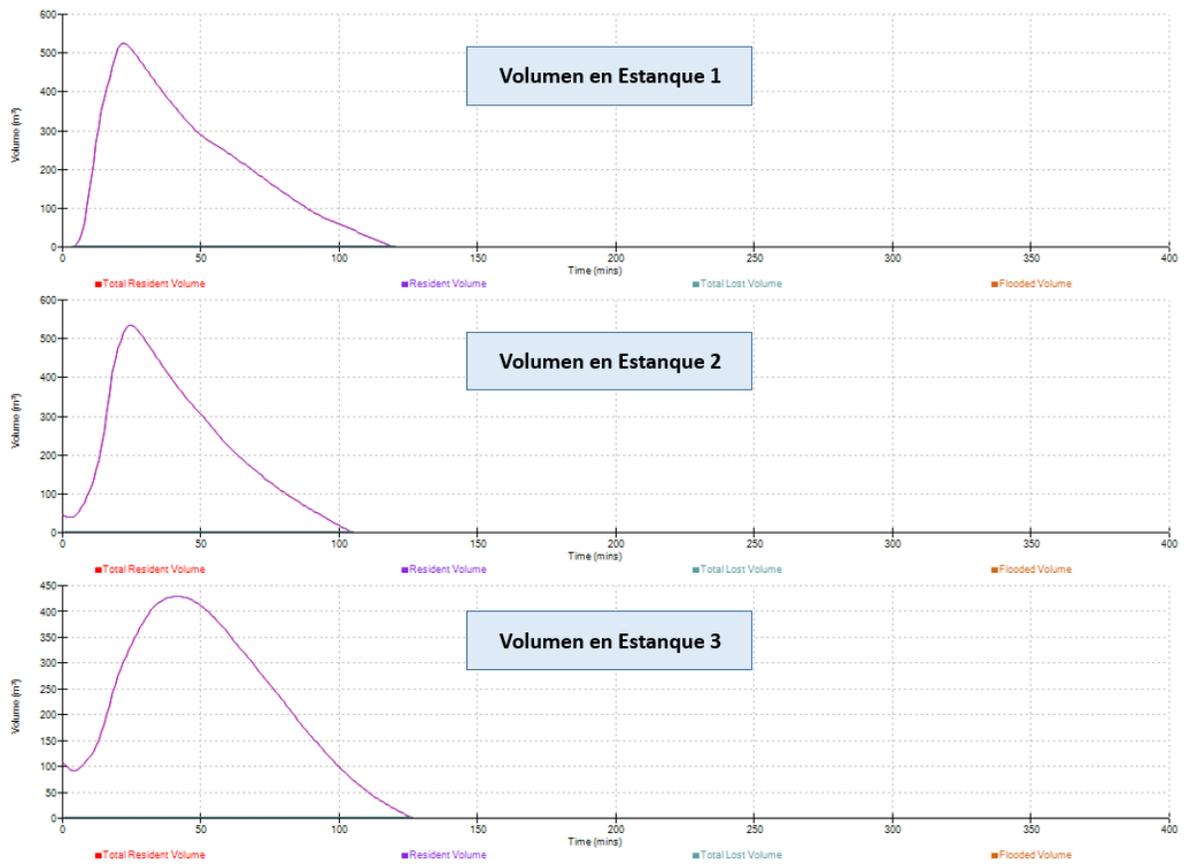
En las siguientes Tabla 92 se muestran los resultados de volúmenes en conjunto con los caudales para las dos corridas:

ANÁLISIS HIDROLÓGICO COMPARATIVO (60 min de análisis)						
FASE	Gasto Máximo entrada (L/s)	Volumen total de entrada (m³)	Volumen total captado (m³)	Eficiencia de reducción de volumen	Gasto Máximo salida (L/s)	Volumen de salida (m³)
Natural	1085.2	976.679	-	-	1084.7	976.679
SUDS Opción 2 - menos sistemas	2999.4	2699.994	1031.353	38.19 %	443.9	791.827
ANÁLISIS HIDROLÓGICO COMPARATIVO (6 Horas de análisis)						
FASE	Gasto Máximo entrada (L/s)	Volumen total de entrada (m³)	Volumen total captado (m³)	Eficiencia de reducción de volumen	Gasto Máximo salida (L/s)	Volumen de salida (m³)
Natural	361.7	976.679	-	-	1084.7	976.679
SUDS Opción 2 - menos sistemas	2984.1	2699.994	1613.928	59.77 %	443.9	1101.130

Tabla 92. Análisis hidrológicos comparativos de volúmenes y caudales de escurrimiento a los 60 min y 6 horas del inicio de la lluvia. (Volumen total captado refiere a lo que quedo dentro de los sistemas y solo podría salir podría salir por infiltración o evapora

A partir de esto se puede ver que la diferencia entre el volumen de salida entre las dos corridas es significativa, de 309.30 m³, por lo que efectivamente después de los 60 min aún faltaba mucho volumen por desalojar, correspondiente al 11.4 % del total escurrido.

El dato que se pretende analizar en esto es la eficiencia en la reducción del volumen escurrido, que es el cociente del volumen total captado (volumen que solo saldrá de los sistemas por infiltración o evaporación) y el volumen total escurrido en todo el fraccionamiento. Este resultado a los 60 min en 38.19% y a las 6 horas de 59.77%, el ultimo es el que interesa y no significa que hasta a las 6 horas se captó o saco todo el volumen, en realidad esto ocurrió alrededor de las 2 horas o 120 minutos, como se muestra en las siguientes Gráficas 42 en las que se observa el comportamiento del volumen en el interior de los 3 estanques.



Gráfica 42. Comportamiento del volumen en los 3 estanques de infiltración en la corrida del modelo de 6 horas.

Como se puede observar en las gráficas anteriores el momento del vaciado total de los 3 ocurre entre los 106 y los 128 min, el motivo por el cual el segundo estanque se vacía antes que el primero, lo cual parece contradictorio ya que el primero aporta al segundo, es porque el primero tiene su desfogue o descarga elevada a 20 cm del fondo, al contrario del segundo que lo tiene a nivel de fondo, lo que ocasiona que los últimos 20 cm de tirante se tengan que vaciar por infiltración.

5.8 Volumen de tratamiento de calidad del agua

En esta sección se obtuvo el volumen de tratamiento logrado por cada sistema, pero antes se obtiene el volumen total requerido por todo el fraccionamiento, el cual se obtiene mediante las fórmulas mostradas en el capítulo 5.1 “Herramienta de diseño y revisión de los sistemas SUDS en cuanto a calidad del agua”. A continuación se muestra en la Tabla 93 el módulo de introducción de parámetros dentro del software para la obtención del volumen total de tratamiento (V_t) requerido, se indica el método (Simple Water Quality Volume), el tipo de introducción de datos (User input= introducción por usuario), la altura de precipitación a contener para tratamiento ($P=11$ mm), el coeficiente de escurrimiento ($C_v=0.665$), el área del fraccionamiento ($A=16.03$ has), y la proporción de volumen de escurrimiento que se pretende tratar ($R=100\%$), en la parte inferior aparece la ecuación aplicada.

The screenshot shows a software interface titled "Input" with the following fields and values:

- Method: Simple Water Quality Volume
- Input Type: User Input
- Precipitation Depth (mm): 11.0
- Volumetric Runoff Coefficient: 0.665
- Area (ha): 16.03
- Runoff Volume Proportion (%): 100

At the bottom, there is a "Calculate" button and the equation: $Equation\ Used: WQv = R(P * C_v * A)$

Tabla 93. Módulo de introducción de parámetros dentro del software para la obtención del volumen total de tratamiento.

En la siguiente Tabla 94 se muestra el desglose del volumen que se obtiene con cada uno de los sistemas para luego sacar el total logrado, en el caso de los estanques se consideró como el volumen de tratamiento 30 cms de contacto con el fondo, suponiendo que tuviese vegetación o algún medio filtrante como grava. Los demás sistemas se desglosan por el volumen que pueden contener en la superficie más el que pueden contener dentro de su medio filtrante en función del porcentaje de vacíos ingresado, el área y el espesor de las capas.

SISTEMA SUDS	¿Aplicado al V_t ?	Volumen superficial (m^3)	Área de filtrado (m^2)	Profundidad de medio filtrante (m)	Porcentaje de vacíos (%)	Volumen de filtro (m^3)	Volumen resultante de sistema (m^3)
Biorretención PP1	SI	21.269	60.00	1.30	31.2	23.153	44.421
cuneta verde 1	SI	39.737	102.00	0.60	40.0	5.218	44.956
Estanque 1	SI			Volumen en 30 cm de base			75.000
Estanque 3	SI			Volumen en 30 cm de base			102.492
Zanja de Infiltración	SI	0.000	75.00	1.10	30.000	30.000	30.000
Estanque 2	SI			Volumen en 30 cm de base			89.700
Biorretención (1)	SI	36.000	120.00	0.70	30.0	25.200	61.200

Biorretención (2)	SI	36.000	120.00	1.30	30.8	48.230	84.230
Biorretención (3)	SI	33.000	110.00	0.75	30.0	24.750	57.750
Pozo Abs 2	SI	0.000	1.77	15.00	100.0	26.507	26.507
Pozo Abs 3	SI	0.000	1.77	15.00	100.0	26.507	26.507
Pozo Abs 4	SI	0.000	1.77	15.00	100.0	26.507	26.507
Pozo Abs 5	SI	0.000	1.77	15.00	100.0	26.507	26.507
Pozo Abs 6	SI	0.000	1.77	15.00	100.0	26.507	26.507
Pozo Abs 7	SI	0.000	1.77	15.00	100.0	26.507	26.507
Cuneta verde 4	SI	48.266	74.01	0.60	40.0	12.285	60.551
Pavimento permeable	SI	0.000	687.57	0.40	40.0	34.123	34.123
Cuneta Verde 2	SI	17.882	97.53	0.60	40.0	2.376	20.258
cuneta verde 3	SI	17.822	92.30	0.60	40.0	2.925	20.747
Biorretención (4)	SI	30.485	86.00	1.30	30.8	32.194	62.679
Biorretención (5)	SI	14.314	70.00	1.30	30.8	26.253	40.566
Biorretención (6)	SI	10.224	50.00	0.75	30.0	9.817	20.041
Total		304.998	1755.02			435.567	1007.757

Tabla 94. Volúmenes de tratamiento logrados por cada sistema SUDS aplicado en la propuesta.

Se varió el valor de la altura de precipitación dejando los demás parámetros iguales dentro de la Tabla 95 para observar como varía la cantidad de volumen de tratamiento necesario y ver hasta qué nivel se cumple con la propuesta hecha.

Altura de precipitación (mm)	Volumen objetivo (m³)	Volumen logrado (m³)	Volumen sin tratar (m³)	Resultado
10	852.79	1007.76	0.00	OK
11	938.07	1007.76	0.00	OK
12	1023.35	1007.76	15.59	NO PASA
13	1108.63	1007.76	100.87	NO PASA
14	1193.91	1007.76	186.15	NO PASA
15	1279.19	1007.76	271.43	NO PASA

Tabla 95. Variación de volúmenes de tratamiento en función de la altura de precipitación.

Podemos observar que se cumple para el 100% de volumen de escurrimiento para los primeros 10 y 11 mm de lluvia, a partir de ahí hacen falta entre 100 y 270 m³ para poder lograr los siguientes objetivos. Como se mencionó en la sección de ecuaciones de tratamiento de calidad del agua, entre 10 y 15 mm es lo que sugieren los manuales como altura de precipitación a contener y tratar.

5.9 Comparación mediante metodología* para seleccionar tecnologías para la vivienda sustentable adaptada para ponderar puntajes entre proyecto convencional y proyecto con SUDS

El siguiente ejercicio consiste en realizar una comparación mediante la metodología de puntajes ponderados, la cual se adaptó de la metodología creada por el Mtro. Álvarez Partida, tutor y asesor de esta investigación, para los criterios de proyectos pluviales. La metodología es extensa pero en este caso se aplican 4 puntos de ella, Filtrado por normativas o lineamientos aplicables, Puntajes por indicadores, Puntajes ponderados con evaluación de encuestados, evaluación comparativa de proyecto convencional y proyecto con SUDS y análisis de escenarios futuros.

Filtrado de prácticas por normativa u otros lineamientos aplicables

La normativa que se relaciona directamente con el manejo correcto del agua pluvial en México se presenta a continuación, siendo la NOM-015 de CONAGUA la que puede intervenir en la realización de un proyecto pluvial para un desarrollo habitacional, además de los requerimientos locales establecidos previamente, como son los lineamientos de factibilidad usados en SIAPA y los requeridos por el Art. 86-Bis de la Ley de Aguas para el estado de Jalisco:

- NOM-015-CONAGUA-2007: Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y especificaciones de las obras y del agua.
- Lineamientos de factibilidad de SIAPA
- Art. 86- Bis de la Ley de Aguas para el estado de Jalisco.

Para el caso del proyecto convencional, por ser prácticas normales o utilizadas comúnmente no se considera que haya conflicto con ninguna de las disposiciones oficiales mencionadas anteriormente. En el caso del proyecto con el uso de SUDS, no hay nada que regule la aplicación de estas técnicas específicamente, pero por ser prácticas de bajo impacto no se considera que habría algún problema con incumplimiento de las disposiciones y quedaría más a juicio de los responsables locales aceptar su uso.

Análisis de puntajes obtenidos

A continuación se muestra el conjunto de criterios y sus correspondientes indicadores los cuales se normalizaron en una escala del 1 al 10, los indicadores son una serie de medidores tanto cuantitativos como cualitativos que permitirán generar un puntaje final para concluir cual es el mejor proyecto fundamentado con esta metodología. Esto es una propuesta y contiene elementos de naturaleza cualitativa, ya que por la gran cantidad de referencias y metodologías se vuelve complejo unificar y estandarizar criterios e indicadores puntuales y numéricos, pero para el fin de esta investigación y para justificar el uso de los SUDS en comparación con un proyecto convencional se considera efectivo su uso.

El análisis se divide en 4 tablas, de la Tabla 96 a la 99, las cuales se desarrollan de lo general a lo particular, desde la categoría, hasta el indicador el cual se normaliza en una escala del 1 al 10. Al extremo derecho las columnas indican el puntaje obtenido en cada indicador por cada proyecto y al final la fuente bibliográfica de la cual se obtuvo o se adaptó el indicador.

Como se puede observar las unidades de medida varían mucho dependiendo del indicador, y son, como se mencionó antes, de naturaleza cuantitativa o cualitativa según sea el caso y la complejidad de lo que se analiza.

*Metodología creada por el tutor de la investigación, el Mtro. Francisco Álvarez Partida

Después de mostrar los puntajes de cada indicador se procede a generar el puntaje final con las matrices obtenidas en el capítulo 4.6.2.

CATEGORIA	ID del Criterio	Criterio	Indicador	Unidad de medida	Normalización de puntuación	Puntuación Proyecto convencional	Puntuación Proyecto con SUDS	Fuente
Ambiental	CA1	Apoyar el manejo de la calidad del agua en las aguas superficiales y subterráneas receptoras	Tiempos de retención del tratamiento	Horas/eventos de tormenta	Entre 24 - 36 horas = 10 pts, Entre 36 y 48 hrs= 6 pts.	10	10	Daywater, 2005
			Proveer un tratamiento a las aguas pluviales, contener un Volumen de Tratamiento (Vt) (10/15 mm es el valor efectivo de tratamiento de todas las tormentas)	mm	entre 10-15 mm = 10 pts, Entre 5 - 10 mm= 5 pts	5	10	CIRIA 753, Daywater
	CA2	Usar el agua de escurrimiento como un recurso	Asesorar la necesidad y oportunidad del sitio para implementar sistemas de infiltración	Si/No	Si= 10 puntos, No= 0 pts	10	10	Propuesta autor
	CA4	Apoyar y proteger hábitats y especies locales naturales	El alcance, calidad y significado de hábitats locales apoyado o mejorado por el diseño de SUDS	Alta/media/baja	Alta= 10 pts. Media= 7 pts, Baja= 5 pts.	7	10	CIRIA, 2015
	CA5	Preservar y proteger los sistemas hidrológicos naturales en el sitio, su morfología y ecología	Reducir impactos erosivos por escurrimientos aguas abajo mediante la regulación de caudales pico en el sitio y medidas reductoras de velocidad del agua	Gasto max =< Gasto en breña	Se logró= 10 pts, Casi se logró= 6 pts	10	10	NYSWM
	CA6	Uso de materiales y energía eficiente y baja en carbono	Cantidad de materiales usados: Agregado/ concreto/ uso del suelo y costes.	Alto/medio/bajo	Alto= 3 pts, Medio= 7 pts, Bajo= 10 pts.	7	10	Daywater, 2005

Tabla 96. Evaluación comparativa de criterios e indicadores con sus puntajes obtenidos en la categoría ambiental.

CATEGORÍA	ID del Criterio	Criterio	Indicador	Unidad de medida	Normalización de puntuación	Proyecto convencional	Proyecto con SUDS	Fuente
Social	CS1	Crear lugares agradables para las personas mejorando la calidad estética del lugar	La proporción del sistema de drenaje pluvial que es diseñada para ser visualmente atractiva.	Alta/media/baja	Alta= 10 pts. Media= 7 pts, Baja= 5 pts.	5	10	CIRIA, 2015
	CS2	Promover el aprendizaje ambiental en la comunidad	Aceptación de tratamientos in situ en lugar de los sistemas de drenaje convencional	Alto/medio/bajo	Alta= 10 pts. Media= 7 pts, Baja= 5 pts.	7	10	CIRIA, 2015
			Aceptación de la comunidad	Alta/media/baja	Alta= 10 pts. Media= 7 pts, Baja= 5 pts.	7	10	"
	CS3	Garantizar la seguridad de las personas y propiedades en el sitio y en su interacción con los sistemas de manejo pluvial	Mantener el tirante y velocidad del agua sobre las vialidades en niveles aceptables	Tirante máx = 8 cm, Vmax= 1.5 m/s	Si= 10 pts, No= 0 pts.	10	10	Russo, B. & Gómez M., 2011
			La consideración de la seguridad de la gente dentro del diseño de cada elemento de los SUDS (relacionado con el uso como una característica de amenidad)	SI/No	Si= 10 pts, No= 0 pts.	10	10	CIRIA, 2015
Económica	CE1	Realizar análisis de costes del ciclo de vida	Capital	\$	Es menor que la otra alternativa= 10 pts; es mayor que la otra alternativa= 5 pts	5	10	Daywater, 2005

Tabla 97. Evaluación comparativa de criterios e indicadores con sus puntajes obtenidos en las categorías social y económica.

CATEGORIA	ID del Criterio	Criterio	Indicador	Unidad de medida	Normalización de puntuación	Proyecto convencional	Proyecto con SUDS	Fuente
Técnico-Hidráulico/Holístico	CH1	Apoyar la gestión del riesgo de inundación en la cuenca receptora	Evaluar la necesidad y oportunidad de retención, detención e infiltración del sitio y el contexto para establecer objetivos particulares	Si/No	Si= 10 pts, No= 0 pts.	10	10	Propuesta autor
			Reducir riesgo de inundación aguas abajo mediante el cumplimiento del Impacto Hidrológico Cero	Si/No	Se sobrepasó el requisito si se estableció necesario en el indicador anterior= 10 pts; Se cumplió mínimamente= 5 pts.	10	10	Ley de Aguas de Jalisco
			La escorrentía de eventos que exceden la capacidad de los SUDS es manejada por rutas de excedencia identificadas y áreas de almacenamiento	Si/No	Si se identificaron= 10 pts, No se identificaron= 0 pts.	10	10	CIRIA, 2015
	CH2	Considerar las características del área y del drenaje en el proyecto	Diseño de volúmenes pluviales calculado con estándares oficiales	m3	Si= 10 pts, No= 0 pts.	10	10	Daywater, 2005
			Espacio disponible para dar cabida a una o varias TDUS	m3/ha	Suficiente= 10 pts, casi suficiente= 6 pts.	10	10	"
	CH3	Considerar las restricciones del lugar para realizar una mejor selección de los sistemas a utilizar	Pendiente del lugar	% ratio	Se adaptaron los sistemas = 10 pts. Se consideró poco= 7 pts.	7	10	Daywater, 2005
			Nivel freático	m	Se adaptaron los sistemas = 10 pts. Se consideró poco= 7 pts.	7	10	"
			Consideración de la integración y relación de los sistemas de manejo de aguas superficiales con la configuración de vialidades y propuestas arquitectónicas y de paisaje	Si/No	Se adaptaron los sistemas = 10 pts. Se consideró poco= 7 pts.	7	10	CIRIA, 2015
			Uso de suelo	Si/No	Se adaptaron los sistemas = 10 pts. Se consideró poco= 7 pts.	10	10	Daywater, 2005

Tabla 98. Evaluación comparativa de criterios e indicadores con sus puntajes obtenidos en la categoría Técnico-hidráulica/holística (Parte 1)

CATEGORIA	ID del Criterio	Criterio	Indicador	Unidad de medida	Normalización de puntuación	Proyecto convencional	Proyecto con SUDS	Fuente
Técnico-Hidráulico/Holístico	CH1	Características del suelo y subsuelo, capacidad de infiltración y protección a acuíferos	Tipo de suelo	Conductividad hidráulica	Se adaptaron los sistemas = 10 pts. No se consideró= 0 pts.	10	10	Daywater, 2005
			Ratios de infiltración	mm/hora	Se adaptaron los sistemas = 10 pts. No se consideró= 0 pts.	10	10	"
	CH5	Garantizar una correcta captación y almacenamiento de la escurrimiento	Los dispositivos de captación y conducción a los sistemas de regulación tienen la capacidad suficiente	Si/No	Si= 10 pts, No= 0 pts.	10	10	Ley de Aguas de Jalisco
			Diseño preparado para cambios de almacenamiento y de calidad del agua	Si/No	Si= 10 pts, No= 0 pts.	0	10	Daywater, 2005
	CH6	Flexibilidad, adaptabilidad y potencial para la reutilización para ser resilientes a cambios futuros	Potencial para reciclar componentes del sistema/aguas contaminadas	Alto/medio/bajo	Alto= 10 pts. Medio= 7 pts, Bajo= 5 pts.	7	10	Daywater, 2005
	CH7	Maximizar la multifuncionalidad	El número, variedad y calidad de usos adicionales y multifuncionales para los SUDS, por ejemplo áreas de recreación, estacionamientos o manejo del tráfico.	1,...,n	Se diseñó con este objetivo= 10 pts; No se diseñó= 0 pts.	0	10	CIRIA, 2015

Tabla 99. Evaluación comparativa de criterios e indicadores con sus puntajes obtenidos en la categoría Técnico-hidráulica/holística (Parte 2)

Como se mencionó en el capítulo 4.6.2, se evaluarán los criterios según una base de indicadores previamente definidos, los cuales conllevarán a la generación de un puntaje de cumplimiento de cada criterio de nuevo en escala del 1 al 10 entre ambos proyectos, el convencional y la propuesta con SUDS. La columna después de la descripción del criterio (ponderación relativa sustentable) se multiplica por el puntaje de la siguiente columna y por 10 para estar en la escala del 1 al 100 y se obtiene para ese el puntaje para cada criterio. A continuación se muestran todos los resultados en la Tabla 100 y 101:

Categoría	ID del Criterio	Criterio resumido	PONDERACIÓN RELATIVA SUSTENTABLE	PUNTAJE CONVENCIONAL	PROYECTO CONVENCIONAL PONDERADO	PUNTAJE PROYECTO SUDS	PROYECTO SUDS PONDERADO
Ambiental	CA 1	Apoyar el manejo de la calidad del agua	4.53%	7.50	3.39	10.00	4.53
	CA 2	Usar el agua de lluvia como un recurso	4.13%	10.00	4.13	10.00	4.13
	CA 4	Apoyar y proteger hábitats	3.99%	7.00	2.80	10.00	3.99
	CA 5	Preservar y proteger los sistemas hidrológicos	4.53%	10.00	4.53	10.00	4.53
	CA 6	Uso de materiales y energía eficiente	3.94%	7.00	2.76	10.00	3.94
			25.00%	Subtotal	17.61	Subtotal	21.12
Social	CS 1	Crear lugares agradables para las personas	7.36%	5.00	3.68	10.00	7.36
	CS 2	Promover el aprendizaje ambiental	8.59%	7.00	6.01	10.00	8.59
	CS 3	Garantizar la seguridad de las personas	9.05%	10.00	9.05	10.00	9.05
			25.00%	Subtotal	22.00	Subtotal	30.00
Económico	CE 1	Realizar análisis de costes del ciclo de vida	8.10%	5.00	4.05	10.00	8.10
	CE 2	Considerar los riesgos financieros, (si aplica)	8.35%	NA	NA	NA	NA
	CE 3	Asequibilidad a largo plazo (si aplica)	8.55%	NA	NA	NA	NA
			25.00%	Subtotal	4.05	Subtotal	8.10

Tabla 100. Comparación de puntaje ponderado entre el proyecto pluvial convencional y el proyecto con SUDS en las categorías ambiental, social y económica.

Categoría	ID del Criterio	Criterio resumido	PONDERACIÓN RELATIVA SUSTENTABLE	PUNTAJE CONVENCIONAL	PROYECTO CONVENCIONAL PONDERADO	PUNTAJE PROYECTO SUDS	PROYECTO SUDS PONDERADO
Técnico-Hidráulico/Holístico	CH 1	Apoyar la gestión del riesgo de inundación en la cuenca receptora	2.88%	10.00	2.88	10.00	2.88
	CH 2	Considerar las características del área y del drenaje en el proyecto	2.80%	10.00	2.80	10.00	2.80
	CH 3	Considerar de manera integral las restricciones físicas	2.73%	7.75	2.11	10.00	2.73
	CH 4	Considerar características del suelo y subsuelo	2.73%	10.00	2.73	10.00	2.73
	CH 5	Garantizar una correcta captación y almacenamiento	2.88%	5.00	1.44	10.00	2.88
	CH 6	Buscar la flexibilidad, adaptabilidad, etc.	2.73%	7.00	1.91	10.00	2.73
	CH 7	Maximizar la multifuncionalidad de los sistemas	2.59%	0.00	0.00	10.00	2.59
	CH 8	Identificar el Impacto sobre el sistema de drenaje	2.88%	NA	NA	NA	NA
	CH 9	Definir y hacer un plan para atender requerimientos de operación y mantenimiento	2.80%	NA	NA	NA	NA
			25.00%	Subtotal	13.87	Subtotal	16.74
PUNTAJES TOTALES				CONVENCIONAL	54.27	SUDS	70.96

Tabla 101. Comparación de puntaje ponderado entre el proyecto pluvial convencional y el proyecto con SUDS en las categoría técnico-hidráulico/holístico.

Como se observa el Proyecto con SUDS superó al convencional con un puntaje en la escala de 1 al 100 de 59.45, en cambio el proyecto convencional logró 54.56 puntos.

En el siguiente apartado se hará una comparativa de costos paramétricos en forma de presupuesto pero solo para las estructuras de regulación evaluando varias propuestas con el fin de justificar el uso de los estanques o vasos de regulación en contra de otras dos alternativas, por lo que no se podría incluir en esta evaluación del puntaje ponderado ya que no es un análisis completo.

En el criterio CA 1 el proyecto con SUDS ganó porque trata y mejorara la calidad del agua que sale o se infiltra en el lugar mediante los sistemas vegetados y las capas de filtrado utilizadas. El proyecto convencional aun así recibió un buen puntaje porque el hecho de interceptar los primeros volúmenes de lluvia mediante la gran cantidad de pozos de infiltración que se le colocaron evita el vertido de las aguas con contaminantes directamente a los arroyos de la zona.

En el criterio CA 2 el proyecto convencional recibió mayor puntaje debido a que por el hecho de tener una gran cantidad de pozos de absorción cumple con el criterio de ver el agua como un recurso, este proyecto contuvo mayor cantidad de agua en el lugar aprovechando la buena permeabilidad del sitio.

En el criterio CA 3 el proyecto SUDS recibió mayor puntaje ya que crea un pequeño ecosistema mediante la utilización de los sistemas naturales, especialmente los sistemas de biorretención, ya que estos normalmente se diseñan con un jardín, se recomienda el uso de vegetación endémica que necesita poca agua, de esta manera creando espacios para que haya sistemas biológicos e insectos. Igualmente con el criterio CA 4.

En el criterio CA 5 el hecho de crear sistemas de conducción e infiltración de los escurrimientos mediante técnicas naturales mantiene un régimen hidrológico y una ecología del sitio más sana.

En el criterio CA-6 el proyecto SUDS ganó debido a que utilizó menor cantidad de material para lograr el objetivo establecido del impacto hidrológico cero, especialmente porque necesita de menor cantidad de bocas de tormenta y menos pozos de absorción, lo que reduce la huella de carbono necesaria para construir el proyecto.

En el criterio CS-1 el proyecto con SUDS ganó debido a que como se ha mencionado varias veces estos sistemas al estar en superficie y ser naturales son agradables para las personas ya que otorgan beneficios estéticos y de amenidad.

En el criterio CS-2 ganó el proyecto de SUDS debido a que el hecho de que los sistemas sean tan visibles por estar en superficie otorga la oportunidad de que las personas se interesen por saber y ver su funcionamiento, a la vez que de mantenerlos en buen estado. Esto se aprovecha en otros países poniendo letreros a los sistemas con fines didácticos.

En el CS-3 ganó el proyecto convencional debido al hecho de que tiene más capacidad de retener agua en el lugar por la gran cantidad de pozos de absorción que se le colocaron, lo que eleva la seguridad ante inundaciones en el mismo sitio y aguas abajo de la cuenca, al igual en CH 1.

Los 3 criterios económicos sugeridos se analizan mediante un ejercicio comparativo de 3 opciones de regulación en el apartado 5.10, por lo que ahí influye el resultado en esta evaluación, y se verá que la alternativa de SUDS es más barata y requiere menor uso de materiales intensivos en el uso de energía.

En CH-2 ganó el proyecto de SUDS, ya que la utilización de las matrices de selección mostradas en las Tablas 100 a 101 se analiza y consideran mayor cantidad de condicionantes para elaborar un proyecto más acorde con el contexto, igualmente en el criterio CH-3 y CH-4.

En el CH-5 se le dio mayor puntaje al proyecto convencional ya que este tiene un mayor número de bocas de tormenta y pozos de absorción lo que asegura mayor eficiencia en la captación y almacenamiento de las aguas pluviales.

En CH-6 se le dio un poco más de puntaje a el proyecto con SUDS debido a que los sistemas aplicados pueden ser ampliados o retirados más fácilmente en caso de ser necesario a un menor costo, ya que por el contrario los pozos de absorción se colmatan fácilmente y son difíciles de retirar.

En CH-7 la multifuncionalidad es inherente al uso de los sistemas SUDS, por lo tanto recibe mayor puntuación en este criterio. Su multifuncionalidad se basa principalmente en control de volúmenes, control de caudal pico, tratamiento de calidad del agua y beneficios de amenidad, entre otros.

Los criterios CH-8 y CH-9 quedaron fuera del alcance del estudio por lo que no aplica su influencia en el puntaje final.

Análisis de escenarios futuros previstos

En este análisis los puntos que vale la pena revisar por su impacto directo a la funcionalidad y efectividad de los sistemas son los siguientes:

1. Impactos del cambio climático al sistema y a la comunidad
2. Flexibilidad para cambiar, ampliar y operar los sistemas
3. Requerimientos económicos imprevistos de operación y mantenimiento
4. Final de vida útil y disposición final

Podría haber otros temas importantes a revisar en escenarios futuros pero no se consideran de tanta importancia, por lo que se eligieron los mencionados anteriormente. A continuación se muestra en la Tabla 102 la discusión de la afectación al proyecto convencional y al proyecto con SUDS de los puntos relevantes establecidos a futuro, por la complejidad e incertidumbre de los puntos analizados se harán suposiciones sobre lo que podría pasar en ambos proyectos bajo diferente escenarios extremos o de falla, por lo que este análisis se basa en una valoración subjetiva.

Elemento de análisis de escenarios futuros	Proyecto convencional	Proyecto con SUDS
1. Impacto del cambio climático al sistema y comunidad	El sitio por su ubicación aguas arriba no tiene riesgo de inundación, los riesgos probables pueden ser por escasez en el abastecimiento mediante extracción en pozos, por lo que tiene debilidad al no utilizar sistemas de captación y aprovechamiento de la lluvia	El sistema general implementado tiene capacidad extra para mitigar posibles impactos del cambio climático. Igualmente lo más recomendable sería aplicar sistemas de captación pluvial para adaptarse a posibles problemas de escasez en el abastecimiento
2. Flexibilidad de los sistemas a cambios futuros	En general no se considera un aspecto necesario en este caso, ya que el sistema tiene capacidad extra y disponibilidad de espacio para hacer cambios	Los sistemas pueden ampliar su capacidad mediante colocación de celdas de almacenamiento en la base o aumentado su área, sin representar esto costos importantes
3. Requerimientos económicos imprevistos	Por su ubicación dentro de la cuenca, no tiene riesgos de llegada de aguas con niveles extremos, ni desborde de cuerpos de agua cercanos, por lo que se considera nulo este requerimiento	En el caso de los sistemas SUDS, por ser poco conocidos en la región se considera que existen riesgos asociados a que mantengan el desempeño y funcionalidad en el largo plazo, por lo que medidas de monitoreo son necesarias
4. Final de vida útil y disposición final	Por ser un sistema que requirió de mayor cantidad de material, en caso de su disposición y retiro del lugar es más probable que genere un impacto ambiental por una incorrecta disposición final	El proyecto con SUDS requirió menor cantidad de material, por lo que se reduce el riesgo de una incorrecta disposición final

Tabla 102. Comparación de análisis de escenarios futuros para el proyecto convencional y con SUDS.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL EJERCICIO DE PONDERADO COMPARATIVO

Los puntos a favor del proyecto convencional vinieron principalmente debido al uso de los pozos de infiltración, aunque en algunos criterios le afectó, por ejemplo en el caso del criterio CA-6 sobre el uso eficiente de materiales. En todos los demás aspectos evaluados el proyecto mediante SUDS probó tener mayores beneficios analizándolo desde el punto de vista de la sustentabilidad. Como se mencionó anteriormente, la evaluación de los puntajes la realizó el autor mediante su propio juicio y por eso se explicó que lógica se tomó en cada criterio, basándose en el sentido común y en la investigación cuantitativa como cualitativa desarrollada a lo largo de este documento con enfoque especializado a los sistemas SUDS.

Esta es una herramienta que puede ser mejorada y replicada en mayor cantidad de proyectos, involucrando y adaptando criterios de mayor complejidad y adaptados a las condiciones y necesidades del contexto en cuanto al manejo del agua pluvial.

Por lo tanto se puede concluir que para este caso, con los parámetros analizados el proyecto SUDS es más sustentable que el el proyecto convencional y ofrece un mayor costo-beneficio. Estos sistemas vuelve a las zonas urbanas más resilientes y adaptables ante el cambio climático, por lo que debe promoverse su implementación y desarrollo de manera inmediata.

En todas las categorías de sustentabilidad el proyecto de SUDS obtuvo mejor puntaje, excepto en el caso de la categoría económica, donde se dejaron en cero todos los criterios porque no se tienen datos exactos de los costos del ciclo de vida ni de los riesgos financieros y tampoco sobre la asequibilidad al largo plazo, puntos que quedan fuera del alcance de este documento.

5.10 Comparativa de costos y materiales para estructuras de regulación

En este apartado se hará una comparación de costos y materiales entre tres distintas opciones que se pudieron haber implementado solamente para lograr el volumen de detención de los 3 estanques. La idea es dar un presupuesto a través de costos paramétricos que fue posible obtener por parte de proyectistas y con costos del catálogo de SIAPA. Para las 3 opciones se considerará que buscan contener un volumen máximo de 2000 m³ que es la suma de la capacidad total de los 3 estanques diseñados anteriormente.

Las 3 opciones son las siguientes:

- Opción 1: Tanques de concreto y mampostería
- Opción 2: Depósito mediante módulos matriciales de polipropileno Eco-Drain
- Opción 3: Estanques de detención (SUDS)

Para la opción 1 de tanques de concreto y mampostería solo se analizará el uso de concreto y acero, dejando de lado la mampostería y demás materiales necesarios, esto con el fin de simplificar la comparación y ya que estos dos conceptos tienen una alta huella de carbono en su ciclo de vida. En cambio el costo paramétrico por m³ que se obtuvo si incluye todo lo necesario para la ejecución total de los tanques, excepto el acarreo del material fuera de la obra.

En la opción 2 se considera también un costo paramétrico por m³ que fue provisto por proyectistas hidráulicos quienes tienen contacto con la empresa proveedora del sistema, este costo incluye todo lo necesario para la ejecución excepto el acarreo del material fuera de la obra. El volumen de plástico polipropileno se obtiene mediante una simple regla de 3, cada módulo tiene un 97% de vacíos por lo que ahí se contendrán los 2000 m³ y lo demás corresponde al volumen del plástico que es igual a 61.85 m³.

En la opción 3 se realizó un presupuesto que incluye la excavación por medios mecánicos y la colocación de pasto en los taludes.

Para las 3 opciones es necesario la misma cantidad del concepto de acarreo del volumen de excavación por lo que no sirve como base comparativa y no se tomó en cuenta como se mencionó.

OPCIÓN 1: TANQUES DE MAMPOSTERÍA

Se obtuvo una cantidad paramétrica del volumen que se logra regular por metro cúbico de concreto y por tonelada de acero de dos proyectos distintos donde se hicieron dos tanques con las mismas características pero con volumen diferente con el fin de encontrar cuanto volumen de regulación se logra por cada metro cúbico de concreto y cada tonelada de acero utilizado para posteriormente sacar un valor medio o promedio entre los dos.

En el proyecto 1 se usaron 10.13 m³ de concreto y 0.881 Toneladas de acero para lograr un tanque con capacidad de regular 259.42 m³ de escurrimientos pluviales, en la Tabla 104 se muestra la proporción de volumen logrado por m³ de concreto y tonelada de acero.

En el proyecto 2 se utilizaron 5.96 m³ de concreto y 0.572 toneladas de acero para lograr un tanque con capacidad de regular 118 m³ de escurrimientos pluviales, en la siguiente Tabla 104 se muestra la proporción de volumen logrado por m³ de concreto y tonelada de acero.

MATERIAL	Proyecto 1 (tanque de 259 m3)	Proyecto 2 (tanque de 118 m3)	Valor elegido
Concreto f'c= 250 (m3)	25.6 m3 de volumen de regulación por cada m3 de concreto	19.88 m3 de regulación por cada m3 de concreto	22 m3
Acero (Ton)	294.5 m3 de volumen de regulación por cada tonelada de acero	207.12 m3 de volumen de regulación por cada tonelada de acero	250 m3

Tabla 103. Obtención de valores paramétricos de volumen de regulación logrado por m3 de materiales utilizados.

Por lo tanto si se requieren lograr 2000 m3 de regulación mediante un sistema de tanques de tormenta se necesitarían **90.9 m3 de concreto y 8 Ton de acero** aproximadamente. Estos valores se pueden considerar conservadores ya que entre mayor sea la capacidad de los tanques se vuelve más compleja y pesada la estructura, lo que aumentaría la necesidad de trabes, columnas y/o castillos que cambiarían la proporción volumen/cantidad de material pero para esta comparativa se considera válido, ya que es solo para dar una idea de la cantidad de material y costos con el objetivo de justificar y promover el uso de SUDS que se sabe que necesitan mucho menor inversión y material.

El costo total de los tanques y el valor promedio elegido para sacar el costo para 2000 m3 se indica en la Tabla 104:

PROYECTO	Costo total	Costo por m3 de volumen regulado
Tanque 1 (259 m3)	\$ 147,144.85	\$ 567.20
Tanque 2 (118 m3)	\$ 83,912.11	\$ 708.27
PROMEDIO		\$ 637.74

Tabla 104. Obtención de costo paramétrico por m3 de regulación pluvial en la construcción de un tanque.

A partir de ese valor se puede multiplicar por los 2000 m3 de regulación que requiere el proyecto, lo que resulta en **\$1,275,480.00 pesos mexicanos.**

OPCIÓN 2: MÓDULOS ECO-DRAIN

Para este se obtuvo el costo paramétrico de \$3,500.00 pesos por metro cúbico de regulación, lo que resulta en **7 millones de pesos** exactos. Este valor es muy elevado por lo que se disminuirá considerando que en los resultados del modelo en el software xpdrainage nos indicó que el estanque 2 quedaba con un 21.97% de espacio disponible en su momento más crítico y el estanque 3 con un 44.94% disponible, el Estanque 1 se aprovecha casi a la totalidad por lo que se considerara el mismo volumen. Entonces para quedar del lado más conservador en este presupuesto se disminuirán los 2000 m3 según estas proporciones mencionadas, el volumen total queda de la manera siguiente en la Tabla 105.

Estanque	Volumen original (m3)	Porcentaje utilizado (%)	Volumen a implementar mediante módulos Eco-Drain (m3)
1	537	100	537
2	685	100 - 21.97 = 78.03	534.50
3	778	100 - 44.94 = 55.06	428.36
TOTAL			1499.86

Tabla 105. Disminución de volumen a utilizar mediante módulos Eco-Drain.

Entonces si multiplicamos los 1500 m3 obtenidos por \$ 3,500.00 pesos obtenemos **5.25 millones de pesos necesarios.**

En este caso el uso de material sería de 46.39 m3 de polipropileno, lo cual equivale a 41.75 toneladas (densidad 0.9 g/cm3) que aunque se dice en la página del producto que es material reciclado aun así se sabe que tiene mayor huella ecológica que el uso estanques o lagos de detención, ya que para reciclar se le da otro proceso y además necesita transportarse al lugar, en cambio cuando es reúso no hay mayor inversión de energía.

OPCIÓN 3: ESTANQUES DE DETENCIÓN (SUDS)

En la siguiente Tabla 106 se desglosa el costo de cada estanque considerando la excavación y la colocación de pasto en taludes, la excavación incluye la colocación del material a un costado de la cepa y el afine de piso y taludes:

ESTANQUE 1				
Material/concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe
Excavación con medios mecánicos en cualquier material y a cualquier profundidad	m3	778.00	\$ 68.00	\$ 52,904.00
Colocación de pasto en taludes	m2	293	\$ 43.33	\$ 12,695.69
SUBOTAL				\$ 65,599.69
ESTANQUE 2				
Material/concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe
Excavación con medios mecánicos en cualquier material y a cualquier profundidad	m3	778.00	\$ 68.00	\$ 52,904.00
Colocación de pasto en taludes	m2	293	\$ 43.33	\$ 12,695.69
SUBOTAL				\$ 65,599.69
ESTANQUE 3				
Material/concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe
Excavación con medios mecánicos en cualquier material y a cualquier profundidad	m3	778.00	\$ 68.00	\$ 52,904.00
Colocación de pasto en taludes	m2	293	\$ 43.33	\$ 12,695.69
SUBOTAL				\$ 65,599.69
TOTAL 3 ESTANQUES				\$ 171,400.61

Tabla 106. Presupuesto paramétrico de los 3 estanques de detención e infiltración.

COMPARATIVA DE LOS 3 OPCIONES CONSIDERADAS

En la Tabla 107 se muestran juntas las 3 opciones analizadas para ver las diferencias en costos y uso de material:

OPCIÓN O ALTERNATIVA DE REGULACIÓN PLUVIAL	PRESUPUESTO TOTAL (pesos mexicanos)	NÚMERO DE VECES MÁS CARO QUE OPCIÓN 3	USO DE MATERIAL
1 (Tanques de concreto y mampostería)	\$ 1,275,480.00	7.44 veces	90.9 m ³ de concreto y 8 Ton de acero
2 (Tanques mediante módulos eco-drain)	\$ 5,250,000.00	30.62 veces	46.39 m ³ de polipropileno = 41.75 toneladas
3 (Estanques SUDS)	\$ 171,400.61	N/A	N/A

Tabla 107. Comparativa de presupuestos y uso de material para 3 opciones de regulación pluvial.

RESULTADOS DE ANALISIS ECONÓMICO COMPARATIVO

Es evidente la diferencia en costos y uso de materiales como se vio en la tabla anterior, como se mencionó en las secciones anteriores donde se detalló cada opción, esto es un aproximado y son valores paramétricos, pero se considera que se acercan bastante a lo que se necesitaría en realidad por lo que esto justifica más el uso de SUDS contra los sistemas convencionales o los que se vienen usando actualmente. No se incluyó en el análisis a los pozos de absorción ya que su capacidad de regular grandes volúmenes es reducida y se necesitaría una gran cantidad de estos para que funcione, además de que no son muy económicos tampoco, para dar una idea, el proyecto original contemplaba el uso de pozos de absorción de 17 metros de profundidad en algunas partes y en el estudio de suelos se mencionó que su capacidad de regulación e infiltración combinada resultaba en 31.95 m³ en los 15 minutos de lluvia, esto debido a la alta permeabilidad del suelo, entonces se necesitarían 62 unidades de pozos de absorción de esa profundidad y diámetro de perforación de 1.40 metros para cumplir con los 2000 m³ de regulación, lo cual no es viable de ningún modo.

Es necesario también que se haga un análisis de los conceptos y costos de operación y mantenimiento de cada uno de los sistemas, pero se queda fuera del alcance de esta investigación, se incluyó el análisis de los costos directos de inversión para que sirva como una herramienta para facilitar el convencimiento y persuasión de los encargados de tomar decisiones.

6. Conclusiones

A partir de lo que se realizó en esta investigación en primera instancia se desarrolló la problemática del manejo del agua de lluvias en zonas urbanas de manera general, para continuar explicando como sucede en un contexto específico, el cual fue la subcuenca del Guayabo en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga. La causa principal como se ha mencionado es la urbanización o el desarrollo urbano, entendido que este proceso provoca la alteración del estado natural del medio y por ende del ciclo hidrológico en cualquier lugar que esto suceda, lo cual si continua y se expande en gran medida sin una planificación y diseño de infraestructura adecuada genera una serie de efectos o problemas en diferentes dimensiones de la sustentabilidad, es decir, tiene impactos ambientales, sociales y económicos.

Todo este proceso es bien entendido por parte de los responsables y organismos operadores del agua, más sin embargo es una problemática que continua presentados cada temporada de lluvias en la zona de contexto, y precisamente este año 2016, casi al finalizar la temporada de lluvias, el 30 y 1 de octubre se presentó una de las peores inundaciones del año y de la ZMG aguas abajo de la subcuenca de estudio, la cual aporta la mayor parte del escurrimiento que ocasionó esta inundación donde resultaron afectadas más de 200 casas en 20 fraccionamientos. Se dice en la nota del Informador que según datos del Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara la altura de precipitación que se acumuló en estos dos días fue de 72 mm de lluvia, lo cual mencionan supera la cantidad de lluvias histórica caída durante el mes de octubre en Tlajomulco.

Las acciones que buscan para solucionar la problemática son terminar dos colectores, el del Zapote que necesita 350 millones de pesos en inversión y mencionan otro adicional que requiere una inversión de 150 millones y el municipio urge a la CNA para que se involucre en terminar estos proyectos, luego se menciona también en la nota que la solución de fondo es construir más represas y que se planea comprar un terreno de 9 hectáreas para construir una represa donde se pueda tratar el agua y usarla. Están siendo entonces reactivos a la problemática en vez de preventivos y no mencionan otras soluciones alternativas y complementarias que también pueden ser de gran utilidad para mitigar la problemática de manera integral, como es el uso de SUDS.

Ambas maneras de ver la solución no son mutuamente excluyentes y deben complementarse, así lo afirman los expertos en el desarrollo de SUDS, lo interesante e importante de estos es que proveen de servicios multifuncionales que los sistemas e infraestructura convencional no puede o no se establece como objetivo. Los beneficios son muchos y varían dependiendo del proyecto pero como se ha visto principalmente estos beneficios giran alrededor de su mayor costo-beneficio para la sociedad, ya que ofrecen la posibilidad de mejorar la calidad del agua y de los hábitats y ecosistemas, generan espacios más agradables que por ende traen calidad de vida a las personas, disminuyen el riesgo de inundación y la carga sobre las redes existentes, entre otros beneficios más complejos como proveer de insolación a edificios en el caso de techos verdes y arbolado y reducir costos de energía para abastecer del agua en el caso de que esta sea cosechada en las azoteas.

El núcleo de esta investigación giró sobre identificar los criterios que hace falta incluir a los proyectos pluviales que se vienen realizando actualmente basado en lo que sugieren las mejores prácticas internacionales. Aunque ya se controla y regulan los escurrimientos cerca de la fuente mediante el manejo del concepto del Impacto Hidrológico Cero lo cual es de gran ayuda, hay otros criterios y oportunidades de mejora que se pueden integrar en estos proyectos para que den el mayor beneficio posible a la sociedad. Para indagar en este punto se realizaron las entrevistas y encuestas a personas involucradas en el tema del manejo de las aguas pluviales y se infirieron puntos bastante interesantes en sus respuestas, los cuales pueden ser de utilidad para observar las percepciones y opiniones y como estas influyen la toma de decisiones en sustituto muchas veces del sentido común y los datos e información científica y técnica.

Otros de los núcleos o ejes en los que se basó esta investigación fue en poder realizar y estudiar una propuesta basada en las mejores prácticas y técnicas internacionales, que se llaman de distintas maneras pero en este trabajo se utilizó más el nombre de SUDS. Se eligió un desarrollo en la parte alta de la subcuenca del Guayabo de 16 hectáreas, de alta densidad con el objetivo de identificar las oportunidades de implementación de los sistemas mencionados y desarrollar un proyecto a nivel esquemático con una base técnica en el desarrollo del estudio hidrológico y el funcionamiento hidráulico. El principal objetivo era lograr el Impacto Hidrológico Cero mediante el uso de estos sistemas, que es el requerimiento que se solicita por obligación a todos los nuevos desarrollos, con la intención de poder argumentar que se puede lograr con los sistemas SUDS, que desde un principio se tenía la seguridad que era viable, pero era necesario comprobarlo y modelarlo de alguna manera, por lo que se encontró un software especializado en el diseño de estos elementos, el cual fue la base para poder modelar y generar un proyecto funcional.

El resultado fue que si se logró el Impacto Hidrológico Cero de manera sobrada con la propuesta que se implementó, que era la intención de ambos proyectos, el original y el proyecto con SUDS, ya que se tenían inundaciones en la entrada de López Mateos. En cuanto al objetivo de detención del volumen los 3 estanques realizaron la tarea por sus grandes dimensiones, en el diseño de estos es necesario considerar elementos de seguridad como barreras perimetrales, ya que los taludes son muy inclinados debido a la necesidad de contener mucho volumen en poco espacio y se sale de las normas sugeridas en la literatura de SUDS, pero fue lo que se hizo en el proyecto original también como se observó en el capítulo 5.2.

En cuanto a los demás sistemas mostraron un buen desempeño, los sistemas de biorretención funcionaron lograron reducir volúmenes de escurrimiento de sus respectivas cuencas de entre el 8 y 10%, lo cual es significativo debido a que estos sistemas no son diseñados para reducir grandes volúmenes o gastos pico. Los sistemas que mostraron el mejor desempeño fueron las cunetas verdes que además de cumplir su función principal de conducir los escurrimientos, gracias a la zanja inferior que se les colocó y a la buena permeabilidad del sitio redujeron e infiltraron volúmenes entre el 10 y el 33% del volumen de sus respectivas subcuencas de aportación.

La zanja de infiltración y los pozos de absorción también realizaron una gran función en infiltrar y reducir los volúmenes que llegaron a los estanques y los que escurrieron por el Punto de Salida 2.

Un tema que es importante analizar y que quedó fuera de los alcances de este proyecto de la investigación es, como habría cambiado el funcionamiento de los sistemas si el suelo hubiera sido de baja o muy baja permeabilidad, lo cual habría necesitado de ajustes en las dimensiones y estructuras de salida. Cuando se dan casos se debe optar por diseñar con detalle las salidas con tuberías perforadas en la base de los sistemas para vaciarlos en tiempos menores a 24 horas, según lo que se solicita en la región para garantizar espacio para la siguiente lluvia, para lo cual hay estándares que se pueden seguir para diseñarlos de manera óptima.

La otra parte del análisis, fue el económico, en la parte final, el cual dejó claro que la implementación de sistema de detención tipo lago o vaso de detención superficial es muy económico, entre 3 y 30 veces más en costo directo, lo que puede alentar la ampliación de su uso más generalizado, y además se ha comprobado en la literatura internacional que su uso es muy aceptado por las personas que conviven cerca de estos.

Otra parte ventajosa pero a la vez se puede volver compleja porque requiere de planeación temprana, en el uso de SUDS es que su uso puede reducir el uso de bocas de tormenta e incluso diámetros de tubería, este análisis económico quedó fuera también de los alcances pero en comparación con el proyecto original en este se utilizaron 5 bocas de tormenta menos, lo cual significa importantes ahorros económicos y beneficios ecológicos por la disminución del uso de materiales necesarios. Se menciona que es complejo y requiere de planeación temprana en el proyecto porque para lograr que sean más efectivos los cortes o eliminación de machuelos en las banquetas que permiten la entrada a los sistemas es necesario manipular las rasantes

y bombeos de las vialidades para garantizar la entrada suficiente de los caudales. Como se mencionó en el inicio del apartado de diseños de las propuestas, en los de supuestos de diseño, se puede mejorar y asegurar la capacidad de entrada mediante la colocación de topes antes de estos para contener un poco los escurrimientos pluviales, en caso de que las pendientes y bombeos de las vialidades no ayuden.

Mediante esta investigación es posible concluir que los sistemas SUDS si pueden ser implementados en la región para obtener los mismos beneficios que se alcanzan en la actualidad con las prácticas más convencionales y a la vez obtener beneficios añadidos de mayor costo-beneficio para la sociedad.

7. Fuentes consultadas:

- Abellán A. (2013). Trabajo fin de Master: Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible: Aplicación Práctica a un tramo de la Diagonal de Barcelona. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- American Institute of Architects. Recuperado el 13 de Mayo de 2015 de: <http://www.aiaopten.org/node/276>
- Ashley R M., Lundy L., Ward S., Shaffer P., Walker L., Morgan C., Saul A., Wong T., Moore S. (2013). Water-sensitive urban design: opportunities for the UK. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Municipal Engineer 166 June Issue ME2. Pages 65–76 <http://dx.doi.org/10.1680/muen.12.00046>. Paper 1200046
- Australian Water Association (2011) .*La dinámica industria del agua en Australia*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2014 de: www.austrade.gov.au/.../1358/Water-Innovation-Booklet-es.pdf.aspx
- Bannerman, R.T.; Baun, K.; Bohm, M.; Hughes, P.E. & Graczyk, D.A. (1984): "Evaluation of Urban Non-point Source Pollution Management in Milwaukee County, Wisconsin, Report N° PB84-114164". U.S. EPA, Chicago, Illinois.
- Brown R R., Keath N., Wong T. (2009). Urban Water Management in Cities: Historical, Current and Future Regimes. Wat. Sci. Tech. 59(5) 847-855
- Campos D. (2010). Introducción a la Hidrología Urbana. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosi, S.L.P, México. p.4
- CEA, Comisión Estatal del Agua de Jalisco (2015). *IMPACTO HIDROLÓGICO CERO Y SU APLICACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO ATEMAJAC EN JALISCO, MÉXICO*. Consejo Académico del Agua e IHS, Infraestructura Hidráulica y Servicios S.A. de C.V. Recuperado el 29 de Marzo de: http://www.ceajalisco.gob.mx/caa/docs/2015/06_impacto_hidrologico.pdf
- CEA, Comisión Estatal del Agua y Saneamiento de Jalisco (2007). Manual Técnico del Sistema Hidráulico de Alcantarillado Sanitario y Pluvial.
- Chebbo, G.; Deutsch, J. C. & Tassin, B. (1997). Hydrologie urbaine. Notas de clase. París, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Consultado el 13 de junio de 2016. URL disponible: <<http://www.enpc.fr/cergrene/homepages/tassin/hydrurb99/main/main.html>>
- Chocat, B. (1992). Le pollution due aux rejets urbains de temps de pluie. Institut National des Sciences Appliquées (INSA). Lyon, Francia.
- CIRIA C609. (2004). "sustainable drainage systems. Hydraulic, structural and water quality advice". Construction Industry Research and Information Association (CIRIA). ISBN: 0-86017-609-6. ISBN-13: 978-0-86017-609-1, pages. 320.
- CIRIA, (2007). *The SUDS Manual*, Construction Industry Research and Information Association. Londres, Reino Unido. CIRIA C697.
- CIRIA (2013) Creating water sensitive places – scoping the potential for water sensitive design in the UK. C724.

- CIRIA, (2013). Demonstrating the multiple benefits of SUDS – A business case (Phase 2). Draft Literature Review. CIRIA Research Project RP993.
- C.F. Fratini, G.D. Geldof, J. Kluck & P.S. Mikkelsen (2012) Three Points Approach (3PA) for urban flood risk management: A tool to support climate change adaptation through transdisciplinarity and multifunctionality, *Urban Water Journal*, 9:5, 317-331, DOI:10.1080/1573062X.2012.668913
- Conagua.(2009). Conagua. Recuperado el 15 de Octubre de 2015 de : <http://www.conagua.com.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-28SemblanzaHist%C3%B3ricaM%C3%A9xico>
- Conagua (2009) Semblanza histórica del agua en México. Recuperado en noviembre de 2014. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-28SemblanzaHist%C3%B3ricaM%C3%A9xico.pdf>
- Darcy, V. (2008). Escuelas de pensamiento ecológico dentro de las ciencias sociales. Centro de Investigación en Alimentación y desarrollo A.C.
- Deeproot (2013). Canal de youtube. Video: Webinar: Using trees and soils in urban stormwater management. Recuperado el 30 de octubre del 2016 de: <https://www.youtube.com/watch?v=-OMnKnCYVAg&t=3024s>
- Department of Environmental Conservation (2010). New York State Stormwater Management Manual. Center for Watershed Protection. Recuperado en Octubre de 2014 de http://www.dec.ny.gov/docs/water_pdf/swdm2010entire.pdf
- Department, C. o. (2010). New York State Stormwater Management Design Manual.
- Drenaje Urbano Sostenible (Blog). Recuperado el 11 de Noviembre de 2014 de <http://drenajeurbanosostenible.org/>
- Ellis, J.B. (1991). Measures for the control and Treatment of urban runoff Quality. Informe No. DT/PL/FV/JB, s. I., Agence de l'Eau Seine-Normandie.
- EPA, United States Environmental Protection Agency (2014). *What is Green Infrastructure?*, Recuperado el 19 de noviembre de 2014 de http://water.epa.gov/infrastructure/greeninfrastructure/gi_what.cfm
- EPA, , United States Environmental Protection Agency. Best Management Practices (BMP) for Stormwater. <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/stormwater/bmp.html>
- EVERARD, M and STREET, P (2002) 2020 Vision Series No 7: Putting sustainable drainage systems (SuDS) into practice The Natural Step, Cheltenham
- Ferguson B., Frantzeskaki N., Skinner R. & Brown R. (2012). Melbourne's transition to a Water Sensitive City – Recommendations for Strategic Action. Monash University. pp. 51.
- Feilden Clegg Bradley Studios. One Brighton Residential Building. Recuperado del 14 de mayo de 2015 de: <http://fcbstudios.com/work/view/one-brighton>

- Fratini, C.F., Geldof, G.D., Kluck, J. & Mikkelsen, P.S., (2012). Three Points Approach (3PA) for urban flood risk management: a tool to support climate change adaptation through transdisciplinarity and multifunctionality. *Urban Water*, Vol. 9, No. 5. October 317-331
- Gibberd, J. (n.d). Measuring capability for sustainability: the Built Environment Sustainability Tool (BEST). *Building Research and Information*, 43(1), 49-61.
- Gleason, J. (2005). Manual de aprovechamiento de aguas pluviales en centros urbanos. Guadalajara, Jalisco, México, Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño. Consejo Editorial 2004-2007.
- Gleason, J. (2011). Hacia una gestión sustentable del agua en la zona conurbada de Guadalajara. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Julio-Agosto, 113-126.
- Gleason, J. (2014), "Diseño Urbano Sensible al Agua". *Sistemas de agua sustentables en las ciudades*. Guadalajara, Jalisco, México. Editorial Trillas S.A de C.V.
- Global Water Partnership Peru (2011). Cartilla Técnica: Ciclo Hidrológico. Sociedad Geográfica de Lima. Lima, Perú. Recuperado el 12 de Febrero 2015: http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Ciclo_Hidrologico.pdf
- Gobierno de Tlajomulco (2009) "Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio". Recuperado el 2 de Octubre de 2014 de <http://www.tlajomulco.gob.mx/programa-de-ordenamiento>.
- Gobierno de Tlajomulco de Zúñiga, (2010). *PROGRAMA MUNICIPAL DE DESARROLLO URBANO 2010*. Recuperado el 13 de Octubre de 2014 de: http://www.tlajomulco.gob.mx/sites/default/files/transparencia/planes/PMDU_TLAJOMULCO_2010_documento.pdf
- Gobierno Municipal de Tlajomulco (2009). Reglamento del POET de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. Archivo de la página de gobierno. Recuperado el 3 de Octubre de 2014 de: <http://www.tlajomulco.gob.mx/sites/default/files/documentos/transp/13flenreglamentosvigentesreglamentodeordenamientoecologicoterritorialyurbano.pdf>
- Gobierno del Estado de Jalisco (2014). Ley de Aguas del Estado de Jalisco. Recuperado el 26 de Marzo de 2015 de: <http://transparencia.info.jalisco.gob.mx/sites/default/files/Ley%20del%20Aqua%20para%20el%20Estado%20y%20sus%20Municipios.doc>
- Gobierno de la República (2013). *Plan Nacional de Desarrollo*. México. Diario Oficial de la Federación.
- Gutiérrez M., Edenwinter D., Saldaña L., Ochoa H., López M., Flores R., Laura Velázquez, Alarcón A., Clausen J., Álvarez F., Peniche S., Garaiz E., Narro J. Agua para la Vida en Jalisco: Propuesta de Alianza Ciudadana 2013 – 2108.
- Hernández, S. (2002). *Aprovechamiento de aguas pluviales* (Primera ed.). Guadalajara, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara.
- International Rainwater Catchment Systems Association, IRCSA. (1989). Recuperado el 15 de Octubre de 2014 de: <http://www.eng.warwick.ac.uk/ircsa/>
- International BMP Stormwater Database. "Base de datos de las mejores prácticas de gestión de aguas pluviales". Recuperado el 2 de Noviembre de 2014 de <http://www.bmpdatabase.org/history.html>

- ITESO y Flores C. (2015). *La sustentabilidad Hidrológica es posible*. Recuperado el 10 de Mayo de 2015. http://www.iteso.mx/web/general/detalle?group_id=2002672
- Jiménez Gallardo, B. R. (1999). Contaminación por Escorrentía Urbana. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos; Colección SEINOR No. 22; ISBN: 84-380-0157-2.
- Kravčík, M.; J. Pokorný, J. Kohutiar, M. Kováč., Tóth (2007): “*Water for the Recovery of the Climate – A New Water Paradigm*”. Municipalia. <http://www.waterparadigm.org/>
- Kwok A. & Grondzik W. (2011). “Case Studies: Marin Country Day School”. Green Studio Handbook, Environmental Strategies for Schematic Design.
- La Jornada Jalisco Periódico (2014). Nota de Sitio Web: *Presas de Tlajomulco se encuentran en 50% de su capacidad*. Recuperado el 16 de Junio de 2015 de: <http://lajornadajalisco.com.mx/2014/08/presas-de-tlajomulco-se-encuentran-en-un-50-de-su-capacidad-de-captacion/>
- LEED (2009). *For Neighborhood Development Rating System*. Congress for the New Urbanism, Natural Resources Defense Council, and the U.S. Green Building Council. Recuperado el 27 de Octubre de 2014 de: <http://www.usgbc.org/resources/leed-neighborhood-development-v2009-current-version>
- Levy, V. y LaraM.B. (1991). Speciation de métaux dans les eaux de ruissellement recueillies au cours de six orages en zone urbaine á Gradignan, Informe LCA-Lyonnaise des Eaux-Dumez, s. 1., Univerité de Pau et des Pays de l' Adour.
- Middlesex University. (2003): “Report 5.1. Review of the Use of Stormwater BMPs in Europe”. DayWater. WP / Task / Deliverable N°: WP5 /T5.1 / D5.1. Dissemination Level: PU.
- Nations, U. (1992). Sustainable Development Knowledge Platform. (U. Nations, Editor) Retrieved from <http://sustainabledevelopment.un.org/index.html>
- New York State Department of Environmental Conservation (2010) .*New York State Stormwater Management Design Manual*. Recuperado el 12 de Mayo de 2015 de: http://www.dec.ny.gov/docs/water_pdf/swdm2010entire.pdf
- Novotny, V., Ahern, J., & Brown, P. (2010). Water centric sustainable communities. [recurso electrónico] : planning, retrofitting, and building the next urban environment. Hoboken, N.J. : Wiley, c2010.
- ONU-Agua. (2000). UNESCO. (U. Division of Water Sciences, Ed.) Retrieved from UNESCO: www.unesco.org/water/wwap
- Perlo, M. (2013). Jornadas del Agua UNAM. Recuperado el 3 de Noviembre de 2014 de http://www.aqua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08_conflictos/perlo_manuel.pdf
- Press. Philippe, J:P: & Ranchet, J. (1987). Pollution des eaux de ruissellement pluvial en zone urbaine, informe de investigación LCPC No. 142, París, Francia.
- Revitt, D.M.; Ellis, J.B. Y Scholes, L. (Middlesex University) (2005): “The Fate of Stormwater Priority Pollutants in BMPs”. DayWater. WP 5 / Task 5.3 / Deliverable N° 5.3. Dissemination Level: PU.
- REVITT, D.M.; ELLIS J.B. y SCHOLES L. (MIDDLESEX UNIVERSITY) (2005): “Determination of Numerical Values for the Assessment of BMPs”. DayWater. WP 5 / Task 5.4 / Deliverable N° 5.4. Dissemination Level: (PU).

- Rueda F. & Centeno J.C., (2014). *Impacto hidrológico cero y su aplicación en la cuenca del río Atemajac en Jalisco*. México. XXIII CONGRESO NACIONAL DE HIDRÁULICA PUERTO VALLARTA, JALISCO, MÉXICO, OCTUBRE 2014. Recuperado el 3 de Marzo de 2015 de: http://amh.org.mx/documentos/congreso/Memorias%20del%20XXIII%20Congreso%20Nacional%20de%20Hidraulica/Tema%202020Control%20de%20Inundaciones/t2_art_rf2.pdf
- Russo B. & Gómez, M. (2011). *Diseño de sistemas de sumidero en medio urbano*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- SAGARPA (2009), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: recuperado el 08 de Septiembre de 2015 de: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/10%20Presas%20de%20gaviones.pdf>
- SÁNCHEZ PACHON, C. (2009): "Gestión sostenible del agua en el desarrollo urbano." Edita: Cámara Argentina de la Construcción. Área Pensamiento Estratégico. Buenos Aires, Argentina.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, Y COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Programa Nacional Hídrico. México: Diario Oficial de la Federación, 2014.
- Shaheen, D.G. (1975): "Contributions of Urban Roadway Usage to Water Pollution. 600/2-75-004." U.S. Environmental Protection Agency. Washington, D.C.
- Sharma A. K., Cook S., Tjandraatmadja G. & Gregory A. (2012). Impediments and constraints in the uptake of water sensitive urban design measures in greenfield and infill developments. CSIRO Land and Water.37 Graham Road Highett, Victoria, Australia.
- SIAPA, (2008) Sistema Intermunicipal para los servicios de agua potable y alcantarillado y empresa consultora Infraestructura Hidráulica y Servicios S.A. de C.V. (IHS). *Ficha Técnica Informativa sobre el programa de manejo integral de aguas pluviales en la Zona Metropolitana de Guadalajara*, PROMIAP. Guadalajara, Jalisco, México. Recuperado el 12 de Febrero de 2015 de: http://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/doctrans/ficha_tecnica_promyap.pdf
- Southampton City Council (sf). *Guide to Sustainable Drainage Systems. Practical Guidance for developers on achieving sustainable drainage*. Southampton, Gran Bretaña. Recuperado el 23 de febrero de 2015 de <http://www.southampton.gov.uk/policies/Guide%20to%20Sustainable%20Development.pdf>
- Stahre, P. & Urbonas B., *Stormwater Detention for Drainage, Water Quality and CSO Management*, New Jersey, Prentice-Hall, 1990.
- Thévenot, D.R. (1992). *Pollution des eaux pluviales urbaines*, Paris, ENPC, 1992.
- Torres A. E. (2004). *Apuntes de clase sobre hidrología urbana*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. p-187
- Tortajada, C., Guerrero V. & Sandoval R. (2004). *Hacia una gestión integral del agua en México: retos y alternativas*. Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua, A.C. Álvaro Obregón, México, D.F.

- Tucci, C. (2007). Gestión de Inundaciones Urbanas. Porto Alegre, Brasil: Organización Meteorológica Mundial, 2006. Recuperado el 12 de agosto de 2015 de: http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Gesti%C3%B3n%20de%20Inundaciones/Gestion-de-Inundaciones-Urbanas-esp.pdf
- UAEM, Universidad Autónoma del Estado de México (2013). Ordenamiento Urbano y Territorial visto desde el manejo de cuencas a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en la Cuenca El Ahogado, Jalisco. Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva. http://ergosum.uaemex.mx/pdfs/pdf_vol_21_1/9_juan_luis_21-1.pdf
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1983). "Results of the Nationwide Urban Runoff Program (NURP), Vol. 1, NTIS PB 84-185552)." Water Planning Division, Washington, DC.
- United Nations (1992). *Sustainable Development Knowledge Platform*. (U. Nations, Editor). Recuperado el 15 de Noviembre de 2014 de <http://sustainabledevelopment.un.org/index.html>
- United Nations Environment Programme, UNEP, (2012). APPLICATION OF THE SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF TECHNOLOGIES METHODOLOGY: GUIDANCE MANUAL. Recuperado de: http://www.unep.org/ietc/Portals/136/Publications/Waste%20Management/IETC_SAT%20Manual_Full%20Doc_for%20web_Nov.2012.pdf
- World Commission on Environment and Development (WCED, Brundtland Commission), (1987). *Our Common Future*. Oxford, Oxford University

8. Anexos

Formato de entrevistas:

Introducción

¿En qué áreas profesionales del manejo del agua tiene más experiencia. (Proyectos, construcción, administración, académico, ponente) y en qué temas (Hidráulica, hidrología, química del agua.)

¿Qué puestos laborales ha tenido en el pasado?

¿Cuáles son sus actividades laborales actualmente?

ZMG y su problemática

¿A qué atribuye el aumento de la cantidad de inundaciones en la ZMG?

PROMIAP

¿Conoce qué avance lleva el PROMIAP en todas las obras propuestas?

¿Qué ha detenido el avance de las acciones del PROMIAP?

¿Qué propuestas considera innovadoras en este plan y porque?

Se menciona en el PROMIAP que se propone la creación de un Distrito Metropolitano de Drenaje Urbano y Control de Inundaciones como oficina o dependencia a nivel del SIAPA pero independiente de este. ¿Ya existe? ¿Qué beneficios trae esto?

También se propone en el PROMIAP la elaboración de un manual técnico que sirva de reglamento para todas las acciones relacionados con el drenaje pluvial urbano. ¿Qué calidad tiene o debería tener este documento? ¿Qué considera que son los puntos que más le hacen falta a lo que ya existe al respecto?

Tlajomulco y el Ahogado

¿De qué problemática tiene conocimiento en cuanto al manejo de aguas pluviales en la Cuenca del Ahogado? ¿Qué avances hay en esta cuenca?

¿Cómo considera el trabajo de la administración de Tlajomulco para atender la problemática y como lo compararía con la ZMG?

Gobernanza y planeación

¿El ejercicio de la consulta pública y la participación ciudadana son elementos clave en el desarrollo de los proyectos o se puede prescindir de estos?

¿Qué obstáculos son los más difíciles de superar y que propondría para acelerar este proceso?

¿Qué papel juega la sociedad, las universidades y el gobierno en el mejoramiento del manejo de las aguas pluviales?

¿Cree que es necesaria una visión conjunta de todos los involucrados para lograr el objetivo de un manejo integral del agua?

¿Cómo se incluye a las comunidades en los procesos de planeación y porque es importante? ¿Tiene alguna anécdota de casos exitosos en la región y en el extranjero?

¿Qué avances ha notado en la inclusión del manejo de las aguas pluviales en la planeación urbana?

SIAPA y SIAT

¿Qué labores se realizan anualmente antes de la temporada de lluvias para conducción, contención y aprovechamiento del agua pluvial? ¿Cómo considera el alcance de estas acciones?

¿Qué acciones se toman para respetar los cauces naturales y arroyos pluviales, tanto como por constructores y por habitantes? ¿Hay iniciativas para recuperar zonas federales?

¿Qué obras sugiere para mejorar la infiltración artificial de las aguas pluviales a los acuíferos sobreexplotados?

Con la introducción el año pasado del Artículo 86-Bis en la Ley Estatal de Aguas, que exige dispositivos de control de escurrimientos a construcciones que generen áreas impermeables, sin duda esto es un gran avance en combatir la problemática de las inundaciones, pero ¿qué cree que le haga falta a esta Ley para instrumentarse en términos de monitoreo de los dispositivos para su mantenimiento, su impacto ambiental o alguna otra cosa que considere?

Los constructores pueden optar por esconder la infraestructura que se les solicita para regular las aguas pluviales a los supervisores del SIAPA o SIAT, etc. para ahorrar gastos. ¿Cómo sugeriría solucionar este problema?

¿Existen mecanismos para obligar a los constructores a que le den mantenimiento a sus dispositivos de regulación?

¿Cree que sería posible que se exigiera o se le diera mayor preferencia a los dispositivos de regulación superficiales para que estos sean visibles y sea más fácil y evidente para los supervisores su mantenimiento?

¿Qué opina de la regulación en viviendas, utilizando el control en origen?

SUDS, BMPs y el Impacto Hidrológico Cero

¿Qué soluciones provee el concepto del Impacto Hidrológico Cero para las zonas ya urbanizadas, solo es aplicable en la fase de proyecto?

¿Cuáles son los avances en este concepto y en su aplicación para México y la ZMG?

¿Cómo se relaciona este concepto con otros como El Low Impact Development, la Infraestructura Verde, los SUDS, los BMPs y el Desarrollo Urbano Sensible al Agua? ¿El IHO nace de estos?

¿Qué alcance tienen las estrategias de SUDS en resolver el problema de inundaciones? (Zanjas de infiltración, sistemas de biorretención, pavimentos permeables, control en origen del agua pluvial, techos verdes, jardines de lluvia, etc.?)

¿Tiene conocimiento si se incluyen en el PROMIAP estrategias de BMPs o SUDS?

¿Considera estas estrategias complementarias al sistema tradicional o pueden llegar a sustituirlo si son bien diseñadas?

¿Cree que estas estrategias ya pueden ser implementadas aquí o se requiere tener pruebas piloto para evaluar su funcionamiento?

¿Qué lugares/países considera ejemplos a seguir?

¿Estos tipos de estrategias y proyectos deben ser dirigidos por organismos públicos o deben ser promovidos por los constructores también?

¿Es posible la retención en camellones, mediante el diseño de las vialidades con su bombeo hacia el camellón? Si la respuesta es sí, conoce algún ejemplo

¿Dentro de esta temática, qué cree que los manuales de drenaje y alcantarillado deban incluir los conceptos de sustentabilidad y estrategias como los SUDS para los nuevos ingenieros?

Proyectos Alternativos

¿Existen proyectos para la recarga artificial de acuíferos por inyección, si los hay, que calidad tienen y que gasto pueden infiltrar?

¿Cuál cree que sea el paso más importante para intervenir de manera más efectiva la problemática para lograr un manejo integral del agua pluvial?

¿Hace falta más preparación técnica en algún tema en los encargados de la problemática o es más un asunto de voluntades para invertir?

Sustentabilidad

¿Para usted que es o significa la sustentabilidad o desarrollo sustentable? ¿Cree que las políticas y mejoras técnicas difundidos en la zona son suficientes para avanzar a esa meta?

¿Qué le preocupa más de la situación actual en la gestión del agua, ya sea en el área técnica, gobernanza, conciencia de sociedad, el crecimiento de la mancha urbana, la escasez, etc.)?

¿Qué problemática de las siguientes requiere atención más inmediata y en qué orden los sugeriría?

- Tener un mantenimiento efectivo de azolves en canales, cauces y presas
- Inyectar agua pluvial a los acuíferos
- Construir muchos más colectores
- Construir más vasos de retención/detención dentro de la ciudad
- Implementar estrategias de control en el origen del agua pluvial
- La recuperación de cauces entubados o urbanizados para ampliarlos
- Construir sistemas separados de drenaje
- Que los nuevos fraccionamientos regulen sus escurrimientos
- ¿A qué conjunto de estas opciones le da prioridad y cuáles agregaría?

En el tema de contaminación del agua

- Que todos los desarrollos tengan su propia planta de tratamiento de aguas residuales
- Implementar sistemas biológicos de tratamiento como humedales o biofiltración dentro de la ciudad para aguas residuales así como pluviales urbanas.
- Sanear cauces urbanos
- Construir sistemas separativos de drenaje
- ¿A qué conjunto de estas opciones le da prioridad y cuáles agregaría?

¿Con la construcción de las dos plantas de tratamiento de Agua Prieta y el Ahogado y la conexión de sus los colectores faltantes considera que se lograra el saneamiento total de los cuerpos de agua o son necesarias más acciones?

¿Qué tanto se toca el tema de la contaminación difusa por escurrimiento pluvial en los discursos locales y nacionales?

¿Qué fuentes de información, autores, etc., recomienda para entender mejor la problemática en la ZMG y en otras partes del país?

Entrevista a Mtra. Ana Abellán García

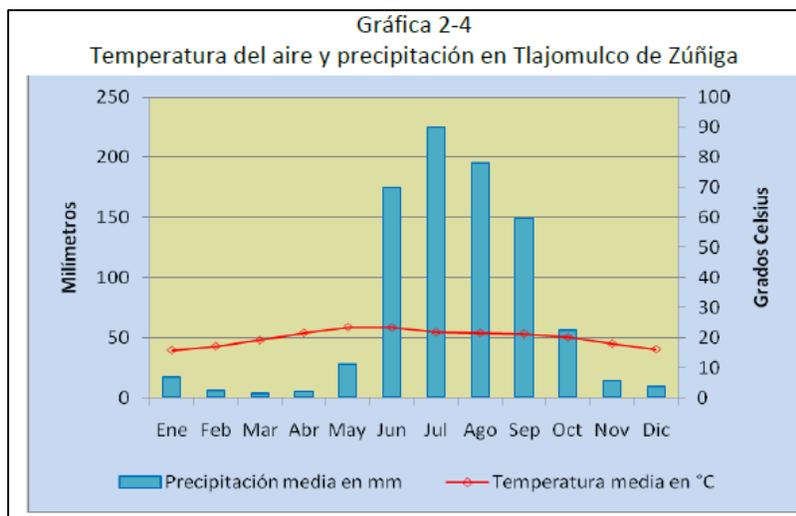
1. Qué medidas no estructurales (planeación, educación, cultura del agua) se han aplicado de manera efectiva en España relacionado con los SUDS?
2. ¿Cuáles son las técnicas de drenaje sostenible más utilizadas en España?
3. ¿Existen planes o programas implementados a gran escala por parte de algún municipio donde se promueva de manera efectiva la captación y aprovechamiento del agua de lluvia en azoteas en alguna localidad de España?
4. ¿Crees que es necesaria la creación de un manual de SUDS específico para cada lugar o las guías internacionales son suficientes para implementar efectivamente los sistemas?
5. ¿Qué manual o guía de SUDS prefieres consultar para tus proyectos? Los de EPA o municipales de EUA, CIRIA o de Australia? ¿Por qué?
6. ¿Los SUDS pueden ser implementados sin importar el tipo de condiciones climáticas? U otra formulación de la pregunta sería ¿las condiciones climáticas o de suelo pueden llevar a la implementación de SUDS a ser inviables técnica o económicamente hablando?

La Clave climática de Koppen para la zona de Guadalajara es (A)C(w1)(w): Templado semi-cálido subhúmedo de humedad media con lluvias en verano, precipitación invernal < 5 mm, temperatura media anual >18°C.

7. En mi área de estudio las lluvias son intensas y de corta duración, ¿Qué tipo de SUDS sugieres para este tipo de lluvia? Te adjunto unas imágenes de información básica de la precipitación y temperatura de mi área de estudio.

Cuadro 2-2
Precipitación media, mensual y anual en Tlajomulco de Zúñiga (mm)

VARIABLE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Precipitación	17.4	5.7	3.3	5.5	27.9	174.8	225.1	194.9	149.1	56.2	14.4	9.2	883.5
Días	1.7	1.1	0.6	0.9	3.1	13.8	18.7	17.5	13.7	5.6	1.5	1.6	79.8



Cuadro 2-4
Intensidad, duración y periodo de retorno de lluvias en Tlajomulco de Zúñiga (mm)

Periodos de retorno (años)	Intensidad de la lluvia por minuto (mm)						
	5'	15'	30'	45'	60'	120'	1440
2	11.3	20.8	28.2	33.2	36.8	47.5	68.2
5	15.0	27.4	37.2	43.8	48.8	62.7	81.7
10	17.7	32.4	44.0	51.8	57.8	74.2	90.6
25	21.3	39.1	53.0	62.4	69.6	89.4	101.8
50	24.1	44.1	59.8	70.4	78.6	100.9	110.2
100	26.8	49.1	66.7	78.4	87.5	112.4	118.5

8. ¿En qué porcentaje o medida aproximada de casos el uso de estos sistemas representa costos menores ó mayores en los proyectos de manejo de las aguas pluviales en comparación con la infraestructura convencional? ¿Cuál es el porcentaje de ahorro y existen retornos de la inversión estandarizados?
9. Uno de los retos que he identificado en la literatura para lograr la implementación de estos sistemas es que muchos de sus beneficios no pueden ser calculados de una manera sencilla desde el punto de vista económico para justificar su uso en comparación con la infraestructura convencional, ¿Qué sugieres para superar este hecho y reducir las posibles resistencias de los actores involucrados?
10. ¿Tienes conocimiento sobre buenas experiencias en la implementación de SUDS en países en vías de desarrollo?
11. ¿En qué casos es necesario realizar un Análisis de Ciclo de Vida a los proyectos?
12. ¿Qué retos has encontrado en el tema del mantenimiento y operación de estos sistemas? ¿Quién debe ser encargado de esto, el gobierno, habitantes, constructores, promotores de vivienda, de que depende esto?
13. En México para realizar un desarrollo, primero se define el diseño urbano, la disposición de los lotes, etc. y luego se realiza el proyecto de red pluvial para este. Pero la literatura dice que para implementar los SUDS se debe tener en cuenta el diseño del manejo de las aguas pluviales desde la fase de planeación de un desarrollo para facilitar la implementación, ¿se ha aplicado esta estrategia en España?
14. He leído de casos donde se aplican los llamados "retrofit" o re-acondicionamiento para la implementación de SUDS en lugares ya urbanizados o consolidados, ¿Qué tan común es esta práctica en proyectos en tu país? ¿Qué retos y alcances tiene en general?
15. ¿Qué pasos iniciales sugieres para introducir estos sistemas de manera rápida y efectiva como una práctica común en los proyectos pluviales?
16. Tengo entendido que en EUA la regulación a la contaminación difusa mediante la Clean Water Act es la principal justificación para implementar normativas que soliciten el uso de LID's, ¿existe algo así en España? ¿Es esta la clave para comenzar a generalizar el uso de Sistemas de Drenaje Sostenible?
17. ¿Cómo abordar la resistencia de las autoridades o constructores al uso de SUDS porque requieren mayor espacio que las prácticas convencionales?
18. Como afrontar el reto de la necesidad de monitoreo y experimentación al largo plazo como un factor que eleva los costos y complejidad de estos sistemas? ¿Conoces de algún método de financiamiento efectivo que se haya aplicado específicamente para actuar sobre esa problemática? ¿Son las universidades las instituciones más adecuadas para investigar y desarrollar estos sistemas?
19. ¿Podrías sugerirme bibliografía confiable según tu criterio y casos de estudio?

Resultados de análisis estadístico

Tr(años)	hp(mm)																											
	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	240	300	360	720	1440	
2	9.6	14.4	17.5	20.0	23.8	26.8	29.2	31.3	33.1	34.8	36.3	37.7	38.9	40.1	41.3	42.3	43.3	44.3	45.2	46.1	46.9	47.7	50.7	51.0	51.3	51.6	51.8	
5	12.7	18.9	23.2	26.4	31.4	35.3	38.5	41.3	43.7	45.9	47.9	49.7	51.4	53.0	54.5	55.9	57.2	58.5	59.7	60.8	61.9	63.0	66.9	71.9	76.2	79.2	82.2	
10	15.0	22.4	27.4	31.3	37.2	41.8	45.6	48.8	51.7	54.3	56.6	58.8	60.8	62.7	64.4	66.1	67.7	69.2	70.6	72.0	73.3	74.5	79.2	85.1	90.2	111.9	119.2	
25	18.0	27.0	33.0	37.7	44.8	50.3	54.9	58.8	62.3	65.4	68.3	70.9	73.3	75.5	77.6	79.6	81.5	83.3	85.1	86.7	88.3	89.8	95.4	102.5	108.7	134.8	158.8	
50	20.4	30.5	37.3	42.5	50.6	56.8	62.0	66.4	70.3	73.8	77.0	80.0	82.7	85.2	87.6	89.9	92.0	94.1	96.0	97.9	99.6	101.4	107.6	115.7	122.6	152.1	206.7	
100	22.7	34.0	41.5	47.4	56.3	63.3	69.0	74.0	78.3	82.2	85.8	89.1	92.1	95.0	97.6	100.1	102.5	104.8	106.9	109.0	111.0	112.9	119.9	128.9	136.6	169.4	241.1	

Tr(años)	i (mm/hr)																											
	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	240	300	360	720	1440	
2	115.1	86.1	70.2	60.1	47.6	40.1	35.0	31.3	28.4	26.1	24.2	22.6	21.2	20.1	19.0	18.1	17.3	16.6	16.0	15.4	14.8	14.3	12.7	10.2	8.5	4.3	2.2	
5	151.9	113.7	92.6	79.3	62.9	53.0	46.2	41.3	37.5	34.4	31.9	29.8	28.0	26.5	25.1	23.9	22.9	21.9	21.1	20.3	19.6	18.9	16.7	14.4	12.7	6.6	3.4	
10	179.7	134.5	109.6	93.8	74.4	62.7	54.7	48.8	44.3	40.7	37.8	35.3	33.2	31.3	29.7	28.3	27.1	25.9	24.9	24.0	23.1	22.4	19.8	17.0	15.0	9.3	5.0	
25	216.5	162.0	132.1	113.0	89.6	75.5	65.9	58.8	53.4	49.1	45.5	42.5	40.0	37.8	35.8	34.1	32.6	31.3	30.0	28.9	27.9	26.9	23.8	20.5	18.1	11.2	6.6	
50	244.3	182.9	149.0	127.5	101.2	85.2	74.4	66.4	60.3	55.4	51.4	48.0	45.1	42.6	40.4	38.5	36.8	35.3	33.9	32.6	31.5	30.4	26.9	23.1	20.4	12.7	8.6	
100	272.2	203.7	166.0	142.1	112.7	94.9	82.8	74.0	67.1	61.7	57.2	53.4	50.2	47.5	45.1	42.9	41.0	39.3	37.7	36.3	35.1	33.9	30.0	25.8	22.8	14.1	10.0	

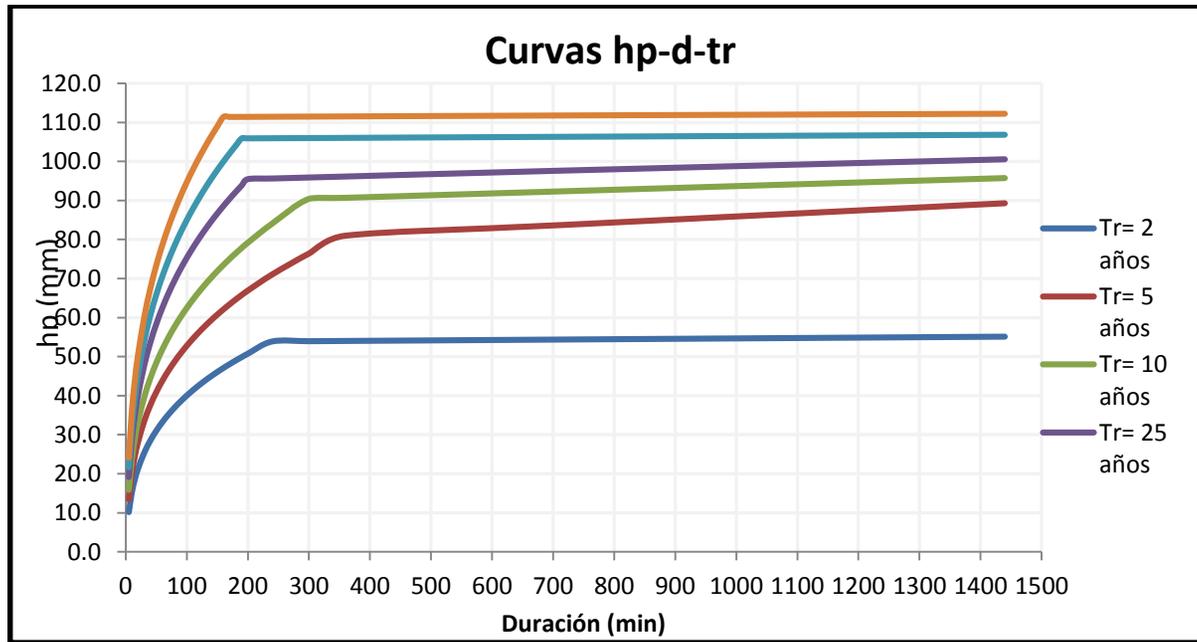
CURVAS INTENSIDAD-DURACION-PERODO DE RETORNO							
INTENSIDADES EN mm/hr							
DURACIONES EN MINUTOS							
	5	15	30	45	60	90	120
2	109.78	69.77	47.25	36.56	30.17	22.77	18.54
5	135.82	86.12	58.32	45.16	37.31	28.20	22.99
10	155.52	98.48	66.70	51.67	42.70	32.30	26.35
15	167.04	105.71	71.60	55.48	45.86	34.70	28.31
20	175.22	110.84	75.08	58.18	48.10	36.41	29.71
25	181.56	114.82	77.77	60.27	49.84	37.73	30.79
50	201.26	127.19	86.15	66.78	55.23	41.83	34.15
100	220.96	139.55	94.53	73.29	60.63	45.94	37.52
500	266.70	168.26	113.98	88.41	73.16	55.46	45.32
1000	286.40	180.62	122.36	94.91	78.55	59.57	48.68

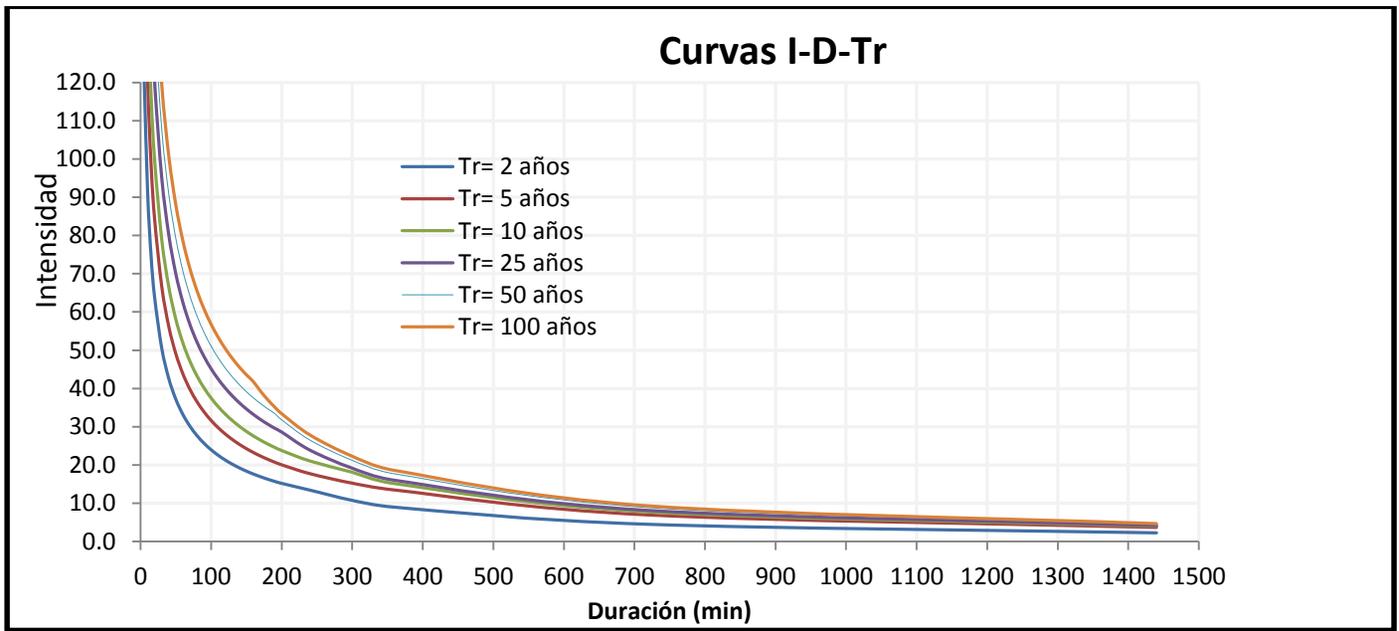
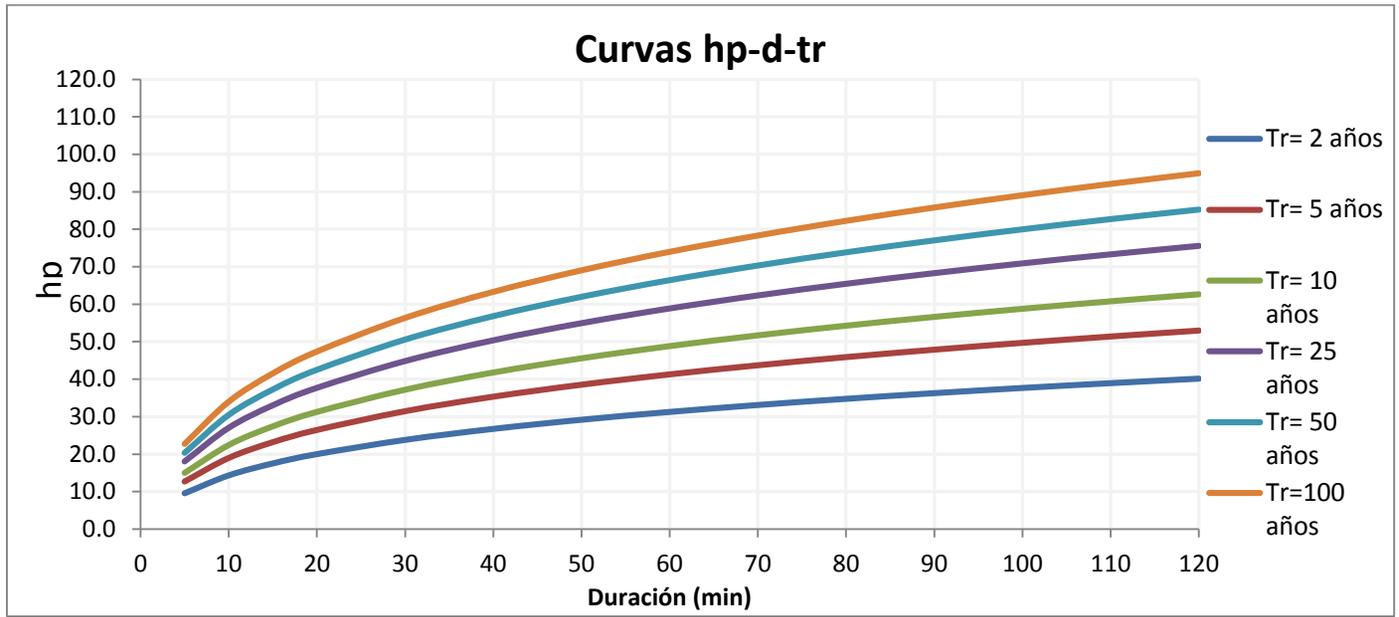
Intensidades de lluvia del Manual de la CEA para la Cuenca del Ahogado.

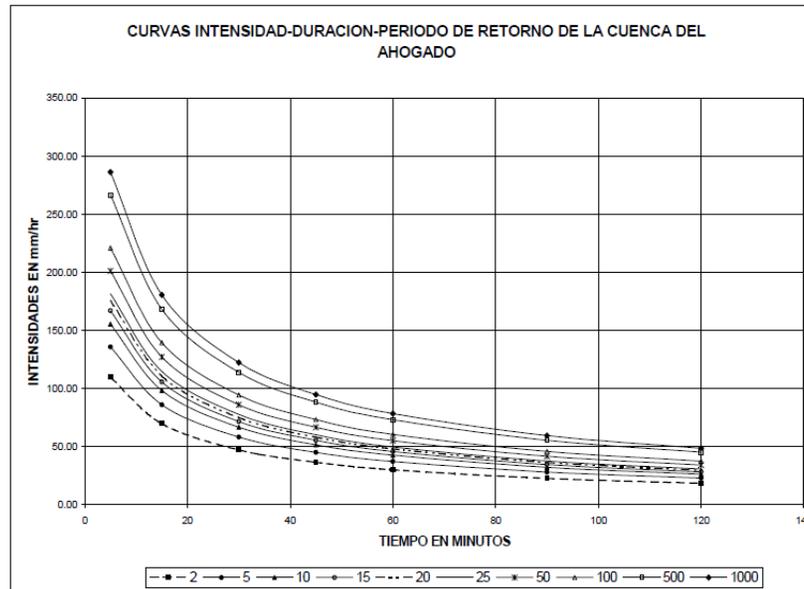
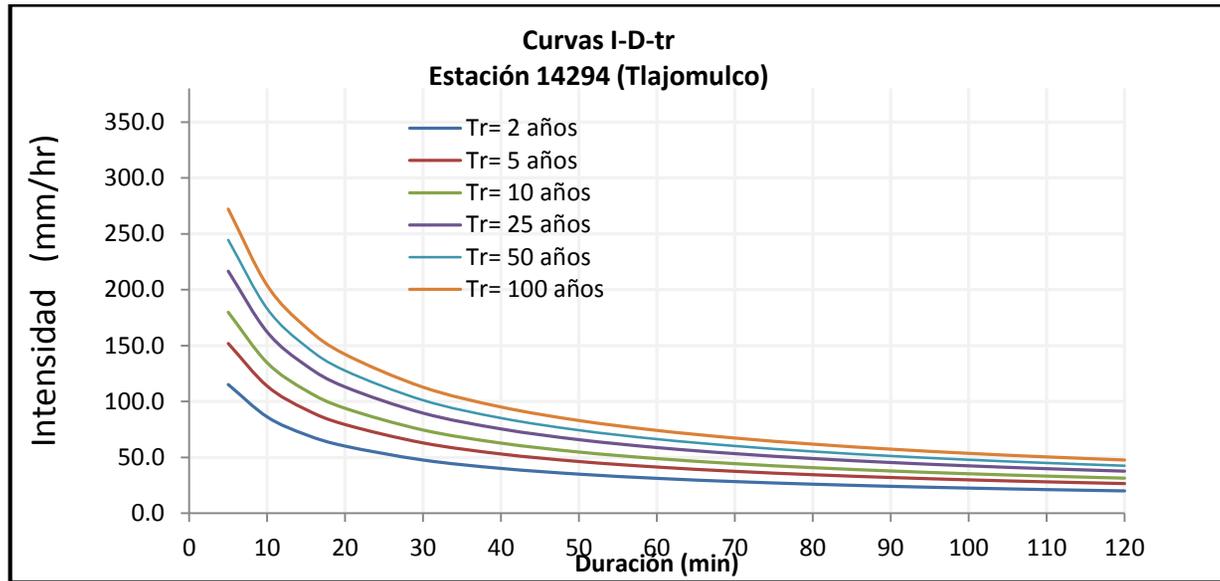
CURVAS PRECIPITACION-PERIDO DE RETORNO

TIEMPO	TR= 5	TR= 10	TR= 20	TR= 25	TR= 50	TR= 100	TR= 500	TR= 1000
1	38.68	44.77	49.42	50.82	55.00	59.01	67.84	71.41
2	43.64	50.51	55.75	57.34	62.06	66.58	76.54	80.57
3	46.83	54.21	59.83	61.53	66.60	71.45	82.14	86.46
4	49.24	56.99	62.91	64.69	70.02	75.12	86.36	90.90
5	51.19	59.25	65.40	67.25	72.79	78.10	89.78	94.50
6	52.84	61.16	67.51	69.42	75.14	80.62	92.68	97.55
12	59.62	69.01	76.17	78.33	84.78	90.96	104.57	110.07
24	67.26	77.86	85.94	88.38	95.65	102.63	117.98	124.19

Alturas de precipitación del Manual de la CEA para la Cuenca del Ahogado.







SUBCUENCA	DATOS DE SUBCUENCAS						FORMULAS DE CALCULO DE TC (hrs)				Tc adoptado Hrs	Tc adoptado min
	Cota Maxima	Cota minima	LONG. DEL CAUCE PRINCIPAL (m)	DESNIVEL TOPOGRAFICO (m)	Pendiente %	Pendiente al millar	1.- KIRPICH	2.- ROWE	3.- RESOURCES DIVISION FAO	4.- BASSO		
6B	136.36	131.68	165.48	4.68	2.83%	28.28	0.0655	0.0652	0.0647	0.0662	0.07	3.92
6D	135.17	131.27	169.58	3.90	2.30%	23.00	0.0723	0.0720	0.0713	0.0730	0.07	4.33
2A	135.58	131.94	194.00	3.64	1.88%	18.76	0.0868	0.0863	0.0854	0.0876	0.09	5.19
2B	144.81	135.04	200.00	9.77	4.89%	48.85	0.0614	0.0611	0.0608	0.0620	0.06	3.68
2C	144.22	135.58	215.10	8.64	4.02%	40.17	0.0701	0.0697	0.0693	0.0707	0.07	4.20
3	140.17	136.05	124.13	4.12	3.32%	33.19	0.0494	0.0491	0.0488	0.0499	0.05	2.96
3B	143.03	138.77	164.61	4.26	2.59%	25.88	0.0675	0.0672	0.0666	0.0682	0.07	4.04
1A	138.77	136.36	61.42	2.41	3.92%	39.24	0.0269	0.0268	0.0266	0.0272	0.03	1.61
4B	136.05	131.57	248.33	4.48	1.80%	18.04	0.1065	0.1060	0.1049	0.1075	0.11	6.37
4	136.31	131.57	184.17	4.74	2.57%	25.74	0.0738	0.0734	0.0728	0.0745	0.07	4.42
1B	136.36	131.26	153.30	5.10	3.33%	33.27	0.0580	0.0578	0.0573	0.0586	0.06	3.48
1C	136.31	131.37	161.07	4.94	3.07%	30.67	0.0622	0.0619	0.0614	0.0628	0.06	3.73
6A	140.13	135.17	212.22	4.96	2.34%	23.37	0.0854	0.0850	0.0842	0.0862	0.09	5.11
6C	138.75	133.89	215.52	4.86	2.26%	22.55	0.0876	0.0872	0.0864	0.0885	0.09	5.25
5	131.68	130.91	83.85	0.77	0.92%	9.18	0.0599	0.0596	0.0588	0.0605	0.06	3.58
5B	131.57	131.10	123.81	0.47	0.38%	3.80	0.1136	0.1130	0.1110	0.1147	0.11	6.78
8B	132.61	130.18	171.04	2.43	1.42%	14.21	0.0876	0.0872	0.0862	0.0885	0.09	5.24
8	131.27	130.25	161.74	1.02	0.63%	6.31	0.1148	0.1142	0.1124	0.1159	0.11	6.86
8C	130.18	129.49	137.95	0.69	0.50%	5.00	0.1110	0.1105	0.1086	0.1121	0.11	6.63
8D	130.25	129.64	147.10	0.61	0.41%	4.15	0.1253	0.1247	0.1225	0.1266	0.12	7.49
9A	132.83	131.32	158.35	1.51	0.95%	9.54	0.0963	0.0958	0.0945	0.0972	0.10	5.76
9B	132.83	131.61	74.89	1.22	1.63%	16.29	0.0440	0.0438	0.0433	0.0444	0.04	2.63
9C	132.83	131.97	133.61	0.86	0.64%	6.44	0.0983	0.0978	0.0963	0.0992	0.10	5.87
10	131.23	129.59	152.12	1.64	1.08%	10.78	0.0890	0.0886	0.0875	0.0899	0.09	5.33
11A	129.49	129.05	84.69	0.44	0.52%	5.20	0.0751	0.0748	0.0735	0.0759	0.07	4.49
11B	129.64	129.01	84.24	0.63	0.75%	7.48	0.0650	0.0647	0.0638	0.0657	0.06	3.89
AZOTEA CASA CLUB			75.00	2.80	3.73%	37.33	0.0320	0.0319	0.0316	0.0323	0.03	1.92
PREDIO	144.81	129.01	991.96	15.80	1.59%	15.93	0.3246	0.3230	0.3194	0.3277	0.32	19.42

Tabla 12.5. Calculo de tiempo de concentración en predio urbanizado para cada subcuena y para el predio general.

TABLAS Y GRAFICOS RESULTANTES DE DISEÑO FINAL DEL FRACCIONAMIENTO CASA FUERTE CON XPDRAINAGE



Figura. Vista en planta de biorretención 1 y su conexión de salida.

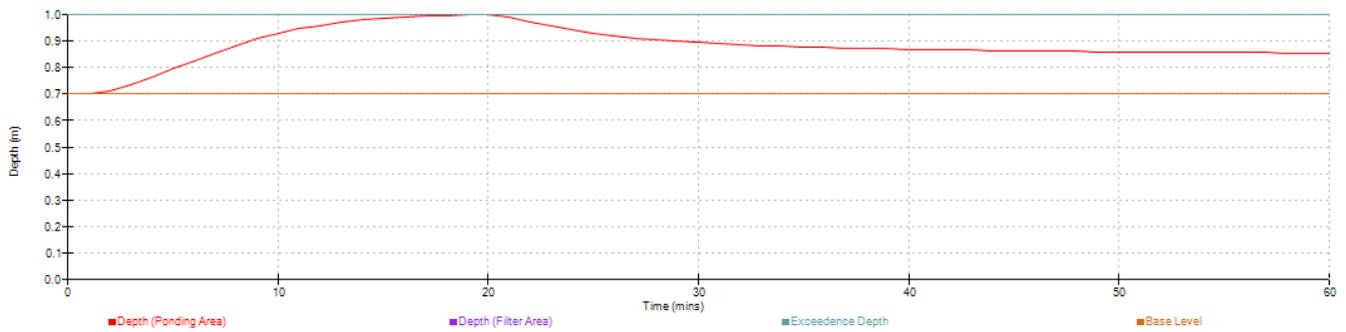


Figura. Grafica del comportamiento del tirante dentro de Biorretención 1.

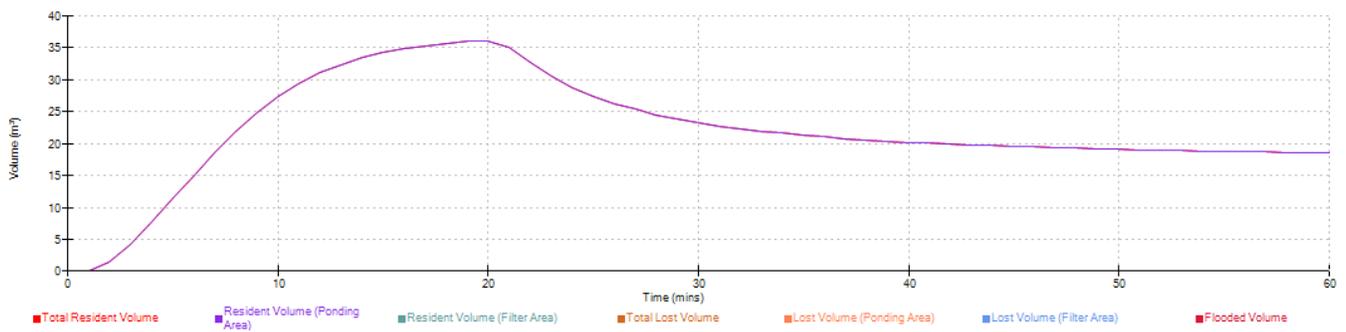


Figura. Curva tiempo-volumen de biorretención 1. Fuente: xpdrainage.

Tiempo (mins)	Inlet (1)		Gasto total de entrada (L/s)	Profundidad (Área superficial) (m)	Profundidad (Área filtrado) (m)	Volumen residente (Área superficial) (m³)	Volumen residente (Área filtrado) (m³)	Volumen residente total (m³)	Volumen perdido (Área superficial) (m³)	Volumen perdido (Área filtrado) (m³)	Volumen perdido total (m³)	Outlet (L/s)	Infiltración (L/s)	Gasto de salida total (L/s)
	Continuation (L/s)	Bypass (L/s)												
1	16.7	0.0	16.7	0.70	0.00	0.145	0.000	0.145	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
2	45.2	0.0	45.2	0.71	0.00	1.430	0.000	1.430	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
3	60.0	13.8	60.0	0.74	0.00	4.289	0.000	4.289	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
4	60.0	42.4	60.0	0.77	0.00	7.825	0.000	7.825	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
5	60.0	71.0	60.0	0.79	0.00	11.400	0.000	11.400	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
6	60.0	99.5	60.0	0.82	0.00	14.974	0.000	14.974	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
7	60.0	111.4	60.0	0.85	0.00	18.538	0.000	18.538	0.000	0.000	0.000	0.6	0.0	0.6
8	60.0	111.4	60.0	0.88	0.00	21.919	0.000	21.919	0.000	0.000	0.000	5.7	0.0	5.7
9	60.0	111.4	60.0	0.91	0.00	24.896	0.000	24.896	0.000	0.000	0.000	13.2	0.0	13.2
10	60.0	111.4	60.0	0.93	0.00	27.405	0.000	27.405	0.000	0.000	0.000	21.0	0.0	21.0
11	60.0	111.4	60.0	0.95	0.00	29.459	0.000	29.459	0.000	0.000	0.000	28.3	0.0	28.3
12	60.0	111.4	60.0	0.96	0.00	31.106	0.000	31.106	0.000	0.000	0.000	34.7	0.0	34.7
13	60.0	111.4	60.0	0.97	0.00	32.406	0.000	32.406	0.000	0.000	0.000	40.1	0.0	40.1
14	60.0	111.4	60.0	0.98	0.00	33.419	0.000	33.419	0.000	0.000	0.000	44.4	0.0	44.4
15	60.0	94.8	60.0	0.99	0.00	34.202	0.000	34.202	0.000	0.000	0.000	47.9	0.0	47.9
16	60.0	82.9	60.0	0.99	0.00	34.804	0.000	34.804	0.000	0.000	0.000	50.6	0.0	50.6
17	60.0	66.2	60.0	0.99	0.00	35.263	0.000	35.263	0.000	0.000	0.000	52.8	0.0	52.8
18	60.0	37.6	60.0	1.00	0.00	35.629	0.000	35.629	0.000	0.000	0.000	53.8	0.0	53.8
19	59.5	9.5	59.5	1.00	0.00	35.970	0.000	35.970	0.000	0.000	0.000	54.0	0.0	54.0
20	40.5	0.0	40.5	1.00	0.00	36.080	0.000	36.080	0.000	0.000	0.000	54.0	0.0	54.0
21	11.9	0.0	11.9	0.99	0.00	34.998	0.000	34.998	0.000	0.000	0.000	51.4	0.0	51.4
22	0.0	0.0	0.0	0.97	0.00	32.800	0.000	32.800	0.000	0.000	0.000	41.8	0.0	41.8
23	0.0	0.0	0.0	0.96	0.00	30.619	0.000	30.619	0.000	0.000	0.000	32.8	0.0	32.8
24	0.0	0.0	0.0	0.94	0.00	28.869	0.000	28.869	0.000	0.000	0.000	26.1	0.0	26.1
25	0.0	0.0	0.0	0.93	0.00	27.457	0.000	27.457	0.000	0.000	0.000	21.2	0.0	21.2
26	0.0	0.0	0.0	0.92	0.00	26.300	0.000	26.300	0.000	0.000	0.000	17.4	0.0	17.4
27	0.0	0.0	0.0	0.91	0.00	25.340	0.000	25.340	0.000	0.000	0.000	14.4	0.0	14.4
28	0.0	0.0	0.0	0.90	0.00	24.534	0.000	24.534	0.000	0.000	0.000	12.1	0.0	12.1
29	0.0	0.0	0.0	0.90	0.00	23.851	0.000	23.851	0.000	0.000	0.000	10.2	0.0	10.2
30	0.0	0.0	0.0	0.89	0.00	23.267	0.000	23.267	0.000	0.001	0.001	8.7	0.0	8.7
40	0.0	0.0	0.0	0.87	0.00	20.221	0.000	20.221	0.000	0.001	0.001	2.4	0.0	2.4
50	0.0	0.0	0.0	0.86	0.00	19.104	0.000	19.104	0.000	0.001	0.001	0.8	0.0	0.8
60	0.0	0.0	0.0	0.85	0.00	18.544	0.000	18.544	0.000	0.001	0.001	0.3	0.0	0.3

Tabla. Resultados hidráulicos de biorretención 1 a los 60 minutos.

Tiempo (mins)	Inlet		Gasto total de entrada (L/s)	Profundidad (Área superficial) (m)	Profundidad (Área filtrado) (m)	Volumen residente (Área superficial) (m³)	Volumen residente (Área filtrado) (m³)	Volumen residente total (m³)	Volumen perdido (Área superficial) (m³)	Volumen perdido (Área filtrado) (m³)	Volumen perdido total (m³)	Vertedor (L/s)	Tubo perforado (L/s)	Gasto de salida total (L/s)
	Continuation (L/s)	Bypass (L/s)												
1	23.0	1.0	23.0	1.30	0.000	0.074	0.000	0.074	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
2	35.0	30.2	35.0	1.31	0.000	1.218	0.000	1.218	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
3	35.0	71.3	35.0	1.33	0.000	3.246	0.000	3.246	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
4	35.0	112.5	35.0	1.34	0.000	5.321	0.000	5.321	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
5	35.0	129.7	35.0	1.36	0.000	7.395	0.000	7.395	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
6	35.0	129.7	35.0	1.38	0.000	9.470	0.000	9.470	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
7	35.0	129.7	35.0	1.40	0.000	11.545	0.000	11.545	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
8	35.0	129.7	35.0	1.41	0.000	13.620	0.000	13.620	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
9	35.0	129.7	35.0	1.43	0.000	15.695	0.001	15.695	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
10	35.0	129.7	35.0	1.45	0.000	17.769	0.001	17.770	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
11	35.0	129.7	35.0	1.47	0.000	19.841	0.001	19.842	0.000	0.000	0.000	0.1	0.0	0.1
12	35.0	129.7	35.0	1.48	0.000	21.886	0.001	21.887	0.000	0.000	0.000	0.9	0.0	0.9
13	35.0	129.7	35.0	1.50	0.000	23.861	0.001	23.862	0.000	0.000	0.000	2.4	0.0	2.4
14	35.0	129.7	35.0	1.51	0.000	25.719	0.002	25.720	0.000	0.000	0.000	4.6	0.0	4.6
15	35.0	129.7	35.0	1.53	0.000	27.422	0.002	27.423	0.000	0.000	0.000	7.4	0.0	7.4
16	35.0	105.7	35.0	1.54	0.000	28.946	0.002	28.948	0.000	0.000	0.000	10.5	0.0	10.5
17	35.0	64.5	35.0	1.55	0.000	30.285	0.002	30.287	0.000	0.000	0.000	13.5	0.0	13.5
18	35.0	23.3	35.0	1.56	0.000	31.445	0.003	31.448	0.000	0.000	0.000	16.4	0.0	16.4
19	17.2	0.0	17.2	1.57	0.000	32.401	0.003	32.404	0.000	0.000	0.000	19.0	0.0	19.0
20	0.0	0.0	0.0	1.57	0.000	32.375	0.003	32.378	0.000	0.000	0.000	18.9	0.0	18.9
21	0.0	0.0	0.0	1.56	0.000	31.395	0.004	31.398	0.000	0.000	0.000	16.3	0.0	16.3
22	0.0	0.0	0.0	1.55	0.000	30.475	0.004	30.479	0.000	0.000	0.000	14.0	0.0	14.0
23	0.0	0.0	0.0	1.55	0.000	29.678	0.004	29.683	0.000	0.000	0.000	12.1	0.0	12.1
24	0.0	0.0	0.0	1.54	0.000	28.984	0.005	28.988	0.000	0.000	0.000	10.5	0.0	10.5
25	0.0	0.0	0.0	1.54	0.000	28.373	0.005	28.378	0.000	0.000	0.000	9.2	0.0	9.2
26	0.0	0.0	0.0	1.53	0.000	27.833	0.006	27.838	0.000	0.000	0.000	8.2	0.0	8.2
27	0.0	0.0	0.0	1.53	0.000	27.351	0.006	27.357	0.000	0.000	0.000	7.2	0.0	7.2
28	0.0	0.0	0.0	1.52	0.000	26.918	0.007	26.925	0.000	0.000	0.000	6.5	0.0	6.5
29	0.0	0.0	0.0	1.52	0.000	26.528	0.007	26.535	0.000	0.000	0.000	5.8	0.0	5.8
30	0.0	0.0	0.0	1.52	0.000	26.174	0.008	26.181	0.000	0.000	0.000	5.3	0.0	5.3
40	0.0	0.0	0.0	1.50	0.000	23.843	0.014	23.857	0.000	0.000	0.000	2.3	0.0	2.3
50	0.0	0.0	0.0	1.49	0.001	22.578	0.021	22.599	0.000	0.000	0.000	1.2	0.0	1.2
60	0.0	0.0	0.0	1.48	0.001	21.748	0.031	21.779	0.000	0.000	0.000	0.7	0.0	0.7

Tabla. Resultados hidráulicos de biorretención 2 a los 60 minutos.

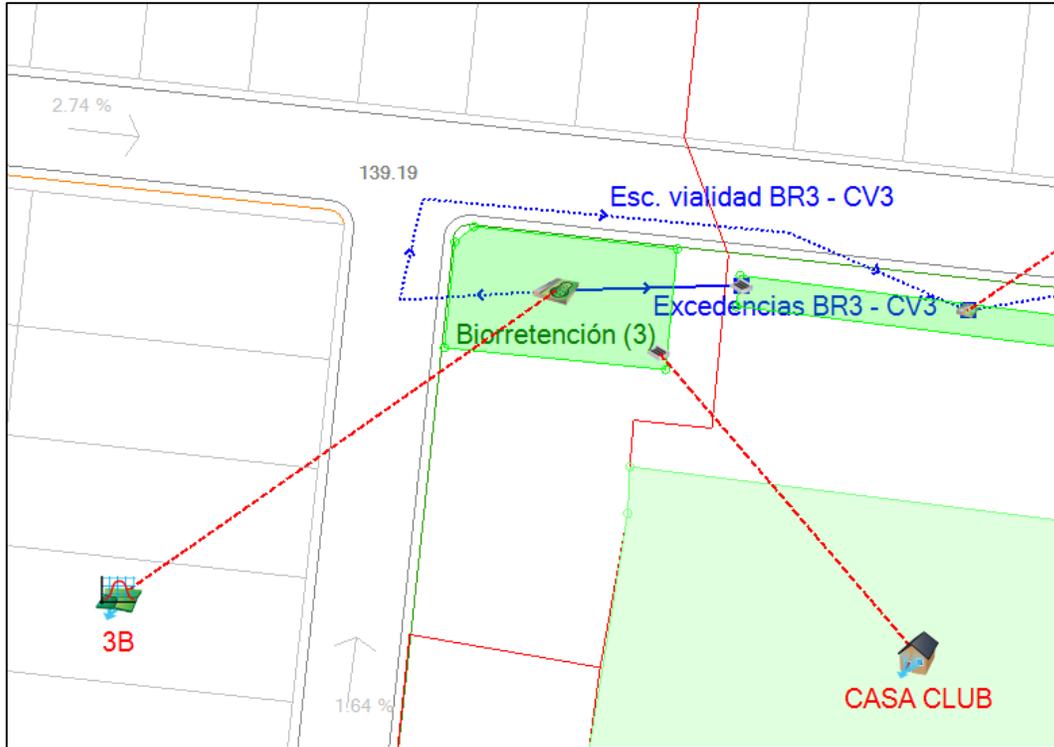


Figura. Vista en planta de biorretención 3 y su conexión de salida.

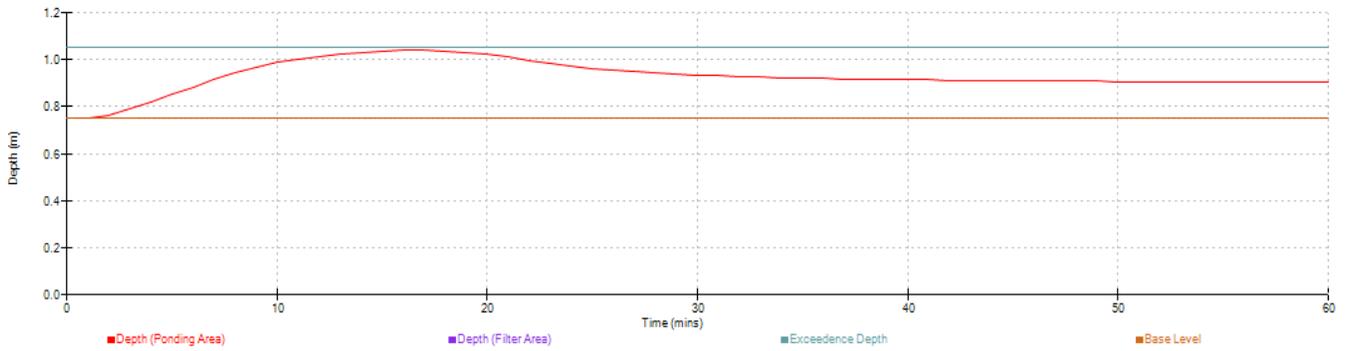


Figura. Grafica del comportamiento del tirante dentro de Biorretención 3.

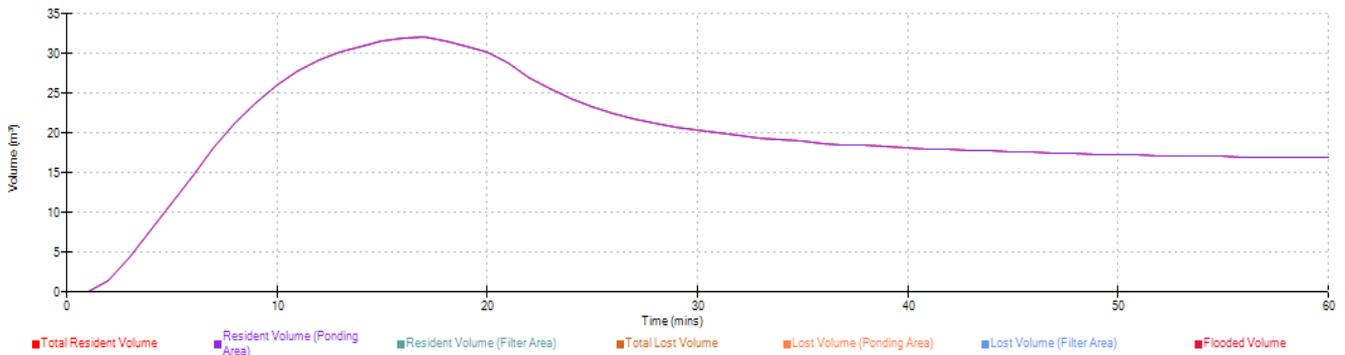


Figura. Curva tiempo-volumen de biorretención 3. Fuente: xpdrainage.

Tiempo (mins)	Inlet		Inlet (1)	Gasto total de entrada (L/s)	Profundidad (Área superficial) (m)	Profundidad (Área filtrado) (m)	Volumen residente (Área superficial) (m³)	Volumen residente (Área filtrado) (m³)	Volumen residente total (m³)	Volumen perdido (Área superficial) (m³)	Volumen perdido (Área filtrado) (m³)	Volumen perdido total (m³)	Outlet (L/s)	Infiltración (L/s)	Gasto de salida total (L/s)
	Continuación (L/s)	Bypass (L/s)	Continuación (L/s)												
1	19.2	0.0	11.5	30.7	0.751	0.00	0.111	0.000	0.111	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
2	35.0	17.1	23.0	58.0	0.763	0.00	1.434	0.000	1.434	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
3	35.0	49.9	23.0	58.0	0.789	0.00	4.319	0.000	4.319	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
4	35.0	82.8	23.0	58.0	0.820	0.00	7.744	0.000	7.744	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
5	35.0	115.7	23.0	58.0	0.852	0.00	11.203	0.000	11.203	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
6	35.0	129.4	23.0	58.0	0.883	0.00	14.661	0.000	14.661	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
7	35.0	129.4	23.0	58.0	0.914	0.00	18.079	0.000	18.079	0.000	0.000	0.000	1.9	0.0	1.9
8	35.0	129.4	23.0	58.0	0.943	0.00	21.208	0.000	21.208	0.000	0.000	0.000	8.5	0.0	8.5
9	35.0	129.4	23.0	58.0	0.967	0.00	23.873	0.000	23.873	0.000	0.000	0.000	16.6	0.0	16.7
10	35.0	129.4	23.0	58.0	0.987	0.00	26.051	0.000	26.051	0.000	0.000	0.000	24.6	0.0	24.6
11	35.0	129.4	23.0	58.0	1.003	0.00	27.781	0.000	27.781	0.000	0.000	0.000	31.7	0.0	31.7
12	35.0	129.4	23.0	58.0	1.015	0.00	29.127	0.000	29.127	0.000	0.000	0.000	37.6	0.0	37.6
13	35.0	129.4	23.0	58.0	1.024	0.00	30.159	0.000	30.159	0.000	0.000	0.000	42.3	0.0	42.4
14	35.0	129.4	23.0	58.0	1.031	0.00	30.941	0.000	30.941	0.000	0.000	0.000	46.1	0.0	46.1
15	35.0	129.4	23.0	58.0	1.037	0.00	31.530	0.000	31.530	0.000	0.000	0.000	49.0	0.0	49.0
16	35.0	110.2	11.5	46.5	1.041	0.00	31.960	0.000	31.960	0.000	0.000	0.000	51.1	0.0	51.1
17	35.0	77.3	0.0	35.0	1.041	0.00	32.009	0.000	32.009	0.000	0.000	0.000	51.4	0.0	51.4
18	35.0	44.5	0.0	35.0	1.036	0.00	31.495	0.000	31.495	0.000	0.000	0.000	48.8	0.0	48.8
19	34.7	12.0	0.0	34.7	1.030	0.00	30.795	0.000	30.795	0.000	0.000	0.000	45.4	0.0	45.4
20	13.7	0.0	0.0	13.7	1.024	0.00	30.114	0.000	30.114	0.000	0.000	0.000	42.1	0.0	42.1
21	0.0	0.0	0.0	0.0	1.011	0.00	28.750	0.000	28.750	0.000	0.000	0.000	35.9	0.0	35.9
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.995	0.00	26.975	0.000	26.975	0.000	0.000	0.000	28.3	0.0	28.3
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.982	0.00	25.473	0.000	25.473	0.000	0.000	0.000	22.4	0.0	22.4
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.971	0.00	24.268	0.000	24.268	0.000	0.000	0.000	18.0	0.0	18.0
25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.962	0.00	23.288	0.000	23.288	0.000	0.000	0.000	14.6	0.0	14.6
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.954	0.00	22.479	0.000	22.479	0.000	0.000	0.000	12.1	0.0	12.1
27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.948	0.00	21.803	0.000	21.803	0.000	0.000	0.000	10.1	0.0	10.1
28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.943	0.00	21.233	0.000	21.233	0.000	0.000	0.000	8.5	0.0	8.5
29	0.0	0.0	0.0	0.0	0.939	0.00	20.747	0.000	20.747	0.000	0.000	0.000	7.2	0.0	7.2
30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.935	0.00	20.329	0.000	20.329	0.000	0.000	0.000	6.2	0.0	6.2
31	0.0	0.0	0.0	0.0	0.932	0.00	19.968	0.000	19.968	0.000	0.000	0.000	5.3	0.0	5.3
40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.915	0.00	18.117	0.000	18.117	0.000	0.001	0.001	1.7	0.0	1.7
50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.907	0.00	17.282	0.000	17.282	0.000	0.001	0.001	0.6	0.0	0.6
60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.903	0.00	16.851	0.000	16.851	0.000	0.001	0.001	0.2	0.0	0.2

Tabla. Resultados hidráulicos de biorretención 3 a los 60 minutos.

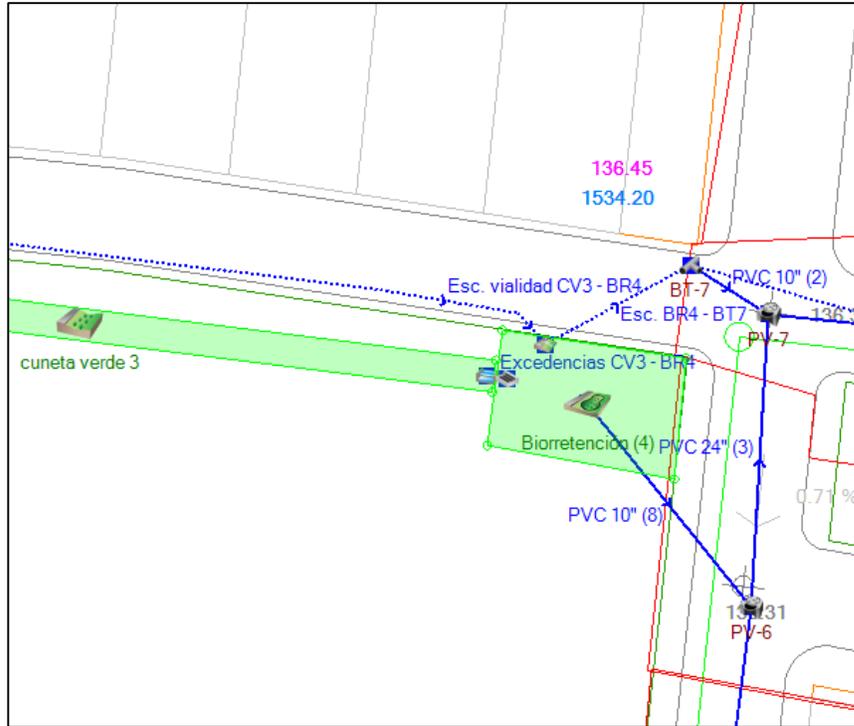


Figura. Vista en planta de biorretención 4 y su conexión de salida.

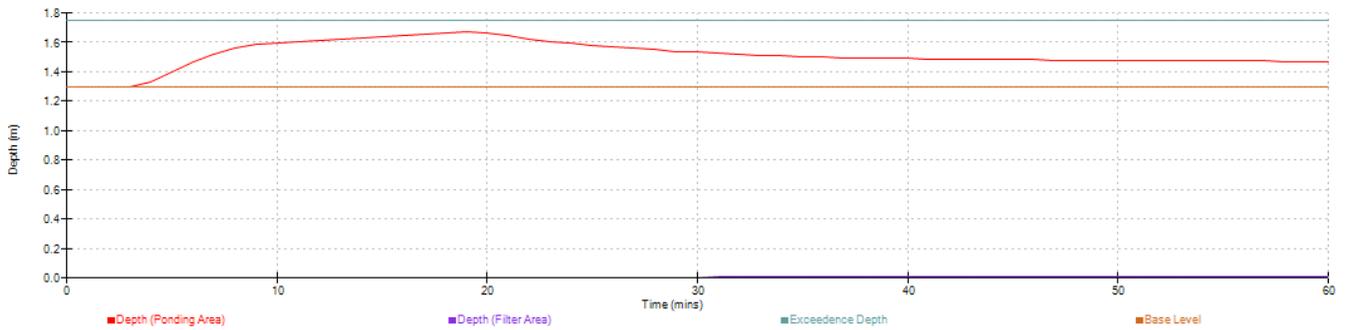


Figura. Grafica del comportamiento del tirante dentro de Biorretención 4.

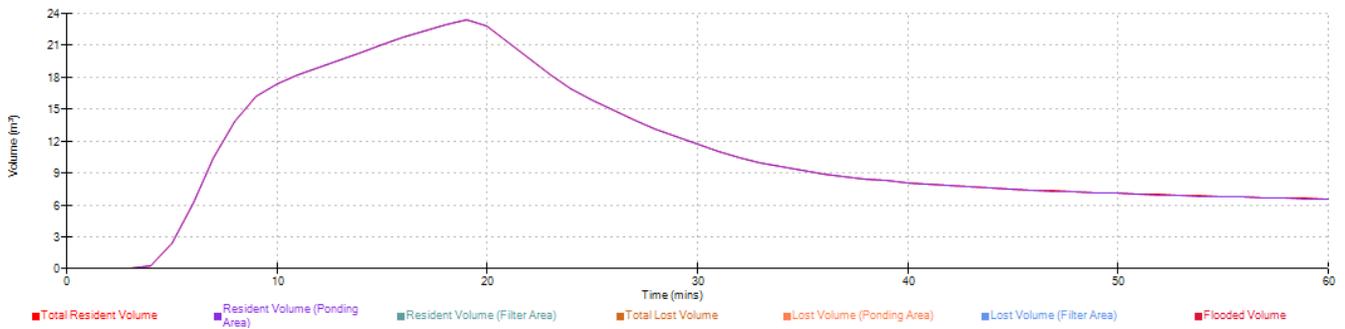


Figura. Curva tiempo-volumen de biorretención 4. Fuente: xpdrainage.

Tiempo (mins)	Inlet (3)	Inlet (4)		Gasto total de entrada (L/s)	Profundidad (Área superficial) (m)	Profundidad (Área filtrado) (m)	Volumen residente (Área superficial) (m³)	Volumen residente (Área filtrado) (m³)	Volumen residente total (m³)	Volumen perdido (Área superficial) (m³)	Volumen perdido (Área filtrado) (m³)	Volumen perdido total (m³)	Outlet (L/s)	Gasto de salida total (L/s)
	Continuation (L/s)	Continuation (L/s)	Bypass (L/s)											
1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0
3	0.0	0.2	0.0	0.2	1.30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0
4	12.5	27.7	7.3	40.2	1.33	0.000	0.285	0.000	0.285	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0
5	33.7	35.0	47.7	68.7	1.40	0.000	2.381	0.000	2.381	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0
6	41.9	35.0	80.5	76.9	1.46	0.000	6.162	0.000	6.162	0.000	0.000	0.000	0.6	0.6
7	44.6	35.0	108.0	79.6	1.52	0.000	10.367	0.000	10.367	0.000	0.000	0.000	9.3	9.3
8	44.5	35.0	110.7	79.5	1.56	0.000	13.877	0.000	13.877	0.000	0.000	0.000	28.7	28.7
9	38.9	35.0	110.7	73.9	1.58	0.001	16.206	0.000	16.206	0.000	0.000	0.000	47.8	47.8
10	42.3	35.0	110.7	77.3	1.60	0.001	17.414	0.000	17.414	0.000	0.000	0.000	59.2	59.2
11	50.0	35.0	110.7	85.0	1.61	0.001	18.161	0.000	18.161	0.000	0.000	0.000	66.5	66.5
12	57.5	35.0	110.7	92.5	1.62	0.002	18.888	0.000	18.888	0.000	0.000	0.000	73.6	73.6
13	64.2	35.0	110.7	99.2	1.62	0.002	19.635	0.000	19.635	0.000	0.000	0.000	80.9	80.9
14	70.0	35.0	110.7	105.0	1.63	0.002	20.367	0.001	20.367	0.000	0.000	0.000	87.9	87.9
15	74.9	35.0	110.7	109.9	1.64	0.003	21.066	0.001	21.067	0.000	0.000	0.000	94.1	94.1
16	78.9	35.0	110.7	113.9	1.65	0.003	21.726	0.001	21.727	0.000	0.000	0.000	99.5	99.5
17	82.1	35.0	94.6	117.1	1.66	0.003	22.348	0.001	22.349	0.000	0.000	0.000	104.0	104.0
18	84.6	35.0	39.0	119.6	1.66	0.004	22.937	0.001	22.938	0.000	0.000	0.000	107.6	107.6
19	84.2	16.3	0.8	100.5	1.67	0.004	23.407	0.001	23.408	0.000	0.000	0.000	109.8	109.8
20	73.4	0.0	0.0	73.4	1.66	0.004	22.785	0.001	22.786	0.000	0.000	0.000	106.6	106.6
21	56.5	0.0	0.0	56.5	1.64	0.004	21.329	0.002	21.331	0.000	0.000	0.000	96.2	96.2
22	44.6	0.0	0.0	44.6	1.62	0.005	19.694	0.002	19.696	0.000	0.000	0.000	81.5	81.5
23	37.5	0.0	0.0	37.5	1.61	0.005	18.168	0.002	18.171	0.000	0.000	0.000	66.6	66.6
24	29.6	0.0	0.0	29.6	1.59	0.005	16.940	0.002	16.942	0.000	0.000	0.000	54.6	54.6
25	21.8	0.0	0.0	21.8	1.58	0.005	15.891	0.003	15.894	0.000	0.000	0.000	44.9	44.9
26	15.5	0.0	0.0	15.5	1.57	0.006	14.904	0.003	14.906	0.000	0.000	0.000	36.4	36.4
27	11.0	0.0	0.0	11.0	1.56	0.006	13.980	0.003	13.983	0.000	0.000	0.000	29.2	29.2
28	7.6	0.0	0.0	7.6	1.55	0.006	13.147	0.003	13.150	0.000	0.000	0.000	23.3	23.3
29	4.0	0.0	0.0	4.0	1.54	0.006	12.400	0.004	12.404	0.000	0.000	0.000	18.7	18.7
30	1.4	0.0	0.0	1.4	1.53	0.007	11.695	0.004	11.699	0.000	0.000	0.000	14.7	14.7
40	0.0	0.0	0.0	0.0	1.49	0.009	8.113	0.008	8.120	0.000	0.000	0.000	2.4	2.4
50	0.0	0.0	0.0	0.0	1.48	0.012	7.065	0.013	7.078	0.000	0.000	0.000	0.9	0.9
60	0.0	0.0	0.0	0.0	1.47	0.015	6.534	0.019	6.553	0.000	0.000	0.000	0.4	0.4

Tabla. Resultados hidráulicos de biorretención 4 a los 60 minutos.

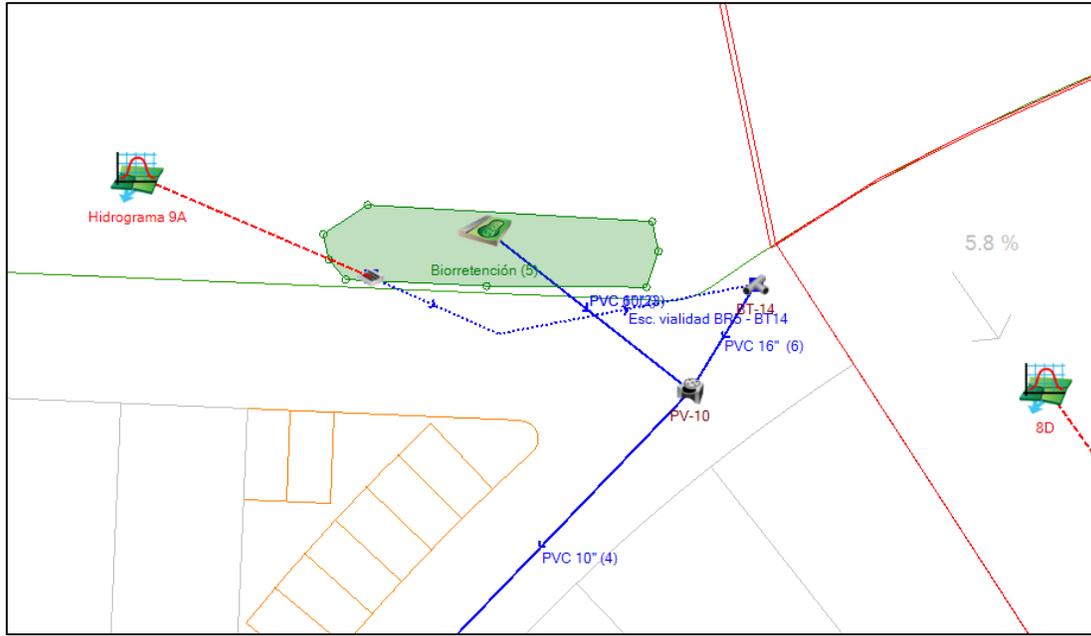


Figura. Vista en planta de biorretención 5 y su conexión de salida.

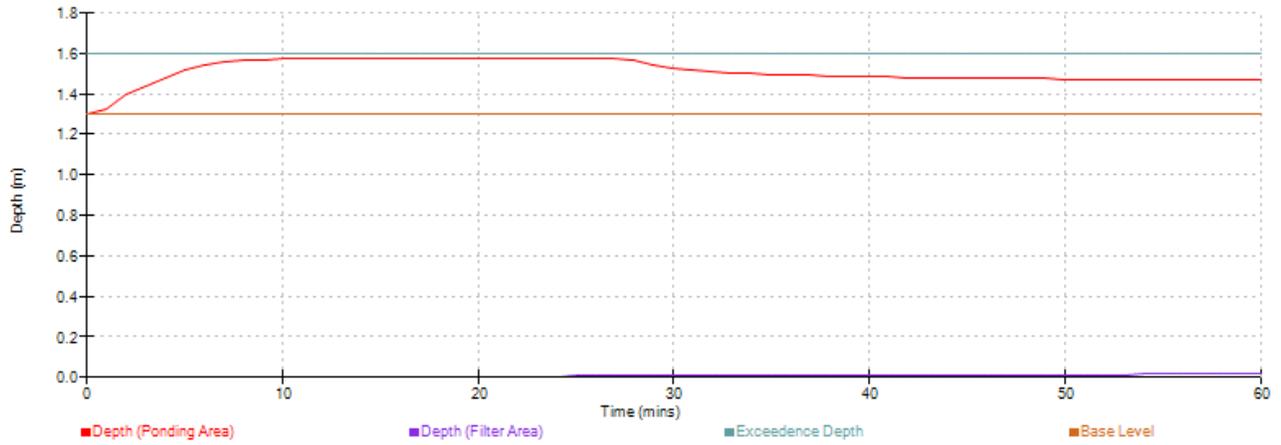


Figura. Grafica del comportamiento del tirante dentro de Biorretención 5.

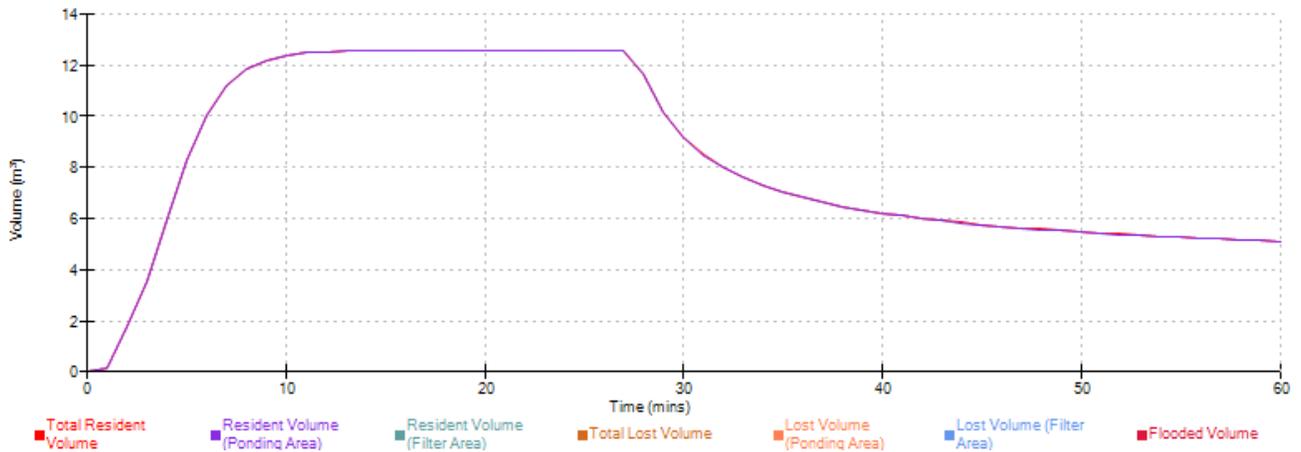


Figura. Curva tiempo-volumen de biorretención 5. Fuente: xpdrainge.

Tiempo (mins)	Inlet		Gasto total de entrada (L/s)	Profundidad (Área superficial) (m)	Profundidad (Área filtrado) (m)	Volumen residente (Área superficial) (m³)	Volumen residente (Área filtrado) (m³)	Volumen residente total (m³)	Volumen perdido (Área superficial) (m³)	Volumen perdido (Área filtrado) (m³)	Volumen perdido total (m³)	Tubo perforado (L/s)	Vertedor (L/s)	Gasto de salida total (L/s)
	Continuation (L/s)	Bypass (L/s)												
1	38.4	3.3	38.4	1.32	0.000	0.171	0.000	0.171	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
2	28.6	0.0	28.6	1.40	0.000	1.791	0.000	1.791	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
3	44.0	2.8	44.0	1.44	0.000	3.557	0.000	3.557	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
4	45.0	5.0	45.0	1.48	0.000	5.931	0.000	5.931	0.000	0.000	0.000	0.0	1.5	1.5
5	45.0	5.0	45.0	1.51	0.000	8.289	0.000	8.289	0.000	0.000	0.000	0.0	8.9	8.9
6	45.0	5.0	45.0	1.54	0.000	10.057	0.000	10.057	0.000	0.000	0.000	0.0	20.0	20.0
7	45.0	5.0	45.0	1.56	0.001	11.185	0.000	11.186	0.000	0.000	0.000	0.0	29.8	29.8
8	45.0	5.0	45.0	1.56	0.001	11.835	0.000	11.836	0.000	0.000	0.000	0.0	36.4	36.4
9	45.0	23.5	45.0	1.57	0.002	12.190	0.000	12.190	0.000	0.000	0.000	0.0	40.3	40.3
10	45.0	75.9	45.0	1.57	0.002	12.378	0.000	12.379	0.000	0.000	0.000	0.0	42.4	42.4
11	45.0	75.9	45.0	1.57	0.002	12.477	0.000	12.478	0.000	0.000	0.000	0.0	43.5	43.5
12	45.0	75.9	45.0	1.57	0.003	12.529	0.001	12.529	0.000	0.000	0.000	0.0	44.1	44.1
13	45.0	75.9	45.0	1.57	0.003	12.555	0.001	12.556	0.000	0.000	0.000	0.0	44.4	44.4
14	45.0	75.9	45.0	1.58	0.003	12.569	0.001	12.569	0.000	0.000	0.000	0.0	44.6	44.6
15	45.0	75.9	45.0	1.58	0.004	12.576	0.001	12.577	0.000	0.000	0.000	0.0	44.7	44.7
16	45.0	64.2	45.0	1.58	0.004	12.579	0.001	12.580	0.000	0.000	0.000	0.0	44.7	44.7
17	45.0	44.0	45.0	1.58	0.004	12.581	0.001	12.582	0.000	0.000	0.000	0.0	44.7	44.7
18	45.0	23.9	45.0	1.58	0.004	12.582	0.001	12.583	0.000	0.000	0.000	0.0	44.7	44.7
19	45.0	6.9	45.0	1.58	0.005	12.583	0.001	12.584	0.000	0.000	0.000	0.0	44.7	44.7
20	45.0	5.0	45.0	1.58	0.005	12.583	0.002	12.585	0.000	0.000	0.000	0.0	44.8	44.8
21	45.0	5.0	45.0	1.58	0.005	12.583	0.002	12.585	0.000	0.000	0.000	0.0	44.8	44.8
22	45.0	5.0	45.0	1.58	0.006	12.583	0.002	12.585	0.000	0.000	0.000	0.0	44.8	44.8
23	45.0	5.0	45.0	1.58	0.006	12.583	0.002	12.585	0.000	0.000	0.000	0.0	44.8	44.8
24	45.0	5.0	45.0	1.58	0.006	12.583	0.002	12.586	0.000	0.000	0.000	0.0	44.8	44.8
25	45.0	5.0	45.0	1.58	0.006	12.583	0.003	12.586	0.000	0.000	0.000	0.0	44.8	44.8
26	45.0	5.0	45.0	1.58	0.007	12.583	0.003	12.586	0.000	0.000	0.000	0.0	44.8	44.8
27	15.5	1.7	15.5	1.58	0.007	12.563	0.003	12.566	0.000	0.000	0.000	0.0	44.5	44.5
28	0.0	0.0	0.0	1.56	0.007	11.671	0.003	11.674	0.000	0.000	0.000	0.0	34.8	34.8
29	0.0	0.0	0.0	1.54	0.008	10.183	0.004	10.187	0.000	0.000	0.000	0.0	20.9	20.9
30	0.0	0.0	0.0	1.53	0.008	9.188	0.004	9.192	0.000	0.000	0.000	0.0	13.7	13.7
31	0.0	0.0	0.0	1.52	0.008	8.502	0.004	8.506	0.000	0.000	0.000	0.0	9.7	9.7
40	0.0	0.0	0.0	1.48	0.011	6.216	0.007	6.223	0.000	0.000	0.000	0.0	1.7	1.7
50	0.0	0.0	0.0	1.47	0.013	5.471	0.012	5.482	0.000	0.000	0.000	0.0	0.6	0.6
60	0.0	0.0	0.0	1.47	0.016	5.099	0.017	5.115	0.000	0.000	0.000	0.0	0.3	0.3

Tabla. Resultados hidráulicos de biorretención 5 a los 60 minutos.

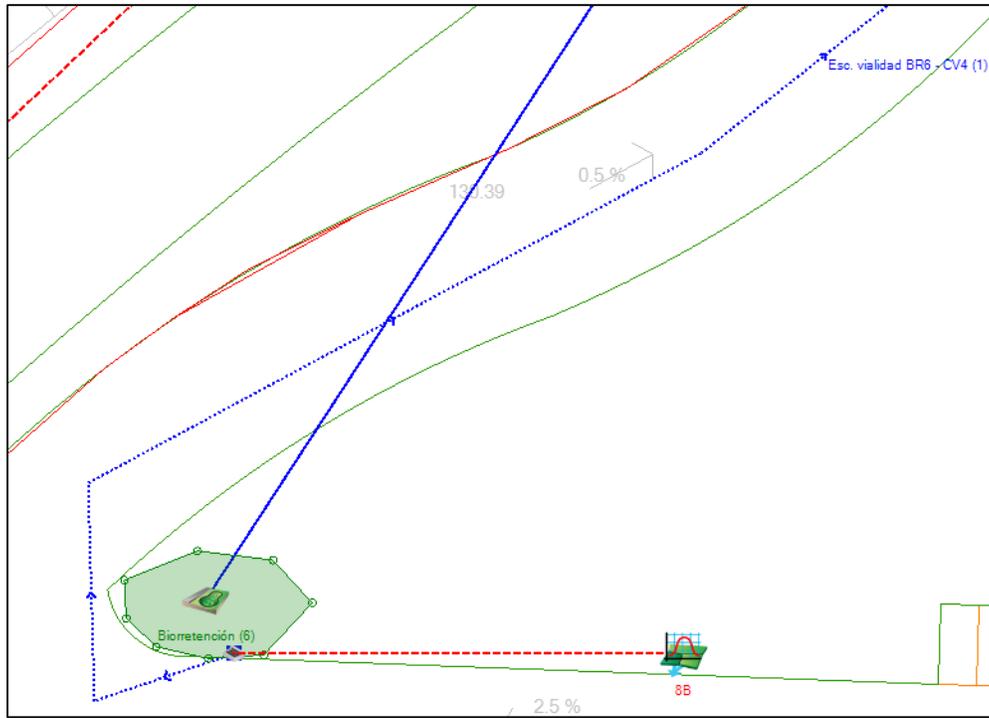


Figura. Vista en planta de biorretención 6 y su conexión de salida.

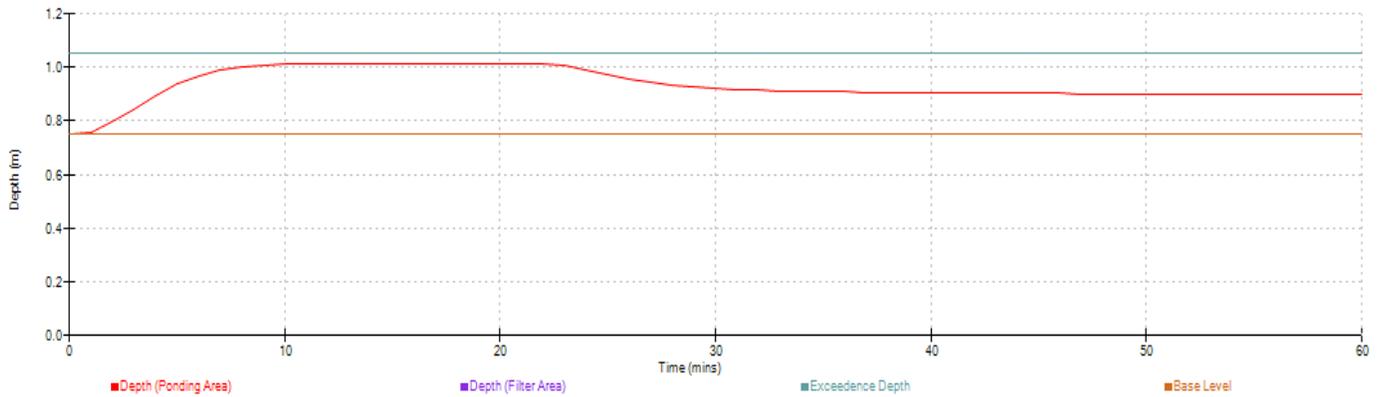


Figura. Grafica del comportamiento del tirante dentro de Biorretención 6.

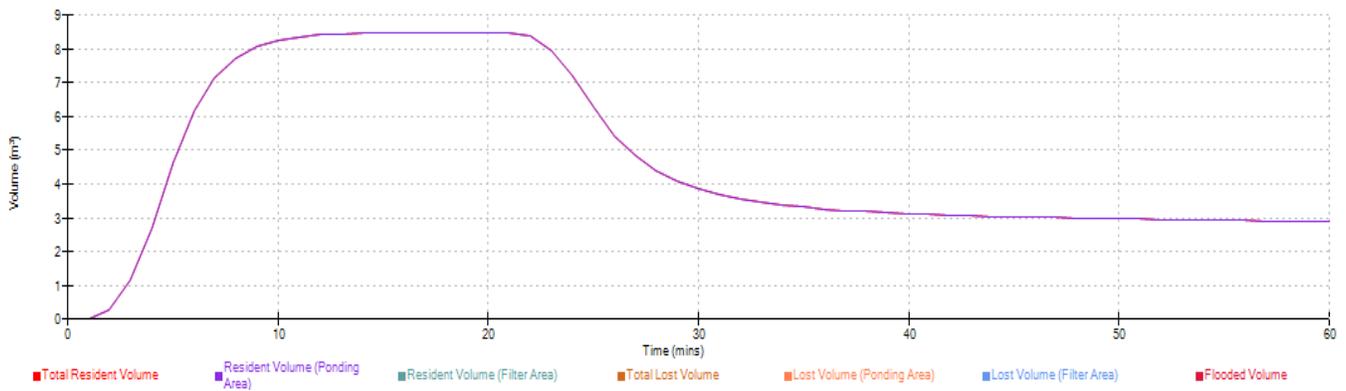


Figura. Curva tiempo-volumen de biorretención 6. Fuente: xpdrainage.

Tiempo (mins)	Inlet		Gasto total de entrada (L/s)	Profundidad (Área superficial) (m)	Profundidad (Área filtrado) (m)	Volumen residente (Área superficial) (m³)	Volumen residente (Área filtrado) (m³)	Volumen residente total (m³)	Volumen perdido (Área superficial) (m³)	Volumen perdido (Área filtrado) (m³)	Volumen perdido total (m³)	Outlet (L/s)	Infiltración (L/s)	Gasto de salida total (L/s)
	Continuation (L/s)	Bypass (L/s)												
1	6.4	0.0	6.4	0.757	0.00	0.011	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
2	17.4	0.0	17.4	0.794	0.00	0.279	0.000	0.279	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
3	28.4	0.0	28.4	0.843	0.00	1.156	0.000	1.156	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
4	38.3	1.1	38.3	0.893	0.00	2.685	0.000	2.685	0.000	0.000	0.000	0.3	0.0	0.3
5	40.0	10.4	40.0	0.937	0.00	4.605	0.000	4.605	0.000	0.000	0.000	7.3	0.0	7.3
6	40.0	21.4	40.0	0.969	0.00	6.162	0.000	6.162	0.000	0.000	0.000	18.1	0.0	18.1
7	40.0	32.4	40.0	0.989	0.00	7.152	0.000	7.152	0.000	0.000	0.000	26.6	0.0	26.6
8	40.0	43.4	40.0	1.000	0.00	7.735	0.000	7.735	0.000	0.000	0.000	32.2	0.0	32.2
9	40.0	54.4	40.0	1.007	0.00	8.065	0.000	8.065	0.000	0.000	0.000	35.6	0.0	35.6
10	40.0	59.0	40.0	1.011	0.00	8.249	0.000	8.249	0.000	0.000	0.000	37.5	0.0	37.5
11	40.0	59.0	40.0	1.013	0.00	8.350	0.000	8.350	0.000	0.000	0.000	38.5	0.0	38.5
12	40.0	59.0	40.0	1.014	0.00	8.405	0.000	8.405	0.000	0.000	0.000	39.1	0.0	39.1
13	40.0	59.0	40.0	1.014	0.00	8.435	0.000	8.435	0.000	0.000	0.000	39.4	0.0	39.4
14	40.0	59.0	40.0	1.015	0.00	8.451	0.000	8.452	0.000	0.000	0.000	39.6	0.0	39.6
15	40.0	59.0	40.0	1.015	0.00	8.460	0.000	8.460	0.000	0.000	0.000	39.7	0.0	39.7
16	40.0	52.6	40.0	1.015	0.00	8.465	0.000	8.465	0.000	0.000	0.000	39.8	0.0	39.8
17	40.0	41.6	40.0	1.015	0.00	8.468	0.000	8.468	0.000	0.000	0.000	39.8	0.0	39.8
18	40.0	30.6	40.0	1.015	0.00	8.469	0.000	8.469	0.000	0.000	0.000	39.8	0.0	39.8
19	40.0	19.6	40.0	1.015	0.00	8.470	0.000	8.470	0.000	0.000	0.000	39.8	0.0	39.8
20	40.0	8.6	40.0	1.015	0.00	8.470	0.000	8.470	0.000	0.000	0.000	39.8	0.0	39.8
21	37.2	0.4	37.2	1.015	0.00	8.469	0.000	8.470	0.000	0.000	0.000	39.8	0.0	39.8
22	26.6	0.0	26.6	1.013	0.00	8.372	0.000	8.372	0.000	0.000	0.000	38.8	0.0	38.8
23	15.6	0.0	15.6	1.004	0.00	7.934	0.000	7.934	0.000	0.000	0.000	34.2	0.0	34.2
24	4.6	0.0	4.6	0.990	0.00	7.209	0.000	7.209	0.000	0.000	0.000	27.2	0.0	27.2
25	0.0	0.0	0.0	0.972	0.00	6.298	0.000	6.298	0.000	0.000	0.000	19.2	0.0	19.2
26	0.0	0.0	0.0	0.954	0.00	5.433	0.000	5.433	0.000	0.000	0.000	12.5	0.0	12.5
27	0.0	0.0	0.0	0.942	0.00	4.824	0.000	4.824	0.000	0.000	0.000	8.5	0.0	8.5
28	0.0	0.0	0.0	0.933	0.00	4.399	0.000	4.399	0.000	0.000	0.000	6.0	0.0	6.0
29	0.0	0.0	0.0	0.927	0.00	4.093	0.000	4.093	0.000	0.000	0.000	4.3	0.0	4.3
30	0.0	0.0	0.0	0.922	0.00	3.868	0.000	3.868	0.000	0.000	0.000	3.2	0.0	3.2
40	0.0	0.0	0.0	0.904	0.00	3.124	0.000	3.124	0.000	0.000	0.000	0.3	0.0	0.3
50	0.0	0.0	0.0	0.901	0.00	2.973	0.000	2.973	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
60	0.0	0.0	0.0	0.899	0.00	2.889	0.000	2.889	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0

Tabla. Resultados hidráulicos de biorretención 6 a los 60 minutos.

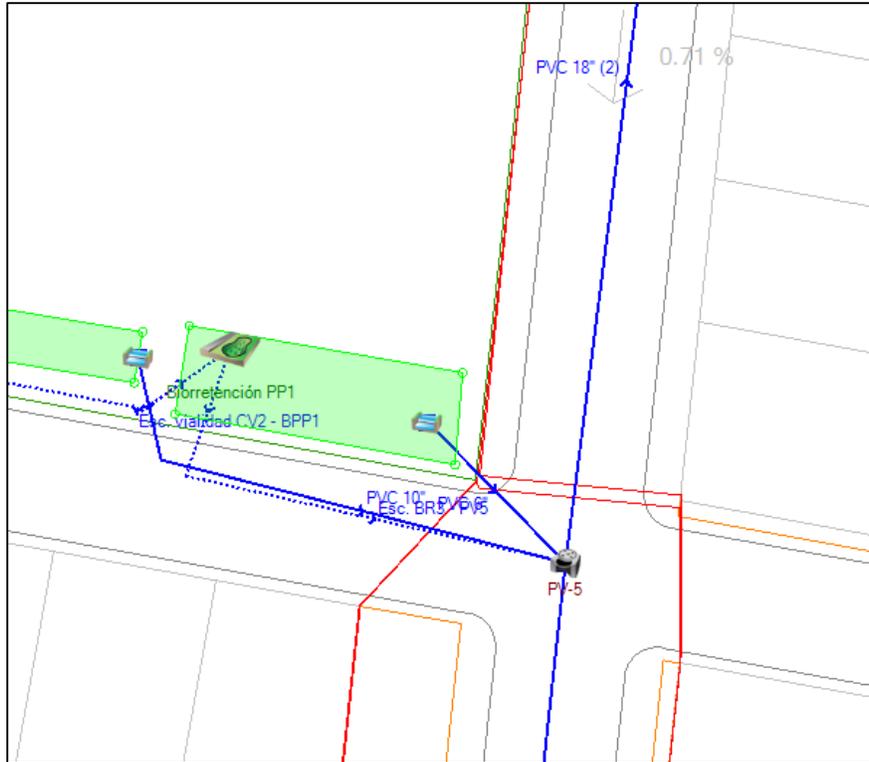


Figura. Vista en planta de biorretención PP1 y su conexión de salida.

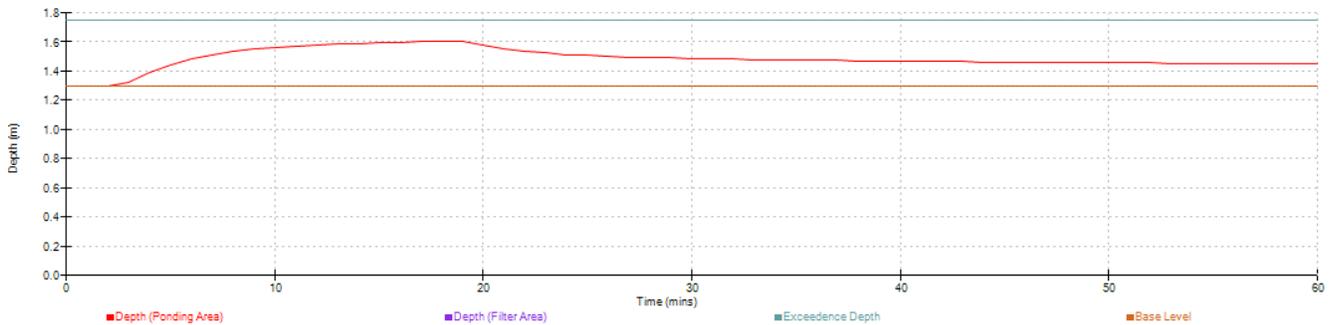


Figura. Grafica del comportamiento del tirante dentro de Biorretención PP1.

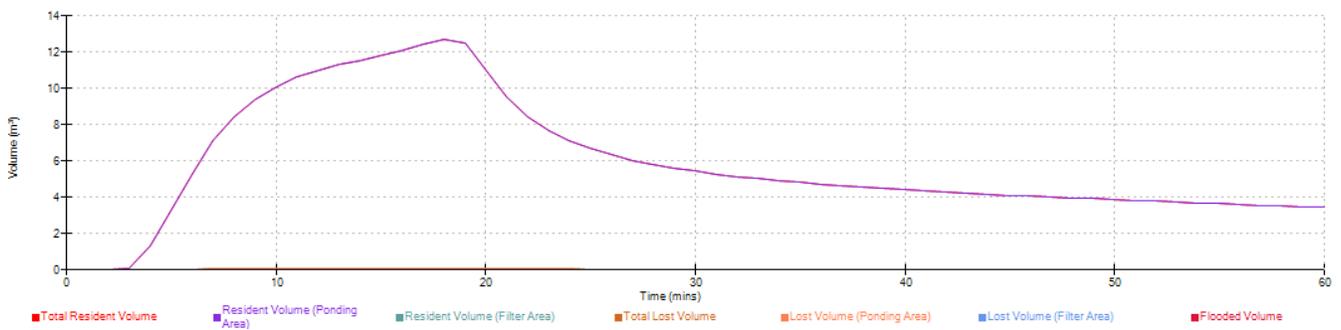


Figura. Curva tiempo-volumen de biorretención PP1. Fuente: xpdrainage.

Tiempo (mins)	Inlet (2)		Gasto total de entrada (L/s)	Profundidad (Área superficial) (m)	Profundidad (Área filtrado) (m)	Volumen residente (Área superficial) (m³)	Volumen residente (Área filtrado) (m³)	Volumen residente total (m³)	Volumen perdido (Área superficial) (m³)	Volumen perdido (Área filtrado) (m³)	Volumen perdido total (m³)	Vertedor (L/s)	Infiltración (L/s)	Gasto de salida total (L/s)
	Continuation (L/s)	Bypass (L/s)												
1	0.0	0.0	0.0	1.30	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	1.30	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
3	18.4	1.2	18.4	1.32	0.00	0.102	0.000	0.102	0.001	0.000	0.001	0.0	0.0	0.0
4	35.0	39.1	35.0	1.39	0.00	1.320	0.000	1.320	0.013	0.000	0.013	0.0	0.2	0.2
5	35.0	78.5	35.0	1.45	0.00	3.337	0.000	3.337	0.030	0.000	0.030	0.0	0.5	0.5
6	35.0	80.0	35.0	1.48	0.00	5.341	0.000	5.341	0.047	0.000	0.047	1.8	0.8	2.5
7	35.0	80.0	35.0	1.51	0.00	7.091	0.000	7.091	0.062	0.000	0.062	7.2	1.0	8.2
8	35.0	80.0	35.0	1.54	0.00	8.440	0.000	8.440	0.074	0.000	0.074	13.9	1.2	15.2
9	35.0	80.0	35.0	1.55	0.00	9.407	0.000	9.408	0.083	0.000	0.083	19.5	1.4	20.9
10	35.0	80.0	35.0	1.56	0.00	10.093	0.000	10.093	0.089	0.000	0.089	23.4	1.5	24.9
11	35.0	80.0	35.0	1.57	0.00	10.592	0.000	10.592	0.094	0.000	0.094	25.9	1.6	27.5
12	35.0	80.0	35.0	1.58	0.00	10.972	0.000	10.972	0.097	0.000	0.098	27.4	1.6	29.1
13	35.0	80.0	35.0	1.58	0.00	11.280	0.000	11.280	0.100	0.000	0.100	28.4	1.7	30.0
14	35.0	80.0	35.0	1.59	0.00	11.546	0.000	11.546	0.103	0.000	0.103	28.8	1.7	30.5
15	35.0	80.0	35.0	1.59	0.00	11.803	0.000	11.803	0.105	0.000	0.105	28.7	1.7	30.4
16	35.0	80.0	35.0	1.60	0.00	12.102	0.000	12.102	0.107	0.000	0.107	27.7	1.8	29.5
17	35.0	64.9	35.0	1.60	0.00	12.403	0.000	12.403	0.110	0.000	0.110	28.1	1.8	30.0
18	32.7	13.9	32.7	1.61	0.00	12.674	0.000	12.674	0.112	0.000	0.112	28.5	1.9	30.4
19	3.2	0.0	3.2	1.60	0.00	12.480	0.000	12.480	0.111	0.000	0.111	28.3	1.8	30.1
20	0.0	0.0	0.0	1.58	0.00	11.021	0.000	11.021	0.098	0.000	0.098	27.2	1.6	28.8
21	0.0	0.0	0.0	1.55	0.00	9.528	0.000	9.528	0.084	0.000	0.084	20.2	1.4	21.6
22	0.0	0.0	0.0	1.54	0.00	8.453	0.000	8.453	0.074	0.000	0.075	14.0	1.2	15.2
23	0.0	0.0	0.0	1.52	0.00	7.684	0.000	7.684	0.067	0.000	0.068	9.9	1.1	11.0
24	0.0	0.0	0.0	1.51	0.00	7.114	0.000	7.114	0.062	0.000	0.062	7.2	1.0	8.2
25	0.0	0.0	0.0	1.51	0.00	6.677	0.000	6.677	0.058	0.000	0.059	5.4	1.0	6.4
26	0.0	0.0	0.0	1.50	0.00	6.329	0.000	6.329	0.055	0.000	0.055	4.2	0.9	5.1
27	0.0	0.0	0.0	1.50	0.00	6.045	0.000	6.045	0.053	0.000	0.053	3.3	0.9	4.2
28	0.0	0.0	0.0	1.49	0.00	5.808	0.000	5.808	0.051	0.000	0.051	2.6	0.8	3.5
29	0.0	0.0	0.0	1.49	0.00	5.606	0.000	5.606	0.049	0.000	0.049	2.1	0.8	3.0
30	0.0	0.0	0.0	1.49	0.00	5.431	0.000	5.431	0.047	0.000	0.048	1.8	0.8	2.5
40	0.0	0.0	0.0	1.47	0.00	4.415	0.000	4.415	0.039	0.000	0.039	0.3	0.7	0.9
50	0.0	0.0	0.0	1.46	0.00	3.871	0.000	3.871	0.035	0.000	0.035	0.0	0.6	0.6
60	0.0	0.0	0.0	1.45	0.00	3.439	0.000	3.439	0.031	0.000	0.031	0.0	0.5	0.5

Tabla. Resultados hidráulicos de biorretención PP1 a los 60 minutos.

TABLAS Y GRÁFICOS RESULTANTES DE DISEÑO FINAL DE CUNETAS VERDES

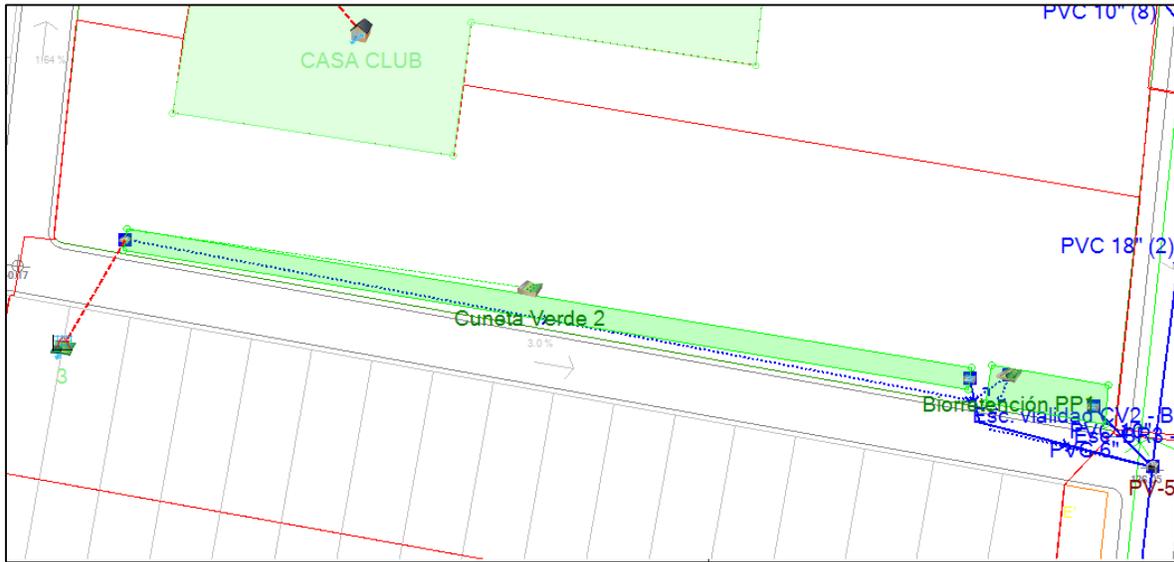


Figura. Vista en planta de cuneta verde 2 y su conexión de salida.

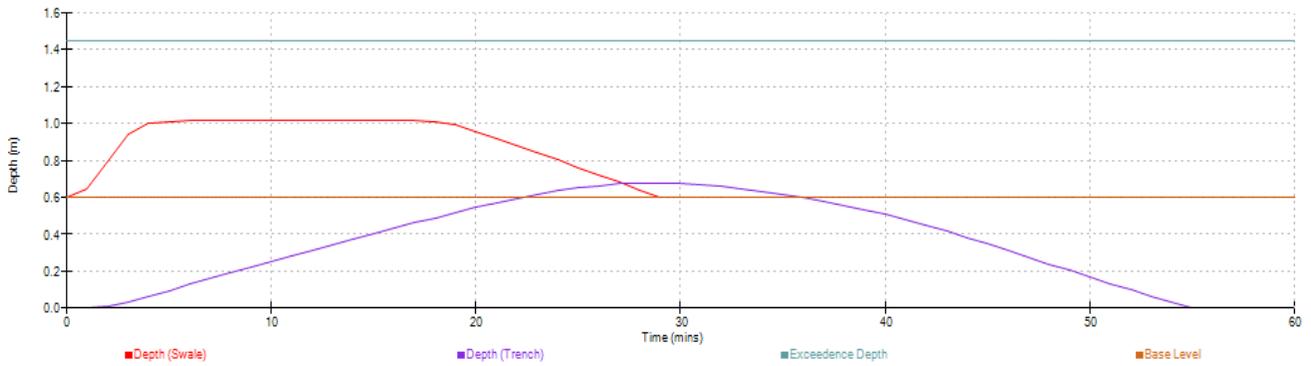


Figura. Grafica del comportamiento del tirante dentro de cuneta verde 2.

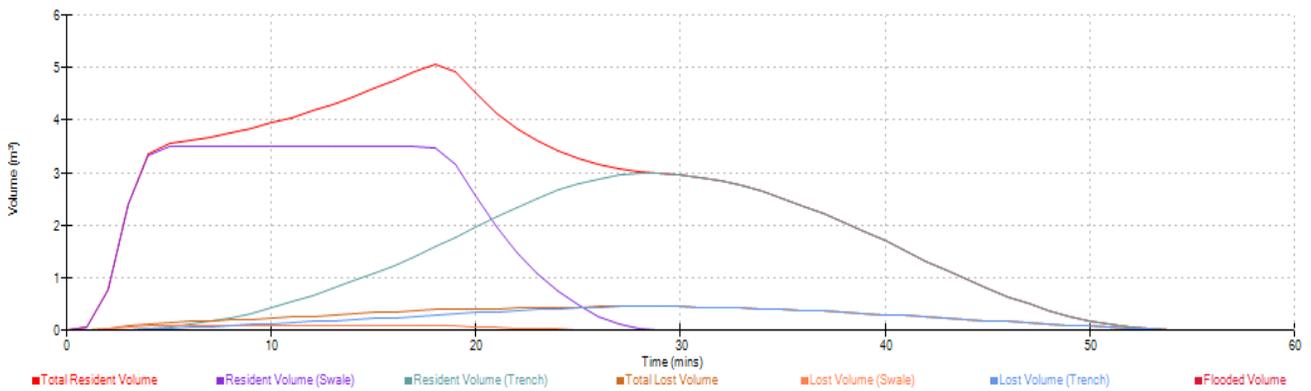


Figura. Curva tiempo-volumen de cuneta verde 2. Fuente: xpdrainage.

Tiempo (mins)	Inlet (2)		Inlet (3)		Gasto total de entrada (L/s)	Profundidad (Área superficial) (m)	Profundidad (zanja) (m)	Volumen residente (Área superficial) (m³)	Volumen residente (zanja) (m³)	Volumen residente total (m³)	Volumen perdido (Área superficial) (m³)	Volumen perdido (zanja) (m³)	Volumen perdido total (m³)	Outlet (L/s)	Outlet (1) (L/s)	Infiltración (L/s)	Gasto de salida total (L/s)
	Continuación (L/s)	Bypass (L/s)	Continuación (L/s)	Bypass (L/s)													
1	13.0	0.0	14.0	0.0	27.0	0.64	0.00	0.097	0.000	0.097	0.004	0.002	0.006	0.0	0.0	0.1	0.1
2	34.4	0.9	36.2	2.4	70.6	0.78	0.01	1.335	0.002	1.337	0.046	0.012	0.059	0.0	0.0	0.8	0.8
3	40.0	17.6	40.0	22.4	80.0	0.93	0.03	4.468	0.015	4.483	0.137	0.031	0.168	0.0	0.0	2.3	2.3
4	40.0	39.9	40.0	46.0	80.0	1.03	0.06	8.155	0.053	8.209	0.232	0.057	0.289	0.0	0.0	3.9	3.9
5	40.0	49.2	40.0	58.9	80.0	1.10	0.09	11.623	0.127	11.750	0.315	0.085	0.400	0.0	0.0	5.3	5.3
6	40.0	49.2	40.0	75.1	80.0	1.16	0.13	14.874	0.244	15.117	0.389	0.117	0.506	0.0	0.0	6.5	6.5
7	40.0	49.2	40.0	88.2	80.0	1.21	0.16	17.942	0.409	18.351	0.456	0.152	0.609	0.0	0.0	7.6	7.6
8	40.0	49.2	40.0	99.2	80.0	1.25	0.20	20.852	0.624	21.476	0.518	0.193	0.711	0.0	0.0	8.6	8.6
9	40.0	49.2	40.0	100.3	80.0	1.28	0.24	23.620	0.890	24.510	0.576	0.238	0.813	0.0	0.0	9.6	9.6
10	40.0	49.2	40.0	100.3	80.0	1.31	0.28	26.261	1.209	27.470	0.629	0.287	0.916	0.0	0.0	10.5	10.5
11	40.0	49.2	40.0	100.3	80.0	1.34	0.32	28.780	1.581	30.361	0.679	0.340	1.019	0.4	0.0	11.3	11.7
12	40.0	49.2	40.0	100.3	80.0	1.37	0.36	30.981	2.006	32.987	0.721	0.396	1.117	7.9	0.0	12.0	19.9
13	40.0	49.2	40.0	100.3	80.0	1.38	0.41	32.406	2.484	34.890	0.753	0.456	1.209	19.8	0.0	12.6	32.4
14	40.0	49.2	40.0	100.3	80.0	1.39	0.45	33.226	3.015	36.241	0.770	0.517	1.287	27.4	0.0	12.8	40.3
15	40.0	49.2	40.0	100.3	80.0	1.39	0.49	33.676	3.598	37.273	0.780	0.586	1.366	32.0	0.0	13.0	45.0
16	40.0	36.2	40.0	86.3	80.0	1.40	0.54	33.916	4.225	38.141	0.785	0.654	1.439	34.4	0.0	13.1	47.5
17	40.0	13.9	40.0	62.3	80.0	1.40	0.58	34.043	4.890	38.932	0.788	0.725	1.513	35.8	0.0	13.1	48.9
18	31.4	0.1	40.0	31.8	71.4	1.40	0.62	34.085	5.575	39.660	0.788	0.797	1.585	36.2	0.0	13.1	49.4
19	9.3	0.0	24.7	0.9	34.0	1.40	0.66	33.962	6.256	40.218	0.784	0.871	1.654	33.8	0.0	13.1	46.8
20	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	1.38	0.70	32.812	6.881	39.693	0.759	0.942	1.701	22.4	0.0	12.7	35.1
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.36	0.73	30.656	7.429	38.085	0.714	1.008	1.722	6.0	0.0	11.9	17.9
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.34	0.76	28.844	7.902	36.746	0.678	1.067	1.745	0.1	0.0	11.3	11.4
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.32	0.79	27.125	8.300	35.425	0.645	1.118	1.763	0.0	0.0	10.7	10.7
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.30	0.81	25.369	8.631	34.000	0.610	1.162	1.771	0.0	0.0	10.2	10.2
25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.28	0.83	23.608	8.900	32.508	0.574	1.197	1.771	0.0	0.0	9.6	9.6
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.26	0.84	21.850	9.113	30.963	0.538	1.226	1.764	0.0	0.0	9.0	9.0
27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.24	0.85	20.103	9.274	29.377	0.502	1.247	1.749	0.0	0.0	8.4	8.4
28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.21	0.86	18.374	9.387	27.761	0.465	1.263	1.728	0.0	0.0	7.8	7.8
29	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.19	0.86	16.668	9.458	26.126	0.429	1.273	1.701	0.0	0.0	7.1	7.1
30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.16	0.86	15.002	9.491	24.493	0.392	1.277	1.669	0.0	0.0	6.5	6.5
40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.88	0.79	3.267	8.380	11.647	0.104	1.133	1.237	0.0	2.9	1.7	4.6
50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.60	0.58	0.000	4.895	4.895	0.000	0.728	0.728	0.0	2.4	0.0	2.4
60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.60	0.32	0.000	1.534	1.534	0.000	0.333	0.333	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla. Resultados hidráulicos de cuneta verde 1 a los 60 minutos.

Tiempo (mins)	Inlet (2)		Gasto total de entrada (L/s)	Profundidad (Área superficial) (m)	Profundidad (zanja) (m)	Volumen residente (Área superficial) (m³)	Volumen residente (zanja) (m³)	Volumen residente total (m³)	Volumen perdido (Área superficial) (m³)	Volumen perdido (zanja) (m³)	Volumen perdido total (m³)	Vertedor (L/s)	Infiltración (L/s)	Gasto de salida total (L/s)
	Continuation (L/s)	Bypass (L/s)												
1	31.3	0.8	31.3	0.646	0.000	0.059	0.000	0.059	0.003	0.001	0.004	0.0	0.0	0.0
2	50.0	37.4	50.0	0.798	0.010	0.770	0.001	0.771	0.025	0.007	0.032	0.0	0.4	0.4
3	50.0	92.3	50.0	0.944	0.033	2.380	0.008	2.387	0.071	0.016	0.087	7.3	1.2	8.4
4	50.0	115.0	50.0	1.004	0.063	3.332	0.027	3.359	0.100	0.029	0.129	31.0	1.7	32.7
5	50.0	115.0	50.0	1.013	0.095	3.490	0.061	3.551	0.106	0.044	0.150	37.3	1.8	39.1
6	50.0	115.0	50.0	1.014	0.128	3.509	0.109	3.618	0.106	0.060	0.166	38.1	1.8	39.8
7	50.0	115.0	50.0	1.014	0.160	3.512	0.170	3.682	0.106	0.077	0.183	38.1	1.8	39.9
8	50.0	115.0	50.0	1.014	0.192	3.512	0.245	3.757	0.106	0.094	0.200	38.2	1.8	39.9
9	50.0	115.0	50.0	1.014	0.224	3.512	0.331	3.844	0.106	0.112	0.218	38.2	1.8	39.9
10	50.0	115.0	50.0	1.014	0.255	3.512	0.430	3.942	0.106	0.130	0.236	38.2	1.8	39.9
11	50.0	115.0	50.0	1.014	0.286	3.512	0.540	4.052	0.106	0.149	0.255	38.2	1.8	39.9
12	50.0	115.0	50.0	1.014	0.316	3.512	0.661	4.173	0.106	0.168	0.275	38.2	1.8	39.9
13	50.0	115.0	50.0	1.014	0.346	3.512	0.792	4.304	0.106	0.188	0.294	38.2	1.8	39.9
14	50.0	115.0	50.0	1.014	0.376	3.512	0.933	4.445	0.106	0.208	0.315	38.2	1.8	39.9
15	50.0	115.0	50.0	1.014	0.405	3.512	1.084	4.596	0.106	0.229	0.335	38.2	1.8	39.9
16	50.0	83.2	50.0	1.014	0.434	3.512	1.243	4.756	0.106	0.250	0.356	38.2	1.8	39.9
17	50.0	28.1	50.0	1.014	0.462	3.512	1.412	4.924	0.106	0.271	0.378	38.2	1.8	39.9
18	22.9	0.0	22.9	1.012	0.491	3.475	1.589	5.064	0.105	0.293	0.398	36.7	1.8	38.4
19	0.0	0.0	0.0	0.994	0.518	3.150	1.773	4.923	0.094	0.315	0.409	24.3	1.6	25.9
20	0.0	0.0	0.0	0.958	0.545	2.561	1.964	4.525	0.076	0.337	0.413	7.9	1.3	9.2
21	0.0	0.0	0.0	0.917	0.571	1.965	2.156	4.121	0.058	0.359	0.417	0.7	1.0	1.7
22	0.0	0.0	0.0	0.879	0.596	1.497	2.344	3.841	0.046	0.380	0.426	0.0	0.8	0.8
23	0.0	0.0	0.0	0.841	0.618	1.096	2.518	3.614	0.035	0.400	0.434	0.0	0.6	0.6
24	0.0	0.0	0.0	0.802	0.637	0.757	2.670	3.427	0.025	0.417	0.442	0.0	0.4	0.4
25	0.0	0.0	0.0	0.763	0.653	0.482	2.794	3.275	0.017	0.431	0.448	0.0	0.3	0.3
26	0.0	0.0	0.0	0.722	0.665	0.268	2.887	3.155	0.010	0.442	0.452	0.0	0.2	0.2
27	0.0	0.0	0.0	0.681	0.672	0.116	2.950	3.066	0.005	0.450	0.455	0.0	0.1	0.1
28	0.0	0.0	0.0	0.638	0.677	0.027	2.984	3.011	0.002	0.454	0.455	0.0	0.0	0.0
29	0.0	0.0	0.0	0.603	0.677	0.000	2.989	2.989	0.000	0.454	0.454	0.0	0.0	0.0
30	0.0	0.0	0.0	0.600	0.674	0.000	2.965	2.965	0.000	0.451	0.451	0.0	0.0	0.0
40	0.0	0.0	0.0	0.600	0.507	0.000	1.699	1.699	0.000	0.306	0.306	0.0	0.0	0.0
50	0.0	0.0	0.0	0.600	0.167	0.000	0.186	0.186	0.000	0.080	0.080	0.0	0.0	0.0
60	0.0	0.0	0.0	0.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0

Tabla. Resultados hidráulicos de cuneta verde 2 a los 60 minutos.

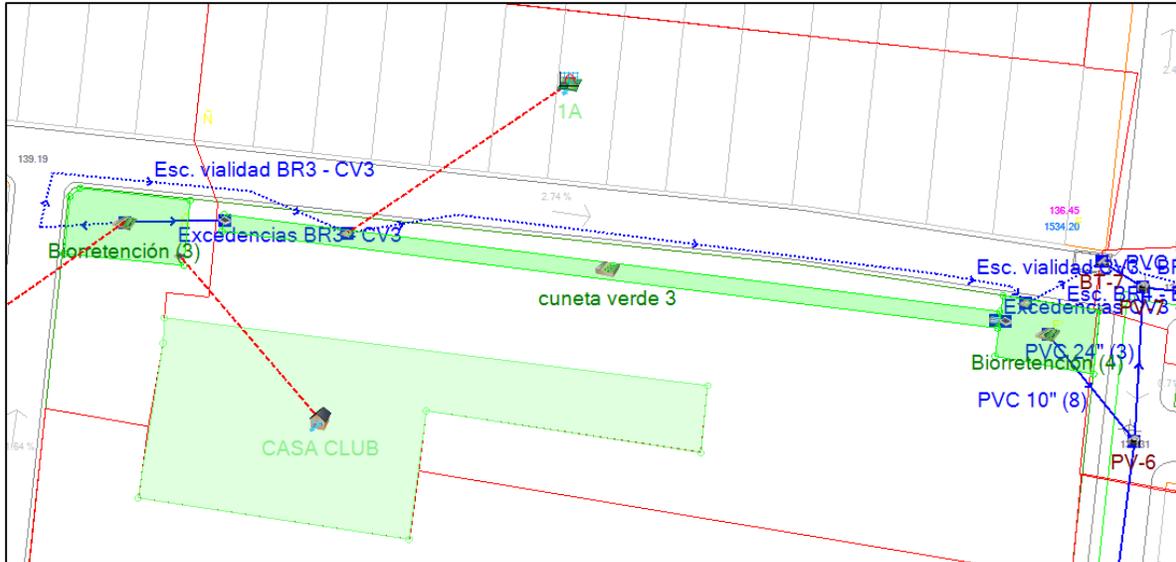


Figura. Vista en planta de cuneta verde 3 y su conexión de salida.

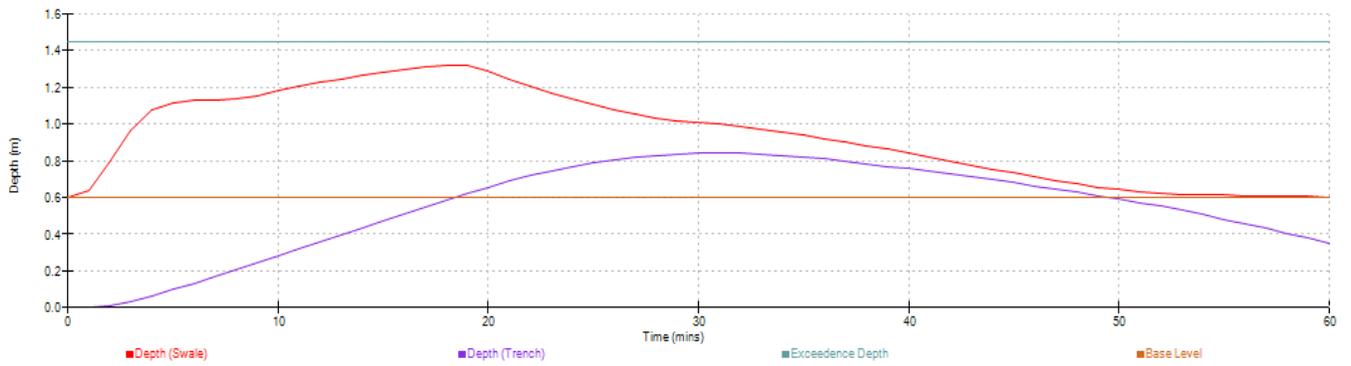


Figura. Grafica del comportamiento del tirante dentro de cuneta verde 3.

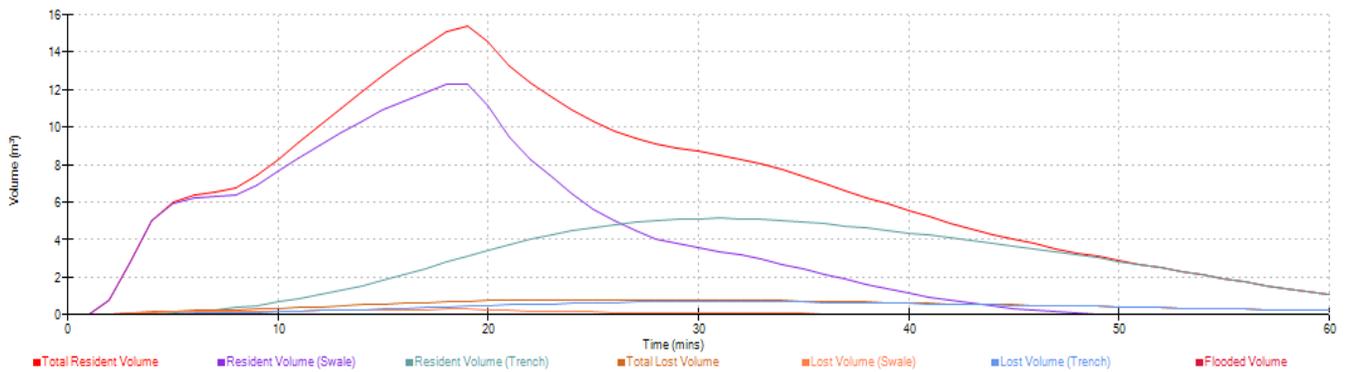


Figura. Curva tiempo-volumen de cuneta verde 3. Fuente: xpdrainage.

Tiempo (mins)	Inlet	Inlet (1)		Gasto total de entrada (L/s)	Profundidad (Área superficial) (m)	Profundidad (zanja) (m)	Volumen residente (Área superficial) (m³)	Volumen residente (zanja) (m³)	Volumen residente total (m³)	Volumen perdido (Área superficial) (m³)	Volumen perdido (zanja) (m³)	Volumen perdido total (m³)	Outlet (L/s)	Infiltración (L/s)	Gasto de salida total (L/s)
	Continuación (L/s)	Continuación (L/s)	Bypass (L/s)												
1	0.0	14.8	0.0	14.8	0.642	0.00	0.053	0.000	0.053	0.002	0.001	0.003	0.0	0.0	0.0
2	0.0	46.0	1.9	46.0	0.787	0.01	0.744	0.001	0.745	0.022	0.007	0.029	0.0	0.4	0.4
3	0.0	60.0	44.7	60.0	0.962	0.03	2.824	0.009	2.832	0.074	0.018	0.092	1.0	1.2	2.2
4	0.0	60.0	88.1	60.0	1.077	0.07	5.006	0.033	5.039	0.129	0.034	0.162	21.2	2.1	23.3
5	0.0	60.0	121.0	60.0	1.115	0.10	5.905	0.080	5.984	0.152	0.051	0.203	37.4	2.5	40.0
6	0.0	60.0	144.8	60.0	1.127	0.13	6.200	0.152	6.352	0.159	0.070	0.229	43.2	2.7	45.8
7	0.7	60.0	145.7	60.7	1.131	0.17	6.295	0.248	6.543	0.162	0.090	0.252	45.0	2.7	47.7
8	6.0	60.0	145.7	66.0	1.135	0.21	6.394	0.368	6.763	0.163	0.113	0.276	42.5	2.7	45.3
9	13.9	60.0	145.7	73.9	1.154	0.24	6.909	0.510	7.419	0.174	0.137	0.310	39.1	2.9	41.9
10	22.0	60.0	145.7	82.0	1.180	0.28	7.637	0.675	8.312	0.190	0.162	0.352	44.7	3.2	47.9
11	29.4	60.0	145.7	89.4	1.204	0.32	8.357	0.861	9.218	0.207	0.189	0.395	52.6	3.4	56.1
12	35.7	60.0	145.7	95.7	1.227	0.36	9.047	1.071	10.118	0.222	0.217	0.439	59.9	3.7	63.6
13	40.9	60.0	145.7	100.9	1.247	0.39	9.709	1.305	11.014	0.237	0.247	0.484	66.2	3.9	70.1
14	44.9	60.0	145.7	104.9	1.265	0.43	10.330	1.562	11.892	0.251	0.278	0.529	71.7	4.2	75.9
15	48.1	60.0	145.7	108.1	1.282	0.47	10.898	1.843	12.741	0.263	0.311	0.574	76.3	4.4	80.7
16	50.5	60.0	121.7	110.5	1.296	0.51	11.411	2.148	13.558	0.274	0.346	0.619	80.0	4.6	84.6
17	51.6	60.0	64.3	111.6	1.309	0.55	11.869	2.471	14.339	0.283	0.381	0.664	83.0	4.7	87.8
18	49.9	55.5	10.5	105.4	1.319	0.59	12.268	2.803	15.072	0.292	0.416	0.707	85.2	4.9	90.0
19	46.5	22.6	0.0	69.0	1.319	0.62	12.270	3.135	15.405	0.291	0.451	0.742	81.8	4.8	86.6
20	43.4	0.6	0.0	43.9	1.288	0.66	11.121	3.455	14.576	0.265	0.486	0.751	67.9	4.4	72.3
21	38.4	0.0	0.0	38.4	1.241	0.69	9.505	3.756	13.261	0.230	0.520	0.750	51.7	3.8	55.6
22	30.7	0.0	0.0	30.7	1.202	0.72	8.296	4.033	12.329	0.203	0.553	0.756	42.0	3.4	45.4
23	24.1	0.0	0.0	24.1	1.170	0.75	7.348	4.279	11.626	0.181	0.583	0.765	35.1	3.0	38.1
24	19.3	0.0	0.0	19.3	1.136	0.77	6.436	4.489	10.925	0.161	0.610	0.771	26.9	2.7	29.6
25	15.7	0.0	0.0	15.7	1.105	0.79	5.645	4.667	10.313	0.142	0.633	0.775	19.5	2.4	21.8
26	12.9	0.0	0.0	12.9	1.077	0.81	5.000	4.817	9.817	0.127	0.653	0.779	13.8	2.1	15.9
27	10.7	0.0	0.0	10.7	1.053	0.82	4.482	4.939	9.421	0.114	0.669	0.783	9.8	1.9	11.7
28	9.0	0.0	0.0	9.0	1.033	0.83	4.065	5.031	9.097	0.104	0.681	0.785	6.3	1.7	8.1
29	7.6	0.0	0.0	7.6	1.019	0.84	3.774	5.096	8.870	0.096	0.690	0.786	2.9	1.6	4.5
30	6.5	0.0	0.0	6.5	1.008	0.84	3.574	5.132	8.706	0.091	0.695	0.785	0.9	1.5	2.4
40	1.7	0.0	0.0	1.7	0.841	0.76	1.176	4.367	5.543	0.034	0.594	0.628	0.0	0.6	0.6
50	0.6	0.0	0.0	0.6	0.642	0.59	0.034	2.858	2.892	0.002	0.422	0.423	0.0	0.0	0.0
60	0.2	0.0	0.0	0.2	0.604	0.35	0.000	1.047	1.048	0.000	0.214	0.214	0.0	0.0	0.0

Tabla. Resultados hidráulicos de cuneta verde 3 a los 60 minutos.



Figura. Vista en planta de cuneta verde 4 y su conexión de salida.

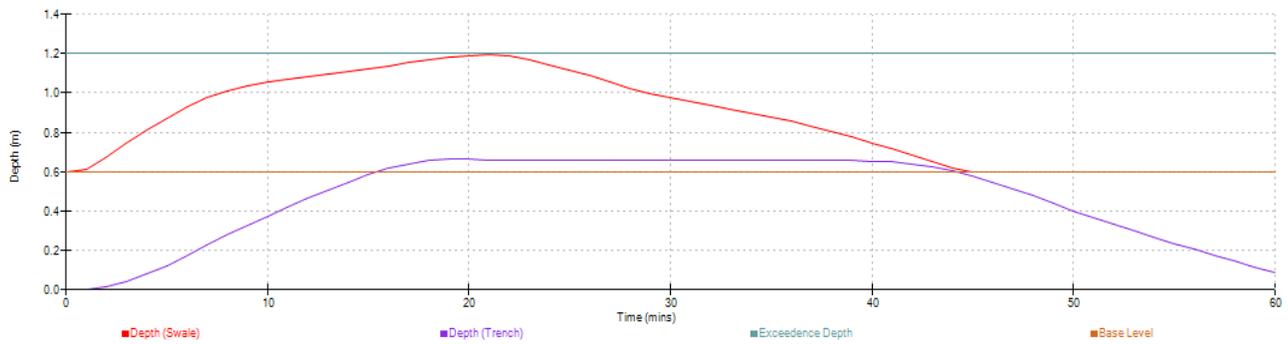


Figura. Grafica del comportamiento del tirante dentro de cuneta verde 4.

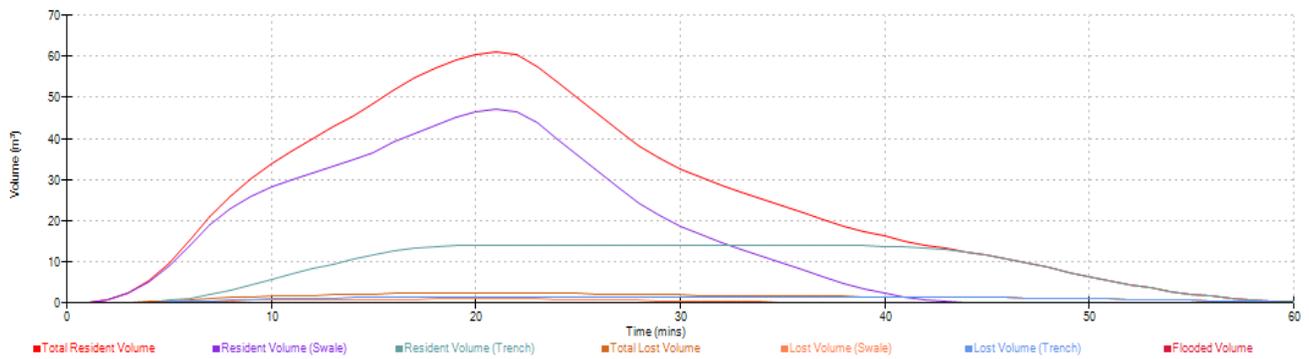


Figura. Curva tiempo-volumen de cuneta verde 4. Fuente: xpdrainage.

Tiempo (mins)	Inlet (2)		Inlet		Gasto total de entrada (L/s)	Profundidad (Área superficial) (m)	Profundidad (zanja) (m)	Volumen residente (Área superficial) (m³)	Volumen residente (zanja) (m³)	Volumen residente total (m³)	Volumen perdido (Área superficial) (m³)	Volumen perdido (zanja) (m³)	Volumen perdido total (m³)	Outlet (L/s)	Infiltración (L/s)	Gasto de salida total (L/s)
	Continuación (L/s)	Bypass (L/s)	Continuación (L/s)	Bypass (L/s)												
1	10.5	0.0	6.0	0.0	16.5	0.61	0.01	0.035	0.009	0.044	0.002	0.023	0.025	0.0	0.0	0.0
2	28.6	0.0	16.2	0.0	44.8	0.67	0.06	0.616	0.158	0.774	0.019	0.117	0.136	0.0	0.3	0.3
3	46.6	0.0	26.5	0.0	73.1	0.74	0.12	2.326	0.609	2.935	0.062	0.244	0.306	0.0	1.0	1.0
4	64.6	0.0	36.5	0.2	101.1	0.81	0.18	5.225	1.376	6.601	0.128	0.389	0.517	0.0	2.1	2.1
5	82.6	0.0	40.0	6.9	122.6	0.87	0.25	9.262	2.431	11.693	0.214	0.546	0.760	0.0	3.6	3.6
6	98.3	7.0	40.0	17.1	138.3	0.93	0.31	14.105	3.738	17.843	0.311	0.713	1.024	2.3	5.2	7.5
7	100.0	43.7	40.0	27.4	140.0	0.98	0.36	18.978	5.236	24.214	0.406	0.875	1.281	14.2	6.8	20.9
8	100.0	72.1	40.0	31.6	140.0	1.01	0.41	23.028	6.763	29.791	0.480	0.968	1.448	30.6	8.0	38.6
9	100.0	90.1	40.0	31.6	140.0	1.04	0.46	26.110	8.219	34.329	0.535	1.042	1.577	44.4	8.9	53.3
10	100.0	105.5	40.0	31.6	140.0	1.06	0.51	28.473	9.602	38.076	0.575	1.113	1.687	53.7	9.6	63.3
11	100.0	118.7	40.0	31.6	140.0	1.07	0.55	30.380	10.917	41.297	0.606	1.180	1.786	59.2	10.1	69.3
12	100.0	123.2	40.0	31.6	140.0	1.09	0.60	32.068	12.167	44.235	0.632	1.244	1.876	60.4	10.5	70.9
13	100.0	124.0	40.0	31.6	140.0	1.10	0.64	33.792	13.352	47.144	0.658	1.309	1.967	59.2	11.0	70.2
14	100.0	124.4	40.0	31.6	140.0	1.11	0.68	35.438	14.469	49.907	0.683	1.380	2.063	60.9	11.4	72.3
15	100.0	124.6	40.0	31.6	140.0	1.12	0.73	36.964	15.511	52.475	0.706	1.459	2.165	62.5	11.8	74.2
16	100.0	114.3	40.0	25.7	140.0	1.13	0.79	38.384	16.465	54.849	0.727	1.555	2.281	63.8	12.1	75.9
17	100.0	96.0	40.0	15.4	140.0	1.14	0.85	40.009	17.196	57.205	0.748	1.669	2.418	65.2	12.5	77.7
18	100.0	70.1	40.0	5.2	140.0	1.16	0.85	42.066	17.194	59.259	0.778	1.667	2.444	67.0	13.0	80.0
19	100.0	41.2	35.0	0.0	135.0	1.17	0.85	43.892	17.211	61.103	0.803	1.670	2.474	68.6	13.4	82.0
20	100.0	12.2	24.8	0.0	124.8	1.18	0.85	45.350	17.206	62.556	0.823	1.669	2.492	69.8	13.7	83.5
21	83.1	0.0	14.5	0.0	97.6	1.19	0.85	46.089	17.206	63.296	0.833	1.669	2.503	70.4	13.9	84.3
22	54.1	0.0	4.3	0.0	58.3	1.18	0.85	45.340	17.206	62.546	0.823	1.669	2.492	69.8	13.7	83.5
23	39.7	0.0	0.0	0.0	39.7	1.16	0.85	42.550	17.206	59.757	0.784	1.669	2.454	67.4	13.1	80.5
24	36.9	0.0	0.0	0.0	36.9	1.14	0.85	38.724	17.206	55.930	0.730	1.669	2.399	64.0	12.2	76.2
25	30.9	0.0	0.0	0.0	30.9	1.11	0.85	34.867	17.206	52.073	0.672	1.669	2.342	60.2	11.2	71.4
26	23.2	0.0	0.0	0.0	23.2	1.08	0.85	30.856	17.206	48.062	0.611	1.669	2.280	59.1	10.2	69.3
27	15.5	0.0	0.0	0.0	15.5	1.05	0.85	26.877	17.206	44.083	0.545	1.669	2.215	47.0	9.1	56.1
28	10.2	0.0	0.0	0.0	10.2	1.02	0.85	23.402	17.206	40.608	0.485	1.669	2.154	31.6	8.1	39.7
29	7.1	0.0	0.0	0.0	7.1	0.99	0.85	20.486	17.206	37.693	0.431	1.669	2.101	19.1	7.2	26.3
30	5.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.97	0.85	18.034	17.206	35.241	0.385	1.669	2.055	10.4	6.4	16.8
40	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4	0.72	0.76	1.697	15.968	17.664	0.046	1.500	1.547	0.0	0.8	0.8
50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.60	0.39	0.000	6.013	6.013	0.000	0.929	0.929	0.0	0.0	0.0
60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.60	0.11	0.000	0.522	0.522	0.000	0.226	0.226	0.0	0.0	0.0

Tabla. Resultados hidráulicos de cuneta verde 4 a los 60 minutos.

TABLAS Y GRÁFICOS RESULTANTES DE DISEÑO FINAL DE ESTANQUES

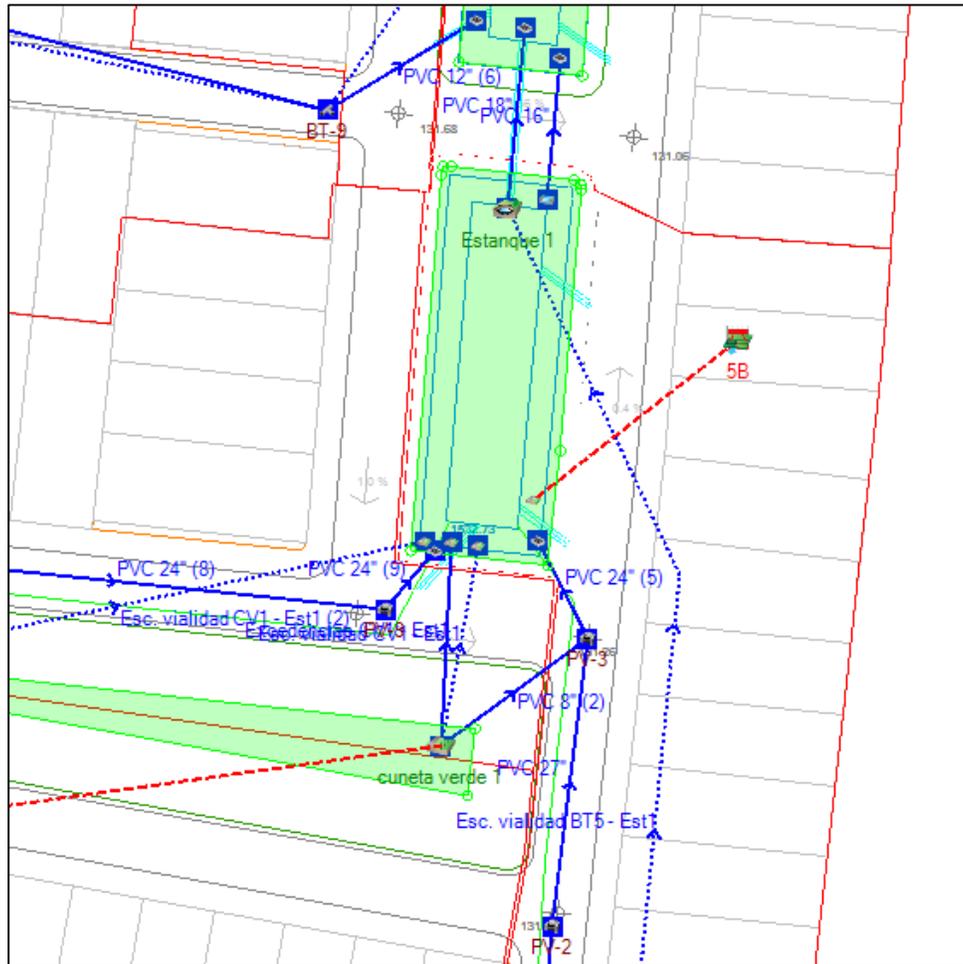


Figura. Vista en planta de estanque 1 y su conexión de salida.

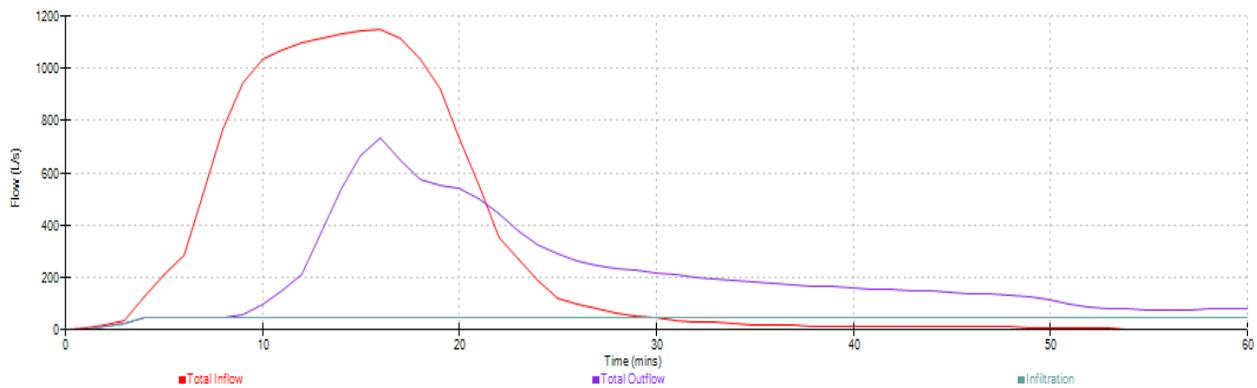


Figura Hidrograma de entrada y salida de estanque 1. Fuente: xpdraiange

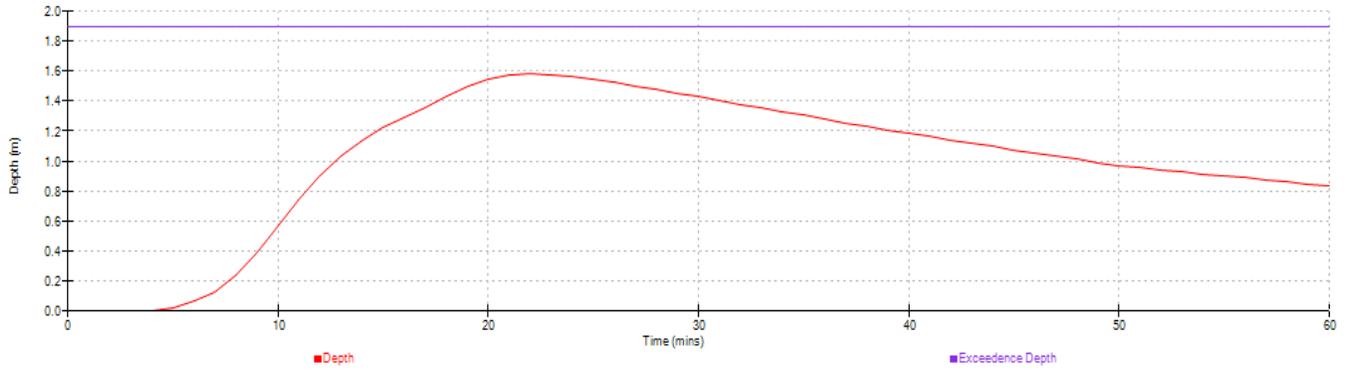


Figura. Grafica del comportamiento del tirante dentro de estanque 1. Fuente: xpdraiange

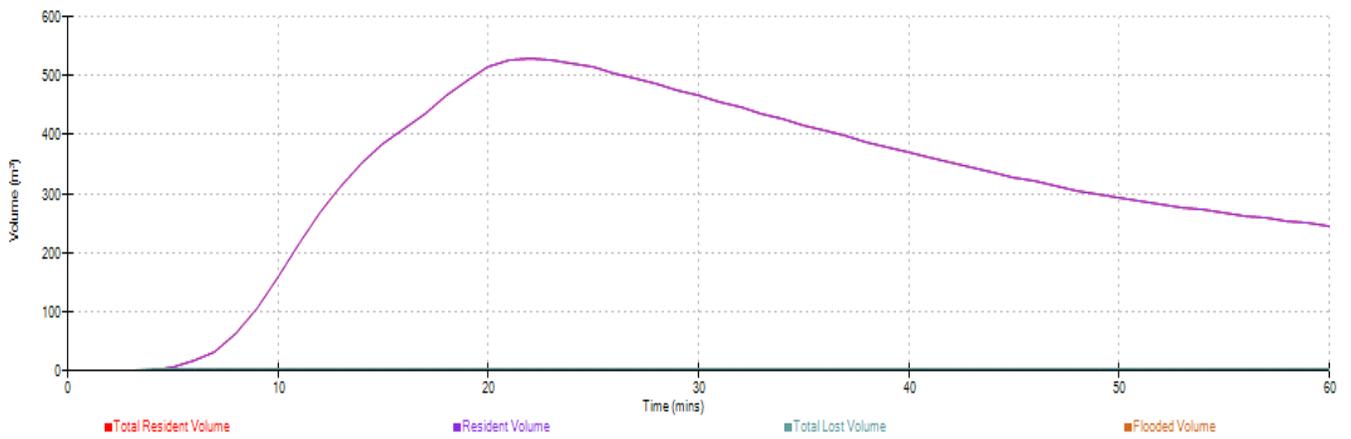


Figura. Curva tiempo-volumen de estanque 1. Fuente: xpdraiange.

Tiempo (mins)	Inlet (1)	Inlet (2)	Inlet (4)	Inlet (5)	Inlet (6)	Inlet	Inlet (3)	Gasto total de entrada (L/s)	Profundidad (m)	Volumen residente Total (m³)	Volumen perdido total (m³)	Outlet (L/s)	Vertedor (L/s)	Infiltración (L/s)	Gasto de salida total (L/s)
	Continuación (L/s)														
1.00	6.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.53	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	3.46	3.46
2.00	17.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.68	0.00	0.00	0.84	0.00	0.00	13.97	13.97
3.00	28.83	0.00	0.00	4.31	2.42	0.00	1.09	36.65	0.00	0.00	1.64	0.00	0.00	27.28	27.28
4.00	39.98	0.00	0.00	25.04	22.42	0.00	37.25	124.68	0.00	0.83	2.90	0.00	0.00	48.41	48.41
5.00	51.13	0.00	0.00	45.48	46.00	0.00	68.50	211.12	0.03	6.34	2.92	0.00	0.00	48.61	48.61
6.00	62.28	0.00	0.00	49.20	58.91	4.30	109.46	284.14	0.07	16.71	2.92	0.00	0.00	48.61	48.61
7.00	73.43	76.55	0.00	49.20	75.06	58.04	186.04	518.32	0.13	32.76	2.92	0.00	0.00	48.61	48.61
8.00	78.10	190.69	0.00	49.20	88.22	163.53	200.00	769.74	0.24	62.33	2.92	0.27	0.00	48.61	48.88
9.00	78.10	262.18	0.00	49.20	99.18	255.88	200.00	944.55	0.39	106.24	2.92	11.79	0.00	48.61	60.40
10.00	78.10	309.11	0.00	49.20	100.28	300.92	200.00	1037.6	0.57	158.44	2.92	51.02	0.00	48.61	99.63
11.00	78.10	313.80	0.00	49.20	100.28	329.41	200.00	1070.8	0.74	212.88	2.92	100.6	0.00	48.61	149.2
12.00	78.10	313.80	4.04	49.20	100.28	352.69	199.90	1098.00	0.90	266.47	2.92	147.73	12.65	48.61	208.99
13.00	78.10	313.80	16.45	49.20	100.28	360.86	192.59	1111.28	1.03	314.49	2.92	185.59	144.17	48.61	378.37
14.00	78.10	313.80	25.28	49.20	100.28	370.19	189.31	1126.16	1.14	352.65	2.92	199.88	294.65	48.61	543.15
15.00	78.10	313.80	30.73	49.20	100.28	377.50	187.81	1137.42	1.22	383.25	2.92	188.90	428.63	48.61	666.14
16.00	71.57	313.80	33.78	47.34	100.28	384.00	190.38	1141.15	1.29	408.62	2.92	160.96	524.16	48.61	733.73
17.00	60.43	311.38	35.43	28.76	86.28	389.92	191.45	1103.64	1.35	435.20	2.92	130.88	463.85	48.61	643.34
18.00	49.27	281.86	36.26	6.93	62.28	396.12	191.16	1023.88	1.43	464.69	2.92	113.03	408.27	48.61	569.91
19.00	38.13	210.64	34.94	0.00	31.84	402.17	191.12	908.83	1.49	491.72	2.92	107.51	391.29	48.61	547.41
20.00	26.97	84.51	27.86	0.00	0.88	386.64	192.46	719.32	1.54	512.16	2.92	104.66	380.04	48.61	533.31
21.00	15.83	0.56	10.74	0.00	0.00	320.15	191.52	538.80	1.57	523.17	2.92	97.36	350.85	48.61	496.82
22.00	4.67	0.00	0.72	0.00	0.00	237.17	100.63	343.19	1.57	526.26	2.92	85.13	303.73	48.61	437.47
23.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	187.16	68.37	255.53	1.57	522.80	2.92	70.19	250.76	48.61	369.56
24.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	141.48	28.42	169.90	1.55	517.48	2.92	56.44	213.31	48.61	318.36
25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	102.77	6.27	109.03	1.53	509.69	2.92	45.76	186.87	48.61	281.24
26.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81.62	4.83	86.45	1.51	500.35	2.92	38.71	167.57	48.61	254.90
27.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	67.43	3.69	71.12	1.49	490.76	2.92	35.52	155.09	48.61	239.22
28.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	56.36	3.44	59.80	1.47	481.01	2.92	33.41	146.95	48.61	228.97
29.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	47.38	3.26	50.64	1.44	471.08	2.92	31.93	141.31	48.61	221.85
30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.07	3.20	43.27	1.42	461.01	2.92	30.63	135.59	48.61	214.83
40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.67	6.51	16.18	1.18	366.67	2.92	21.79	90.17	48.61	160.57
50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.04	5.05	9.09	0.97	289.65	2.92	16.03	42.99	48.61	107.62
60.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.68	0.04	1.72	0.83	242.81	2.92	34.17	0.00	48.61	82.78
70.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.01	1.00	0.68	191.99	2.92	38.84	0.00	48.61	87.45
80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	0.01	0.63	0.51	140.81	2.92	34.30	0.00	48.61	82.91
90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.01	0.41	0.35	93.93	2.92	23.67	0.00	48.61	72.28
100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.27	0.23	59.53	2.92	1.02	0.00	48.61	49.63
110.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.18	0.12	30.45	2.92	0.00	0.00	48.61	48.61
120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.12	0.01	1.37	2.92	0.00	0.00	48.61	48.61
130.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08

Tabla. Resultados hidráulicos de Estanque 1 a los 130 minutos.

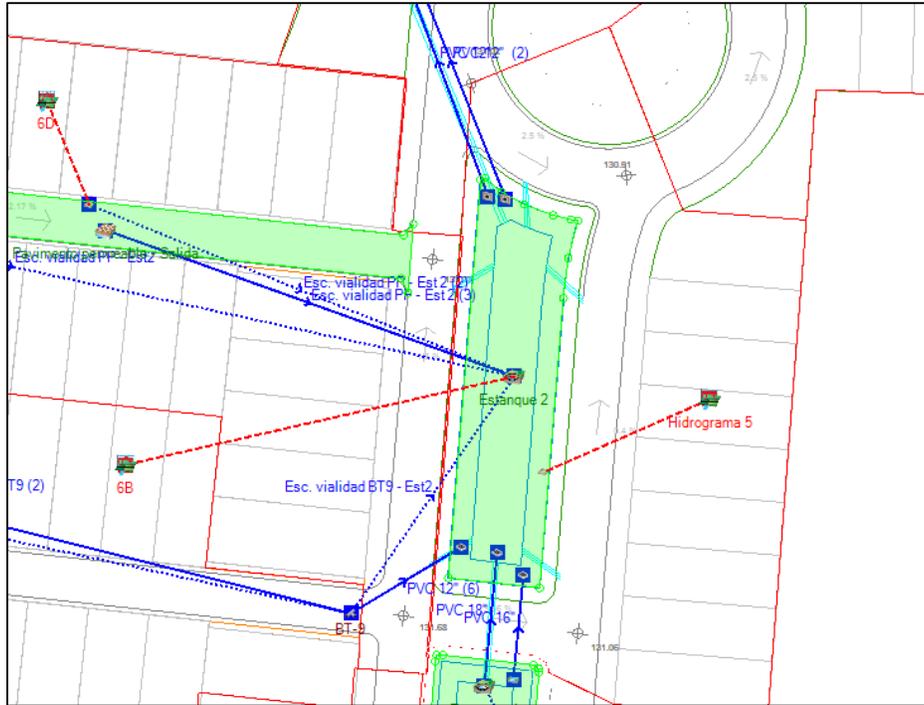


Figura. Vista en planta de estanque 2 y su conexión de salida.

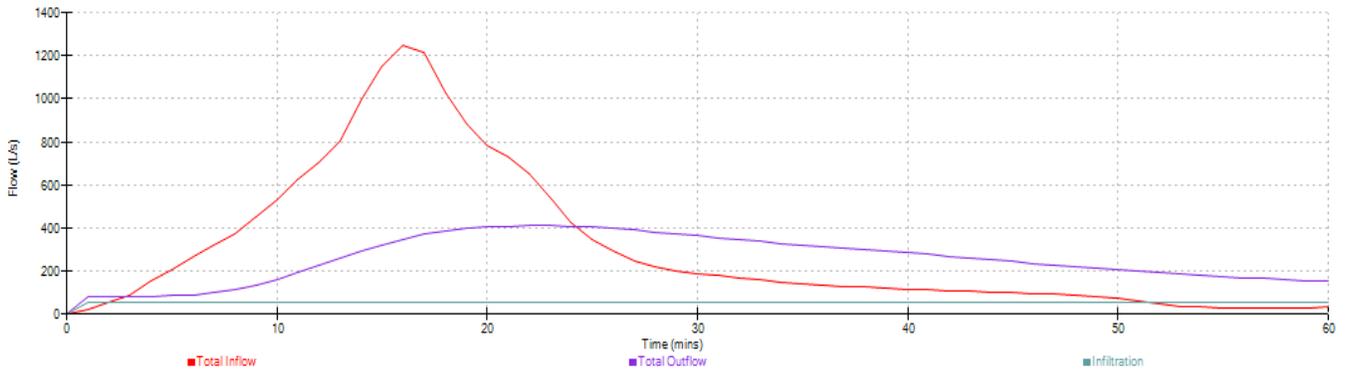


Figura Hidrograma de entrada y salida de estanque 2. Fuente: xpdraiange

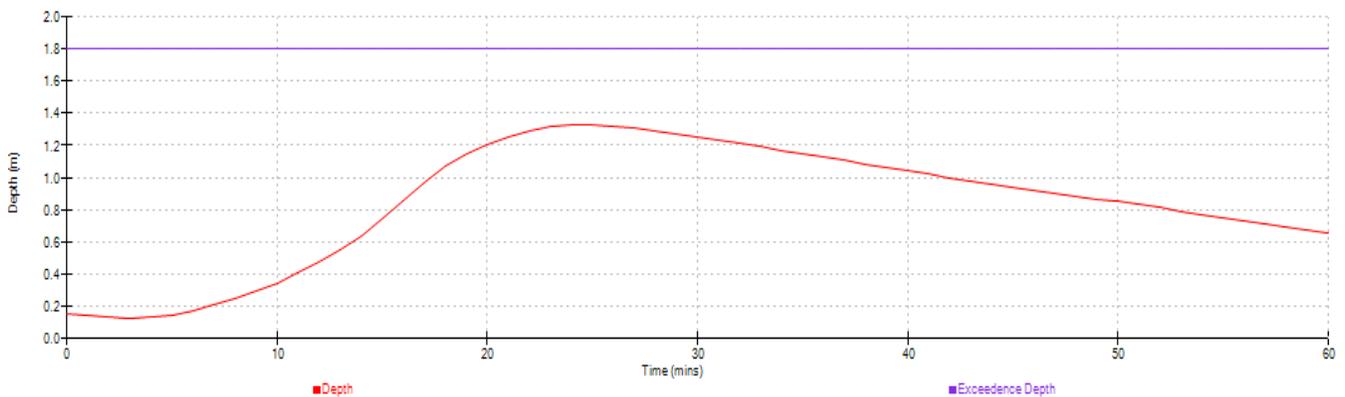


Figura. Grafica del comportamiento del tirante dentro de estanque 2. Fuente: xpdraiange

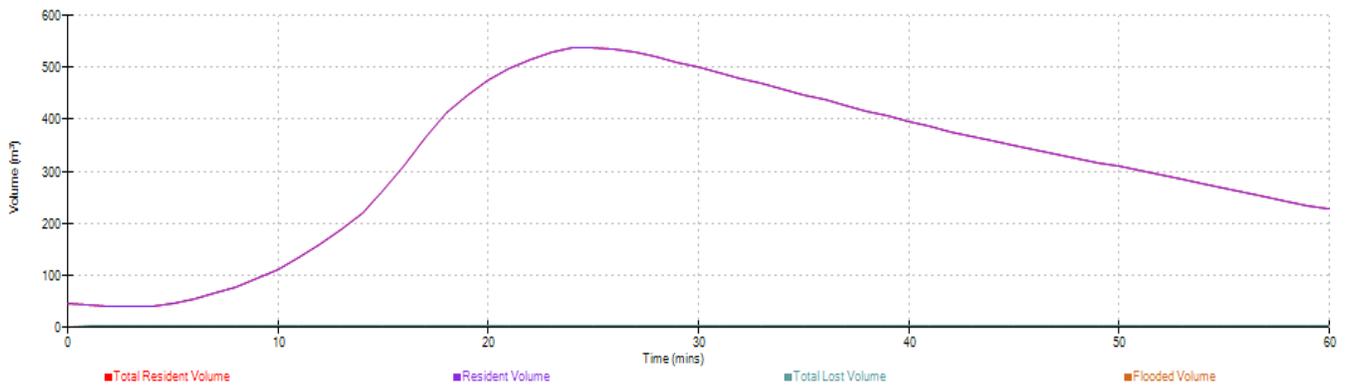


Figura. Curva tiempo-volumen de estanque 2. Fuente: xpdrainage.

Tiempo (mins)	Inlet	(2)	(1)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	Gasto total de entrada (L/s)	Profundidad (m)	Volumen residente Total (m³)	Volumen perdido total (m³)	Outlet (L/s)	Outlet (1) (L/s)	Infiltración (L/s)	Gasto de salida total (L/s)
	Continuación (L/s)																
1	0.0	4.4	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.4	0.141	43.77	3.49	0.0	25.2	58.2	83.3
2	0.0	11.9	40.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.6	0.131	40.54	3.49	0.0	22.2	58.2	80.4
3	0.0	19.3	66.4	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.0	0.128	39.43	3.49	0.0	21.2	58.2	79.4
4	0.0	26.8	92.1	33.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	152.0	0.133	40.99	3.49	0.0	22.7	58.2	80.8
5	0.0	34.3	102.8	63.5	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	204.2	0.148	45.93	3.49	0.0	26.8	58.2	85.0
6	0.0	41.8	102.8	93.7	0.0	0.0	0.0	30.2	0.0	268.5	0.173	53.83	3.49	0.0	32.3	58.2	90.5
7	0.0	49.2	102.8	106.3	0.0	0.1	0.0	60.6	0.0	319.0	0.207	65.08	3.49	0.2	40.5	58.2	98.8
8	0.0	52.3	102.8	106.3	1.0	7.4	17.7	88.5	0.0	376.0	0.247	78.40	3.49	2.3	52.4	58.2	112.9
9	1.7	52.3	102.8	106.3	21.3	19.3	55.5	93.6	0.0	452.8	0.293	94.09	3.49	7.9	67.0	58.2	133.1
10	21.4	52.3	102.8	106.3	41.2	33.0	79.4	93.6	0.0	530.1	0.347	112.70	3.49	18.9	84.2	58.2	161.3
11	68.6	52.3	102.8	106.3	63.0	47.2	93.6	93.6	0.0	627.4	0.407	134.18	3.49	34.0	101.3	58.2	193.4
12	116.1	52.3	102.8	106.3	78.3	53.5	100.8	93.6	0.0	703.7	0.477	159.56	3.49	53.1	113.1	58.2	224.4
13	162.2	52.3	102.8	106.3	82.9	56.3	103.3	93.6	41.0	800.8	0.551	187.46	3.49	76.5	124.2	58.2	258.9
14	193.4	52.3	102.8	106.3	86.9	58.8	103.7	93.6	198.2	996.0	0.634	219.93	3.49	100.4	135.6	58.2	294.2
15	198.7	52.3	102.8	106.3	90.2	60.9	103.8	93.6	341.0	1149.6	0.737	261.70	3.49	117.9	146.9	58.2	322.9
16	181.0	48.0	87.8	106.3	93.0	62.6	103.8	93.6	469.7	1245.8	0.852	310.80	3.49	134.1	155.4	58.2	347.7
17	150.2	40.5	62.1	88.7	95.2	63.9	103.8	91.1	518.2	1213.7	0.971	363.46	3.49	149.0	163.4	58.2	370.5
18	123.2	33.0	36.4	58.4	96.9	65.0	103.8	65.7	439.6	1021.9	1.074	411.32	3.49	160.8	169.4	58.2	388.4
19	110.3	25.5	10.7	28.1	98.3	65.5	103.8	35.2	400.0	877.3	1.149	447.28	3.49	168.8	172.6	58.2	399.6
20	106.7	18.1	0.0	2.7	92.6	57.8	103.6	6.6	388.4	776.5	1.204	474.35	3.49	173.9	174.3	58.2	406.3
21	102.9	10.6	0.0	0.0	82.2	54.4	100.4	0.0	372.9	723.4	1.247	495.94	3.49	175.3	175.3	58.2	408.8
22	93.7	3.1	0.0	0.0	75.6	46.2	91.2	0.0	336.7	646.5	1.284	514.33	3.49	176.1	176.1	58.2	410.4
23	80.2	0.0	0.0	0.0	57.2	33.2	77.7	0.0	285.5	533.8	1.310	527.84	3.49	176.1	176.1	58.2	410.4
24	65.3	0.0	0.0	0.0	35.5	18.4	62.8	0.0	236.3	418.4	1.323	534.72	3.49	174.8	174.8	58.2	407.8
25	52.6	0.0	0.0	0.0	20.7	12.6	47.9	0.0	203.7	337.7	1.324	535.11	3.49	172.4	172.4	58.2	402.9
26	42.8	0.0	0.0	0.0	16.6	10.1	33.3	0.0	179.6	282.3	1.316	531.16	3.49	169.1	169.1	58.2	396.4
27	37.5	0.0	0.0	0.0	13.6	8.2	19.1	0.0	162.8	241.2	1.303	524.38	3.49	165.3	165.3	58.2	388.8
28	34.7	0.0	0.0	0.0	11.3	6.7	6.3	0.0	152.0	211.1	1.286	515.66	3.49	161.2	161.2	58.2	380.5
29	32.9	0.0	0.0	0.0	9.5	5.6	0.1	0.0	144.9	192.9	1.267	505.71	3.49	156.8	156.8	58.2	371.7
30	31.5	0.0	0.0	0.0	7.6	4.7	0.0	0.0	139.6	183.5	1.246	495.26	3.49	152.3	152.3	58.2	362.7
40	22.2	0.0	0.0	0.0	1.9	1.2	0.0	0.0	92.1	117.3	1.033	391.87	3.49	112.0	112.0	58.2	282.3
50	16.1	0.0	0.0	0.0	0.6	0.4	0.0	0.0	55.2	72.4	0.842	306.28	3.49	73.5	73.5	58.2	205.2
60	33.3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	33.7	0.645	224.29	3.49	47.9	47.9	58.2	153.9
70	38.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	38.9	0.476	159.11	3.49	40.9	40.9	58.2	140.0
80	34.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.9	0.326	105.23	3.49	13.2	41.8	58.2	113.1
90	26.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.4	0.192	60.11	3.49	0.0	36.6	58.2	94.8
100	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.065	19.62	3.49	0.0	7.6	58.2	65.8
106	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla. Resultados hidráulicos de Estanque 2 a los 106 minutos.



Figura. Vista en planta de estanque 3 y su conexión de salida.

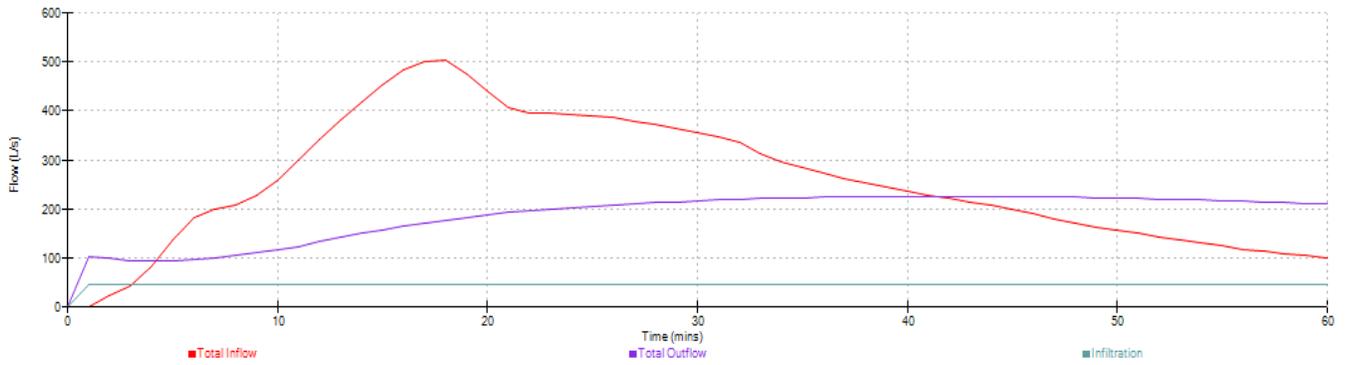


Figura Hidrograma de entrada y salida de estanque 3. Fuente: xpdrainge

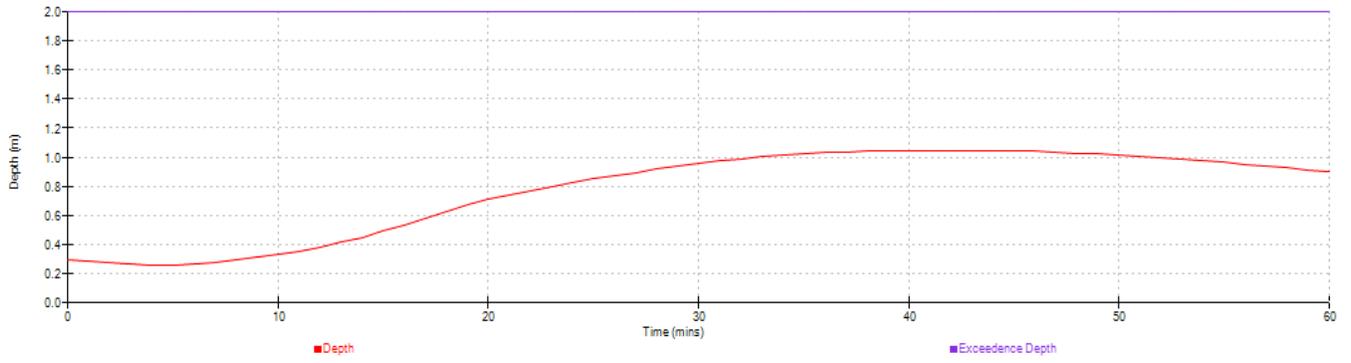


Figura. Grafica del comportamiento del tirante dentro de estanque 3. Fuente: xpdraiange

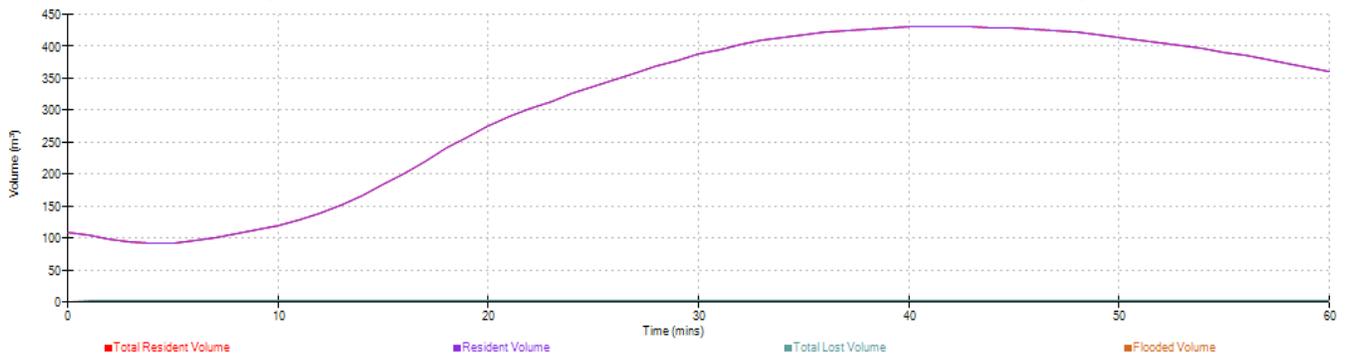


Figura. Curva tiempo-volumen de estanque 3. Fuente: xpdrainage.

Tiempo (mins)	Inlet	Inlet (1)	Inlet (2)	Gasto total de entrada (L/s)	Profundidad (m)	Volumen residente Total (m³)	Volumen perdido total (m³)	Outlet (1) (L/s)	Infiltración (L/s)	Gasto de salida total (L/s)
	Continuation (L/s)	Continuation (L/s)	Continuation (L/s)							
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.290	104.52	2.85	56.2	47.5	103.7
2	0.0	2.3	21.2	23.5	0.275	98.73	2.85	51.5	47.5	99.0
3	0.0	20.9	22.6	43.5	0.264	94.67	2.85	48.2	47.5	95.7
4	0.0	63.1	21.2	84.3	0.257	92.08	2.85	46.1	47.5	93.6
5	0.0	114.1	22.2	136.2	0.258	92.35	2.85	46.3	47.5	93.8
6	0.0	156.0	26.1	182.1	0.267	95.56	2.85	49.0	47.5	96.4
7	0.0	168.9	31.3	200.1	0.281	100.91	2.85	53.3	47.5	100.7
8	0.6	169.5	38.8	208.9	0.296	106.82	2.85	58.1	47.5	105.6
9	3.7	172.9	50.3	226.8	0.313	113.05	2.85	63.3	47.5	110.8
10	10.7	184.1	64.3	259.1	0.332	120.26	2.85	69.3	47.5	116.8
11	24.0	195.1	81.2	300.3	0.355	129.15	2.85	76.7	47.5	124.1
12	39.5	203.3	98.9	341.6	0.383	140.06	2.85	85.7	47.5	133.1
13	60.7	208.2	111.2	380.1	0.415	152.79	2.85	95.9	47.5	143.4
14	84.8	211.0	122.4	418.2	0.452	167.27	2.85	103.8	47.5	151.2
15	106.8	212.5	133.6	452.9	0.492	183.60	2.85	110.5	47.5	157.9
16	123.4	213.4	145.3	482.1	0.536	201.51	2.85	117.3	47.5	164.7
17	139.3	207.5	154.0	500.7	0.582	220.65	2.85	124.1	47.5	171.5
18	153.3	186.9	162.2	502.4	0.629	240.28	2.85	130.5	47.5	178.0
19	163.8	142.8	168.7	475.2	0.673	259.18	2.85	136.4	47.5	183.9
20	170.9	96.8	172.2	439.9	0.712	275.96	2.85	141.3	47.5	188.8
21	174.6	57.2	174.1	405.9	0.745	290.34	2.85	145.4	47.5	192.8
22	175.6	43.2	175.1	394.0	0.773	302.75	2.85	148.8	47.5	196.2
23	176.2	41.7	176.0	393.9	0.799	314.50	2.85	151.9	47.5	199.3
24	175.8	41.1	176.2	393.1	0.825	326.06	2.85	154.8	47.5	202.3
25	174.1	40.7	175.1	389.9	0.850	337.37	2.85	157.6	47.5	205.1
26	171.3	40.7	172.8	384.9	0.874	348.30	2.85	160.3	47.5	207.8
27	167.9	40.8	169.7	378.3	0.896	358.75	2.85	162.8	47.5	210.2
28	164.0	40.9	166.0	370.8	0.918	368.64	2.85	165.1	47.5	212.5
29	159.7	41.1	161.9	362.7	0.938	377.94	2.85	167.2	47.5	214.7
30	155.3	41.3	157.5	354.1	0.956	386.63	2.85	169.2	47.5	216.6
40	114.4	4.2	116.2	234.9	1.043	428.14	2.85	178.0	47.5	225.5
41	110.9	3.6	112.6	227.2	1.044	428.58	2.85	178.1	47.5	225.5
42	107.4	3.2	109.1	219.7	1.044	428.57	2.85	178.1	47.5	225.5
50	75.5	2.0	77.1	154.6	1.009	411.73	2.85	174.6	47.5	222.0
60	48.7	2.2	49.4	100.3	0.893	357.31	2.85	162.4	47.5	209.9
70	41.2	1.6	41.5	84.3	0.747	291.24	2.85	145.6	47.5	193.1
80	14.9	0.8	40.8	56.5	0.593	225.31	2.85	125.7	47.5	173.1
90	0.0	0.1	40.0	40.0	0.431	159.14	2.85	100.3	47.5	147.7
100	0.0	0.0	10.1	10.2	0.280	100.45	2.85	52.9	47.5	100.4
110	0.0	0.0	0.0	0.0	0.151	53.19	2.85	19.1	47.5	66.6
120	0.0	0.0	0.0	0.0	0.056	19.28	2.85	2.8	47.5	50.2
130	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0

Tabla. Resultados hidráulicos de Estanque 3 a los 130 minutos.

TABLAS DE RESULTADOS DE DISEÑO FINAL DE ZANJA DE INFILTRACIÓN

Tiempo (mins)	Inlet	Inlet (2)		Gasto total de entrada (L/s)	Profundidad (m)	Volumen total residente (m³)	Volumen total perdido (m³)	Outlet (L/s)	Infiltración (L/s)	Gasto total de salida (L/s)
	Continuation (L/s)	Continuation (L/s)	Bypass (L/s)							
1	0.0	9.3	0.0	9.3	0.002	0.001	0.018	0.0	0.3	0.3
2	0.0	25.5	0.0	25.5	0.022	0.040	0.082	0.0	1.4	1.4
3	0.0	41.5	0.0	41.5	0.052	0.209	0.181	0.0	3.0	3.0
4	0.0	57.7	0.0	57.7	0.090	0.612	0.311	0.0	5.2	5.2
5	0.0	73.7	0.0	73.7	0.134	1.352	0.471	0.0	7.8	7.8
6	0.1	80.4	0.0	80.5	0.183	2.527	0.655	0.0	10.9	10.9
7	5.1	81.7	0.0	86.9	0.241	4.230	0.750	0.0	12.5	12.5
8	19.6	109.4	1.4	129.0	0.319	6.564	0.817	0.0	13.6	13.6
9	35.6	120.0	25.3	155.6	0.421	9.645	0.905	0.0	15.1	15.1
10	48.0	120.0	44.8	168.0	0.548	13.433	1.014	0.0	16.9	16.9
11	56.0	120.0	61.0	176.0	0.693	17.780	1.139	0.0	19.0	19.0
12	60.2	120.0	75.0	180.2	0.847	22.421	1.275	8.4	21.2	29.6
13	59.6	120.0	83.2	179.6	0.931	24.938	1.359	65.9	22.7	88.5
14	59.8	120.0	84.2	179.8	0.957	25.712	1.376	87.4	22.9	110.4
15	61.5	120.0	84.7	181.5	0.970	26.089	1.390	107.0	23.2	130.2
16	62.9	120.0	75.6	182.9	0.980	26.405	1.401	124.5	23.4	147.9
17	64.2	120.0	54.7	184.2	0.988	26.647	1.410	138.7	23.5	162.2
18	65.8	120.0	21.2	185.8	0.994	26.809	1.417	148.7	23.6	172.3
19	67.6	102.3	0.2	169.9	0.997	26.896	1.420	154.2	23.7	177.9
20	69.0	57.5	0.0	126.5	0.995	26.858	1.419	152.2	23.6	175.9
21	70.1	21.8	0.0	91.9	0.990	26.696	1.413	142.6	23.5	166.1
22	70.3	0.8	0.0	71.2	0.983	26.477	1.405	129.7	23.4	153.1
23	69.2	0.0	0.0	69.2	0.974	26.217	1.395	115.1	23.3	138.4
24	66.4	0.0	0.0	66.4	0.965	25.937	1.385	100.2	23.1	123.3
25	62.8	0.0	0.0	62.8	0.955	25.641	1.374	85.4	22.9	108.3
26	59.9	0.0	0.0	59.9	0.945	25.338	1.364	71.3	22.7	94.0
27	56.2	0.0	0.0	56.2	0.936	25.070	1.354	59.5	22.6	82.1
28	41.8	0.0	0.0	41.8	0.930	24.895	1.348	52.2	22.5	74.7
29	27.1	0.0	0.0	27.1	0.927	24.815	1.345	49.0	22.4	71.4
30	15.8	0.0	0.0	15.8	0.926	24.778	1.344	47.5	22.4	69.9
40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.789	20.655	1.222	0.0	20.4	20.4
50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.436	10.089	0.918	0.0	15.3	15.3
60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.170	2.179	0.610	0.0	10.2	10.2

Tabla. Resultados hidráulicos de zanja de infiltración a los 60 minutos.

TABLAS Y GRÁFICOS RESULTANTES DE DISEÑO FINAL DE POZOS DE INFILTRACIÓN

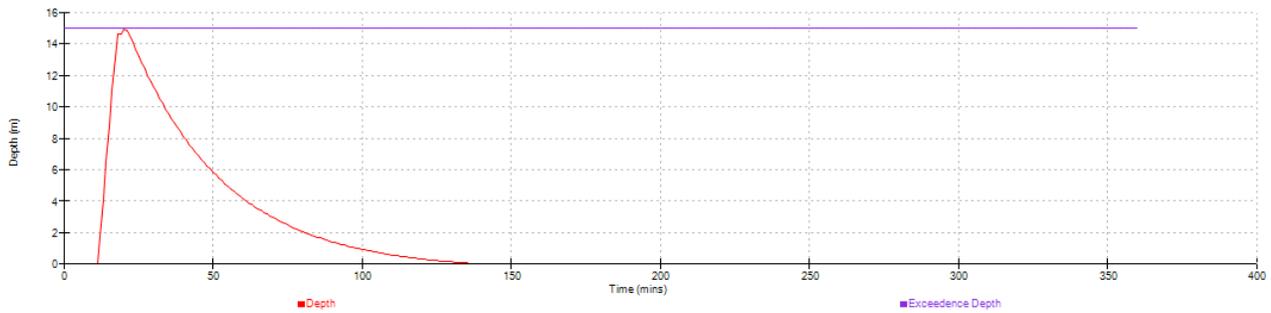


Figura. Grafica del comportamiento del tirante dentro de pozo de infiltración 4. Fuente: xpdraiange

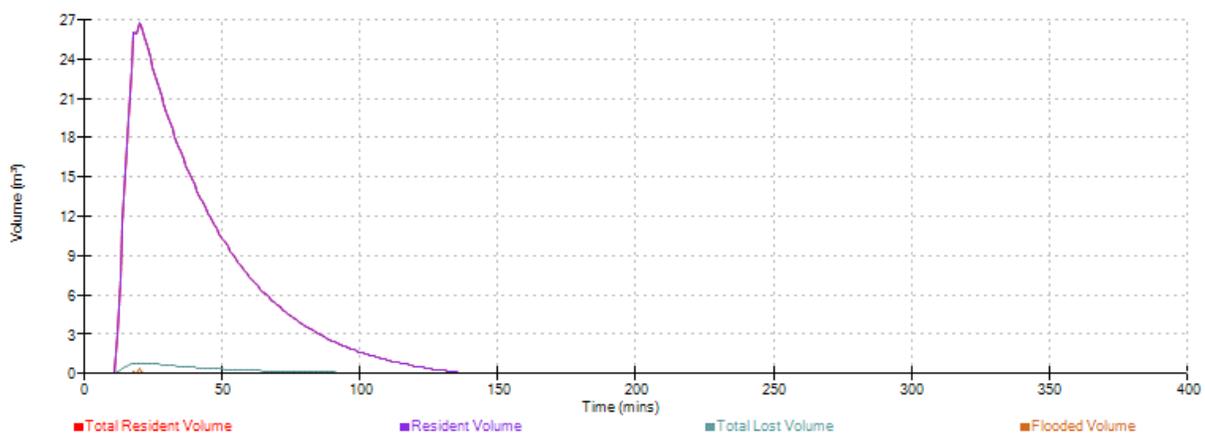


Figura. Curva tiempo-volumen de pozo de infiltración 4. Fuente: xpdraiange.

Tiempo (mins)	Inlet	Gasto total de entrada (L/s)	Profundidad (m)	Volumen total residente (m³)	Total volumen perdido (m³)	Outlet (L/s)	Infiltración (L/s)	Gasto de salida total (L/s)
	Continuation (L/s)							
1	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
12	69.4	69.4	1.742	3.078	0.114	0.0	1.9	1.9
13	72.4	72.4	4.139	7.315	0.249	0.0	4.2	4.2
14	75.2	75.2	6.500	11.487	0.380	0.0	6.3	6.3
15	75.6	75.6	8.807	15.563	0.507	0.0	8.5	8.5
16	75.6	75.6	11.045	19.517	0.631	0.0	10.5	10.5
17	68.9	68.9	13.140	23.221	0.743	0.0	12.4	12.4
18	61.9	61.9	14.642	26.000	0.761	6.9	12.7	19.6
19	20.7	20.7	14.631	25.855	0.763	3.4	12.7	16.2
20	26.0	26.0	14.945	26.808	0.763	17.5	12.7	30.2
21	23.3	23.3	14.890	26.462	0.763	11.3	12.7	24.0
22	0.0	0.0	14.522	25.662	0.763	0.0	12.7	12.7
23	0.0	0.0	14.090	24.899	0.763	0.0	12.7	12.7
24	0.0	0.0	13.659	24.137	0.763	0.0	12.7	12.7
25	0.0	0.0	13.230	23.379	0.751	0.0	12.5	12.5
26	0.0	0.0	12.812	22.640	0.729	0.0	12.1	12.1
27	0.0	0.0	12.407	21.925	0.706	0.0	11.8	11.8
28	0.0	0.0	12.014	21.231	0.685	0.0	11.4	11.4
29	0.0	0.0	11.634	20.559	0.664	0.0	11.1	11.1
30	0.0	0.0	11.265	19.907	0.643	0.0	10.7	10.7
50	0.0	0.0	5.863	10.360	0.345	0.0	5.7	5.7
60	0.0	0.0	4.191	7.407	0.252	0.0	4.2	4.2
70	0.0	0.0	2.968	5.244	0.185	0.0	3.1	3.1
80	0.0	0.0	2.072	3.661	0.135	0.0	2.3	2.3
90	0.0	0.0	1.416	2.503	0.099	0.0	1.6	1.6
100	0.0	0.0	0.936	1.655	0.072	0.0	1.2	1.2
110	0.0	0.0	0.585	1.034	0.053	0.0	0.9	0.9
120	0.0	0.0	0.328	0.579	0.039	0.0	0.6	0.6
130	0.0	0.0	0.139	0.246	0.028	0.0	0.5	0.5
140	0.0	0.0	0.002	0.004	0.015	0.0	0.2	0.2
141	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0

Tabla. Resultados hidráulicos de pozo de infiltración 4 a los 140 minutos.

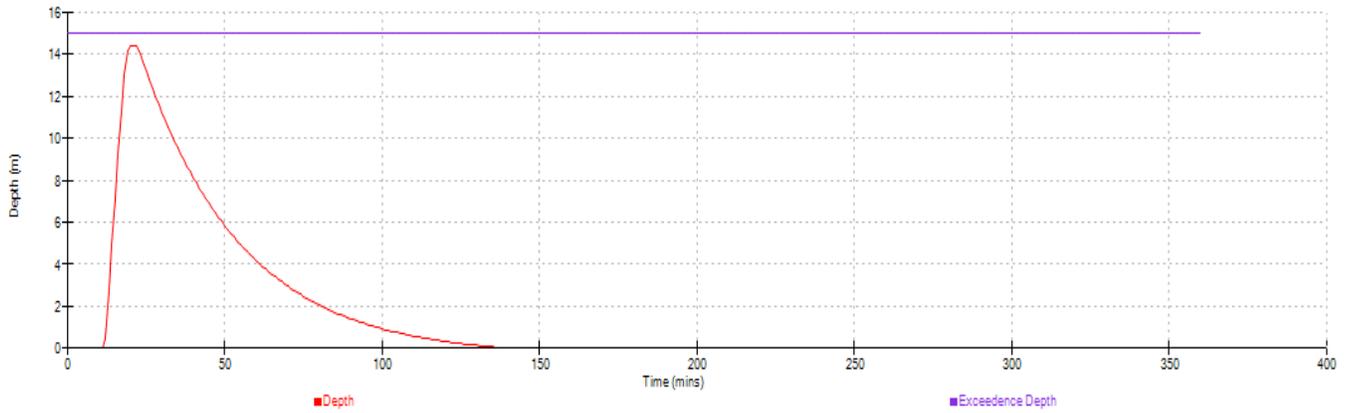


Figura. Grafica del comportamiento del tirante dentro de pozo de infiltración 7. Fuente: xpdraiange

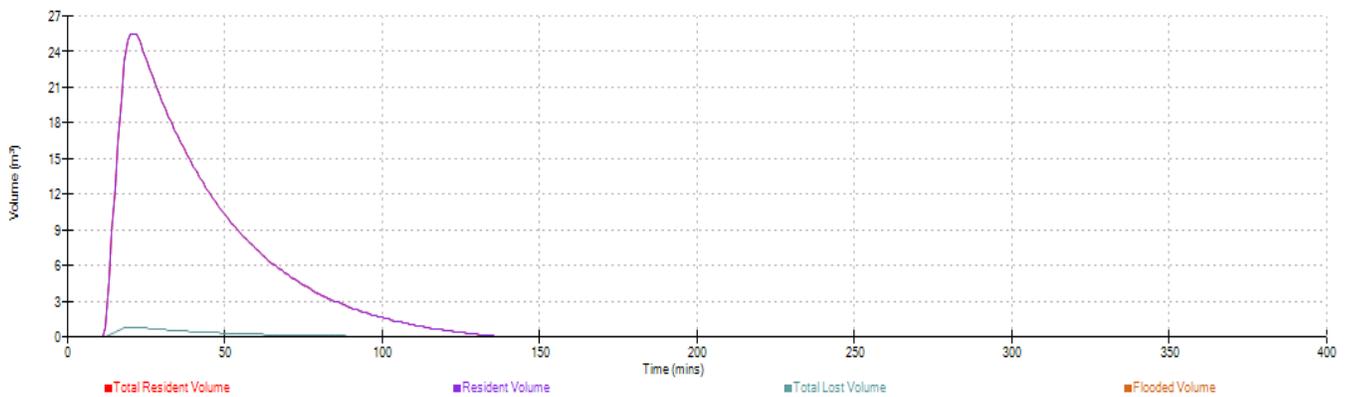


Figura. Curva tiempo-volumen de pozo de infiltración 7. Fuente: xpdrainage.

Tiempo (mins)	Inlet	Gasto total de entrada (L/s)	Profundidad (m)	Volumen total residente (m³)	Total volumen perdido (m³)	Outlet (1) (L/s)	Infiltración (L/s)	Gasto de salida total (L/s)
	Continuation (L/s)							
1	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
12	37.1	37.1	0.444	0.784	0.038	0.0	0.6	0.6
13	68.0	68.0	2.720	4.806	0.171	0.0	2.9	2.9
14	71.6	71.6	4.981	8.802	0.296	0.0	4.9	4.9
15	68.6	68.6	7.134	12.607	0.415	0.0	6.9	6.9
16	71.4	71.4	9.254	16.353	0.532	0.0	8.9	8.9
17	68.6	68.6	11.276	19.927	0.644	0.0	10.7	10.7
18	54.2	54.2	13.074	23.104	0.743	0.0	12.4	12.4
19	44.6	44.6	14.150	25.005	0.763	0.0	12.7	12.7
20	39.5	39.5	14.403	25.453	0.763	27.1	12.7	39.9
21	64.5	64.5	14.375	25.404	0.763	58.1	12.7	70.9
22	28.6	28.6	14.391	25.430	0.763	14.6	12.7	27.3
23	2.9	2.9	14.024	24.783	0.763	0.0	12.7	12.7
24	0.0	0.0	13.630	24.085	0.763	0.0	12.7	12.7
25	0.0	0.0	13.201	23.328	0.750	0.0	12.5	12.5
26	0.0	0.0	12.784	22.591	0.727	0.0	12.1	12.1
27	0.0	0.0	12.380	21.877	0.705	0.0	11.7	11.7
28	0.0	0.0	11.988	21.185	0.683	0.0	11.4	11.4
29	0.0	0.0	11.609	20.514	0.662	0.0	11.0	11.0
30	0.0	0.0	11.240	19.864	0.642	0.0	10.7	10.7
40	0.0	0.0	8.128	14.363	0.470	0.0	7.8	7.8
50	0.0	0.0	5.850	10.337	0.344	0.0	5.7	5.7
60	0.0	0.0	4.182	7.390	0.252	0.0	4.2	4.2
70	0.0	0.0	2.961	5.232	0.184	0.0	3.1	3.1
80	0.0	0.0	2.067	3.652	0.135	0.0	2.2	2.2
90	0.0	0.0	1.412	2.496	0.099	0.0	1.6	1.6
100	0.0	0.0	0.934	1.650	0.072	0.0	1.2	1.2
110	0.0	0.0	0.583	1.030	0.053	0.0	0.9	0.9
120	0.0	0.0	0.326	0.576	0.039	0.0	0.6	0.6
130	0.0	0.0	0.138	0.244	0.028	0.0	0.5	0.5
140	0.0	0.0	0.002	0.003	0.014	0.0	0.2	0.2
150	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0

Tabla. Resultados hidráulicos de pozo de infiltración 7 a los 150 minutos.

Conexión	Tipo de conexión	Desde	Hacia	Máximo caudal de entrada (L/s)	Máximo caudal de salida (L/s)
Esc. vialidad BR2- BT2	Lagged Flow	Biorretención (2)	BT-2	129.7	129.7
Esc. vialidad BT5 - Est1	Lagged Flow	BT-5	Estanque 1	313.8	313.8
Esc. vialidad BT9 - Est2	No Delay	BT-9	Estanque 2	65.1	65.1
Salida PA4 - BT4	No Delay	Pozo Abs 4	BT-4	20.9	20.9
Esc. vialidad BT4 - BT5	Lagged Flow	BT-4	BT-5	368.4	368.4
Esc. vialidad BT2 - BT4	Lagged Flow	BT-2	BT-4	191.1	191.1
Excedencias CV1 - Est1	Lagged Flow	cuneta verde 1	Estanque 1	36.3	36.3
Esc. vialidad CV1 - Est1	Lagged Flow	cuneta verde 1	Estanque 1	49.2	49.2
Esc. vialidad CV1 - Est1 (2)	Lagged Flow	cuneta verde 1	Estanque 1	100.3	100.3
Esc. vialidad BR4 - BT9 (2)	Lagged Flow	Biorretención (1)	BT-9	54.0	54.0
Excedencias ZI	No Delay	Zanja de Infiltración	Punto salida	153.7	153.7
Esc. vialidad PP - Est 2 (3)	Rectangular Channel	Pavimento permeable - Salida	Estanque 2	102.2	102.2
Esc. vialidad PP - Est2	Lagged Flow	Pavimento permeable - Salida	Estanque 2	93.6	93.6
Esc. vialidad PP - Est 2 (2)	Lagged Flow	Pavimento permeable - Salida	Estanque 2	106.3	106.3
Excedencias BR3 - CV3	No Delay	Biorretención (3)	cuneta verde 3	51.6	51.6
Excedencias CV3 - BR4	No Delay	cuneta verde 3	Biorretención (4)	84.9	84.9
Esc. BR4 - BT7	Lagged Flow	Biorretención (4)	BT-7	110.7	110.7
Esc. vialidad CV3 - BR4	Lagged Flow	cuneta verde 3	Biorretención (4)	145.7	145.7
Esc. vialidad BR3 - CV3	No Delay	Biorretención (3)	cuneta verde 3	129.4	129.4
Esc. vialidad CV2 - BPP1	Lagged Flow	Cuneta Verde 2	Biorretención PP1	115.0	115.0
Esc. BR3 - PV5	Lagged Flow	Biorretención PP1	PV-5	80.0	80.0
Esc. vialidad BR5 - BT14	Lagged Flow	Biorretención (5)	BT-14	75.9	75.9
Esc. vialidad CV4 - ZI	Lagged Flow	Cuneta verde 4	Zanja de Infiltración	124.6	124.6
Esc. vialidad final ZI	Lagged Flow	Zanja de Infiltración	Punto salida	84.6	84.7
Esc. vialidad BR4 - BT9	Lagged Flow	Biorretención (1)	BT-9	111.4	111.4
Esc. Vialidad BT7 - CV1	Lagged Flow	BT-7	cuneta verde 1	44.3	44.3
Esc. vialidad BR6 - CV4 (2)	Lagged Flow	Biorretención (6)	Cuneta verde 4	39.8	39.8
Esc. vialidad BR6 - CV4 (1)	Lagged Flow	Biorretención (6)	Cuneta verde 4	59.0	59.0
Lagged Flow (22)	Lagged Flow	Biorretención (2)	PV-4	0.0	0.0
Esc. vialidad BT3 - BT4	Lagged Flow	BT-3	BT-4	66.0	66.0

Tabla. Conexiones de escurrimientos pluviales por superficie.

Nombre de tubería	Longitud (m)	Pendiente (1:x)	Pendiente (m/m)	Coefficiente de Manning	Diámetro (mm)	Nivel de rasante aguas arriba (m)	Nivel de arrastre aguas arriba (m)	Nivel de rasante aguas abajo (m)	Nivel de arrastre aguas abajo (m)	Tiempo de traslado (mins)
PVC 18" (2)	47.352	205.88	0.49%	0.009	447	136.05	133.31	136.33	133.080	0.26
PVC 6"	9.608	8.73	11.45%	0.009	150	136.34	134.75	136.05	133.650	0.02
PVC 16" (2)	47.687	176.62	0.57%	0.009	400	135.58	133.58	136.84	133.310	0.26
PVC 24" (7)	46.830	250.00	0.40%	0.009	447	131.57	130.57	131.37	130.383	0.29
PVC 27"	28.275	250.00	0.40%	0.009	447	131.37	130.38	131.26	130.267	0.17
PVC 8" (2)	17.733	443.33	0.23%	0.009	200	132.85	130.30	131.26	130.260	0.25
PVC 12" (6)	16.992	212.40	0.47%	0.009	300	0.00	130.48	131.15	130.400	0.13
PVC 16" (3)	7.785	100.00	1.00%	0.009	400	0.00	131.32	131.57	131.242	0.03
PVC 18"	17.664	250.00	0.40%	0.009	447	131.25	129.55	131.15	129.479	0.11
PVC 12" (4)	8.852	200.00	0.50%	0.009	300	0.00	135.00	135.58	134.956	0.06
PVC 12"	37.906	74.33	1.35%	0.009	300	131.15	129.35	130.84	128.840	0.17
PVC 18" (4)	36.042	250.00	0.40%	0.009	428	131.84	129.58	132.01	129.436	0.23
PVC 12" (2)	8.928	178.56	0.56%	0.009	300	0.00	130.30	132.01	130.250	0.06
PVC 16" (6)	6.917	43.23	2.31%	0.009	400	0.00	130.20	131.36	130.040	0.00
PVC 10" (4)	24.123	200.00	0.50%	0.009	250	131.36	130.04	131.51	129.919	0.19
PVC 10" (5)	32.737	200.00	0.50%	0.009	250	131.51	129.91	131.67	129.746	0.26
PVC 12" (5)	7.606	152.13	0.66%	0.009	300	0.00	130.30	131.67	130.250	0.05
PVC 18" (3)	27.873	200.00	0.50%	0.009	428	131.67	129.74	131.84	129.601	0.16
PVC 18" (5)	45.458	344.82	0.29%	0.009	428	132.01	129.43	130.84	129.298	0.34
PVC 12" (8)	4.862	67.00	1.49%	0.009	300	131.80	130.50	131.80	130.427	0.02
PVC 12" (3)	13.908	67.43	1.48%	0.009	300	131.80	130.46	131.80	130.254	0.06
PVC 12" (7)	13.320	49.67	2.01%	0.009	300	131.80	129.70	131.80	129.432	0.05
PVC 12" (3)	5.808	8.30	12.05%	0.009	300	0.00	131.70	131.76	131.000	0.01
PVC 14"	13.220	67.00	1.49%	0.009	350	131.76	130.00	131.76	129.803	0.05
PVC 14" (2)	14.002	67.09	1.49%	0.009	366	131.76	129.75	131.76	129.541	0.05
PVC 12" (2)	39.011	975.27	0.10%	0.009	300	131.15	130.46	130.84	130.420	0.62
PVC 8" (3)	13.283	132.83	0.75%	0.009	200	129.67	128.80	129.30	128.700	0.10
PVC 10" (8)	16.250	16.25	6.15%	0.009	250	136.34	135.00	136.33	134.000	0.04
PVC 6" (2)	14.455	131.41	0.76%	0.009	150	131.55	130.15	131.36	130.040	0.13
PVC (8")	35.705	85.01	1.18%	0.009	200	134.97	134.00	135.58	133.580	0.22
PVC 14" (3)	14.546	66.12	1.51%	0.009	350	131.50	130.79	131.57	130.570	0.05
PVC 10"	25.433	8.80	11.36%	0.009	250	136.20	136.20	136.30	133.310	0.04
PVC 24" (3)	18.000	225.00	0.44%	0.009	594	136.33	133.08	136.45	133.000	0.09
PVC 24" (4)	78.298	61.65	1.62%	0.009	594	136.45	133.00	133.89	131.730	0.20
PVC 24" (8)	53.226	36.46	2.74%	0.009	594	133.89	131.73	131.57	130.270	0.10
PVC 24" (9)	7.470	106.71	0.94%	0.009	594	131.57	130.27	131.25	130.200	0.02
PVC 24" (5)	10.676	250.00	0.40%	0.009	447	131.26	130.26	131.25	130.217	0.07
PVC 16"	13.875	250.00	0.40%	0.009	400	131.25	130.21	131.15	130.155	0.09
PVC 10" (2)	5.706	7.61	13.14%	0.009	250	0.00	134.00	136.45	133.250	0.01
PVC 10" (3)	14.455	361.36	0.28%	0.009	250	131.55	130.46	131.36	130.420	0.16

Tabla. Resumen de datos de configuración de tuberías implementadas en proyecto con SUDS. Fuente: xpdrainage.