



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**

CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN
Maestría en Planeación Urbana

**PROPUESTA PARA LA PLANEACIÓN DE UN SISTEMA URBANO DE
CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL COMO ALTERNATIVA DE
ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES**

Trabajo recepcional presentado por:
LAURA SOFIA CABAÑAS MELO

Para obtener el grado de:
MAESTRA EN PLANEACIÓN URBANA
Promoción: 2018-2019

Tutor: Dr. Luis Enrique Santiago García

Cotutor: Dr. Martín Hernández Marín

Asesor: M. Jorge Eduardo Garza Rodríguez

México, Aguascalientes. Enero de 2020



DICTAMEN DE LIBERACION ACADÉMICA PARA INICIAR LOS TRAMITES DEL EXAMEN DE GRADO



Fecha de dictaminación dd/mm/aa: 14-01-2019

NOMBRE: Laura Sofia Cabañas Melo ID 249416
PROGRAMA: Maestría en Planeación Urbana LGAC (del posgrado): Estudios urbanos

TIPO DE TRABAJO: () Tesis (X) Trabajo práctico

TITULO: PROPUESTA PARA LA PLANEACIÓN DE UN SISTEMA URBANO DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL COMO ALTERNATIVA DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado):

INDICAR SI/NO SEGÚN CORRESPONDA:

Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:

- SI El trabajo es congruente con las LGAC del programa de posgrado
SI La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
SI Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
SI Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
SI Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
SI El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
SI Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
NO Generó transferencia del conocimiento o tecnológica

El egresado cumple con lo siguiente:

- SI Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Docencia
SI Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, predoctoral, etc)
SI Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial, en caso de los posgrados profesionales si tiene solo tutor podrá liberar solo el tutor
SI Cuenta con la carta de satisfacción del Usuario
SI Coincide con el título y objetivo registrado
SI Tiene congruencia con cuerpos académicos
SI Tiene el CVU del Conacyt actualizado
NO Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos institucionales (en caso que proceda)

En caso de Tesis por artículos científicos publicados:

- Aceptación o Publicación de los artículos según el nivel del programa
El estudiante es el primer autor
El autor de correspondencia es el Tutor del Núcleo Académico Básico
En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación.
Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados
La aceptación o publicación de los artículos en revistas indexadas de alto impacto

Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado

SI X
No

FIRMAS

Elaboró:

* NOMBRE Y FIRMA DEL CONSEJERO SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCIÓN:

RODRIGO FERRER...

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO:

Luis Enrique Santiago G.

* En caso de conflicto de intereses, firmará un revisor miembro del NAB de la LGAC correspondiente distinto al tutor o miembro del comité tutorial, asignado por el Decano.

Revisó:

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:

DICARDO LÓPEZ LEÓN

Autorizó:

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:

[Firma]

Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado

En cumplimiento con el Art. 105C del Reglamento General de Docencia que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: ... Cuidar la eficiencia terminal del programa de posgrado y el Art. 105F las funciones del Secretario Técnico, llevar el seguimiento de los alumnos.

DR. EN C.T.C. HÉCTOR HOMERO POSADA ÁVILA
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

PRESENTE


Por medio del presente como **Miembros del Comité Tutorial** designado de la estudiante **LAURA SOFÍA CABAÑAS MELO** con ID **249416** quien realizó la tesis titulada: **PROPUESTA PARA LA PLANEACIÓN DE UN SISTEMA URBANO DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL COMO ALTERNATIVA DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia damos nuestro consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que nos permitimos emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que ella pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

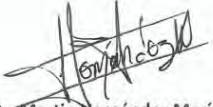
Ponemos lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, le enviamos un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a día 14 de enero de 2020.


Dr. Luis Enrique Santiago García
Tutor de tesis


Dr. Martín Hernández Marín
Cotutor de tesis

M. Jorge Eduardo Garza Rodríguez
Asesor de tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

Elaborado por: Depto. Apoyo al Posgrado.
Revisado por: Depto. Control Escolar/Depto. Gestión de Calidad.
Aprobado por: Depto. Control Escolar/ Depto. Apoyo al Posgrado.

Código: DO-SEE-FO-16
Actualización: 00
Emisión: 17/05/19

DR. EN C.T.C. HÉCTOR HOMERO POSADA ÁVILA
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

PRESENTE

Por medio del presente como **Miembros del Comité Tutorial** designado de la estudiante **LAURA SOFÍA CABAÑAS MELO** con ID **249416** quien realizó la tesis titulada: **PROPUESTA PARA LA PLANEACIÓN DE UN SISTEMA URBANO DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL COMO ALTERNATIVA DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia damos nuestro consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que nos permitimos emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que ella pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Ponemos lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, le enviamos un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"
Aguascalientes, Ags., a 14 de enero de 2020.

Dr. Luis Enrique Santiago García
Tutor de tesis

Dr. Martín Hernández Marín
Cotutor de tesis



M. Jorge Eduardo Garza Rodríguez
Asesor de tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaria Técnica del Programa de Posgrado

Elaborado por: Depto. Apoyo al Posgrado.
Revisado por: Depto. Control Escolar/Depto. Gestión de Calidad
Aprobado por: Depto. Control Escolar/ Depto. Apoyo al Posgrado.

Código: DO-SEE-FO-16
Actualización: 00
Emisión: 17/05/19

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el resultado de mucho trabajo que me ha dado el doble de satisfacciones y en cuyo proceso intervinieron muchas personas a quienes quiero dar las gracias por haber sido parte de mi historia durante este periodo. Lo que pueda decir, seguramente no será suficiente.

En primer lugar agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo financiero y a la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA) por el apoyo institucional recibido a lo largo de mi estancia en el posgrado y por haberme dado la oportunidad de alcanzar una meta de superación personal.

Especialmente, agradezco todo el apoyo recibido para el desarrollo de este trabajo a mi profesor y director de tesis el Dr. Luis Enrique Santiago García por haberme guiado en este proceso, por toda la paciencia, los consejos, los libros y por compartirme su conocimiento y siempre estar al pendiente con la mejor disposición para mejorar mi trabajo; de la misma manera agradezco al Dr. Martín Hernández Marín y al Maestro Jorge Garza por su ayuda y aportaciones siempre acertadas hacia mi trabajo.

A mis compañeros de maestría por hacer más amenos los periodos de estrés y las clases en general, por sus consejos y compañía en todo momento.

Pero sobre todo, agradezco con todo mi cariño a mi familia. A mis padres, quienes siempre me han apoyado en cada nueva aventura y sin quienes este proceso habría sido casi imposible de sobrellevar. A mi hermana Lucero por siempre estar ahí, por las porras y por obligarme a entrar a la maestría; a mi hijo que siempre ha sido el motor para superarme y salir adelante, y quien hace que todo el esfuerzo valga la pena. A Enrique por acompañarme en las desveladas y por escucharme siempre en mis momentos de inseguridad, por no dejarme abatir, por tenerme mucha paciencia y por siempre estar al pendiente.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN..... 7

ABSTRACT 8

INTRODUCCIÓN 9

 ANTECEDENTES 9

 JUSTIFICACIÓN..... 14

 OBJETIVOS..... 17

 METODOLOGÍA 19

 PRINCIPALES APORTACIONES Y LIMITANTES..... 20

CAPÍTULO I. ELEMENTOS CONCEPTUALES..... 26

 INTRODUCCIÓN 26

 1. EL AGUA Y SU PROBLEMÁTICA URBANA..... 28

Agua y ciudad..... 32

Preocupación institucional por el agua en las ciudades 35

 2. PLANEACIÓN URBANA Y AGUA 39

Planeación y resiliencia urbana..... 39

Ciudad como fuente de soluciones ambientales: Alcances y límites 42

 3. MODELOS URBANO-ESPACIALES APLICADOS A LA CAPTURA PLUVIAL..... 47

Infraestructuras verdes 47

Desarrollo de Bajo Impacto..... 49

Diseño y Desarrollo Urbano de Bajo Impacto 50

Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible..... 51

Ciudad Esponja..... 52

Diseño Urbano Sensible al Agua 55

Desarrollo Urbano Sensible al Agua 60

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA..... 62

 INTRODUCCIÓN 62

 1. VARIABLES Y FUENTES DE INFORMACIÓN 64

 2. DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO 67

 3. ESTRATEGIA DE ANÁLISIS..... 70

 4. PROCESO PARA DETERMINAR ESTRATEGIAS..... 73

CAPÍTULO III. DIAGNÓSTICO CONTEXTUALIZADO..... 78

 INTRODUCCIÓN 78

 1. SUPERFICIE DE CAPTACIÓN..... 79

Hidrografía 79

Topografía y Pendiente..... 82

Textura de suelo 86

Cobertura vegetal..... 87

 2. PRECIPITACIÓN 91

<i>Tendencia de lluvias</i>	91
<i>Precipitación Media Mensual (PMM)</i>	93
<i>Caudal máximo de escurrimiento</i>	97
3. DEMANDA DE AGUA EN LA CIUDAD	101
<i>Población</i>	101
<i>Consumo</i>	108
<i>Extracción</i>	113
<i>Distribución</i>	116
RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO	117
CAPITULO IV. AGUASCALIENTES UNA CIUDAD SENSIBLE AL AGUA: PROPUESTA DE PLANEACIÓN URBANA.....	129
INTRODUCCIÓN	129
1. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	130
2. ESCENARIOS Y ALTERNATIVAS DE PLANEACIÓN URBANA.....	132
<i>Escenario adverso: Aguascalientes rumbo al día cero</i>	132
<i>Escenario optimista: En tránsito hacia un estado sensible al agua</i>	136
<i>Escenario ideal: Aguascalientes una Ciudad Sensible al Agua</i>	178
3. SÍNTESIS DE ESCENARIOS	186
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES: ALCANCES, LIMITANTES Y UNA AGENDA PENDIENTE PARA LA PLANEACIÓN DE UNA CIUDAD SENSIBLE AL AGUA.....	189
1. UNA CIUDAD SENSIBLE AL AGUA: ¿ALTERNATIVA REAL PARA EL PROBLEMA DEL AGUA EN LAS CIUDADES?.....	189
2. METODOLOGÍA: ELEMENTOS PARA CONSTRUIR UNA ‘CIUDAD SENSIBLE AL AGUA’.....	190
3. DIAGNÓSTICO: LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES Y SUS POSIBILIDADES PARA CONVERTIRSE EN UNA CIUDAD SENSIBLE AL AGUA.....	191
4. ESCENARIOS.....	192
5. REFLEXIONES FINALES	193
BIBLIOGRAFÍA	195
ANEXOS	208

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Modelos urbano-espaciales para captación de agua pluvial.....	44
Tabla 2. Interrelación entre las iniciativas de WSUD de sitio-distrito-regional.....	58
Tabla 3. Variables de análisis y fuentes de información.....	65
Tabla 4. Microcuencas vinculadas a la ciudad de Aguascalientes.....	69
Tabla 5. Aguascalientes: uso de suelo urbano y no urbano por microcuenca, 2017.....	69
Tabla 6. Matriz de Aplicación de Técnicas	74
Tabla 7. Corrientes principales que cruzan la zona urbana de la ciudad de Aguascalientes	79

Tabla 8. Aguascalientes. Cuerpos de almacenamiento de agua dentro de la zona de estudio. 81

Tabla 9. Relación de topografía y pendiente por microcuencas 83

Tabla 10. Aguascalientes: Distribución por microcuenca de usos de suelo y vegetación, 2017 88

Tabla 11. Aguascalientes: Variación porcentual de cambio de uso de suelo y vegetación por microcuenca, 1997-2017 89

Tabla 12. Aguascalientes. Cálculos de precipitación pluvial y consumo de agua potable..... 95

Tabla 13. Aguascalientes. Precipitación media mensual promedio por microcuenca en la zona de estudio, 2008-2018..... 97

Tabla 14. Aguascalientes. Caudal y volumen máximo de escurrimiento por microcuenca de la zona de estudio, 2008-2018..... 99

Tabla 15. Aguascalientes. Promedio de precipitación media mensual por microcuenca en la zona de estudio, 2008-2018.....101

Tabla 16. Población total del municipio y la ciudad de Aguascalientes102

Tabla 17. Aguascalientes. Densidad de población por microcuencas en la zona de estudio, 2018 (habitantes por hectárea)104

Tabla 18. Estado de Aguascalientes: Volumen anual de extracción de agua (unidades?), 2008-2017108

Tabla 19. Aguascalientes. Superficie por microcuenca susceptible de aprovechamiento para implementación de estrategias de captación.....117

Tabla 20. Cobertura por microcuencas de infraestructura para el manejo de aguas urbanas en Aguascalientes.118

Tabla 21. Relación de superficies aptas para la implementación de estrategias de captación pluvial, por categoría de zonificación. (Hectáreas)121

Tabla 22. Aguascalientes en tránsito hacia un futuro sensible al agua126

Tabla 23. Extensión y capacidad de sistema de humedales propuestos142

Tabla 24. Composición y superficie de elementos en el Sistema Presa Parga144

Tabla 25. Composición y superficie de elementos en el Sistema Montoro.....147

Tabla 26. Composición y superficie de elementos en el Sistema Hierbabuena.....149

Tabla 27. Composición y superficie de elementos en el Sistema La Hacienda-San Nicolás149

Tabla 28. Escenarios de consumo de agua en la zona de estudio (millones de metros cúbicos).....152

Tabla 29. Extensión y capacidad de sistema de infraestructura verde urbana propuesta167

Tabla 30. Matriz de priorización de estrategias172

Tabla 31. Determinación de zonas prioritarias por microcuenca.....175

Tabla 32. Resumen de estrategias por microcuenca175

Tabla 33. Requisitos del nivel del servicio de agua para promover la salud.....182

Tabla 34. Matriz de corresponsabilidades para la implementación del sistema de captación pluvial185

Tabla 35. Síntesis de resultados por escenario187

Tabla 36. Aplicabilidad para cada tipo de modelo de captación pluvial.....190

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Aguascalientes: Microcuencas en la zona de estudio 68

Mapa 2. Aguascalientes: Zonificación de áreas de implementación.	72
Mapa 3. Corrientes principales de la zona de estudio	80
Mapa 4. Aguascalientes: Reclasificación de datos topográficos	84
Mapa 5. Aguascalientes: Reclasificación de datos de pendiente	85
Mapa 6. Textura del suelo en la zona de estudio	86
Mapa 7. Aguascalientes: Reclasificación de datos por uso de suelo y vegetación	91
Mapa 8. Aguascalientes: Reclasificación de datos de PPM	96
Mapa 9. Aguascalientes: Reclasificación de datos de caudal máximo	100
Mapa 10. Etapas de crecimiento de la ciudad de Aguascalientes 1990-2018	103
Mapa 11. Aguascalientes. Densidad de población por microcuenca	105
Mapa 12. Aguascalientes: Reclasificación de datos de densidad de población por microcuenca. ..	107
Mapa 13. Aguascalientes: Reclasificación por microcuenca de datos de consumo	112
Mapa 14. Aguascalientes. Relación entre densidad de población y extracción de agua subterránea	115
Mapa 15. Zonificación en función de factores ambientales.	119
Mapa 16. Zonificación en función de factores sociales	120
Mapa 17. Zonificación prioritaria.....	122
Mapa 18. Zonificación periurbana.....	123
Mapa 19. Zonificación urbana.....	124
Mapa 20. Ubicación de estrategias periurbanas.....	143
Mapa 21. Propuesta periurbana. Sistema Presa Parga	145
Mapa 22. Propuesta periurbana. Sistema Montoro	146
Mapa 23. Propuesta periurbana. Sistema Hierbabuena.....	148
Mapa 24. Propuesta periurbana. Sistema La Hacienda-San Nicolás	150
Mapa 25. Problemática por inundaciones en la ciudad de Aguascalientes	154
Mapa 26. Ubicación de estrategias intraurbanas.....	169
Mapa 27. Zonas prioritarias de intervención	174
Mapa 28. localización general de estrategias intraurbanas y periurbanas.....	177

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estrés hídrico por entidad federativa en México, 2019.....	11
Figura 2. Disponibilidad de agua mundial	29
Figura 3. Procesos involucrados en el ciclo del agua en zonas naturales y urbanas	57
Figura 4. Esquema conceptual de los componentes de un humedal construido	139
Figura 5. Diagrama de Depósito de detención.....	140
Figura 6. Diagrama de estanque de retención.....	141
Figura 7. Perfil de elevación de la zona urbana de la ciudad de Aguascalientes.....	166

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1. Evolución de la agenda internacional. Elaboración propia.....	36
Esquema 2. Variables de diseño para sistemas de captación pluvial.....	65

Esquema 3. Árbol de decisión de SuDS..... 75

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Diseño esquemático de los servicios ecológicos de la Ciudad Esponja 53
 Diagrama 2. Diagrama del concepto de Ciudad Esponja. 54
 Diagrama 3. Interacción de elementos en un esquema WSUD 56
 Diagrama 4. Marco de transiciones de gestión del agua urbana. 60

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Sección de ejemplo del sistema de bioretención156
 Ilustración 2. Ejemplo de cuneta verde.157
 Ilustración 3. Ejemplo de drenaje francés.158
 Ilustración 4. Ejemplo de franja filtrante.....160
 Ilustración 5. Ejemplo de jardín de lluvia161
 Ilustración 6. Ejemplo de pavimentos y aceras permeables162
 Ilustración 7. Parque hídrico La Quebradora, en Iztapalapa (CDMX).164
 Ilustración 8. Ejemplo de techos y muros verdes164

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Aguascalientes: Resúmenes anuales de precipitación, 2008-2018..... 92
 Gráfica 2. Ciudad de Aguascalientes: Precipitación media mensual, 2008 al 2018 93
 Gráfica 3. Aguascalientes. Tendencia estatal de precipitación media 2008-2030. 94
 Gráfica 4. Incrementos por microcuenca en la superficie de la estructura urbana de la ciudad de Aguascalientes en el periodo 1990-2018. (Datos en hectáreas.)104
 Gráfica 5. Proyecciones de población para la ciudad de Aguascalientes106
 Gráfica 6. Acuífero de Aguascalientes. Extracción total de agua subterránea, periodo 2008 - 2017108
 Gráfica 7. Acuífero de Aguascalientes. Consumo histórico de agua subterránea en el sector Urbano, periodo 2008- 2017.....109
 Gráfica 8. Acuífero de Aguascalientes .Consumo histórico de agua subterránea en el sector Agrícola, periodo 2008 - 2017.....109
 Gráfica 9. Acuífero de Aguascalientes. Consumo histórico de agua subterránea en el sector Industrial, periodo 2008 - 2017.....110
 Gráfica 10. Ciudad de Aguascalientes. Gasto por lote para agua potable (litros/persona/día).....111
 Gráfica 11. Consumo histórico de agua en la ciudad de Aguascalientes111
 Gráfica 12. Tendencia de consumo de agua potable en la ciudad de Aguascalientes a/133
 Gráfica 13. Escenarios de consumo de agua considerando estrategias periurbanas de captación pluvial en la zona de estudio151
 Gráfica 14. Proyección de consumo considerando una dotación de 100 l/p/d183

Gráfica 15. Ciudad de Aguascalientes: Proyección de consumo considerando una reducción en la dotación por persona y la construcción de infraestructura verde (millones de m³ por año), 1990-2040

.....184

Gráfica 16. Escenarios combinados de consumo de agua en la zona de estudio192



RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo generar un modelo urbano-espacial que aplique estrategias para la captación y aprovechamiento de agua pluvial en la Ciudad de Aguascalientes bajo un esquema de Desarrollo Urbano Sensible al Agua. Se aplicó un análisis geoespacial por microcuencas para identificar las mejores zonas de captación y las mejores alternativas de infraestructura sustentable, tanto urbanas como periurbanas, que permitan generar estrategias de planeación urbana que contribuyan a la reducción en el consumo de agua subterránea mediante el aprovechamiento de los escurrimientos pluviales en la zona.

Se plantearon tres escenarios y estrategias que pretenden establecer las bases para que la ciudad de Aguascalientes sea definida como una ‘ciudad sensible al agua’: 1) *adverso*, cuya principal característica es mantener la actual dependencia del agua subterránea para abastecimiento de agua potable en la ciudad sin la implementación de fuentes alternativas de abastecimiento; 2) *optimista*, en el cual se plantea la construcción de infraestructura verde dentro de la estructura urbana y la zona periurbana de la ciudad de Aguascalientes con el objetivo de maximizar la capacidad de captación y abastecimiento en el largo plazo; y, 3) *ideal*, considerando la aplicación de infraestructura verde y la modificación de los patrones de consumo de agua. Este último escenario es el más apegado a los principios de la sensibilidad al agua por contemplar en su implementación tanto medidas estructurales como no estructurales en su diseño a pesar de presentar las mayores limitantes de implementación.

Como resultado se obtuvieron los mapas de zonificación para desarrollo de infraestructura, considerando distintas etapas de desarrollo. La principal aportación de este trabajo consiste en la propuesta de un sistema de captación pluvial desde un enfoque de planeación urbana que considera tanto aspectos físicos como aspectos sociales y aspectos ambientales mediante la aplicación de un modelo de Desarrollo Urbano Sensible al Agua.

ABSTRACT

The present work aims to generate an urban-spatial model that applies strategies for the collection and use of rainwater in the City of Aguascalientes under a scheme of Water Sensitive Urban Development. A geospatial analysis by microbasins was applied to identify the best catchment areas and the best sustainable infrastructure alternatives, both urban and peri-urban, that allow generating urban planning strategies that contribute to the reduction in groundwater consumption through the use of storm runoff in the area.

Three scenarios and strategies were proposed to establish the bases for the city of Aguascalientes to be defined as a 'water sensitive city': 1) adverse, whose main feature is to maintain the current dependence on groundwater for drinking water supply in the city, without the implementation of alternative sources of supply; 2) optimistic, in which the construction of green infrastructure is considered within the urban structure and the peri-urban area of the city of Aguascalientes with the aim of maximizing the collection and supply capacity in the long term; and, 3) ideal, considering the application of green infrastructure and the modification of water consumption patterns. This last scenario is the most attached to the principles of water sensitivity because it contemplates in its implementation both structural and non-structural measures in its design, despite presenting the biggest limitations of implementation.

As a result, the zoning maps for infrastructure development were obtained, considering different stages of development. The main contribution of this work is the proposal of a rainwater collection system from an urban planning approach that considers both physical and social aspects and environmental aspects through the application of a Water Sensitive Urban Development model.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

A diferencia de otros recursos naturales el agua no tiene sustitutos.¹ Por lo tanto, su uso, manejo, consumo y aprovechamiento es crucial para la vida de los seres no-humanos y humanos que habitamos el planeta. Para los primeros, el agua es vital para su subsistencia, reproducción, conservación e incluso recuperación. Para los segundos, generalmente el agua es un ‘recurso’ que permite el desarrollo de sus actividades cotidianas y llevar a cabo los procesos de producción, distribución y consumo de bienes y servicios que satisfacen sus crecientes necesidades.

Actualmente, el recurso hídrico representa un tema de interés central para el desarrollo de la población global. Su importancia radica en su baja disponibilidad global para el consumo humano (SEMARNAT, 2015) y su distribución espacial significativamente desigual (Jiménez-Cisneros et al., 2010). Sin embargo, en solo dos décadas (1990-2010) el consumo de agua en el planeta se ha duplicado (Oswald, 2011) y se espera que la demanda de agua aumente 20 o 30% del nivel actual en 2050 (WWAP, 2019).

La problemática anterior se ve incrementada por el creciente proceso de urbanización que ha alcanzado escalas planetarias y sus consustanciales patrones de consumo (McDonald et al., 2014). La población tiende a concentrarse en ciudades pues representan la oportunidad de acceder a una mejor calidad de vida proporcionada por la acumulación de recursos económicos, oportunidades de empleo, bienes y servicios (Glaeser, 2011). Actualmente, cifras de las Naciones Unidas (2018) estiman que 55% de la población mundial habita en ciudades y para 2050 se espera que aproximadamente el 90% de la población mundial viva en zonas urbanas (UN-Hábitat, 2010) lo que se verá reflejado en un aumento en el grado de presión² hacia los recursos naturales, sobre todo los recursos hídricos (McDonald et al., 2014).

¹ Dentro de la clasificación de los bienes, el agua potable es un bien de consumo que por su escasez se considera como un bien libre; por su función económica como un bien de consumo no duradero; por su grado de terminación como bien final y, contrario a los energéticos, el agua no cuenta con bienes sustitutos, que son aquellos bienes que se pueden usar en lugar de otros, al proporcionar algunos de los mismos usos o disfrutes que otro bien (Mamani, 2018).

² El grado de presión es el porcentaje que representa el agua empleada en usos consuntivos respecto al agua renovable es un indicador del grado de presión que se ejerce sobre el recurso hídrico de un país, cuenca o región.

Las altas concentraciones de población que representan las ciudades significan cambios en los patrones de consumo (UN-Hábitat, 2010) -que generalmente tienden a incrementar su demanda de bienes, servicios y recursos-; dotarlas de servicios y alimentos y su consecuente manejo de residuos se ha convertido en un reto cada vez en aumento y éstos van de la mano de acuerdo con el tamaño, forma y dinámica de las ciudades (Jiménez-Cisneros, 2014). A estas situaciones se suman procesos de sobreexplotación de aguas subterráneas, escasez de agua en las ciudades (Martínez & Moeller, 2017), el desperdicio de agua pluvial y la contaminación del agua en general (Nguyen, et al., 2019) y el desaprovechamiento de fuentes alternativas como la captación de agua de lluvia o la reutilización de aguas tratadas (Perpiñán Guerra & Marbello Pérez, 2014:36).

Las ciudades de México no son ajenas a la problemática anterior. Debido al crecimiento de la población y la producción agrícola e industrial, la disponibilidad de agua³ por persona se ha vuelto cada vez más limitada (Oswald, 2011). Sin embargo, hay una distribución desigual entre la población y la disponibilidad del agua potable entre las regiones del país (Perevochtchikova, 2010:66). El resultado es la definición de ciudades y regiones con “estrés” hídrico, el cual se define como la proporción del total de agua dulce extraída⁴ anualmente por todos los sectores principales, incluidos los requisitos ambientales de agua, respecto a la cantidad total de recursos renovables de agua dulce (WWAP, 2019:15).

El estrés hídrico ocurre cuando la demanda de agua excede la cantidad disponible durante un cierto período o cuando la mala calidad restringe su uso. Este fenómeno provoca

El grado de presión puede ser muy alto, alto, medio, bajo y sin estrés. Se considera que, si el porcentaje se encuentra entre 40 y 100% se ejerce un grado de presión alto, o cuando es mayor de 100% muy alto. la Comisión para el Desarrollo Sustentable de la ONU distingue cuatro categorías de presión sobre el agua, dependiendo del porcentaje de agua disponible que se utiliza en el país: menos de 10% existe escasa presión, de 10% a 19% existe presión moderada, de 20% a 40% existe presión media-fuerte y más del 40% existe fuerte presión y es urgente la necesidad de una administración cuidadosa de la oferta y la demanda. (CONAGUA, 2018)

³ También llamada “agua renovable”, representa la cantidad de agua máxima que es factible explotar anualmente en una región, es decir, la cantidad de agua que es renovada por la lluvia y el agua proveniente de otras regiones o países (importaciones). Se calcula como el escurrimiento natural medio superficial interno anual, más la recarga total anual de los acuíferos, más los flujos de entrada menos los flujos de salida de agua a otras regiones (CONAGUA, 2018).

⁴ Las extracciones de agua incluyen usos domésticos, industriales, de riego y ganaderos de consumo y no consumo. Los suministros de agua renovables disponibles incluyen el suministro de agua superficial y subterránea y considera el impacto de los usuarios de agua de consumo aguas arriba y las grandes represas en la disponibilidad de agua río abajo. Los valores más altos indican más competencia entre los usuarios (Hofste et al., 2019:10).

el deterioro de los recursos de agua dulce en términos de cantidad (sobreexplotación de acuíferos, ríos secos, etc.) y calidad (eutrofización, contaminación de materia orgánica, etc.) (Eionet, 2005); como resultado de dicho deterioro, valores más altos en este indicador representan una mayor competencia por el recurso entre los usuarios (Hofste et al., 2019:10).

Figura 1. Estrés hídrico por entidad federativa en México, 2019



Fuente: Programa Aqeduct, WRI 2019. (<https://www.wri.org/applications/aqueduct/country-rankings/?country=MEX>)

Las características de la ciudad de Aguascalientes⁵ la definen como una ciudad con “muy alto nivel de estrés hídrico”. Entre tales características se encuentran: i) las condiciones hidrometeorológicas e hidrográficas específicas⁶, ii) las particularidades de su actividad económica⁷; iii) su tasa de crecimiento demográfico⁸; iv) altos niveles de extracción y

⁵ Por Ciudad de Aguascalientes se entenderá en este trabajo la estructura urbana que está dentro del municipio de Aguascalientes. Se consideró así debido a que la mayor concentración de población se da en ese lugar, además de concentrar la mayor demanda de agua.

⁶ La Ciudad de Aguascalientes se ubica en la parte central del país, en una región con un clima semiseco y un régimen de lluvias en verano con volúmenes de precipitación alrededor de los 550 mm anuales; carece de corrientes y cuerpos de agua superficiales de importancia en el Estado, por lo que la capacidad para abastecer las necesidades de agua potable ha recaído completamente en la disponibilidad de agua subterránea del Acuífero del Valle de Aguascalientes.

⁷ El estrés hídrico en la Ciudad de Aguascalientes se ve incrementado por el asentamiento y proliferación de industrias de alto consumo de agua, principalmente la industria automotriz (El Heraldo, 2016).

⁸ Al año 2015, la Ciudad de Aguascalientes presentó una tasa de crecimiento demográfico de 1.76% (PIMAgS, 2018). Se estima que la tendencia continúe, significando que los nuevos habitantes urbanos necesitarán agua,

consumo de agua; y iv) patrones de consumo que contribuyen a la continua sobreexplotación del acuífero⁹. Según cifras del programa Aqueduct¹⁰, del Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute, por sus siglas en inglés), Aguascalientes es la cuarta entidad con el mayor grado de estrés hídrico, con una puntuación de 4.81 (siendo 5 la máxima posible)¹¹. La publicación del WRI y el Banco Mundial propone como una de las soluciones para reducir el estrés hídrico la construcción de infraestructura gris (tuberías y plantas de tratamiento) asociada a infraestructura verde (tales como humedales y las cuencas hidrográficas sanas), además de cambios en los patrones de consumo y reutilización del agua, de manera que en conjunto contribuyan a la disminución paulatina de la problemática asociada al suministro y calidad del agua.

Se han planteado distintas opciones para buscar fuentes alternativas de abastecimiento de agua para las poblaciones urbanas por parte de distintos órdenes de gobierno e instituciones internacionales como ONU-Hábitat, Banco Mundial, WRI, y distintos centros de investigación en países como el CRC (Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities, por sus siglas en inglés) en Australia con su esquema gubernamental de Ciudades Sensibles al agua. Entre tales propuestas se encuentra la aplicación de tecnología (Arniella, 2017),¹² el desarrollo de estrategias puntuales (Vázquez-Dávila, 2018)¹³ y la planeación

lo que aumentará la demanda, la extracción y la condición de sobreexplotación del acuífero. (McDonald et al., 2014).

⁹ De acuerdo con datos de CONAGUA, “en la Ciudad de Aguascalientes el consumo per cápita es de 300 litros por día, mientras que en ciudades como Monterrey u otras en Europa el consumo llega a ser alrededor de 200 lts” (La Jornada, 2011).

¹⁰ Aqueduct es una plataforma dirigida por World Resources Institute (WRI), una organización de investigación ambiental; se compone de herramientas que ayudan a comprender y responder a los riesgos del agua, como el estrés hídrico, la variabilidad de una estación a otra, la contaminación y el acceso al agua. Las herramientas de Aqueduct mapean los riesgos del agua, como inundaciones, sequías y estrés, utilizando datos de código abierto.

¹¹ La clasificación consta de 6 categorías en función de las extracciones anuales totales de agua (municipal, industrial y agrícola) expresadas como un porcentaje del flujo total anual disponible (desde <10% hasta >80% de disponibilidad); la puntuación asignada a cada categoría refleja el riesgo por estrés hídrico en una escala de 0 a 5 (bajo 0-1; medio-bajo 1-2; medio-alto 2-3; alto 3-4; muy alto 4-5; zonas áridas y de baja disponibilidad 5) (Hofste et al., 2019:11)

¹² Como el caso específico de las Tecnologías Inteligentes para Infraestructura Hídrica (SWIT), las cuales tienen el potencial de contribuir a mejorar la prestación del servicio y la eficiencia de sus proveedores mediante tecnologías que incluyen Medición Inteligente (AMR/AMI), Distritos Hidrométricos (DMAs), Gestión de Presión (PMA), Detección Activa de Fugas, Sistemas de Información de Gestión (MIS), Sistemas de Relaciones con los Clientes (CRM), Sistemas de Información Geográfica (GIS), Control de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA) y Modelado Hidráulico.

¹³ Un claro ejemplo es lo plasmado en “Análisis urbanístico de la Ciudad de Aguascalientes para el aprovechamiento del agua pluvial y la aportación en la recarga de acuíferos”.

urbana de sistemas de infraestructura urbana que den solución a problemas hídricos (CEA, 2014,)¹⁴. Entre estas últimas se encuentran estrategias urbanas tales como: infraestructura verde (a nivel municipal, en México ya existen distintos ejemplos de incorporación de infraestructura verde en la normatividad de desarrollo urbano, como por ejemplo el Plan Municipal de Infraestructura Verde de Mérida, o el Manual de Lineamientos de Diseño de Infraestructura Verde para Municipios Mexicanos elaborado por el IMPLAN Hermosillo, entre otros), ciudad esponja (X. Li et al., 2016) y el desarrollo urbano sensible al agua (Carmon et al., 1997).

Esta última alternativa tiene el potencial de ser viable técnica, económica y socialmente y contribuir al desarrollo sostenible, sobre todo considerando que el desarrollo urbano habrá de continuar su tendencia, incluso a pesar de la seguridad de los acuíferos, debido a las presiones económicas que generalmente son mucho más poderosas que los esfuerzos de preservación (Carmon et al., 1997:430). En este trabajo se busca realizar un proyecto de planeación urbana para la ciudad de Aguascalientes que la configure como una Ciudad Sensible al Agua¹⁵ en el largo plazo.

Una Ciudad Sensible al Agua es aquella que funge como zona potencial de captación para suministro de agua, proporcionando una amplia gama de fuentes de agua alternativas en diferentes escalas y para una variedad de usos diferentes; proporciona servicios ecosistémicos y un entorno natural saludable, ofreciendo diversos beneficios sociales, ecológicos y económicos y comprende comunidades sensibles al agua en donde los ciudadanos tienen el conocimiento y el deseo de tomar decisiones acertadas sobre el agua, participan activamente en la toma de decisiones y demuestran comportamientos positivos como la conservación del agua en el hogar y no tirar los productos químicos por el desagüe (T.H.F. Wong et al., 2013:7). Para ello se definen estrategias, corresponsabilidades, plazos y

¹⁴ La ciudad de Vitoria-Gasteiz fue designada por la Comisión Europea como Capital Verde Europea 2012 por la implementación de su sistema de infraestructura verde urbana basado en funciones ecosistémicas.

¹⁵ En una Ciudad Sensible al Agua, el flujo de aguas pluviales se transporta a través de una red de corredores verdes y azules de espacios abiertos y paisajes productivos que también detienen el agua de las inundaciones para la protección de las comunidades aguas abajo. Este enfoque a menudo puede diferir o eliminar la necesidad de aumentar la infraestructura de drenaje para acomodar una mayor cobertura de áreas impermeables a la captación atribuida a la consolidación urbana (T.H.F. Wong et al., 2013:13).

escenarios que permiten visualizar la importancia de una estrategia de esta naturaleza para mejorar la calidad de vida y sostener las condiciones ambientales.

JUSTIFICACIÓN

El aumento en el consumo de agua en el estado de Aguascalientes, al igual que en el resto del mundo, ha derivado en un severo y prolongado grado de presión hacia los recursos hídricos, tal es el caso que oficialmente sólo está concesionada la extracción de 444.4 hm³ anuales de las 5 reservas subterráneas que existen en el estado (DOF, 2018), no obstante la extracción real rebasa los 450 hm³ representando un déficit estatal de -126.4 hm³ anuales que posiciona los acuíferos del estado en un estatus de sobreexplotación y un grado de presión alto desde el 2006 (SINA, 2016). Del total de agua extraída, en el municipio de Aguascalientes se extraen 104 millones de metros cúbicos de agua potable al año de los cuales se desperdicia entre el 55 y 60% de agua extraída principalmente a causa de fugas (de Santos, 2018).

Las características socioambientales de la ciudad de Aguascalientes presentan la condición básica para estudiar y planear el desarrollo de infraestructura urbana para que el agua pluvial se convierta en una alternativa de abastecimiento de agua para las distintas actividades de la ciudad de Aguascalientes. Su desarrollo debe de realizarse a partir de un proceso de planeación urbana que permita valorar su viabilidad y su potencialidad. El desarrollo de este tipo de propuesta se justifica desde el ámbito social pues permitiría facilitar el acceso al agua a sectores desfavorecidos de la ciudad además de contribuir al cambio en los patrones de consumo, traer beneficios económicos al generar ahorros por disminuir la cantidad de agua extraída¹⁶; desde el punto de vista urbano los ahorros económicos son un beneficio potencial para el gobierno al disminuir el gasto en infraestructura convencional a gran escala al reducir la dependencia de abastecimiento de la red principal (Coombes & Kuczera, 2003 en Christian Amos et al., 2016), además la infraestructura vede contribuye a

¹⁶ El principal beneficio económico presentado en la literatura va en función de la cantidad de agua ahorrada y el precio que se hubiera pagado por ella; así, cuanto más agua se ahorra, más dinero se ahorra (Christian Amos, et al., 2016).

la mitigación y prevención de problemáticas sociales al reducir inundaciones en la zona urbana (Thamer et al., 2007:9).

El sistema de planeación y proyectos estratégicos de la ciudad o del Estado no contempla el desarrollo de un proyecto que busque atender a la problemática del suministro del agua para la ciudad con fuentes alternativas. Solo lo han hecho de manera enunciativa (dentro de la Ley de Agua para el Estado de Aguascalientes) y la infraestructura enfocada a la captura lluvia únicamente ha tenido como propósito el encauce y desalojo del agua, dejando de lado la posibilidad de aprovechamiento de (CONAGUA, 2014).

Sin embargo, es una ciudad que presenta condiciones idóneas para aplicar sistemas de captación de agua pluvial¹⁷, los cuales han sido probados que pueden aliviar el estrés de la sequía en ambientes áridos y semiáridos y contribuir significativamente a la gestión del medio ambiente y la vida del agua al aumentar los suministros de agua domésticos, estabilizar el rendimiento de los cultivos y apoyar ecosistemas frágiles (Yazar & Ali, 2016). Lo anterior podría significar una fuente alternativa de abastecimiento de agua para la Ciudad de Aguascalientes, mediante la implementación de estrategias estructurales, principalmente de infraestructura verdes, además de medidas no estructurales como cambios en los patrones de consumo y la relación entre la ciudad sus cursos de agua.

Ha habido otros acercamientos para atender el problema del agua en la ciudad de Aguascalientes en distintos ámbitos. Gubernamentalmente el enfoque tomado respecto a esta problemática ha consistido en la construcción de infraestructura para canalizar escurrimientos y evitar las inundaciones en puntos específicos de la ciudad, si bien se desarrolló un Plan Hídrico Estatal que surgió como una propuesta derivada del Plan Estatal de Desarrollo, incluida en los programas estratégicos del Eje 5 Aguascalientes responsable, sostenible y limpio, dentro del Sector Estratégico de Infraestructura y Medio Ambiente, los objetivos, alcances y acciones no han sido claramente definidos haciendo difícil la evaluación de los resultados. Desde la academia ha surgido el llamado a elaborar “un verdadero Plan Hídrico” (López, 2019) sustentado por legislación adecuada, del cual se deriven estudios y programas que puedan dotar de agua a los distintos sectores económicos y garantice a largo

¹⁷ Estudios realizados por CONAGUA, la Ciudad de Aguascalientes se encuentra en el listado de localidades con precipitación menor a 1,500 mm, que pueden ser factibles de aplicar sistemas de captación de agua de lluvia (PROCAPTAR, 2016).

plazo la disponibilidad de agua. Existe una necesidad de realizar un uso sustentable del agua, que contribuya al uso eficiente del recurso y a la disminución del abatimiento.

Por lo anterior, tanto autoridades municipales como estatales han realizado compromisos para avanzar en la elaboración de planes hídricos para cada nivel de gobierno; tal es el caso de la actual alcaldesa Teresa Jiménez Esquivel (Redacción,2019) quien firmó recientemente un convenio para la creación de un “Fondo de Agua” que tiene como objetivo “garantizar que cada uno de los hogares del municipio de Aguascalientes cuente con un servicio de calidad y un uso adecuado de este recurso”, y el cual es parte de las estrategias del Plan Hídrico Municipal para la ciudad capital, que se encuentra actualmente en elaboración.

Sin embargo, la captación pluvial para aprovechamiento en la ciudad aún no ha sido implementada como parte de las estrategias para alcanzar los objetivos de conservación del recurso hídrico, ni se han explorado alternativas para su futura implementación. Como se mencionará más adelante, la legislación estatal ya contempla este tipo de estrategias como alternativas de abastecimiento, mas no se han concretado acciones para su desarrollo.

Académicamente existen distintos estudios que pretenden dar claridad al tema del agua en la región, tanto para identificar las zonas de recarga y descarga (Peñuela Arévalo & Carrillo Rivera, 2013) como aquellos en busca de soluciones que contribuyan a reducir los impactos de la sobreexplotación del acuífero del Valle de Aguascalientes haciendo énfasis en estrategias para infiltración y recarga. A manera de ejemplo, Vázquez-Dávila (2018) propone sistemas de captación pluvial en microescala (vivienda, fraccionamiento o barrio) como una alternativa para aportar agua al acuífero por infiltración dentro del área urbana de la ciudad de Aguascalientes; Hernández Guerra (2018), propone la infiltración de precipitación a través de discontinuidades superficiales para contribuir a la recarga del acuífero en una escala media (tramos específicos de la Falla Oriente). En ambos casos se trata de estudios con propuestas puntuales que buscan la recarga del acuífero mediante la intervención de sitios específicos tanto en la ciudad como en el valle; el presente proyecto, por otra parte, tiene un enfoque distinto pues busca captar los escurrimientos pluviales desde el punto de origen y propiciar su disponibilidad para aprovechamiento en la ciudad. De esta manera no solo se amplía la gama de opciones de abastecimiento de agua en la ciudad, sino que se contribuye de manera adyacente al restablecimiento del acuífero.

OBJETIVOS

Con base en los argumentos anteriores, el objetivo central de este trabajo es *formular una estrategia de planeación urbana, mediante la aplicación de un modelo urbano-espacial, encaminada a posicionar a la ciudad de Aguascalientes como una Ciudad Sensible al Agua para el año 2040.*

Por ‘modelo urbano-espacial’ se hace referencia a los distintos esquemas de desarrollo, planificación y desarrollo urbano que son equivalentes a la infraestructura verde, cuyo propósito es dar solución a las distintas problemáticas relacionadas con el agua pluvial al mismo tiempo que sirve para múltiples funciones y brinda una amplia gama de servicios sociales y ambientales. La metodología seleccionada permitirá determinar el tipo de infraestructura a desarrollar, su capacidad, su propósito, su ubicación al interior de la zona de estudio, su prioridad y su periodo de ejecución.

Como ‘estrategias de planeación urbana’ se concibe la definición de sitios más adecuados para la implementación progresiva de ‘infraestructura estructural’ (obras físicas de captación) e ‘infraestructura no estructural’ (acciones que propicien un cambio social tanto en la población como en el aparato de gobierno) encaminada a lograr que la ciudad de Aguascalientes sea una Ciudad Sensible al Agua en 2040.

Una ‘Ciudad Sensible al Agua’, tal como fue señalado previamente, puede entenderse como aquella que se centra en la integración de las vías fluviales como ríos, lagos, bancos y otros sistemas de paisajes para lograr ecosistemas sostenibles, que contribuyan a mejorar el paisaje y el medio ambiente de una ciudad, siendo uno de los principios del modelo la captación y aprovechamiento de agua pluvial. Tal integración se realiza a través de la gestión integral del ciclo del agua para brindar servicios básicos de suministro y saneamiento, al mismo tiempo que mitiga el riesgo de inundaciones y protege y mejora la salud de las vías fluviales receptoras. Esta estrategia se incorpora como un proceso de planeación urbana ya que la transición hacia una Ciudad Sensible al Agua requiere cambios significativos en las estructuras, culturas y prácticas que sustentan la planificación, diseño y gestión de los sistemas de agua y desarrollos urbanos (Hayward, 2019).

El horizonte de planeación se definió con base en los plazos de revisión acordados en los Objetivos para el Desarrollo Sustentable de 2016, definidos por ONU-Hábitat. El modelo conceptual que guía el desarrollo del trabajo es la propuesta “Desarrollo Urbano Sensible al Agua” elaborada por Mouritz en 1992, en Australia, y fue adoptado por el gobierno australiano, el cual ha implementado este modelo desde los primeros años de su desarrollo, principalmente enfocándose en los primeros años hacia la gestión de aguas pluviales. Considerando que las condiciones ambientales y la demanda de agua no son estáticos, se contempla la propuesta de estrategias cuya implementación en un periodo de tiempo que permita alcanzar los niveles de sustentabilidad deseados.

Para alcanzar el objetivo central de este trabajo se desarrollan los siguientes objetivos particulares:

- a. Identificar los distintos esquemas de manejo de escurrimientos pluviales en zonas urbanas.
- b. Analizar las tendencias de lluvias para determinar la mejor estrategia de captación pluvial a implementar.
- c. Determinar las mejores alternativas de infraestructura para llevar a cabo actividades de captación de agua pluvial, tanto en la zona intraurbana como en el área periurbana de la ciudad de Aguascalientes
- d. Diseñar un modelo que contenga la(s) técnica(s) más adecuada(s) para la captación y aprovechamiento de aguas pluviales para la ciudad de Aguascalientes, en distintos plazos y escenarios
- e. Estimar las estrategias no estructurales que puedan contribuir al cambio de prácticas de consumo de agua en la ciudad de Aguascalientes.

Bajo estas premisas se podría establecer que con la captación pluvial en la ciudad de Aguascalientes se podría consolidar una fuente alternativa de abastecimiento viable de uso no potable y al mismo tiempo contribuir al cambio de prácticas que promuevan la equidad social y el balance de los procesos hídricos, garantizando así el acceso de todos los usuarios a una calidad y cantidad de agua que satisfaga sus necesidades.

METODOLOGÍA

El trabajo tiene un enfoque eminentemente de planeación urbana. Tiene como fundamento metodológico la propuesta de Ian Bracken (2007) en su libro *Urban Planning Methods*, en el cual define que el proceso de planeación urbana se lleva a cabo a partir de dos grandes actividades: 1) proceso de investigación del fenómeno a intervenir y 2) definición de políticas públicas.

Para desarrollar la primera actividad, es preciso realizar un proceso de adquisición de información que abunde el conocimiento sobre la problemática actual de los recursos hídricos en la zona de estudio y sus posibles causas, además de las distintos acercamientos y alternativas urbano-espaciales que buscan dar solución a la problemática identificada. Para lo anterior se hizo una revisión bibliográfica de los distintos modelos urbano-espaciales y sus aportaciones, para posteriormente analizar las variables requeridas para el diseño de un sistema de captación pluvial.

El estudio tiene como elemento central el procesamiento de información a través de técnicas geoespaciales. Las variables utilizadas son: 1) superficie de captación, que se define como el área donde se recolecta la lluvia, 2) la precipitación que ocurre en la zona de estudio y 3) la demanda de agua por parte de la población que ejerce presión hacia los recursos hídricos. El análisis se realiza tomando como unidad las microcuencas¹⁸; al considerarse de acuerdo con la bibliografía como la unidad básica de ordenación e intervención en donde puede manejarse y visualizarse la producción en relación con la corriente de agua ya que por su tamaño permiten medir los indicadores de sustentabilidad (Sánchez Vélez et al., 2003:12). De esta manera se establecerán aquellas microcuencas con las mejores condiciones para implementar estrategias de planeación enfocadas a la captura de escurrimientos pluviales, en función de su aptitud natural y la presión ejercida por el crecimiento urbano hacia los recursos naturales suelo y agua.

¹⁸ Una cuenca hidrográfica se refiere al territorio definido para el manejo de los recursos naturales, fundamentalmente agua, suelo y vegetación, es un concepto utilizado para designar un territorio, región o zona, cuya característica principal es que el agua de lluvia que cae en esa superficie escurre hacia un cauce común. Una microcuenca se define como el área de drenaje que conjunta sus escurrimientos en un cauce común llamada corriente principal la cual alcanza a cubrir una superficie entre tres mil y cinco mil hectáreas, y cuando las condiciones orográficas lo permiten, hay microcuencas menores a tres mil hectáreas (Sánchez Vélez et al., 2003:9,45).

La identificación de aquellas microcuencas con mayor potencial de captación pluvial habrá de definir zonas los sitios ideales en donde se desarrollan los programas y políticas públicas. Estos últimos se elaboran en función de tres escenarios probables: 1) tendencial, 2) optimista, 3) ideal. Para cada escenario se desarrollan sus respectivas estrategias, para lo cual se tomaron en cuenta el aprovechamiento de la infraestructura actual de captación, la construcción de infraestructura verde adicional a la existente. Las estrategias se desarrollan en el ámbito periurbano e intraurbano de la ciudad de Aguascalientes. Adicionalmente, se propone la aplicación de un modelo de Ciudad Sensible al Agua mediante la modificación inducida en los patrones de consumo de agua subterránea.

Debido a que se aborda la problemática desde una perspectiva de planeación urbana, quedan excluidas propuestas de diseño urbano o de ingeniería, que, si bien son importantes, no forman parte del ámbito de análisis y aplicación de la planeación urbana, el trabajo se postula como una propuesta para dar una alternativa de solución al problema del agua en la ciudad de Aguascalientes, mediante la aplicación de un modelo enfocado a la solución del problema de disponibilidad de agua a largo plazo en la ciudad de Aguascalientes mediante el desarrollo de infraestructura para la captación pluvial como alternativa de abastecimiento.

PRINCIPALES APORTACIONES Y LIMITANTES

La principal aportación de este trabajo consiste en la propuesta de un sistema de captación pluvial desde un enfoque de planeación urbana que considera tanto aspectos físicos, específicamente para la localización de infraestructura, como aspectos sociales al proponer modificaciones en los patrones de consumo y determinar los sitios prioritarios de utilización, y aspectos ambientales mediante la aplicación de un modelo de Desarrollo Urbano Sensible al agua. Además, el presente trabajo puede servir como modelo para otras ciudades con perfiles ambientales, sociales y políticos y problemas similares.

Ejercicios previos realizados por parte de las instancias responsables de la gestión del agua en la ciudad, han sido enfocados a desarrollar estructuras artificiales, principalmente la construcción de infraestructura gris¹⁹ para captación y canalización de escurrimientos

¹⁹ La infraestructura gris se refiere a los métodos tradicionales de gestión del agua, los cuales emplean recursos contruidos por el hombre, a menudo no permeables para el agua, y diseñados para evitar que crezca ningún

pluviales fuera de la cuenca. Sin embargo, este último tipo de infraestructura en algunos casos resulta inapropiada o insuficiente, lo cual crea oportunidades de aplicación para las soluciones basadas en la naturaleza²⁰ (SbN) como una propuesta innovadora que incorpora perspectivas de servicios ecosistémicos, mayor resiliencia y consideraciones relacionadas con los medios de vida en la planificación y gestión del agua (WWAP, 2018:3). Este tipo de soluciones enfocadas al recurso agua generan beneficios sociales, económicos y ambientales colaterales, incluyendo ámbitos como la salud humana, los medios de subsistencia, la seguridad alimentaria y energética, el crecimiento económico sostenible, los empleos decentes, la rehabilitación y el mantenimiento de ecosistemas y la biodiversidad (WWAP, 2018:vi).

Un acercamiento a este tipo de soluciones es la infraestructura verde²¹, en la cual se basa la propuesta estructural de este trabajo con el objetivo de aprovechar los mismos escurrimientos para beneficio de la población. Si bien la infraestructura gris es necesaria, sobre todo en zonas urbanas, su eficacia puede mejorarse con medidas de ingeniería verde que contribuya a restaurar la capacidad de la naturaleza para retener el agua del entorno, ya que algunas de las infraestructuras grises modernas, como las aceras permeables y algunos sistemas de tejados para la retención del agua, imitan la capacidad de la naturaleza y del

tipo de ecosistema en ellos. La infraestructura gris incluye medidas tales como canales, tuberías, trabajos de tratamiento de alcantarillado y desagüe, zanjas, diques y presas; se le denomina infraestructura gris porque a menudo está construida en hormigón. Al contrario que la infraestructura verde, la gris no suele suministrar múltiples beneficios (Strosser et al., 2015:89).

²⁰ Las soluciones basadas en la naturaleza utilizan o imitan los procesos naturales para contribuir a la gestión mejorada del agua; puede implicar la conservación o rehabilitación de los ecosistemas naturales y/o la mejora o creación de procesos naturales en ecosistemas modificados o artificiales (WWAP, 2018:14). Trabajan con la naturaleza en lugar de hacerlo contra ella, por lo tanto, suministran un medio fundamental para ir más allá de lo convencional; resultan especialmente prometedoras en cuanto a progresos en la producción sostenible de alimentos, la mejora de los asentamientos urbanos, el acceso al suministro de agua potable y al saneamiento y la reducción del riesgo de desastres relacionados con el agua, además apoyan una economía circular y fomentan una mayor productividad de los recursos para reducir su desperdicio y evitar la contaminación, incluso a través de la reutilización y el reciclaje de los mismos (WWAP, 2018:39).

²¹ La infraestructura verde es una red interconectada de vías fluviales, humedales, bosques, hábitats de vida silvestre y otras áreas naturales; vías verdes, parques y otras tierras de conservación; preocupadas granjas, ranchos y bosques; y áreas silvestres y otros espacios abiertos que soportan especies nativas, mantienen procesos ecológicos naturales, sostienen los recursos de aire y agua y contribuyen a la salud y la calidad de vida utiliza sistemas naturales o seminaturales, como las SbN, para proporcionar opciones de gestión de los recursos hídricos con beneficios equivalentes o similares a las infraestructuras convencionales “grises” de agua. (WWAP, 2018:3).

entorno a la hora de retener agua y ayudan a restaurar más modelos naturales en escorrentías e infiltraciones (Strosser et al., 2015:89).

El análisis del marco teórico y metodológico, tanto en relación con la aplicación de modelos de planeación urbana, como de un modelo de Ciudades Sensibles al Agua, permite abordar los procesos de intervención urbana desde un enfoque de sostenibilidad y de gestión integral del agua pluvial, ha permitido evidenciar principalmente dos cuestiones. Primero, que existen alternativas viables, que rompen el esquema tradicional estructuralista, que pueden ser capaces de satisfacer las necesidades de abastecimiento sin comprometer la calidad y disponibilidad de recursos a largo plazo. Segundo, la necesidad de una planificación en la que se incorpore la evaluación iterativa y participada de los distintos actores involucrados en la etapa de implementación de las políticas necesarias para lograr los objetivos fijados como parte del sistema, y que serán los encargados de permitir su adaptación a los cambios futuros del contexto.

La propuesta del sistema de captación como tal, concerniente a la red pluvial independiente, constituye un primer acercamiento al tema del aprovechamiento de escurrimientos pluviales desde una perspectiva de planeación urbana que da pie al abordaje del tema ya sea desde el mismo enfoque o desde otras perspectivas complementaria. Como parte de la propuesta, se contempla la implementación de infraestructura verde que contribuya a una gestión sustentable del agua, permitiendo que los escurrimientos pluviales se comporten de una manera lo más cercana a las condiciones previas a su urbanización; estos sistemas (ver pág. 51) presentan ventajas específicas respecto a la infraestructura tradicional en cuanto al manejo de escurrimientos al reducir los volúmenes de escorrentía y caudales provenientes de zonas urbanizadas, mediante la implementación de elementos de retención y laminación de escurrimientos, además de que reducen el costo de la infraestructura de drenaje, al mismo tiempo que aumentan la calidad del entorno paisajístico.

El trabajo tiene una serie de limitaciones derivadas de la misma naturaleza de la propuesta, la disponibilidad de información y el tiempo que se tiene para su desarrollo. Así, el trabajo no atiende cuestiones puntuales de diseño urbano, un aspecto indudablemente vinculado a este tipo de propuestas y que han permeado una amplia cantidad de casos de estudios. Sin embargo, los lineamientos aquí propuestos permiten realizar futuros trabajos que

permitan generar elementos de diseño urbano con un uso más eficiente de recursos económicos, escasos en países como México.

Algunos, aspectos del trabajo son construidos sobre supuestos especificados en el apartado metodológico debido a la disponibilidad de información, sobre todo porque la administración y gestión del agua en la ciudad de Aguascalientes se realizan por parte de una empresa privada cuya naturaleza restringe el acceso público de información.²² A pesar de estas limitantes se contó con información que permitió elaborar una aproximación clara y relativamente precisa de los requerimientos, beneficios, alcances y limitantes del desarrollo de infraestructura para captación de agua pluvial en una escala urbana.

Las limitantes temporales no permitieron estimar el costo de la infraestructura aquí propuesta, aunque teóricamente se ha señalado que su desarrollo es de bajo costo que la define como altamente factible. Se reconoce que esto es una asignatura pendiente que requiere de un estudio más detallado que escapa de los alcances de este trabajo. Adicionalmente, es importante indicar que las propuestas que en este trabajo se construyen no tienen por objetivo solucionar el problema del acceso y abasto de agua potable para la ciudad, una tarea que claramente escapa de los alcances de este trabajo, pero si busca contribuir en esa dirección al conjuntar elementos de infraestructura urbana (elementos estructurales) y cambios en los patrones de consumo de la población (elementos no estructurales)²³.

El trabajo se estructura en cinco capítulos, además de la presente introducción. En el capítulo I se presentan los elementos conceptuales que permitirán comprender la problemática del agua en las ciudades, su relación con el medio ambiente, los esfuerzos institucionales internacionales, nacionales y locales por buscar soluciones al problema del agua en las ciudades. Se abordará la forma en que la planeación de las ciudades puede contribuir al reforzamiento de la resiliencia urbana mediante la implementación de

²² Desde el año 1993 el servicio de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Aguascalientes fue concesionado por el gobierno municipal a la empresa CAASA -ahora Veolia- quien tiene como alcance la extracción y suministro de agua potable, la gestión comercial completa, así como la conducción del agua residual hacia la planta de tratamiento que opera el Gobierno del Estado.

²³ Los ‘elementos estructurales’ hacen referencia específica a obras de infraestructura física, mientras que los ‘no estructurales’ no involucran instalaciones fijas y permanentes y, por lo general, funcionan cambiando el comportamiento de la población mediante la regulación gubernamental (por ejemplo, leyes de planeación y ambientales), persuasión y / o instrumentos económicos (A. Taylor & Wong, 2002b:1).

infraestructura pluvial y, de esta manera, posicionar a la ciudad no solo como una fuente de problemáticas y demanda de recursos, sino como la fuente de soluciones a las problemáticas urbanas vinculadas a la disponibilidad de agua. Finalmente se hace una revisión de los distintos modelos urbano-espaciales que tienen como objetivo principal el manejo y gestión de escurrimientos pluviales urbanos, haciendo hincapié en el Desarrollo Urbano Sensible al Agua.

En el capítulo II se presenta el apartado metodológico del proyecto, las variables de análisis que se consideran por su relevancia para la construcción de un sistema de captación de agua pluvial y la determinación de las zonas inundables se agrupan en tres categorías a) superficie de captación, que comprende elementos de hidrografía, textura del suelo, topografía y pendiente, y cobertura vegetal; b) precipitación, analizando tendencia de lluvias, precipitación media mensual y el caudal máximo de escurrimiento; y c) demanda de agua en la ciudad, en donde se considera la población, consumo, extracción y distribución. Dichas variables fueron analizadas tomando como unidad de análisis las microcuencas hidrográficas vinculadas a la ciudad de Aguascalientes. Mediante la aplicación de un análisis multicriterio se procesó la información geoespacial mediante sistemas de información geográfica de donde se obtuvo un mapa de zonas prioritarias de inundación que sirvió de base para la construcción de escenarios y propuestas de infraestructura de captación urbana y periurbana. El tipo de infraestructura a desarrollar en cada zona fue seleccionado de acuerdo con los criterios definidos en este apartado.

En el capítulo III se desarrolla el diagnóstico contextualizado de las variables del entorno físico natural y construido de la zona de estudio definidas en el capítulo II. Como resultado del diagnóstico se obtuvieron mapas de zonificación que determinan las zonas prioritarias de atención por su potencial para desarrollar estrategias estructurales de captación pluvial, o por la presión social que se ejerce en ciertas zonas del área intraurbana tanto por el desarrollo urbano como por la demanda de agua vinculada a la densidad demográfica.

El capítulo IV hace una revisión de los escenarios probables para el caso de estudio, primero analizando las condiciones actuales de captación pluvial sin la consideración de desarrollar infraestructura adicional; el escenario optimista considera la construcción de elementos estructurales de captación pluvial, intraurbanas y periurbanas, adicionales a los existentes y su posible contribución a la reducción del consumo de agua de la red de

abastecimiento; por último el escenario ideal propone la implementación de la infraestructura propuesta en el escenario optimista, además de la propuesta de cambios no estructurales para contribuir al cambio en los patrones de consumo mediante la disminución generalizada en la dotación diaria de agua potable. Por último, se presenta la bibliografía utilizada para el desarrollo del proyecto y los anexos de información estadística que se empleó para los cálculos que se presentan en el trabajo.



CAPÍTULO I

ELEMENTOS CONCEPTUALES

INTRODUCCIÓN

El presente capítulo pretende establecer la relevancia del agua como elemento vital para el desarrollo de las actividades humanas, las repercusiones que representa su escasez y por qué es importante desarrollar mecanismos para cuidarla. Tales reflexiones se concentran sobre las ciudades por ser los lugares donde el impacto de su escasez o su exceso es de mayor intensidad debido a la concentración de población debido al persistente proceso de urbanización.

Para lo anterior se abordará la problemática urbana que el agua representa y la forma en que la ciudad se relaciona con el medio ambiente. Las cuestiones hídricas representan un reto para los tomadores de decisiones en todas las escalas de gobierno. Razón por la cual distintas instancias han tenido acercamientos al tema con miras a solucionar los problemas del agua vinculados a su contaminación, su escasez, su distribución, su disponibilidad y la equidad en su acceso. Recientemente, sobre las cuestiones vinculadas a su gestión integral. La planeación integrada del agua urbana es un proceso estructurado destinado a evaluar las oportunidades potenciales para mejorar la gestión de fuentes de abastecimiento de agua e implementar un sistema combinado de descarga de aguas residuales y pluviales (Ding, 2017:50).

Si bien las propuestas sobre manejo y aprovechamiento del agua urbana han sido muchas, existe una cuestión de fondo que limita la efectiva aplicación de las distintas soluciones que se han propuesto: el factor social. Para la implementación de cualquier proyecto relacionado con cuestiones ambientales, la aceptación y adaptación por parte de la sociedad hacia las medidas propuestas habrá de definir, no solo el grado de éxito, sino su permanencia a largo plazo. En este sentido es necesario desarrollar un cambio en la forma en que se la sociedad se relaciona con el medio ambiente y la forma en que se percibe, para lo cual es necesario desarrollar los mecanismos que permitan el tránsito hacia una sociedad justa que permita alcanzar un desarrollo inclusivo y sostenible, como la propuesta de Kate Raworth (2013) respecto a la “economía del donut” el cual es un esquema para el desarrollo sostenible

que propone la combinación del concepto de límites planetarios con el concepto complementario de límites sociales.

En el rumbo hacia la sostenibilidad, uno de los factores indispensables a considerar es la resiliencia, es decir la capacidad de una sociedad a sobreponerse ante un desastre, debido a que la población se ve directamente afectada por inundaciones y retos medioambientales. Mejorar las capacidades de resiliencia de las ciudades habrá de impactar de manera directa en la calidad de vida de la población.

En este sentido, existen distintos acercamientos y modelos de gestión del agua. En este capítulo se hace énfasis en aquellos orientados a atender los escurrimientos de agua pluvial, que se han propuesto como alternativas de solución viables ante la problemática urbana relacionada con el agua. Algunas alternativas son: el Desarrollo de Bajo Impacto (LID, por sus siglas en inglés), los Sistemas Urbanos de Drenaje Sustentable (SuDS), el enfoque de las infraestructuras verdes, el Desarrollo Urbano Sensible al Agua (WSUD), el Diseño de Desarrollo Urbano de Bajo Impacto (LIDUD) y el concepto de Ciudad Esponja. Dichas estrategias serán analizadas en este capítulo, haciendo énfasis en el Desarrollo Urbano Sensible al Agua, por ser el modelo urbano-espacial a implementar como propuesta para la ciudad de Aguascalientes, al final del capítulo se explican las razones de esta orientación.

El capítulo se estructura en tres secciones. En la primera se aborda la problemática urbana del agua relacionada principalmente con cuestiones de disponibilidad y de acceso al recurso, además de su contaminación y abatimiento de las reservas. Frente a esta problemática han surgido propuestas de solución y lineamientos de organismos internacionales, nacionales y locales que han buscado dar solución a esta problemática para lo cual se hace una revisión de las propuestas y lineamientos que han surgido en distintos niveles. En la segunda sección se analiza la forma en que la planeación urbana puede contribuir al fortalecimiento de la resiliencia en las ciudades y cómo impacta en la disponibilidad y gestión del agua urbana, de manera que las soluciones a problemáticas urbanas ambientales puedan surgir de las mismas ciudades y cambiar el paradigma actual. En ese sentido, en la tercera sección se analizan los distintos modelos urbanos que actualmente se plantean como soluciones viables para el manejo de escurrimientos pluviales, su aprovechamiento en las ciudades.

1. EL AGUA Y SU PROBLEMÁTICA URBANA

Las ciudades, a través de los años, han tenido la capacidad de dar forma al entorno a medida que las ciudades han transitado entre distintas etapas de evolución, la población ha crecido y la urbanización ha aumentado (O'Brien, 2017:1), y consigo también la demanda de recursos -y sigue creciendo- y con ella también la necesidad de espacio tanto para producción de alimentos como para desarrollar las actividades humanas.

Se estima que el uso doméstico del agua, que representa aproximadamente el 10% de las extracciones de agua a nivel mundial, aumente significativamente hacia el 2050 en casi todas las regiones del mundo (WWAP, 2018:13) y, consigo, aumentará el volumen que se pierde por fugas en los sistemas de abastecimiento, que presentan una tasa del 50% como promedio a nivel mundial; aproximadamente 250 a 500 millones de metros cúbicos de agua potable se pierden en muchas megaciudades cada año de acuerdo con cifras de la UNESCO (UN-Water, 2010:2)

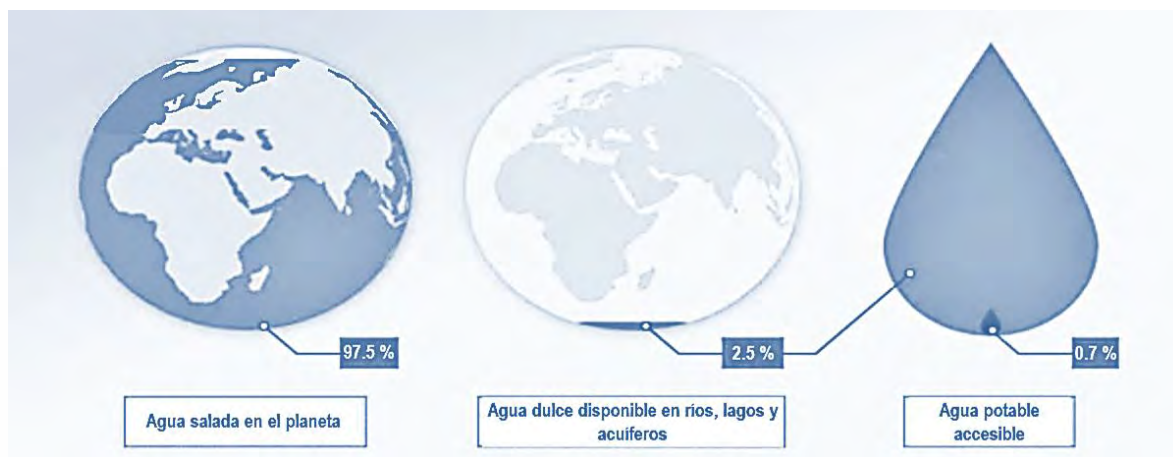
Sin embargo, el agua para consumo humano es escasa y las fuentes de abastecimiento, regularmente, están lejos de las ciudades (ONU-Hábitat, 2019). El agua es un elemento vital para la salud pública, el crecimiento económico y la sostenibilidad del medio ambiente, sin embargo, solo se puede acceder a una fracción de ésta contenida en lagos, ríos y depósitos subterráneos y su funcionamiento depende del proceso de infiltración del ciclo del agua, aunque recientemente se realizan acciones para infiltrar los escurrimientos hacia el subsuelo de manera artificial mediante la implementación de obras de ingeniería. Se estima que la disponibilidad promedio de agua en el mundo se conforma aproximadamente de 97.5% de agua salada y 2.5% de agua dulce. De esta última solamente se puede hacer uso y consumo de 0.77% del agua dulce total del planeta (CONAGUA, 2018).

Las problemáticas principales que se vinculan con el agua en las ciudades van relacionadas con desequilibrios entre la disponibilidad y la demanda, la degradación de la calidad de las aguas subterráneas y superficiales, la competencia intersectorial y los conflictos interregionales e internacionales (FAO, 2007:4) que agravan situaciones de escasez sobre todo en regiones áridas con acuíferos sobreexplotados.

Un estudio realizado por Burek (2014) define que a nivel mundial la demanda de agua representa una pequeña parte de los recursos hídricos superficiales disponibles. No obstante,

la distribución y disponibilidad para uso humano no es equitativa entre regiones, tanto en cantidad, calidad, tiempo y/o lugar requerido debido a factores de tipo biofísico y económico.

Figura 2. Disponibilidad de agua mundial



Fuente: Elaboración propia con datos de Estadísticas del Agua en México (CONAGUA,2018)

El crecimiento urbano se espera que continúe, sobre todo en países en desarrollo. Para 2050 se espera que 90% de la población mundial viva en zonas urbanas (ONU-Hábitat, 2010) lo que se verá reflejado en un aumento en el grado de presión²⁴ hacia los recursos naturales, sobre todo los recursos hídricos. De acuerdo con datos de 2016, la demanda mundial de agua se estimó alrededor de 4.600 km³/año y se prevé que dicha demanda aumentará entre un 20% y un 30% para 2050 (Burek, et al., 2014). De tal manera que se espera que para 2025, que cerca de dos tercios de la población mundial viva en zonas de estrés hídrico²⁵ severo. La escasez de agua mundial en zonas áridas y semiáridas en el mundo podría generar el

²⁴ El grado de presión es el porcentaje que representa el agua empleada en usos consuntivos respecto al agua renovable es un indicador del grado de presión que se ejerce sobre el recurso hídrico de un país, cuenca o región. El grado de presión puede ser muy alto, alto, medio, bajo y sin estrés. Se considera que si el porcentaje se encuentra entre 40 y 100% se ejerce un grado de presión alto, o cuando es mayor de 100% muy alto. la Comisión para el Desarrollo Sustentable de la ONU distingue cuatro categorías de presión sobre el agua, dependiendo del porcentaje de agua disponible que se utiliza en el país: menos de 10% existe escasa presión, de 10% a 19% existe presión moderada, de 20% a 40% existe presión media-fuerte y más del 40% existe fuerte presión y es urgente la necesidad de una administración cuidadosa de la oferta y la demanda (CONAGUA, 2018)

²⁵ El estrés hídrico ocurre cuando la demanda de agua excede la cantidad disponible durante un período determinado o cuando la mala calidad restringe su uso. El estrés hídrico causa el deterioro de los recursos de agua dulce en términos de cantidad (sobreexplotación de acuíferos, ríos secos, etc.) y calidad (eutrofización, contaminación de materia orgánica, intrusión salina, etc.) (Eionet, 2005).

desplazamiento de hasta 700 millones de personas hacia zonas con mejor disponibilidad de agua para el año 2030 (UNESCO WWAP, 2009).

Al ser un elemento primordial, intrínsecamente vinculado al territorio y ecosistemas de un lugar determinado (Cruz Vicente et al., 2018:48), el agua está ligada a indicadores de bienestar sociales, ambientales y económicos y es por eso por lo que su disponibilidad o escases, tanto en calidad como en cantidad, habrá de determinar el adecuado funcionamiento de los ciclos naturales y antrópicos en los que se involucra.

Debido a que el agua tiene funciones tanto económicas, sociales y ambientales, ésta tiene el poder de incentivar o inhibir el crecimiento económico y desarrollo de una región, además de frenar el desarrollo social de la población que en ella habita (Cruz Vicente et al., 2018). Sin embargo, más allá de los impactos económicos que una crisis hídrica pudiera ocasionar, se deben prever también los problemas sociales asociados a la capacidad de satisfacer la demanda de agua potable que garantice la salud de la población y su subsistencia. Resultados de estudios realizados por la ONU en el mundo existían ya 2.1 billones de personas que carecían de acceso a servicios de agua potable. La escasez de agua ya afectaba a cuatro de cada diez personas y 80% de las aguas residuales retornaban al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas (ONU, 2018).

Si bien es cierto que el mayor volumen no es consumido directamente en la ciudad, pues la mayoría es consumida en zonas de cultivo lejos de la misma (independientemente de la fuente de abastecimiento), es un hecho que la ciudad genera externalidades indirectas de uso al ser la fuente principal de la demanda de todos los bienes y servicios producidos por las distintas actividades económicas, además de propio uso urbano que realiza. Con los actuales niveles de extracción y patrones de consumo, aunados a una infraestructura insuficiente, se vuelve necesario buscar estrategias que subsanen las irregularidades en el sistema actual y que permitan optimizar los recursos naturales, económicos y administrativos de forma que permitan alcanzar niveles de sustentabilidad ideales a modo de alcanzar la seguridad hídrica²⁶.

²⁶ Seguridad hídrica se entiende como aquella que garantiza agua suficiente en calidad y cantidad para los diversos usos, a precios asequibles y en equidad, así como la protección de las personas y sus bienes ante fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Glaeser (2011:6) afirma que las ciudades son el más grande invento de la humanidad, y han sido cruciales para el desarrollo humano, éstas continúan representando un impacto significativo hacia el ambiente pues son la principal fuente de demanda de recursos y servicios, además de contribuir con la mayor parte de la contaminación derivada de las actividades de producción (O'Brien, 2017:11); los patrones de consumo han cambiado, cada vez se requieren más recursos, más servicios, más territorio . Esto ha hecho que la sociedad se haya distanciado en su relación con el ambiente y se ha transitado hacia una cultura de consumo en donde el sistema económico neoliberal asume que el mercado es capaz de encontrar una solución a los problemas ambientales derivados (O'Brien, 2017:11).

El esquema económico actual, centrado en los resultados económicos monetarios, no ha sido capaz de reflejar la creciente degradación de los recursos naturales (Raworth, 2013:28), que va asociado a condiciones de pobreza y exclusión de sectores vulnerables de la sociedad en cada ciudad. Los protectores de los derechos humanos han señalado la importancia de garantizar el derecho de todas las personas a los elementos básicos para la vida, mientras que los economistas ecológicos han acentuado la necesidad de enmarcar la economía global dentro de límites ambientales. La combinación de ambos comprende la propuesta de la economía del 'donut'²⁷, delimitada tanto por derechos humanos como por elementos asociados a la sostenibilidad ambiental y las distintas interacciones que existen entre ellos en donde el objetivo primordial del desarrollo económico mundial está enfocado en lograr que la humanidad prospere pero dentro de un espacio seguro y justo, dentro de los límites de consumo de recursos naturales a todas las escalas (Raworth, 2013:35).

²⁷ La propuesta de la economía del donut fue desarrollada por Kate Raworth, la cual propone un marco visual para el desarrollo sostenible que combina el concepto de límites planetarios con el concepto complementario de límites sociales. Bajo este esquema se busca garantizar que todas las personas tengan los recursos que necesitan –alimentos, agua, atención sanitaria y energía– para que sus derechos humanos sean efectivos; además de garantizar que el consumo de recursos naturales de la humanidad no provoque tensiones en los procesos vitales del sistema terrestre. En dicho esquema, la base social conforma el límite interno, en donde se establecen los fundamentos de una sociedad justa -derecho de todos a la alimentación, educación, sanidad, vivienda, igualdad de género, libertades civiles o agua, entre otros- por debajo del cuál ningún ser humano debería ser obligado a vivir; mientras que el techo ambiental comprende el límite superior, por encima del cual existen numerosas dimensiones de degradación medioambiental, como cambio climático, pérdida de biodiversidad, acidificación de los océanos o contaminación del aire, entre otros. Entre ambos límites existe un área que representa un espacio ambientalmente seguro y socialmente justo en donde la sociedad puede prosperar, y es también el espacio en el que tiene lugar el desarrollo económico inclusivo y sostenible. (Raworth, 2012)

Las ciudades futuras deberán de enfocarse en el bienestar de la población y promover un cambio cultural que propicie una modificación en sus patrones de consumo y su relación hacia el ambiente y los recursos; la sociedad debería de apuntar hacia la sustentabilidad como regla. Ahora, que la mayor parte de la población mundial vive en ciudades, las soluciones a los problemas en las urbes tendrán que buscar solución en ellas mismas, mediante la innovación y la búsqueda de técnicas y medidas alternativas, cambios de percepción y culturales que apunten hacia la raíz de los problemas y no sólo a dar solución parcial a los mismos (O'Brien, 2017:11).

De acuerdo con el Reporte de Riesgos Globales 2015, la rápida urbanización fomenta el crecimiento económico e impulsa innovaciones tecnológicas en las ciudades. Sin embargo, deberá también incrementar la capacidad de hacer frente a los riesgos globales como el cambio climático (SEDATU, 2016:26). Una propuesta para lograr lo anterior plantea que se debe planificar y avanzar hacia ciudades '*biofílicas*', las cuales son ciudades que proporcionan un contacto cercano y diario con la naturaleza, pero también buscan fomentar la conciencia y el cuidado de esta naturaleza (Beatley & Newman, 2013:3328).

Se plantea que las ciudades biofílicas son sustentables y resilientes, entendiendo la resiliencia como la adaptación a condiciones sociales y ecológicas dinámicas de manera que protejan y mejoren la calidad de vida, la productividad ecológica a largo plazo y la salud pública y personal de la población residente. Ha sido probado que la infraestructura verde de una ciudad o región brinda servicios esenciales que ayudan a las ciudades y regiones urbanas a responder y recuperarse de eventos climáticos y naturales, además de que los entornos urbanos más verdes, más llenos de naturaleza, atraen un mayor interés por parte de los residentes y ayudan a fortalecer el sentido de pertenencia con el lugar y la comunidad, lo que a su vez aumenta la resiliencia urbana (Beatley & Newman, 2013:3335).

Agua y ciudad

Tomando en cuenta que a nivel global se encuentra en un proceso generalizado de urbanización en el cual la calidad de vida de la población depende en gran medida de factores ambientales, es importante remarcar que los recursos hídricos con los que cuenta cada ciudad figuran un componente clave en el desarrollo de la población urbana, los cuales están

definidos por su calidad disponibilidad y abastecimiento, pero también con su contaminación (IANAS & Unesco, 2015:19).

A partir de que la población se concentró en ciudades, la demanda de agua para fines domésticos, industriales y agrícolas se fue incrementando aceleradamente. Para satisfacer la demanda se construyeron represas, se perforaron pozos y se extrajeron grandes volúmenes de agua de los cuerpos naturales (Antón, 1996:61). El agua tomada del ambiente desde entonces es devuelta en un estado de mucho menor calidad, provocando la degradación progresiva tanto de reservorios subterráneos y cauces como del ambiente en general.

En distintas ciudades del mundo se ha transitado por un proceso similar al pasar de ser ciudades rodeadas de cuerpos o corrientes de agua en donde se mantenía una relación de equilibrio con la naturaleza, hasta la condición actual en donde se ha vuelto un problema el hacerse cargo de ésta cuando se convierte en residuo, y el exceso de agua en la ciudad durante las temporadas de lluvia que inundan sectores de las zonas urbanas (Adler, 2010:6). Sin embargo, es contrastante a la vez considerando la simultanea condición de escasez de agua potable disponible para satisfacer las necesidades de la población, la cual tiene que ser extraída a grandes profundidades o trasladada desde distancias muy grandes, sin tomar en cuenta los costos sociales, financieros y ambientales que esto implica y que, aun así, no ha sido suficiente para atender las necesidades básicas de la sociedad en conjunto (Adler, 2010:6).

Sin embargo, más allá de los costos implícitos en las prácticas tradicionales de abastecimiento de agua, el problema principal consiste en la postergación de la problemática raíz mediante la replicación prolongada de un esquema basado en la construcción de infraestructura gris ya insostenible que mantiene la presión constante sobre las fuentes de abastecimiento de agua y agravando su degradación progresiva (Vera, 2018:231) al mismo tiempo que se fomenta el mantenimiento de modelos de crecimiento urbano que agravan la situación²⁸. Dichos modelos impactan de manera directa en los patrones de consumo de agua en la ciudad, presentando diferencias significativas entre la demanda de agua en desarrollos

²⁸ Diversos estudios presentan evidencia de que la expansión urbana tiene impactos ambientales adversos, como la reducción en la calidad del agua y el aumento en la cantidad de escorrentía superficial, contaminación de arroyos y ríos, además de afectar la accesibilidad hacia el recurso a largo plazo (Resnik, 2010; McDonald et al., 2011; Srinivasan et al., 2013; McGrane, 2016)

habitacionales de modelos de crecimiento compacto de alta densidad y aquellos que mantienen un crecimiento con densidades bajas (Domene & Sauri, 2003:6).

La diferencia en el consumo se liga principalmente a la presencia de un tejido urbano conformado principalmente por viviendas unifamiliares que en muchos de los casos presentan altos usos exteriores de agua²⁹ que se vuelven bienes posicionales³⁰, marcando aún más las diferencias socioeconómicas al interior de la ciudad. De esta manera, el incremento en la demanda y el consumo de agua puede explicarse tanto por el incremento de la población, o por cambios en los estilos de vida que pueden ser indicadores del poder adquisitivo de una región; así, los municipios y hogares que presentan rentas más elevadas pueden tender a poseer usos exteriores de mayor dispendio hídrico que los municipios y hogares de rentas más bajas (Sauri, 2009:100).

A nivel mundial, derivado de una rápida urbanización, las ciudades se enfrentan a una creciente demanda de servicios de agua y saneamiento para lo cual ha sido requerido extraer agua desde cada vez más profundo y más lejos, lo que propicia las condiciones para la sobreexplotación de los recursos hídricos (IANAS & Unesco, 2015:242). Sin embargo, en muchos casos la problemática del agua en las ciudades no solo se debe a la carencia de fuentes de abastecimiento cercanas o viables, sino a una gestión ineficiente del servicio de abastecimiento y saneamiento relacionado con altas tasas de desperdicio por infraestructura insuficiente, obsoleta o por falta de mantenimiento a las mismas, representando pérdidas masivas de recursos tanto naturales como económicos.

Esta situación hace preciso el desarrollar los mecanismos necesarios que garanticen la coordinación entre las instancias gubernamentales responsables de la administración de los servicios de agua potable, alcantarillado y manejo de residuos a fin de poder garantizar el acceso de toda la población a servicios eficientes que hagan un uso óptimo del recurso hídrico, además de promover medidas alternativas como el reuso de aguas pluviales y tratadas como opciones de abastecimiento.

²⁹ El consumo doméstico se divide en usos interiores –relacionados con cuestiones de higiene personal, limpieza y alimentación- y exteriores –como mantenimiento de jardines, piscinas y otros usos ornamentales- (Sauri, 2009)

³⁰ Los bienes posicionales son aquellos que adquieren su valor en tanto son poseídos por unos miembros de la sociedad y no por otros. (Hirsch, 1980).

Preocupación institucional por el agua en las ciudades

El agua ha sido uno de los principales temas objeto de análisis y protección en cuanto a políticas públicas a nivel internacional. En este sentido, a lo largo del tiempo han ido surgiendo distintas propuestas y estrategias, tanto políticas como estructurales, para solucionar la problemática hídrica a nivel mundial, tal es el caso de los distintos convenios internacionales y los distintos modelos de gestión y diseño de infraestructura urbana (ver apartado correspondiente a los modelos urbano-espaciales aplicados a la captura pluvial, al final del presente capítulo).

La promoción e implementación de fuentes alternativas de abastecimiento y del consecuente cambio en los patrones de consumo en la ciudad se hacen relevantes tomando en cuenta el hecho de que, según datos de la FAO, alrededor de 1.2 billones de personas vivían ya en áreas con escasez de agua, mientras casi un cuarto de la población mundial ya enfrentaba pérdidas económicas por la falta de infraestructura necesaria para canalizar el agua de ríos y acuíferos (FAO, 2007:4).

La captura de agua pluvial se presenta como una alternativa para asegurar la disponibilidad y hacer un uso más eficiente del recurso, además de contribuir al mejoramiento de las condiciones de seguridad hídrica de la población y contribuir, en muchos casos, a la mitigación de inundaciones en algunas áreas (GWP & Cobos, 2017:5). La aplicación de estrategias urbanas tendientes al aprovechamiento de la precipitación pluvial podría ser una respuesta viable de abastecimiento tendiente a disminuir el consumo de agua subterránea durante la temporada de lluvias en la región, sin perder de vista que las especificaciones y requerimientos técnicos de las obras de infraestructura deberán de ajustarse a las características del entorno natural y construido existentes.

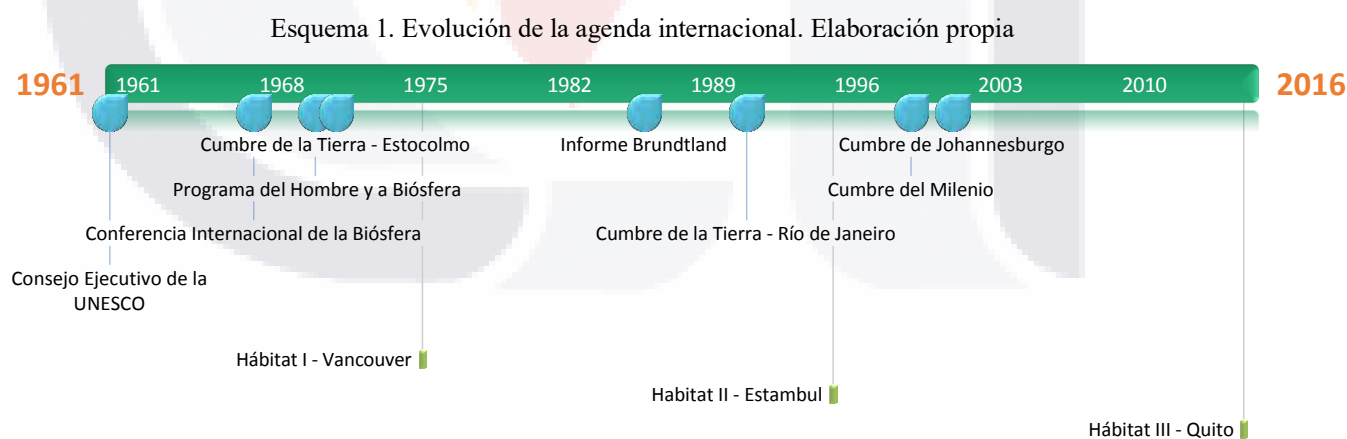
Para lograr lo anterior han surgido distintos enfoques para dar solución a los diversos problemas urbanos desde un punto de vista ambiental. Desde hace algunos años se han implementado distintos mecanismos para mitigar los impactos negativos de la urbanización, siendo aceptados en gran parte por ser alternativas rentables para mitigar los efectos de la escorrentía urbana.

Los distintos acercamientos a los problemas ambientales enfocados a los recursos hídricos son tanto de carácter legislativo, tecnológico e incluso ambiental. Sin embargo, ya que los trabajos de manejo y conservación de recursos hídricos es un campo aún poco

explorado, las opciones para abordar la problemática aún no ha llegado a estandarizarse por cuestiones técnicas pero, sobre todo, porque las alternativas de solución dependen primordialmente de las características urbanas y ambientales de cada ciudad y las soluciones a implementar deberán ajustarse a los requerimientos específicos en cada caso (Gautam et al., 2010).

Marco internacional

La problemática del agua en la ciudad es un tema que ha sido sujeta de análisis a nivel internacional, para lo cual se han enfocado recursos y esfuerzo con el objetivo de darle una salida que permita garantizar la disponibilidad de agua potable a largo plazo. Organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas y la Unión Europea, además de los gobiernos de distintos países (por ejemplo, Singapur, Australia, Dinamarca, Estados Unidos entre otros), han reconocido la importancia del tema hidrológico en la agenda internacional, en consecuencia han sumado esfuerzos desde 1961 en el Consejo Ejecutivo de la UNESCO y subsecuentes foros y conferencias internacionales³¹, con el propósito de encontrar soluciones que permitan generar ciudades sustentables, incluyentes, seguras y resilientes desde un enfoque primordialmente ambiental.



Fuente: Elaboración propia con datos de un.org

³¹ Como la Conferencia Internacional de la Biósfera (Paris, 1968), el Programa del Hombre y a Biósfera (1971) en donde se mencionan por primera vez las zonas urbanas en interrelación con el hombre y el medio; las subsecuentes Cumbres de la Tierra (Estocolmo 1972) hasta llegar al Informe Brundtland en 1987 que establece las bases del Desarrollo Sustentable.

Los esfuerzos realizados a nivel internacional surgieron del reconocimiento de una problemática derivada, en parte, de una rápida urbanización que ha provocado que las ciudades se enfrenten a una creciente demanda de servicios de agua potable y saneamiento para lo cual ha sido requerido extraer agua desde cada vez más profundo y más lejos, lo que ha propiciado la sobreexplotación de los recursos hídricos (UN-WATER, 2010). El ejemplo más reciente ocurrió en 2016, con la Conferencia Hábitat III en la cual se fijaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que buscan fomentar en los gobiernos de los países miembros un cambio en sus patrones mediante la adopción de medidas que promuevan la prosperidad al mismo tiempo de proteger los recursos.

Marco nacional

Como parte de las acciones enfocadas a la gestión y aprovechamiento del agua en México, se formuló e implementó el Programa Nacional Hídrico (PNH) 2014-2018, el cual contenía la política nacional del agua y delimitaba la participación de diversas dependencias y niveles de gobierno encargados de hacer efectivo su cumplimiento. Algunas de las acciones implementadas enfocadas a fortalecer la captura pluvial en el país, se encuentran distintos programas coordinados por diferentes organismos gubernamentales:

1. Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en Zonas Rurales (PROCAPTAR), el cual consistió en la construcción de infraestructura para captar agua de lluvia en las comunidades de difícil acceso. Tenía como objetivo dotar de agua a la población rural de México, principalmente en zonas con dificultades técnicas y económicas para poder ser abastecidas mediante formas convencionales.

Con este propósito, se establecieron los Lineamientos Técnicos: Sistema de Captación de Agua de Lluvia con Fines de Abasto de Agua Potable a Nivel Vivienda, los cuales presentaban la metodología de cálculo, especificaciones y características generales que debería de cumplir un Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) a nivel vivienda para el abastecimiento de agua potable (CONAGUA, 2016d:4).

2. En coordinación con SEDESOL, se diseñó una estrategia para dotar de servicios de agua y saneamiento a comedores comunitarios como parte de la Cruzada

Nacional Contra el Hambre; especialmente aquellos comedores localizados en comunidades rurales de alta y muy alta marginación en donde se previó la factibilidad de captar agua de lluvia para abasto de agua (CONAGUA, 2016d:17).

3. El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura en coordinación con el IMTA, desarrollaron un programa de capacitación pluvial en materia de conservación de agua y suelo, además del uso eficiente del agua de lluvia y escurrimientos para actividades agropecuarias (CONAGUA, 2016d:21).

Como se puede apreciar, los esfuerzos enfocados a la captura de lluvia en México han sido diseñados para resolver problemáticas sociales de accesibilidad en zonas alejadas y para fines de desarrollo agropecuario. Sin embargo, no se han implementado políticas de captación pluvial en zonas urbanas como alternativas de abastecimiento, sobre todo en zonas que presentan volúmenes de precipitación altos.

Marco local

En el Estado de Aguascalientes, desde 2017 la captación de agua pluvial se contempla como “la recopilación y almacenamiento, así como en su caso, potabilización y distribución de aguas pluviales; por distintos métodos y con la ayuda de diversos instrumentos, con la finalidad de ser aprovechada tanto en zonas urbanas como rurales” (Art. 3º, Ley de Agua para el Estado de Aguascalientes, 2000). Sin embargo, de acuerdo con CONAGUA, durante el gobierno de Carlos Lozano, en la ciudad de Aguascalientes se desarrollaron proyectos que buscaban únicamente facilitar la captación de agua de lluvia para encausarla hacia canales naturales de desalojo de la cuenca (CONAGUA, 2014). Esto sugiere que el objetivo de las obras pluviales es únicamente captarlos, mas no aprovecharlos en la propia ciudad o en los trabajos de reinyección de agua en los acuíferos que desarrollaron al interior de la entidad, fuera de la ciudad. Es por eso por lo que la inversión en infraestructura pluvial se limitó a aquella con capacidad para la conducción de escurrimientos para la prevención de inundaciones en la ciudad.

En cuestión de infraestructura, en 2018 se realizó la construcción del colector pluvial Casa Blanca, obra que busca mitigar las inundaciones que se registran en la zona sur de la ciudad; al promover la captación de aguas se reducirían los escurrimientos, evitando inundaciones a los fraccionamientos aledaños (Futuro, 2018). Sin embargo, esta obra no

contempla el aprovechamiento del agua pluvial para consumo urbano, sino únicamente cumple una función de canalización de escurrimientos para prevenir inundaciones; a pesar de que una obra de tal magnitud tendría la capacidad de captar y dirigir el agua hacia zonas de almacenamiento para su posible aprovechamiento posterior.

Existen también esfuerzos particulares que han optado por la captación pluvial como alternativa de abastecimiento, como el caso de la empresa Cementos y Concretos Nacionales, S.A. de C.V. (CYCNA Aguascalientes) el cual consiste en un sistema de captación de agua pluvial para uso industrial, la cual es recuperada mediante de una red de canalización y estanques de almacenamiento conectados directamente a los equipos de proceso (CYCNA, 2017).

No obstante, como se expondrá más adelante, la construcción de infraestructura ya sea convencional o basada en ecosistemas- no es por sí sola la solución a las problemáticas de desabasto, inundaciones o sobreexplotación de las fuentes de abastecimiento; la incorporación en la normatividad, en los distintos ámbitos de gobierno, de lineamientos técnicos para la implementación de estrategias alternativas de infraestructura en nuevas zonas de crecimiento urbano, como la infraestructura verde, es indispensable para garantizar el adecuado funcionamiento de las obras y el logro de los objetivos de resiliencia y sustentabilidad.

De acuerdo con los Lineamientos Internacionales de Planeación Urbana y Territorial presentados por ONU Hábitat en 2015, los gobiernos deberían formular un marco de políticas urbanas y territoriales que promueva patrones de urbanización sostenibles, como base para la planeación urbana y territorial en todos los niveles. A cambio, la planeación urbana y territorial será un vehículo para traducir esa política en planes y acciones y para proporcionar retroalimentación para los ajustes de la política (UN-Hábitat, 2015:9).

2. PLANEACIÓN URBANA Y AGUA

Planeación y resiliencia urbana

El cambio casi siempre es derivado de una necesidad; en este caso, el diseño y la planeación urbanos se están redefiniendo de una manera en que el diseño y el entorno se integren para cumplir objetivos comunes. Esto a veces se define en su sentido más estricto como el

reverdecimiento del paisaje urbano, es decir, proteger y expandir el espacio abierto y restablecer las conexiones entre espacios verdes. En su sentido más amplio, la planeación urbana sostenible considera la totalidad del ciclo del agua, los sistemas de energía, la ecología natural, la estética, el uso y la reutilización de materiales, y los insumos sociológicos y económicos para integrarse en el tejido urbano. marco para la planeación urbana sostenible porque toca e integra todos estos componentes (Donofrio et al., 2009:180).

La planeación urbana y territorial proporciona un marco espacial para proteger y gestionar el entorno natural y construido de las ciudades y territorios, incluida su biodiversidad, tierra y recursos naturales, y para garantizar un desarrollo integrado y sostenible; ésta contribuye al incremento de la seguridad humana al fortalecer la resiliencia ambiental y socioeconómica, mejorar la mitigación y la adaptación al cambio climático y mejorar la gestión de los peligros y riesgos naturales y ambientales (UN-Hábitat, 2015:20).

A medida que aumenta la población, aumenta el uso per cápita y los suministros de agua actuales se acortan, los recursos hídricos se vuelven más críticos a nivel mundial. La mayoría de las áreas urbanas enfrentan decisiones difíciles y soluciones costosas para satisfacer la demanda existente y futura (Donofrio et al., 2009:80:79) además de generar la infraestructura necesaria que mejore su capacidad de respuesta ante eventos perturbadores derivados de factores climáticos, en este caso específico tratándose de las inundaciones.

A diferencia de los discursos de sustentabilidad y desarrollo, la resiliencia analiza las relaciones entre las comunidades y el ambiente, de tal manera que las ciudades dentro de un marco de resiliencia son vistos como sistemas adaptables y ayuda a comprender la interdependencia entre dichas comunidades y su ambiente, pero considerando aspectos sociales y culturales que juegan un papel importante en dichas relaciones. La resiliencia urbana, puede ser definida entonces como una visión proactiva, en lugar de reactiva, de la planeación, la formulación de políticas y la dirección estratégica en la que las comunidades juegan un papel vital en la configuración de lugares resilientes a través de su capacidad de aprendizaje, de innovación y adaptabilidad; puede contribuir en la planeación y modelado de lugares resilientes en una situación de medios finitos (Mehmood, 2015:413).

Siendo la resiliencia un tema recurrente y prioritario a nivel internacional, en 2016 la SEDATU, en conjunto con ONU-Hábitat implementaron en México la Red de Ciudades Resilientes, en la cual se incluyeron 20 ciudades mexicanas, la cual planteaba como objetivo

“establecer mecanismos que ayuden a mejorar la capacidad de recuperación de las ciudades a partir de acciones inmediatas, proyectos a mediano plazo e incorporación de los objetivos de desarrollo a la planeación existente” (SEDATU, 2016:42). A partir de la implementación de la Red, se habría de construir el Perfil de Resiliencia Urbana de cada ciudad que constituirá una base de datos nacional que servirá para definir las acciones prioritarias y proyectos necesarios para cada ciudad, mismos que habrían de incluirse en la normatividad y recomendaciones nacionales con una visión a largo plazo. Si bien no existen documentos publicados para dichas ciudades después del 2017, el tema de la resiliencia se ha mantenido en la agenda política en todos los ámbitos de gobierno.

Un ejemplo es el recientemente publicado Programa Sectorial de Resiliencia Urbana para el Municipio de Tijuana 2019-2024, en Baja California, que busca “identificar y diagnosticar, a nivel urbano, aquellas variables sociales, económicas, urbanas y físicas que inciden en su capacidad para resistir, asimilar, adaptarse y recuperarse de manera eficiente y ágil ante los efectos de un desastre originado por fenómenos perturbadores” con miras a asistir en la programación y toma de decisiones relacionadas al desarrollo urbano.

Además de la obsolescencia de la infraestructura, los factores estresantes sobre los sistemas de agua en las zonas urbanas han ido en aumento por los efectos del cambio climático global y los cambios en los patrones de precipitación los cuales representan problemas para el suministro de agua en muchas regiones. La capacidad de respuesta de los sistemas de suministro de agua, aguas residuales y protección contra inundaciones de las ciudades al cambio climático puede ser el mayor desafío hasta el momento, por lo tanto, el enfoque convencional del diseño urbano y la gestión del ciclo del agua ha debido reformularse bajo un nuevo enfoque de resiliencia, sostenibilidad a largo plazo y rentabilidad (Donofrio et al., 2009:80).

La preservación y protección de los recursos hídricos es un imperativo central del desarrollo sostenible. El desarrollo urbano tiene un efecto sobre el agua de varias maneras, y es preciso sembrar las bases que generen un cambio de perspectiva, y planear las ciudades desde un enfoque preventivo y resiliente ya que el proceso de urbanización no habrá de frenarse por consideraciones de agua; por lo tanto, existe una necesidad urgente de guiar a los planificadores urbanos sobre cómo gestionar el desarrollo urbano con un daño mínimo a los recursos de agua (Carmon et al., 1997:413).

Ciudad como fuente de soluciones ambientales: Alcances y límites

Se necesita algo extraordinario para cambiar al mundo, se necesitan ciudades. Bajo esa premisa Taylor (2013) desarrolla su teoría, en la cual coloca a las ciudades como el punto de origen de los “descubrimientos” que han dado pie a toda una corriente de pensamiento que reconoce la importancia de las ciudades, no solo por su complejidad inherente sino por su capacidad de evolucionar hacia un estado como fuente de solución a los propios problemas urbanos.

La búsqueda de la sostenibilidad, sobre todo en las ciudades, ha surgido en los últimos años como una progresión de esfuerzos previos de protección del medio ambiente. El desarrollo ecológicamente sostenible puede describirse como algo que va más allá de la protección del medio ambiente de los impactos de la contaminación, la protección y conservación de los recursos naturales, sino considera los estilos de vida y su infraestructura de apoyo, los cuales pueden perdurar indefinidamente porque no están agotando los recursos ni degradando la calidad ambiental (T.H.F. Wong & Brown, 2009:673).

A razón de las problemáticas derivadas del proceso de urbanización, se están explorando fuentes de agua alternativas para superar los problemas de escasez de agua (Harikishore Kumar Reddy, 2017:4). Algunas de las soluciones para los problemas de escasez de agua van desde la utilización de aguas residuales, aprovechamiento de escurrimientos pluviales y la desalinización del agua de los océanos. Se ha utilizado una gran variedad de términos para describir la filosofía de diseño general de la gestión de escurrimientos lo más cerca posible de la fuente. Uno de los términos es el "Desarrollo de Bajo Impacto" el cual hace uso de distintas alternativas de infraestructura verde, sin embargo, puede denominarse alternativamente como "Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible", "Desarrollo Urbano Sensible al Agua" o "Controles de Fuentes de Aguas Pluviales" (CVC & TRCA, 2010:3-1).

Todos éstos intentan reproducir de cierta manera el régimen hidrológico previo al desarrollo mediante un diseño innovador del sitio y técnicas de ingeniería distribuidas en el territorio las cuales están destinadas a infiltrar, filtrar, evaporar, recolectar y detener la escorrentía, así como a prevenir la contaminación. Si bien aún no se llega a un consenso a nivel internacional sobre cuál de ellas es la mejor a implementar, puesto que la eficiencia de cada una depende de las condiciones físicas y necesidades sociales de cada ciudad, todas

ellas representan una solución alternativa al problema de la escasez y contaminación de las fuentes de agua potable (CVC & TRCA, 2010:1-1).

Dado que la mayor parte de la población mundial ahora vive en ciudades, y ésta tiende a aumentar, las soluciones a los problemas deberán encontrarse en ellas mismas; como propone Glaeser (2011), la historia sugiere que las ciudades innovan en la búsqueda de soluciones, pero aun así el cambio de cultura necesario para generar uno mayor. La nueva tarea que enfrentan los planificadores urbanos es crear estructuras espaciales que satisfagan las necesidades de la población al mismo tiempo que aseguran su capacidad de recuperación ecológica y económica; las ciudades deben ser vistas como los lugares donde las soluciones a los problemas ambientales y climáticos del mundo se pueden implementar más fácilmente ya que, al ser los lugares donde se asienta la mayoría de las personas, tienen el potencial de hacer un uso eficiente de los recursos, además de que es ahí donde las personas interactúan y en donde se toman decisiones clave (Girardet, 2010:14).

De esta manera, las ciudades se posicionan no solo como la fuente de demanda de recursos, sino como parte de la solución al problema de disponibilidad de agua al que se enfrentan como resultado de procesos de urbanización en aras de un mayor desarrollo. Las distintas alternativas enfocadas a la administración integral del agua como recurso son una opción para mitigar los impactos de la urbanización y permiten planear las ciudades desde un enfoque ambientalmente más viable. Algunos ejemplos de estas alternativas se presentan en la siguiente tabla (Tabla 1), que hace una descripción de algunos modelos que consideran la captación pluvial, y su reuso, como parte de sus objetivos principales.

Tabla 1 Modelos urbano-espaciales para captación de agua pluvial.

Características	Objetivos	Aplicación	Procesos	Elementos
Estrategia				
Infraestructuras verdes (IV) ^(a)	Red estratégicamente planificada de espacios naturales y seminaturales [...] diseñados y gestionados para ofrecer una amplia gama de servicios ecosistémicos.	Utilización de vegetación, suelos, y procesos naturales para la gestión del agua y la creación de ambientes urbanos más saludables. Crecimiento y Conservación Inteligentes	Eficiencia energética Eficiencia hidrológica Eficiencia de materiales Multifuncionalidad ^(b)	Sistemas sustentables de drenaje urbano Jardines de lluvia Depósitos de infiltración en banquetas Sistemas de captura pluvial en azoteas Jardines verticales / techos verdes Huertos urbanos Pavimentos permeables Celdas de bioretención Cisternas
Desarrollo de Bajo Impacto (LID)	Mantener o reproducir el régimen hidrológico previo al desarrollo urbano mediante técnicas de diseño que crean un paisaje hidrológico equivalente al natural. ^(c)	Desarrollo de Conservación Mejor Diseño de Sitio Infraestructura verde	Pretratamiento Filtración Infiltración Almacenamiento Reutilización	Techos verdes Concreto permeable Dispositivos comerciales para captura de contaminantes o facilitadores de infiltración. Control de erosión y sedimentos Diseño urbano/diseño de vivienda
Desarrollo y Diseño Urbano de Bajo Impacto (LIDUDD)	Asegurar la selección de sitios a desarrollar, minimizando el impacto y efectos adversos hacia el ecosistema.	Los servicios ambientales y la infraestructura son usados para maximizar eficientemente el uso de los recursos locales y minimizar la generación de residuos.	Formas alternativas de desarrollo que generen espacios para la naturaleza; restauren, impulsen y protejan la biodiversidad	Tanques de captación pluvial Pavimento permeable Techos y muros verdes Trampas filtrantes Zanjas con vegetación Bioretención Humedales
Sistemas urbanos de Drenaje Sustentable (SuDS) ^(d)	Sistemas de drenaje desarrollados con base en el desarrollo sustentable diseñados para manejar riesgos ambientales por escurrimientos y contribuir al mejoramiento ambiental.	Manejo eficiente de escurrimiento pluvial Reducción de inundaciones en zonas urbanas Provisión de servicios ambientales	Control en la fuente Pretratamiento Captura pluvial Técnicas de construcción especializadas Inclusión de vegetación e integración al paisaje	Depósitos de infiltración Zanjas de retención Techos verdes Pavimentos permeables Manejo de vegetación Sistemas de drenaje

Características Estrategia	Objetivos	Aplicación	Procesos	Elementos
Ciudad Esponja (SPC)	Absorber el agua pluvial urbana mediante infiltración en suelo, retención de agua pluvial, almacenamiento, purificación, recarga de acuíferos y mejorar la calidad de escurrimientos (Chan, et al., 2018)	Manejo de riesgo por inundación. Adopta acciones de las demás estrategias Incrementar o generar servicios ambientales al interior de la ciudad	Purificación de escurrimientos Adoptar y desarrollar conceptos LID Manejo de escurrimientos urbanos Almacenamiento temporal Reciclaje y potabilización de agua pluvial Sistemas de drenaje eficientes Integración de cuerpos naturales y artificiales de agua	Infraestructura resiliente (sistema de drenaje) Almacenamientos subterráneos Humedales artificiales Jardines de lluvia Pavimentos permeables Techos verdes
Desarrollo Urbano Sensible al Agua (WSUD)	Formulación de planes que incorporen diversas formas de administración del agua mediante un proceso proactivo que reconoce las oportunidades hacia el diseño urbano, arquitectura de paisaje e infraestructura de manejo de agua pluvial. (Radcliffe, 2019)	Proceso de transición con 6 niveles en un marco de manejo del agua de acuerdo con las necesidades propias de cada ciudad. Incluye tanto factores sociales como hidrológicos	Componentes del ciclo de agua urbana Sistemas de abastecimiento de agua Sistemas de aguas residuales Sistemas de agua pluvial Manejo de agua subterránea Diseño urbano Protección ambiental	Técnicas alternativas de tratamiento de aguas residuales Materiales permeables Sistemas de captación pluvial

(a) Término establecido por European Environment Agency (2011)

(b) La multifuncionalidad habrá de entenderse como la capacidad de atender a distintas necesidades de forma simultánea.

(c) Término establecido por EPA.

(d) The SuDS Manual.

De las anteriores existen aquellas que proponen el desarrollo de infraestructura, otros el desarrollo tecnológico y otros plantean soluciones más simples que toman como referencia las funciones naturales de cada ecosistema; lo que todos tienen en común es el dar solución al problema del manejo y abastecimiento de agua en las ciudades considerando la problemática propia de cada lugar. En cuanto a las estrategias existentes para el manejo de la escorrentía urbana, además de la fluvial, existen tanto medidas estructurales como medidas no estructurales (Rodríguez, 2013).

1) *Medidas estructurales.* Actúan sobre los procesos naturales de formación y propagación de las crecidas en las corrientes de agua, modificando la magnitud de los caudales y, consecuentemente, los niveles de inundación. Conllevan la construcción de obras (como presas, encauzamientos, diques, motas, etc.).

Son eficientes en cuanto a manejo y disminución de riesgos por inundación en zonas que presentan asentamientos con población cercana a corrientes de agua; sin embargo, no eliminan el riesgo por completo y presentan un alto grado de impacto ambiental al modificar, en muchos casos, la estructura de los cauces que en muchos casos trasladan los riesgos aguas abajo.

2) *Medidas no estructurales.* Este tipo de medidas no involucran la transformación de la morfología del terreno, estructura o función, y su propósito va más encaminado a reducir los daños generados por inundaciones mediante la adaptación del uso del territorio (parques fluviales) y sin generar un impacto ambiental representativo, permitiendo de esta manera el aprovechamiento de las obras para beneficio de la población.

A continuación se detallan las distintas propuestas que han sido implementadas a nivel internacional para la gestión de escurrimientos pluviales, cada modelo tiene un acercamiento distinto pero proponen estrategias encaminadas al aprovechamiento del agua pluvial.

3. MODELOS URBANO-ESPACIALES APLICADOS A LA CAPTURA PLUVIAL

En este apartado se desarrollarán de manera breve los modelos principales antes mencionados, haciendo énfasis en el Desarrollo Urbano Sensible al Agua por considerarlo como el más completo, al considerar tanto medias estructurales como no estructurales.

Infraestructuras verdes (GI, por sus siglas en inglés)

De acuerdo con Benedict & McMahon (2006), la Infraestructura Verde es una red de espacios verdes interconectados que conserva los valores y funciones naturales del ecosistema a la vez que provee de beneficios a las poblaciones humanas relacionados con la salud de las personas, como un aire limpio, una mejor calidad del agua y un ambiente urbano saludable y mejora la habitabilidad de los lugares donde vivir y trabajar. Algunos espacios, como los jardines comunitarios, crean un fuerte sentido de comunidad, ya que permiten la participación de la sociedad civil a través de acciones de voluntariado, ayudando a combatir la exclusión social y el aislamiento (CEA, 2014:8).

Es una herramienta multifuncional que incluye, entre diversos aspectos, la administración del agua pluvial mediante la construcción de infraestructura de bajo impacto tendientes a la mitigación y recuperación ambiental. La Comunicación de la Comisión Europea la define como una herramienta que aporta beneficios ecológicos, económicos y sociales mediante soluciones naturales y que ayuda a comprender el valor de los beneficios que la naturaleza proporciona a la sociedad humana y a movilizar inversiones para sostenerlos y reforzarlos.

Las estrategias de Infraestructura Verde buscan una congruencia entre las funciones ecológicas, sociales y económicas que brindan los sistemas naturales, con la finalidad de lograr un uso eficiente y sustentable del territorio en la escala local, urbana y regional. La Infraestructura Verde busca cumplir con distintas funciones, las cuales pueden ser enfocadas para Mitigación o Adaptación:

- Mitigación
 - Captura de carbono
 - Reducción del uso de energía
 - Provisión de energía renovable
 - Producción de alimentos próximos a destinos de consumo

- Provisión de materiales de construcción menos intensivos en energía
- Adaptación
 - Disminución del efecto de isla de calor en la zona urbana
 - Almacenamiento de agua en el subsuelo, disminución del escurrimiento superficial y riesgo de inundación
 - Reducción de erosión del suelo
 - Fortalecimiento de la resiliencia de los ecosistemas al cambio climático
 - Control de desbordes de ríos

Es una herramienta multifuncional que incluye, entre diversos aspectos, la administración del agua pluvial mediante construcciones de bajo impacto tendientes a la mitigación y recuperación ambiental. Existen casos exitosos en distintas ciudades del mundo en donde la aplicación de infraestructura verde ha contribuido de manera importante a la preservación de los recursos naturales; en el ámbito urbano es una forma eficiente de aplicación de los recursos públicos y privados en la búsqueda de soluciones a problemáticas y riesgos ambientales (A. Suárez et al., 2011).

Un claro ejemplo es el caso de Singapur, en donde se implementó desde 1991 propuso un plan de infraestructura verde que promovió una red verde a lo largo de toda la isla mediante la integración de parques con corredores naturales y una recalificación del agua (Sini, 2019:212). Durante la década de 1990 el desarrollo urbano constante ejerció una importante presión sobre el ecosistema de la isla, socavando su sostenibilidad ecológica (Sini, 2019:211).

Si bien la implementación del plan ha sido un éxito, Singapur y su urbanismo 'biofílico' está fomentando un desarrollo urbano que trae paisajismo a edificios, muros, carreteras y cursos de agua concretos para incorporar la naturaleza en cada elemento del entorno construido (Sini, 2019:47), sin embargo, la adecuada implementación de este esquema ha requerido la conjunción de varios factores como una visión clara respaldada por políticas efectivas de planificación urbana y un marco legal de apoyo, además de gobernanza y desarrollo efectivos de las instituciones que permitieran poner en práctica políticas de ecologización (Tan et al., 2013:25)

Con un área de aproximadamente 710 km² y áreas urbanas en crecimiento, Singapur carece del espacio para recolectar y almacenar toda la lluvia que cae sobre ella; desde 2011 el área de captación de agua ha incrementado de la mitad hasta dos tercios de la superficie terrestre de Singapur, , mediante una red de ríos, canales y desagües, la lluvia que cae sobre dos tercios de la superficie terrestre de Singapur se canaliza a nuestros 17 embalses, convirtiéndola en uno de los pocos países del mundo que cosecha aguas pluviales urbanas a gran escala para el consumo de agua potable (PUB, 2019).

Desarrollo de Bajo Impacto (LID, por sus siglas en inglés)

El Desarrollo de Bajo Impacto, es un enfoque alternativo de gestión de aguas pluviales con un principio básico basado en la naturaleza: gestionar las precipitaciones en la fuente utilizando controles descentralizados de microescala distribuidos uniformemente. Es un enfoque para el desarrollo que busca unir la planificación del sitio, el desarrollo de la tierra y la gestión de las aguas pluviales con el fin de proteger el ecosistema.

Esta técnica fue diseñada especialmente para permitir la retención, almacenamiento e infiltración de la escorrentía de agua en el área urbana causada por el desarrollo. Según Rusli et al.(2011), las medidas LID representan una menor perturbación del área de desarrollo, mejor conservación de las características naturales y menos costo en comparación con los mecanismos tradicionales de control de aguas pluviales.

Hay dos tipos de enfoques LID: 1) enfoque no estructural y 2) estructural. El enfoque no estructural comúnmente es utilizado en las actividades de desarrollo preliminares para la protección de áreas sensibles, minimizando así la compactación del suelo y el área impermeable y desconectando las fuentes de aguas pluviales. El enfoque estructural se utiliza para reparar los daños en la etapa posterior al desarrollo.

LID se conceptualiza generalmente como una estrategia de diseño alternativa en la planificación de un sitio, guiada por procesos naturales en donde el énfasis se hace en las técnicas de infiltración y almacenamiento para controlar las aguas pluviales cerca de su fuente en un área de pequeña escala.

Diseño y Desarrollo Urbano de Bajo Impacto (LIUDD, por sus siglas en inglés)

El enfoque LIUDD utiliza la capacidad de carga ecológica en un contexto cíclico como punto de partida; este modelo evolucionó desde sus orígenes en el Desarrollo de Bajo Impacto (LID) el cual utiliza características de drenaje natural en el paisaje en lugar de sistemas de tuberías para el manejo de aguas pluviales e incorpora características de diseño natural en el control de la erosión y los sedimentos durante el desarrollo urbano (van Roon & van Roon, 2005).

Radcliffe (2019) indica que los servicios y la infraestructura de los ecosistemas se utilizan para maximizar de manera eficiente el uso de recursos locales y minimizar el desperdicio. Los propósitos que persigue este modelo consisten en:

- Promover y apoyar formas de desarrollo alternativo que creen espacio para la naturaleza
- Restaurar, mejorar y proteger la biodiversidad
- Reducir y contener contaminantes
- Reconocer los ciclos naturales del suelo, el agua y los nutrientes; y
- Garantizar la eficiencia energética.

LIUDD también reconoce y proporciona las aspiraciones de los grupos maoríes para la protección y el mejoramiento de la biodiversidad (Radcliffe, 2019). La implementación de LIUDD se propicia por la disponibilidad de grandes áreas de espacio público abierto para adaptar las tecnologías de agua pluvial, el tratamiento de aguas residuales, el almacenamiento de agua recuperada y el mejoramiento de la biodiversidad, especialmente en los corredores ribereños (van Roon, 2007). Las diferentes intensidades de desarrollo y las condiciones climáticas exigen tecnologías diferentes para lograr la eficiencia del ciclo del agua, tales como tratamiento y reciclaje de aguas grises, recarga de acuíferos con aguas pluviales tratadas, techos verdes o infiltración de aguas pluviales eficiente en el espacio (van Roon, 2007).

Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SuDS, por sus siglas en inglés)

Dichos sistemas son aquellos elementos que conforman los sistemas de drenaje en las ciudades que tienen como función la reducción del caudal generado por la precipitación, además de disminuir los agentes contaminantes que son arrastrados por la escorrentía. Si bien su principal función disminuir el riesgo de inundaciones, una función adicional es la de frenar la contaminación de las aguas pluviales por arrastré de partículas además de minimizar el costo de la gestión de agua pluvial y mejorar el paisaje urbano.

Esta estrategia consiste en procedimientos enfocados al mejoramiento integral del sistema de saneamiento mejorando su capacidad de captación, transporte y depuración de aguas pluviales. Estas técnicas, forman parte de lo que internacionalmente se conoce como Best Management Practices (BMP) o buenas prácticas de gestión. En su mayoría, los SuDS hacen uso importante de infraestructuras verdes las cuales se caracterizan por el uso de vegetación como elemento de control y regulación del agua pluvial.

Los beneficios de implementar SuDS van desde el control de la cantidad de agua captada hasta el control de la contaminación de esta. De acuerdo con lo planteado por (Debo & Reese, 2002), los beneficios son:

- Reducción de los incrementos del valor del caudal punta causados por el desarrollo urbano.
- Mitigación de los problemas de capacidad del alcantarillado aguas abajo.
- Recarga de los recursos de agua subterránea.
- Reducción o eliminación de la necesidad de mejoras en las infraestructuras aguas abajo.
- Disminución de la erosión de los cauces a través del control de la velocidad y de la reducción del caudal.

El control de la contaminación mediante la implementación de SuDS presenta algunas ventajas adicionales, como los son:

- Reducción de la carga contaminante mediante sedimentación, reacciones químicas y mecanismos biológicos de depuración.
- Mejoras de las características del caudal que llega a la planta de depuración.

- Beneficios estéticos y ecológicos.
- Control de la sedimentación.
- Mejora de la calidad del agua a través de la filtración, en su caso, del agua de escorrentía.

Ciudad Esponja (SPC, por sus siglas en inglés)

El programa de gestión de agua urbana denominado Ciudad Esponja (SPC) fue puesto en marcha desde el 2014 en 400 ciudades en China y ha contribuido a la reducción de las inundaciones en tiempos de lluvia y escasez de agua en las ciudades que han derivado en numerosas pérdidas humanas y económicas en la región.

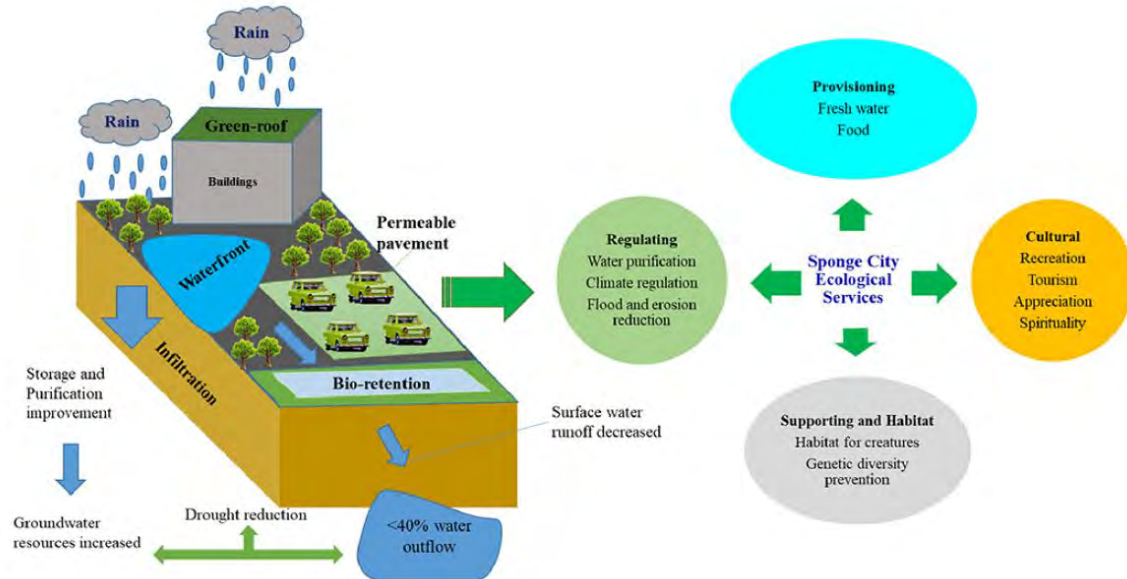
Tiene como objetivos adoptar y desarrollar conceptos de LID que permitan mejorar el control efectivo de los escurrimientos en las ciudades, además de almacenar temporalmente, reciclar y purificar el agua pluvial; mejorar los sistemas tradicionales de drenaje mediante la implementación de infraestructura resiliente; e integrar cuerpos de agua naturales y promover objetivo multifuncionales como parte del diseño de drenaje a la vez de generar cuerpos de agua artificiales y áreas verdes que provean un aumento en la calidad a las áreas de esparcimiento y la calidad de vida (Chan, et al., 2018).

Esta estrategia surgió como una respuesta a los efectos del cambio climático global, el cual trajo consigo cambios extremos en el clima traducidos en inundaciones que tuvieron un gran impacto en la gestión social; de ahí surgió la necesidad de construir infraestructura debido a que tanto el drenaje como el sistema para control de inundaciones en algunas ciudades se estaba quedando atrás, y el almacenamiento de aguas pluviales y las capacidades de gestión de emergencias eran insuficientes (Guo Ban Fa, 2013).

Como parte de los objetivos delimitados en el ‘Aviso de la Oficina General del Consejo de Estado sobre hacer un buen trabajo en la construcción de instalaciones de drenaje urbano y prevención de inundaciones se hacía hincapié en “promover activamente el modelo de desarrollo de bajo impacto”, para lo cual las regiones deberían de “establecer el concepto de civilización ecológica que respeta la naturaleza, se ajusta a la naturaleza y protege a la naturaleza, debe controlar la intensidad de desarrollo de acuerdo con el concepto de desarrollo y construcción que tenga el menor impacto en el entorno ecológico urbano,

organizar el diseño y controlar eficazmente la escorrentía de la superficie”(Guo Ban Fa No.23., 2013).

Diagrama 1. Diseño esquemático de los servicios ecológicos de la Ciudad Esponja



Fuente: Implementation of a specific urban water management - Sponge City (Nguyen et al., 2019).

Para lograr lo anterior se definieron los lineamientos para fortalecer la infraestructura en todas las provincias ya que se consideraba a la infraestructura urbana como base material para el funcionamiento normal y el desarrollo saludable de la ciudad (Guo Fa No.36, 2013). En línea con dicha estrategia, se promovió la construcción de instalaciones urbanas de abastecimiento de agua, drenaje y control de inundaciones, además de fortalecer la construcción y protección de las fuentes de agua potable y el uso racional de los recursos hídricos.

Como objetivo para el 2015, el documento planteaba mejorar la función del espacio verde urbano mediante la “combinación con la red de tuberías de alcantarillado urbano, instalaciones de control de drenaje e inundaciones, a través de la pavimentación permeable al agua, la selección de plantas con una fuerte resistencia al agua y una fuerte capacidad de adsorción y purificación, la construcción de espacios verdes hundidos y parques de humedales urbanos, y la mejora de espacios verdes urbanos para recolectar agua de lluvia,

almacenamiento de inundación y drenaje. Complementar el agua subterránea, purificar la ecología y otras funciones” (Guo Fa No.36, 2013).

Diagrama 2. Diagrama del concepto de Ciudad Esponja.



Fuente: Shuyang Xu en “Sponge City” in China—A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context (Chan et al., 2018).

Lo anterior, como se puede apreciar, no es sino la conjunción de distintas estrategias de Infraestructura Verde implementadas bajo un esquema LID, tal y como se planteó en el origen de la iniciativa. Esta iniciativa ha representado un esfuerzo enorme y sin precedentes por parte de cualquier gobierno del mundo para lograr la sostenibilidad urbana. Finalmente, en 2015, se publicó el documento que contiene las Opiniones orientadoras de la Oficina General del Consejo de Estado sobre la Promoción de la Construcción de la Administración Estatal de la Ciudad de Esponja, el cual define:

“Ciudad de Esponja se refiere a la absorción, almacenamiento y liberación de agua de lluvia por sistemas ecológicos como edificios, carreteras, espacios verdes y sistemas de agua. Controla efectivamente la escorrentía del agua de lluvia y realiza el modo de desarrollo urbano de la acumulación natural, la penetración y la purificación naturales" (Guo Ban Fa No.75, 2015).

Comúnmente, la construcción de SPC incluye tres partes:

- Protección ecológica natural urbana

- Restauración ecológica, y
- Construcción de sistema LID.

Resulta de especial importancia en este último documento, la inclusión de las políticas de apoyo que establezcan un mecanismo de cooperación entre el gobierno y el capital social, compartiendo el riesgo y compartiendo los ingresos. En resumen, el concepto de SPC indica que una ciudad podría funcionar como una esponja, con una gran capacidad de recuperación ante los cambios ambientales y los desastres naturales (X. Li et al., 2016). El objetivo principal es que las aguas pluviales generadas por los eventos de lluvia se puedan absorber, almacenar, infiltrar y limpiar mediante instalaciones naturales y/o artificiales, para transformar los escurrimientos en recursos hídricos que podrían utilizarse durante la sequía (MHURD 2014).

Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD, por sus siglas en inglés)

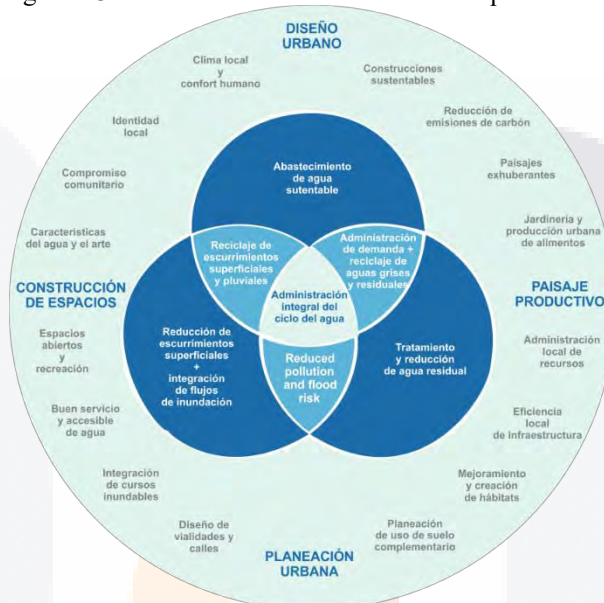
El término WSUD se mencionó por primera vez en varias publicaciones que exploraban conceptos y posibles prácticas estructurales y no estructurales en relación con la gestión de los recursos hídricos urbanos a principios de los años noventa. La aparición de WSUD en Australia es parte de un movimiento más amplio a nivel internacional hacia el concepto de gestión integrada de la tierra y el agua (CRC for Catchment Hydrology, 2001).

Este modelo es el proceso de integración de la gestión del ciclo del agua con el entorno construido a través de la planeación y el diseño urbanos (Morgan et al., 2013). Una Ciudad Sensible al Agua combina infraestructura física, diseño urbano sensible al agua y gestión integrada del agua urbana, junto con sistemas sociales, gobernanza y compromiso social, con el objetivo de crear una ciudad en la que las conexiones que las personas tienen con su infraestructura y servicios de agua mejoren su valor y calidad de vida (Wong et al., 2013), siempre con mira hacia el futuro.

Históricamente, gran parte de la toma de decisiones relacionadas con la inversión y diseño de la infraestructura hidráulica se ha llevado a cabo en el contexto del agua como un

producto no diferenciado³². Si bien en la actualidad existen distintas alternativas, modelos y tecnologías para abordar el tema del agua en las ciudades, la mayoría de las ciudades siguen dirigiendo su inversión pública en sistemas convencionales de distribución y saneamiento de agua.

Diagrama 3. Interacción de elementos en un esquema WSUD



Fuente: Water Sensitive Urban Design in the UK – Ideas for built environment practitioners (Morgan et al., 2013).

La definición comúnmente mejor aceptada entre los practicantes de este modelo es la propuesta por la Australian National Water Initiative (2004) que la conceptualiza como “[I]a integración de la planeación urbana con la gestión, protección y conservación del ciclo urbano del agua, que garantice que la gestión del agua sea sensible a los procesos naturales hidrológicos y ecológicos” (Council of Australian Governments, 2004).

³² Un producto está diferenciado si sus variedades comparten características comunes; normalmente los consumidores tienen preferencias tanto por la variedad como por la calidad de cierto producto. Esto implica que el productor debe estar dispuesto a producir bienes y servicios diferenciados en variedad y/o calidad, con el fin de atender las exigencias de la demanda. La diferenciación de productos está vinculada a la existencia de distintos niveles de calidad en la producción de un solo bien, con el espacio geográfico donde se produce y con las preferencias de los consumidores (Martínez Sandoval, 2005). El agua, entonces, se considera un producto no diferenciado puesto que la demanda no se ve determinada por la preferencia de los consumidores hacia alguna variedad o calidad específicas.

El concepto de WSUD es más aceptado por los países desarrollados porque considera la planeación urbana y el diseño basado en el entorno del agua para dirigir el desarrollo de la ciudad; este enfoque equilibra los diferentes tipos de uso de suelo en la ciudad y protege el ciclo del agua para que ésta sea sostenible y ecológica (Li, et al., 2016). Este es el proceso mediante el cual se generan lugares en donde todos los elementos del ciclo del agua y sus interacciones se consideran de manera concurrente para lograr un resultado que sostenga un ambiente natural saludable, al mismo tiempo que satisface las necesidades humanas (Morgan et al., 2013).

Esto incluye la administración de:

- a) Demanda y suministro de agua
- b) Aguas residuales y contaminación
- c) Precipitaciones y escurrimientos
- d) Cursos de agua y recursos hídricos e Inundaciones y vías de agua

Figura 3. Procesos involucrados en el ciclo del agua en zonas naturales y urbanas



Fuente: Introduction to WSUD, (Melbourne Water, 2017).

En ambientes naturales, el agua de lluvia se evapora principalmente, es absorbida por las plantas o se absorbe en el suelo. El desarrollo urbano cambia drásticamente dichos procesos, dejando el suelo libre de vegetación y cubriéndola con superficies 'duras' o impermeables que no permiten pasar el agua. Como resultado, el agua de lluvia corre por

estas superficies en poco tiempo, a través de desagües pluviales hasta los cauces naturales, como aguas pluviales contaminadas. Esto modifica el tiempo, la velocidad y el volumen de los flujos de agua, lo que afecta las corrientes y cuerpos de agua naturales (Melbourne Water, 2017).

Brown et. al. (2008) proponen que para el logro de los objetivos de una Ciudad Sensible al Agua es necesario desarrollar un nuevo enfoque que integre espacios dedicados al agua, fortalecer una cultura urbana que valore y proteja el recurso, logrando que la transformación cultural impacte a los distintos actores involucrado, y promover la implementación de alternativas tecnológicas sostenibles. Específicamente en el caso de los escurrimientos pluviales, un primer paso es transformar la concepción actual de éstos como un perjuicio y entenderlos como un recurso.

Este modelo utiliza una planeación urbana mejorada para reutilizar las aguas pluviales, evitando que alcancen los cuerpos de agua naturales al imitar el ciclo natural del agua en lo más posible. Bajo este esquema, la recolección de aguas pluviales implica recolectar, tratar, almacenar y utilizar la escorrentía de aguas pluviales de las áreas urbanas. Se diferencia de la recolección de agua de lluvia, ya que la escorrentía se recolecta de los desagües en lugar de los techos (Melbourne Water, 2017).

Tabla 2. Interrelación entre las iniciativas de WSUD de sitio-distrito-regional

Local	Distrito	Regional
Planeación		
Plan de densidad de asignación	Plan de calles locales	Plan de vialidades principales Espacio público abierto y corredor multiusos
Conservación hídrica		
Tanque para agua de lluvia	Almacenamientos de agua de lluvia/estanque Almacenamiento y recuperación de acuíferos	Almacenamiento de aguas pluviales / estanque Almacenamiento y recuperación de acuíferos
Calidad de agua de lluvia		
Retención en sitio (infiltración) Pavimento poroso Filtros de arena Jardineras de bioretención Jardín de lluvia	Cuencas de infiltración Pavimento poroso Filtros de arena Canales de bioretención Cuencas de bioretención Bosques urbanos Humedales artificiales	Zona de amortiguación riparia Canales naturales Bosques urbanos Humedales artificiales

Zona de amortiguación vegetada		
Retención de agua pluvial		
Retención en sitio	Zanjas de retención Estanques	Zanjas de retención Lagos

*Retomado de T.H.F. Wong & Brown, (2009)

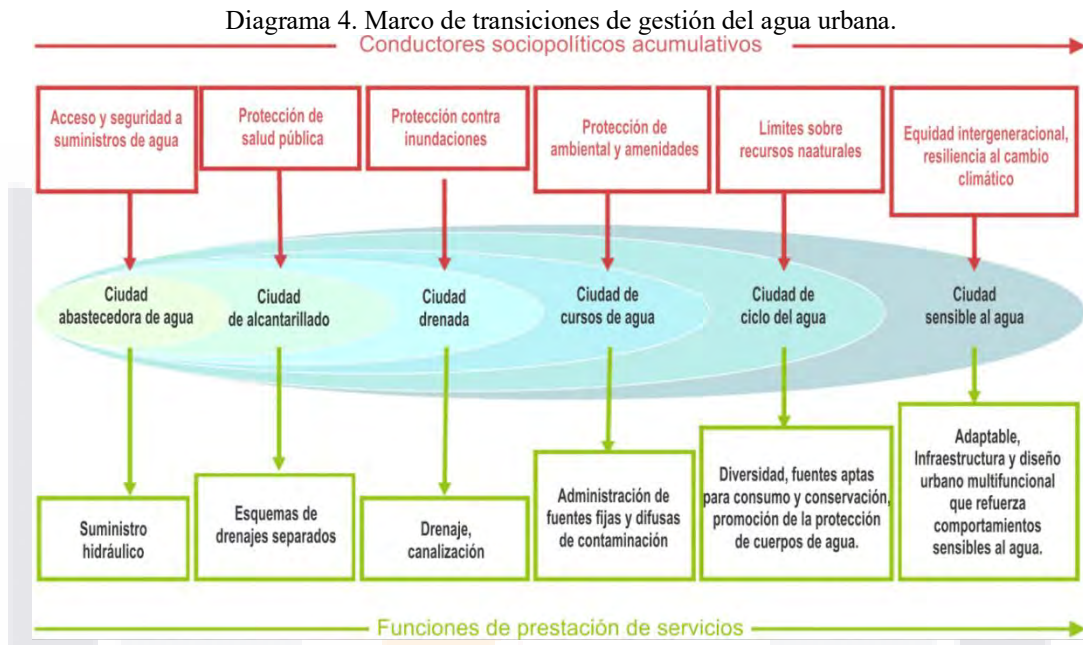
Los principios básicos del WSUD se enlistan como los siguientes (CRC for Catchment Hydrology, 2001):

1. Proteger los sistemas naturales: proteger y mejorar los sistemas naturales de agua dentro de los desarrollos urbanos
2. Integrar el tratamiento de aguas pluviales en el paisaje: use las aguas pluviales en el paisaje incorporando corredores de uso múltiple que maximizan la recreación visual y recreativa de los desarrollos
3. Proteger la calidad del agua: proteger la calidad del agua que drena del desarrollo urbano
4. Reducir la escorrentía y los flujos máximos: reducir los flujos máximos de los desarrollos urbanos mediante medidas de detención locales y minimizar las áreas impermeables
5. Agregar valor y minimizar los costos de desarrollo: minimizar el costo de la infraestructura de drenaje del desarrollo.

Estos principios requieren de un enfoque perfeccionado para la integración de la planificación del suelo y el agua en todos los niveles del proceso de desarrollo urbano. En el marco del WSUD se reconocen seis niveles progresivos del marco de transición de agua urbana a medida que una ciudad se desarrolla (Radcliffe, 2019). Las primeras tres etapas describen la evolución del sistema de agua para proporcionar servicios esenciales como el acceso seguro al agua potable ("Ciudad abastecedora de agua"), la protección de la salud pública ("Ciudad de alcantarillado") y la protección contra inundaciones ("Ciudad drenada"); le siguen "Ciudad de cursos de agua", "Ciudad del ciclo del agua" y, en última instancia, como "Ciudad Sensible al Agua" (R. Brown et al., 2009).

Esta última ofrece una gama de servicios, desde servicios de esparcimiento (para espacios verdes y mejorar los efectos de las islas de calor de la ciudad) y protección

ambiental, servicios de agua confiables con recursos limitados (incluido el acceso a fuentes no dependientes del clima, como acuíferos), equidad intergeneracional y resistencia al cambio climático.



Reproducido de (R. Brown et al., 2009).

Desarrollo Urbano Sensible al Agua

Como se expuso anteriormente, varios de los modelos presentados contemplan tanto la gestión del ciclo del agua urbana, elementos de planeación y el diseño urbanos. Sin embargo, Suárez (2014) propone que el concepto tradicional de ciclo del agua urbana, que incorpora de modo lineal los servicios de abastecimiento y saneamiento, debe ser sustituido por una visión más integral y sistémica, en donde el agua se vincule con la planeación y desarrollo urbano además de las políticas de sostenibilidad.

De esta manera, tomando como referencia esquemas como el LID y WSUD, proponen un nuevo enfoque denominado Desarrollo Urbano Sensible al Agua en el cual, los sistemas actuales de abastecimiento y distribución de agua pueden ser transformados para lograr una gestión integrada del sistema del agua urbana en los nuevos modelos de desarrollo urbanos sostenible (Suárez et al., 2014:114).

Este modelo promueve una aproximación al desarrollo urbano que se adapta a las características naturales de los lugares, mientras protege los ecosistemas naturales, y optimiza el uso del agua como recurso; supone una estrategia de desarrollo urbano, de urbanización o reurbanización, que se apoya en los procesos naturales para gestionar las aguas pluviales lo más cerca posible de su origen y minimizando las superficies impermeables para crear un sistema de drenaje que contemple las aguas pluviales como un recurso y una oportunidad, más que un flujo residual (Suárez et al., 2014:118)

Otra propuesta establece que el desarrollo urbano sensible al agua comprende la consideración de los impactos esperados en la cantidad y calidad del agua en las fuentes en el área que se está desarrollando y/o el agua utilizada en esta área. Dicha planeación abarca dos ámbitos: 1) por un lado se ocupa de los efectos del desarrollo urbano en el ciclo hidrológico y las fuentes de agua; 2) mientras que por otro lado trata los aspectos de ingeniería del suministro y uso del agua (Carmon et al., 1997:414).

Este esquema difiere de los sistemas convencionales al adoptar una perspectiva total del ciclo urbano del agua en los servicios de planificación, y combinar diferentes fuentes de agua para usos específicos, también consideran los impactos ambientales de los servicios urbanos de agua en escalas más grandes a nivel ecosistema o cuenca. Algunas propuestas incluyen la sustitución de agua potable por agua reciclada (aguas residuales recuperadas), recolección de aguas pluviales (escorrentía urbana recogida de desagües o arroyos) y recolección de aguas pluviales (escorrentía de techos); además pueden incluir medidas estructurales y no estructurales para el control en la fuente de aguas pluviales y otras medidas para minimizar el impacto del desarrollo urbano en los procesos ecológicos e hidrológicos (Sharma et al., 2012:341) . De esta manera el modelo establece las bases que permite el desarrollo de trabajos que facilitan la elección de diferentes estrategias de ahorro y la implantación de tecnologías, para el análisis integral del sistema de agua urbano. Las mejores estrategias hacen un uso combinado de medidas estructurales y no estructurales para potenciar las ventajas que cada una presenta respecto a la problemática a resolver.

En el siguiente capítulo se presenta la metodología para el desarrollo del análisis geoespacial que permitirá la delimitación de las zonas de intervención y sentará los mecanismos para la selección de infraestructura que permitirá construir el sistema de captación pluvial para la ciudad de Aguascalientes

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

La planeación de cualquier tipo se basa en el supuesto de que los eventos futuros podrían verse influenciados por acciones humanas intencionales que permitieran alcanzar un resultado deseado; este supuesto se basa en una suposición principal de que los humanos son capaces de usar su libertad sabiamente para decidir sobre acciones futuras (Maurer en Elgendy, 2003). Es un intento de desencadenar algo que normalmente no sucedería de forma natural, cambiar "lo que es" por "lo que debería ser" (Elgendy, 2003:15).

Ian Bracken (2007), considera a la planeación urbana como un proceso para la solución de problemas en donde las respuestas y propuestas pueden ser encontradas mediante un proceso sistematizado que permita definir estrategias y objetivos a cumplir, para lo cual es preciso entender la naturaleza del problema y de sus posibles soluciones. Propone que el proceso de planeación urbana puede ser entendido como un método dual en donde existe una relación simbiótica de dos actividades fundamentales; en primer lugar, se encuentran los procesos efectivos, con un alto componente cognitivo y que están involucrados con los efectos para lograr el cambio esperado. Sin embargo, su operacionalización únicamente es efectiva cuando está respaldada por la segunda actividad que corresponde a la recopilación de información del fenómeno a intervenir, la forma en que se espera que cambie dicho fenómeno en el tiempo y el resultado de la influencia de la definición de políticas públicas

La planeación se ha convertido en sinónimo de estrategia y de adquisición de información que permita el desarrollo de conocimiento que facilite en mayor medida el entendimiento del fenómeno a estudiar, por lo tanto, la información es considerada como la piedra angular en cualquier proceso de planeación urbana (Bracken, 2007:10). Sin embargo, la disponibilidad de información suficiente no siempre representa una problemática en el proceso, como lo representa la disponibilidad de información de calidad. Existe una idea equivocada de que la comprensión de los asuntos urbanos puede ser alcanzada de mediante la sola acumulación de datos; sin embargo, dicho entendimiento es alcanzado mediante el

desarrollo de teorías que requieren, no solo descripciones cualitativas y cuantitativas de calidad, sino la habilidad del investigador para realizar comparaciones entre los fenómenos, sobre todo a lo largo del tiempo (Bracken, 2007:102). La adquisición de información adecuada no siempre coincide con la información disponible, por lo que representa uno de los puntos clave en el proceso de diseño de políticas públicas, en donde se reconoce una relación directa entre la información disponible y la calidad de la toma de decisiones basados en esa información (Elgandy, 2003:20)

Incluso teniendo disponible información útil y pertinente, es indispensable tener claro el objetivo que se quiere lograr a través de la acumulación de información y conocimiento. Los planeadores urbanos se han enfocado en clarificar cada vez más sus propuestas mediante la especificación de metas generales de las cuales derivan objetivos específicos (Bracken, 2007:30). Una vez establecidos los objetivos y habiendo identificado las necesidades a atender, y aquellos cuyas necesidades se van a solventar, se inicia con el proceso de diseño del plan que habrá de atender los puntos antes mencionados; para esta etapa existen cuatro modelos de planeación urbana³³ que pueden seleccionarse en función del enfoque de cada proyecto y los resultados esperados.

Para la elaboración del presente proyecto se tomó como base el modelo de planeación orientado al futuro deseado, que busca transformaciones en el sistema social mediante la redefinición de valores, normas y objetivos tradicionales a largo plazo (Bracken, 2007:23). El proyecto por desarrollar comprende la propuesta de un sistema alternativo de captación pluvial y abastecimiento de agua basado en los principios del modelo urbano-espacial de

³³ Berry identifica cuatro tipos de planeación a) *mitigación y resolución de problemas*, la cual planea para el presente en reacción a problemas del pasado; propone la distribución de recursos de acuerdo al diseño de intervenciones derivados del análisis del problema; los resultados se vinculan a la modificación de riesgos futuros mediante la reducción de la carga y las secuelas de los problemas actuales; b) *modificación de tendencias de localización*, planea hacia un futuro previsto; permite determinar y calcular las mejores tendencias para distribución de recursos en función de lo deseado; este método modifica y equilibra de forma moderada el futuro evitando problemas predecibles y logrando un progreso equilibrado para evitar generar nuevos problemas; c) *búsqueda de áreas de oportunidad*, planea con base en predicciones; este método determina y aprovecha al máximo las tendencias y los recursos de asignación para aprovechar lo que está por venir; mediante este enfoque se logra desequilibrar y modificar el futuro aprovechando los acontecimientos predecibles, evitando algunos problemas y explotando otros sin una gran preocupación por la aparición de nuevos problemas; por último d) *orientada a objetivos normativos*, mediante la planeación de un futuro deseado; este método permite decidir sobre el futuro deseado y signar recursos para obtener cambios en las tendencias o crear nuevas. El futuro deseado puede basarse en valores actuales, predicciones o nuevos; los resultados derivan en una amplia modificación del futuro al enfocarse en “lo que podría ser”. (Berry en Bracken, 1981/2007:22)

Ciudades Sensibles al Agua (WSUD, por sus siglas en inglés); dicho modelo urbano, al igual que el modelo de planeación, contempla la implementación de estrategias estructurales, como el desarrollo de infraestructura verde, y estrategias no estructurales que fomenten cambios sociales que puedan generar un impacto en los valores y normas establecidos que contribuyan al cambio sobre la forma en que la sociedad se relaciona con el medio ambiente; los resultados a obtener se esperan en el corto, mediano y largo plazo principalmente por los cambios sociales que este tipo de modelo requiere.

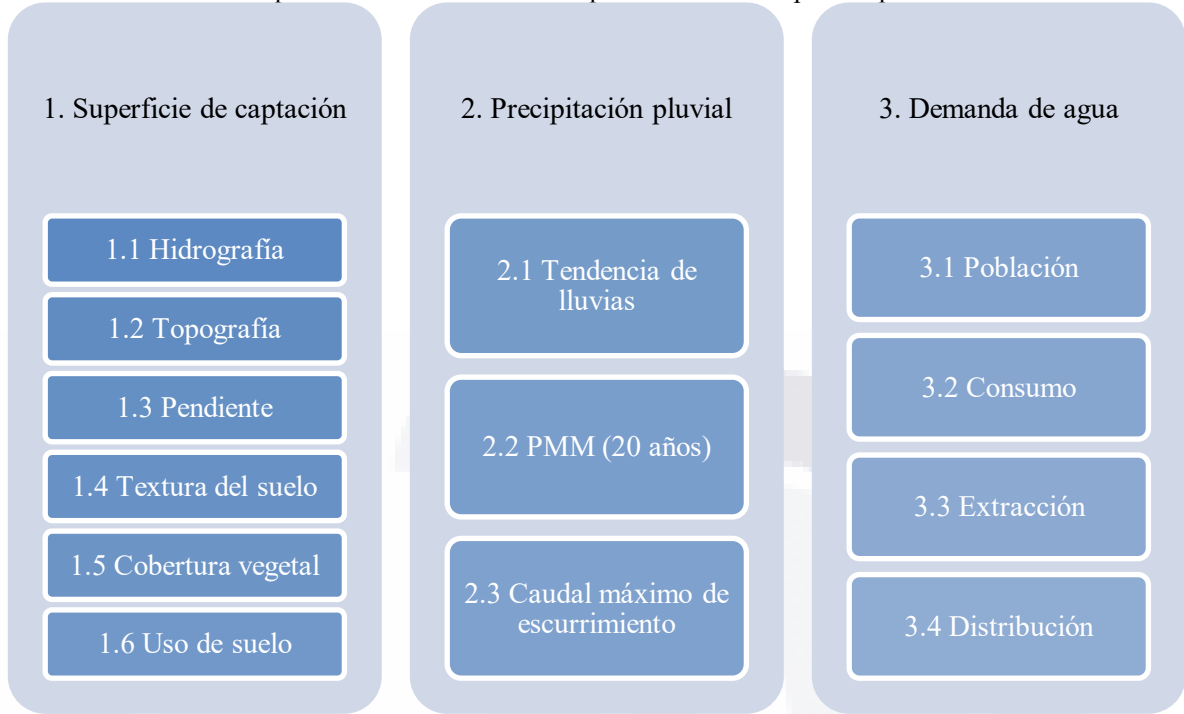
El objetivo del presente capítulo es presentar la metodología implementada para el análisis de la problemática hídrica en la zona de estudio y el diseño de las estrategias orientadas al diseño de un sistema de captación pluvial que permita la adopción de un modelo sensible al agua.

El capítulo se estructura en cuatro apartados. En el primero se presenta las variables que habrán de analizarse para el análisis geoespacial, definiendo tanto las fuentes de información como el tipo de análisis a desarrollar. En el segundo se detalla la zona de estudio; su ubicación y superficie. En el tercero, se indica la estrategia que se habrá de seguir para el desarrollo del análisis de la información geoestadística en el sistema de información geográfica y su posterior ponderación y reclasificación para generar los mapas de zonificación diferenciada, urbana y periurbana. En el cuarto apartado se explica el proceso para determinar las distintas estrategias de infraestructura a desarrollar en cada zonificación, la cual servirá de base para la elaboración de escenarios y propuestas para el sistema de captación pluvial.

1. VARIABLES Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Durante la fase de recopilación de información para el diseño de un sistema de captación pluvial es indispensable considerar tres grupos de variables: 1) *superficie de captación*, que se define como el área donde se recolecta la lluvia, 2) la *precipitación pluvial* que ocurre en la zona de estudio y 3) la *demanda de agua de la población* que ejerce presión hacia los recursos hídricos. Los tres grupos de factores serán analizados tomando en cuenta las siguientes variables:

Esquema 2. Variables de diseño para sistemas de captación pluvial



Fuente: Elaboración propia a partir de información de (Ammar et al., 2016)

Como fuentes de información se utilizaron estadísticas obtenidas del IMPLAN Aguascalientes, CCAPAMA, CONAGUA e información estadística y geográfica de INEGI tal como se indica a continuación:

Tabla 3. Variables de análisis y fuentes de información

Variables	Definición	Unidad	Insumo
1. Superficie de captación			
1.1 Hidrografía	Corrientes superficiales y cuerpos de agua.	Km	• Red hidrográfica 12 Lerma-Santiago, escala 1:50,000, INEGI.
1.2 Topografía	Conjunto de características que presenta la superficie o el relieve de un terreno.	m.s.n.m.	• Modelo de elevación para el estado de Aguascalientes escala 1:50,000, INEGI.
1.3 Pendiente	Grado de inclinación del terreno. A mayor inclinación mayor valor de pendiente.	%	
1.4 Textura del suelo	Contenido relativo de partículas de diferente tamaño (arena, limo y arcilla), en el suelo; tiene que ver con la simplicidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que es capaz de retener y la	Clase textural	• Conjunto de datos vectorial Edafológico serie II. Continuo Nacional. Aguascalientes escala 1:250,000, INEGI.

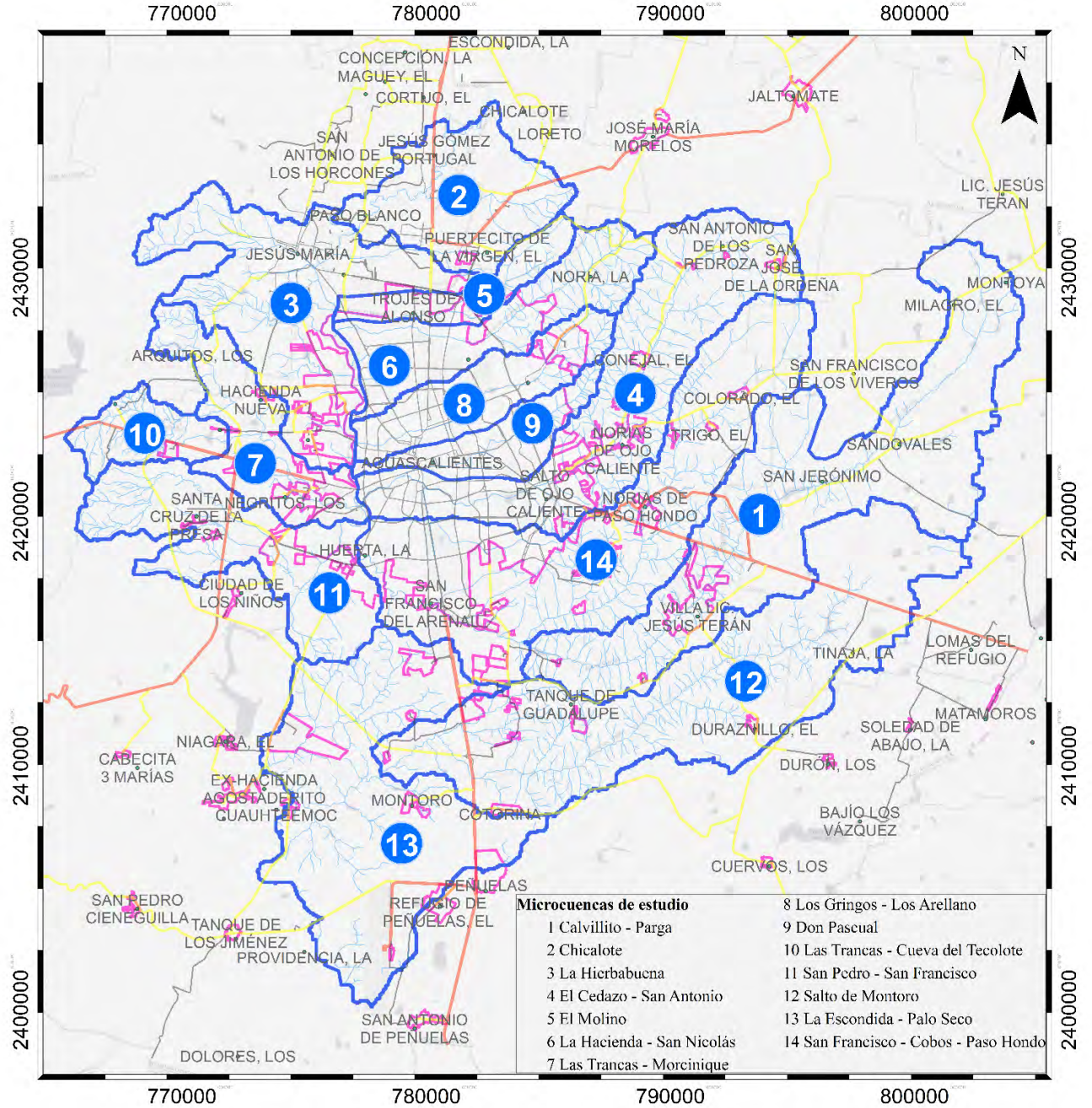
Variables	Definición	Unidad	Insumo
	velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa (FAO, 2006).		
1.5 Cobertura vegetal	Grupo de comunidades vegetales de acuerdo con sus características, ocupan un espacio en la superficie terrestre y conforman una unidad reconocible y cartografiada.	Km ²	<ul style="list-style-type: none"> • Carta uso de suelo y vegetación, serie VI del Estado de Aguascalientes escala 1:250,000, INEGI. • Carta uso de suelo y vegetación, serie IV del Estado de Aguascalientes escala 1:250,000, INEGI.
1.6 Uso de suelo	Superficie de territorio ocupado por suelo urbano o no urbano, siendo el no urbano aquel con uso agrícola o con vegetación natural.	Km ²	<ul style="list-style-type: none"> • Carta uso de suelo y vegetación, serie II del Estado de Aguascalientes escala 1:250,000, INEGI.
2. Precipitación pluvial			
2.1 Tendencia de lluvias	Cambios graduales estacionales en el tiempo de la precipitación registrada.	n.a.	<ul style="list-style-type: none"> • Estadísticas climatológicas de CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) obtenida de 30 estaciones
2.2 PMM (20 años)	Lámina de precipitación promedio que es registrada mensualmente en cada estación.	mm	<ul style="list-style-type: none"> • Estadísticas climatológicas de CONAGUA obtenida de 30 estaciones • Mapa de isoyetas basada en información estadística climatológica
2.3 Caudal máximo de escurrimiento	Volumen hidráulico de la escorrentía de cada cuenca hidrográfica concentrada en la corriente principal de la misma.	m ³ /seg.	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo aplicando método racional, retomando datos de precipitación, topografía, pendiente y coeficiente de escurrimiento.
3. Demanda de agua			
3.1 Población	Población total dentro del área de estudio	No. de habitantes	<ul style="list-style-type: none"> • XI Censo General de Población y Vivienda 1990, INEGI. • Conteo de Población y Vivienda 1995 • XII Censo General de Población y Vivienda 2000 • II Conteo de Población y Vivienda 2005. • Censo General de Población y Vivienda 2010. • Encuesta Intercensal 2015 • Proyecciones de la Población de los Municipios de México, 2015-2030, CONAPO (Consejo Nacional de Población) • Información estadística del Instituto Municipal de Planeación de Aguascalientes, IMPLAN. • Marco Geoestadístico Nacional 2018, INEGI.
3.2 Consumo	Consumo de agua por persona en el área de estudio. Cálculo realizado tomando como referencia los datos establecidos para derechos de extracción y derechos de	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo de demanda anual de agua potable.

Variables	Definición	Unidad	Insumo
	conexión a las redes de agua potable por lote y/o vivienda establecidos por CCAPAMA (Comisión Ciudadana de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Aguascalientes) y la población total por tipo de lote (residencial, medio, popular).		
3.3 Extracción	Número de pozos de extracción y volumen de agua extraído.	m ³	<ul style="list-style-type: none"> Datos vectoriales de ubicación de pozos, CONAGUA 2019. Volumen de concesión anual por pozo autorizado por CONAGUA
3.4 Distribución	Cobertura de la red de agua potable y alcantarillado	%	<ul style="list-style-type: none"> Datos vectoriales de red de agua potable CCAPAMA 2014 Datos vectoriales de red de drenaje CCAPAMA 2014

2. DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se ubica en el estado de Aguascalientes, y se encuentra delimitada por las 14 microcuencas (Tabla 4) asociadas a los arroyos que cruzan la ciudad capital, la cual abarca una superficie de 74 341.79 hectáreas (Mapa 1). La combinación de las características del medio natural y la dinámica entre éstas con el medio construido y la población que lo integra, definirán el potencial del territorio para implementar estrategias de captación y almacenamiento de agua pluvial para su posterior distribución y aprovechamiento. El análisis de dichos factores habrán de determinar las zonas de alto potencial de inundación (almacenamiento), las zonas de mayor precipitación (captura) y aquellas donde se consume el agua al interior de la zona urbana (demanda). El resultado, determinará las zonas prioritarias a intervenir, tanto a nivel urbano como periurbano.

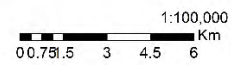
Mapa 1. Aguascalientes: Microcuencas en la zona de estudio



Simbología

- ▭ Zona urbanizada
- ▭ Microcuencas
- Rasgos hidrográficos**
- Corrientes de agua
- Red vial
- Federal
- Estatal
- Municipal
- Calle

Elaboró: Laura Sofia Cabañas Melo
 Fecha: enero de 2020
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N



Fuente: Elaboración propia con información de Inegi y PDUCA2040

Tabla 4. Microcuencas vinculadas a la ciudad de Aguascalientes

Nombre	Superficie (ha)	%
Total	74,342.68	100
Calvillito-Parga	10,353.75	13.9
Chicalote	3,636.93	4.9
La Hierbabuena	6,306.28	8.5
El Cedazo-San Antonio	6,984.95	9.4
El Molino	1,364.79	1.8
La Hacienda-San Nicolás	3,309.18	4.5
Las Trancas-Morcinique	2,943.29	4.0
Los Gringos-Los Arellano	2,528.93	3.4
Don Pascual	1,624.79	2.2
Las Trancas-Cueva del Tecolote	1,420.25	1.9
San Pedro-San Francisco	4,637.12	6.2
Salto de Montoro	10,601.27	14.3
La Escondida-Palo Seco	8,958.90	12.1
San Francisco-Cobos-Paso Hondo	9,671.37	13.0

Fuente: Elaboración propia con información de PDUCA (Programa de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Aguascalientes) 2040, IMPLAN 2018.

La definición más amplia de cuenca incluye políticas, planes y actividades utilizadas para controlar agua y recursos, así como los procesos inducidos por el hombre que están asociados con la cuenca (Oswald, 2011:39). A razón de lo anterior, se utilizan las microcuencas como unidad de análisis del presente proyecto ya que las microcuencas son las unidades básicas de planeación hidrológica (Sánchez Vélez et al., 2003:12). La microcuenca es el ámbito lógico para planificar el uso y manejo de los recursos naturales, es aquí donde se dan las interacciones más importantes entre el uso de los recursos (acción del hombre) y el comportamiento de los recursos (reacción del ambiente).

Tabla 5. Aguascalientes: uso de suelo urbano y no urbano por microcuenca, 2017

Nombre	Total	No urbano	%	Urbano	%
Total	74332.91	57039.09	100	17,293.82	100
Calvillito-Parga	10353.75	2706	96.3	385.92	3.7
Chicalote	3636.93	4419	74.4	931.33	25.6
La Hierbabuena	6306.28	4680	70.1	1,887.51	29.9
El Cedazo-San Antonio	6984.95	747	67.0	2,305.44	33.0
El Molino	1364.79	1365	54.7	618.07	45.3

Nombre	Total	No urbano	%	Urbano	%
La Hacienda-San Nicolás	3309.18	2383	41.2	1,944.32	58.8
Las Trancas-Morcinique	2934.42	356	81.2	551.59	18.8
Los Gringos-Los Arellano	2528.93	191	14.1	2,172.57	85.9
Don Pascual	1624.79	1383	11.7	1,434.17	88.3
Las Trancas-Cueva del Tecolote	1420.25	4022	97.4	37.47	2.6
San Pedro-San Francisco	4637.12	10380	86.7	615.26	13.3
Salto de Montoro	10601.27	7474	97.9	221.25	2.1
La Escondida-Palo Seco	8958.90	6967	83.4	1,484.71	16.6
San Francisco-Cobos-Paso Hondo	9671.37	No urbano	72.0	2,704.22	28.0

Fuente: Elaboración propia con información de la carta de uso de suelo y vegetación serie VI, INEGI-

El comportamiento de los escurrimientos en cada microcuenca habrá de variar en función del sellamiento del suelo como ya se ha mencionado, de esta manera se esperaría que aquellas microcuencas con mayor superficie urbanizada presentaran velocidades de escurrimiento mayores y, a su vez, podría contribuir a la problemática por inundaciones en la zona urbana de la ciudad de Aguascalientes.

3. ESTRATEGIA DE ANÁLISIS

Para el procesamiento de la información geoespacial de los factores que determinan la factibilidad de inundación del suelo; el presente trabajo implementa un análisis multicriterio denominado Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) el cual se fundamenta en matemáticas del algebra de mapas, implementados en los Sistemas de Información Geográfica. El objetivo de implementar esta técnica de análisis consiste en determinar, primero, de zonas aptas para captación pluvial por su potencial de inundación; después, para la determinación de caudales de escurrimiento y la localización de las microcuencas con mayor flujo de escurrimientos, y por último, el impacto y la presión ejercidos por las variaciones demográficas y la demanda de agua potable.

Las condiciones físicas de la superficie de captación son aquellas que son definidas por las variables del el medio natural hidrografía, topografía y pendiente, textura del suelo,

cobertura vegetal y uso de suelo . La hidrografía de la zona de estudio comprende 10 arroyos estacionales y el río San Pedro, los cuales integran el sistema de drenaje natural de la zona de estudio. La unidad de análisis del presente trabajo son las microcuencas hidrográficas las cuales son definidas por el área de captación asociada al cauce principal que las cruza toda la información será procesada en función de las 14 microcuencas que comprenden la zona de estudio. El tipo de suelo, la topografía, pendiente del terreno, la cobertura vegetal y el uso de suelo habrán de definir la forma en que los escurrimientos transitan en su curso hacia las zonas más bajas y definen la capacidad del terreno para captar escurrimientos y almacenarlos previo a su uso posterior.

En cuanto a la precipitación se analizará su tendencia y magnitud, considerando su comportamiento a través del tiempo, para identificar la tendencia de lluvias en la región; con los datos de precipitación se determinará el caudal máximo de escurrimientos por microcuenca con el objetivo de identificar aquellas microcuencas que presentan las mejores condiciones naturales para implementar estrategias de captación pluvial por presentar condiciones como zonas inundables.

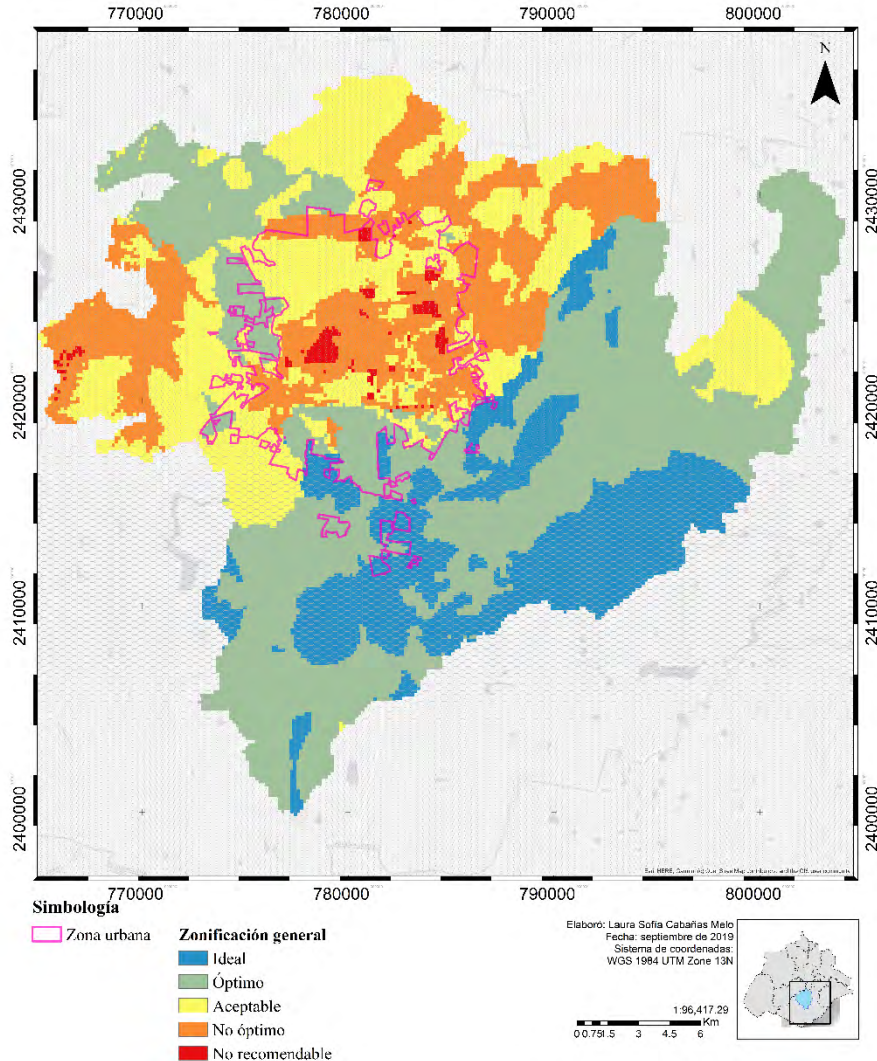
Con respecto a la demanda de agua en la ciudad se analizará el comportamiento de la población y su relación con el consumo de agua en la zona de estudio teniendo como base la dotación por persona asignada por tipo de lote según lo estipulado por CCAPAMA³⁴; se identificarán las zonas con mayor extracción por su relación con la densidad de población local y finalmente se hace un análisis de los sistemas de abastecimiento y saneamiento de la ciudad.

Una vez obtenida toda la información se armonizaron los datos obtenidos del análisis de la superficie de captación, precipitación y demanda para obtener una zonificación diferenciada, tanto intraurbana como periurbana, que permitirá identificar las zonas más propicias al interior de cada microcuenca para la implementación de estrategias de captación y almacenamiento de agua pluvial, y establecer las estrategias particulares que habrían de

³⁴ CCAPAMA publicó en el Periódico Oficial del Estado de Aguascalientes el Acuerdo CD/001/2008 en donde determina la autorización de factibilidades correspondiente a los derechos de extracción y derechos de conexión a las redes de agua potable, el documento contiene en la página 9 los Gastos por lote para agua potable, definiendo una dotación diaria por persona diferenciada en función del tipo de lote (popular 200 l/p/d; medio 250 l/p/d; residencial 300 l/p/d). (Periódico Oficial del Estado de Aguascalientes, 2008)

integrar el sistema de abastecimiento alterativo para la zona de estudio y maximizar los beneficios al interior de la superficie aprovechable.

Mapa 2. Aguascalientes: Zonificación de áreas de implementación.



Fuente: Elaboración propia mediante aplicación de análisis geoespacial de capas ráster en ArcMap.

Como resultado del geoprocreso de Calculadora Ráster considerando los pesos aplicados en el algoritmo de ponderación del Anexo 4, se obtuvo el mapa de ‘Zonificación de área de intervención (Mapa 2), que corresponde a una zonificación general ponderada determinada por la aptitud de captación de cada microcuenca, en función de 1) superficie de captación, 2) precipitación pluvial y 3) demanda de agua . La zonificación se realiza en dos ámbitos espaciales: 1) *Periurbano*, por su alta disponibilidad de espacio para desarrollar

estrategias a gran escala y 2) *Intraurbana*, por la poca disponibilidad de espacios a desarrollar y por la relativa dificultad de acondicionar las estructuras existentes a las propuestas por el sistema. Las zonas en tonos azul y verde corresponden a las áreas que presentan condiciones ideales de aprovechamiento como zonas de captación mayores, mientras que aquellas en tonos cálidos habrán de considerarse para alternativas de infraestructura de menor tamaño en función de su factibilidad de reconversión.

4. PROCESO PARA DETERMINAR ESTRATEGIAS

Para alcanzar el objetivo central del trabajo, diseñar las estrategias urbanas que contribuyan a la aplicación de un modelo urbano-espacial para la captación y aprovechamiento de agua pluvial en la ciudad de Aguascalientes, se tomará como referencia el ‘árbol de decisión de SuDS’³⁵ propuesto por Lara (2016) (Esquema 3). El árbol de decisión consiste en la ruta a seguir para la selección de estrategias de infraestructura que toma como variables la superficie de aporte de escurrimientos y la textura del suelo en donde se plantea la intervención. La propuesta de Lara (2016) se basa en los criterios de selección de obras alternativas establecidos en la guía de diseño y especificaciones de elementos urbanos de infraestructura de aguas lluvias, publicada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo del Gobierno de Chile, pero fue modificado para incorporar alternativas adicionales, específicamente los humedales artificiales.

La selección de alternativas atraviesa un proceso por etapas que determina la prioridad de los objetivos en función del propósito que se persiga, ya sea a) favorecer la retención mediante la captación del agua de lluvia desde su punto de origen, favoreciendo procesos de tratamiento en el sitio mediante sistemas de retención, sedimentación e infiltración; b) protección y mantenimiento de las condiciones naturales, buscando la

³⁵ SuDS (Sustainable Drainage Systems) como se han descrito en el Capítulo I, hacen referencia principalmente a estrategias de infraestructura enfocadas a la gestión sustentable del agua; su filosofía se basa en la reproducción, en la medida de lo posible, del ciclo hidrológico natural existente previo a algún proceso urbanizador, intentando disminuir la cantidad de la escorrentía y mejorar su calidad, mediante la maximización de la integración paisajística y el valor socioambiental de las intervenciones realizadas. Su objetivo es minimizar los impactos del desarrollo urbano respecto a la cantidad y la calidad de la escorrentía desde el origen, durante el transporte y el destino (Woods-Ballard et al., 2007).

preservación de los elementos presentes en la red natural de drenaje existentes (especies vegetales autóctonas, cursos de agua, humedales, etc.); c) disminuir la escorrentía, mediante la mayor reducción de la superficie impermeable y favoreciendo el drenaje hacia zonas que propicien procesos de retención e infiltración; o d) implementar cadenas de tratamiento para la eliminación de contaminantes.

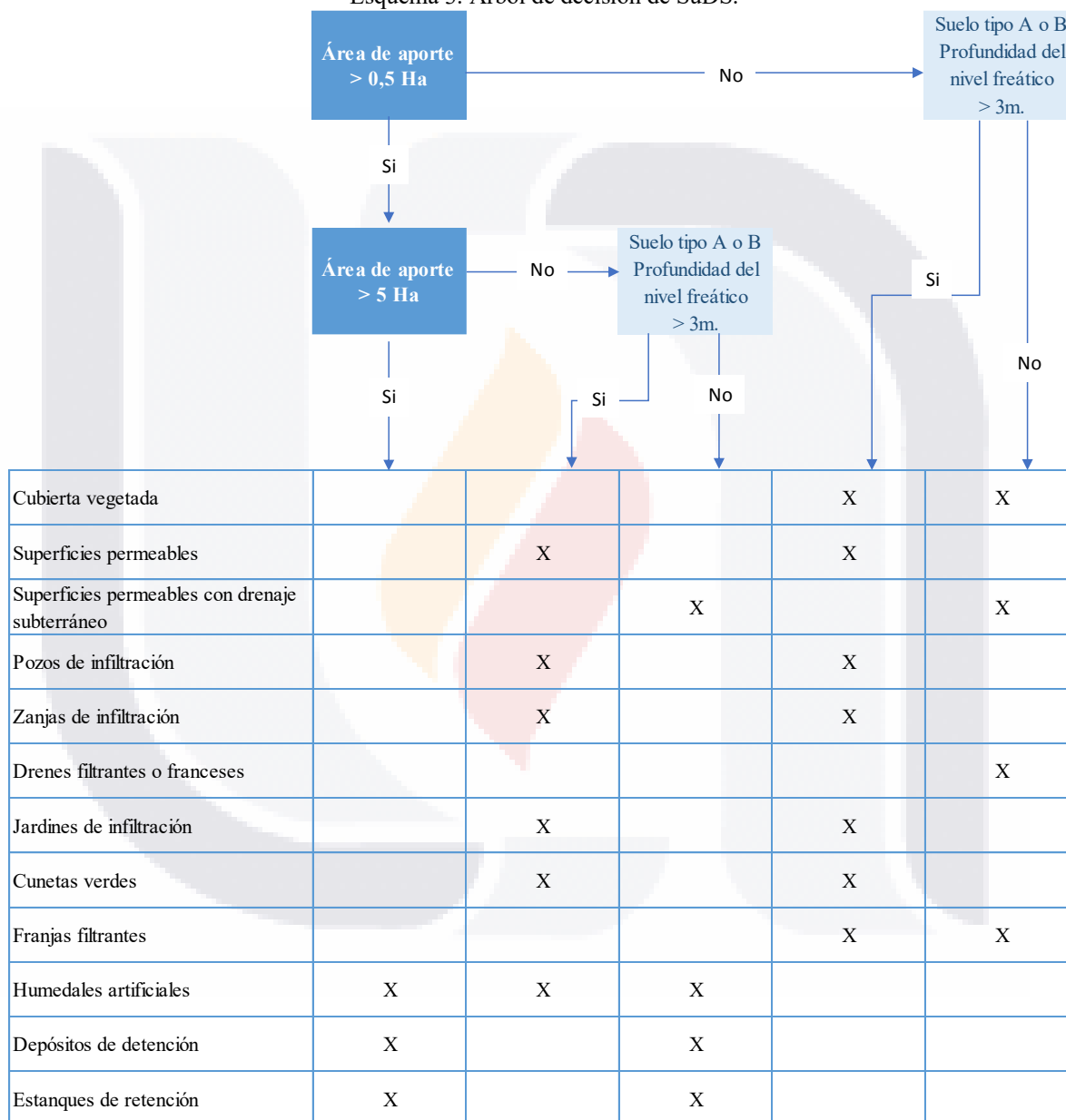
Tabla 6. Matriz de Aplicación de Técnicas

Técnicas	Arriates en banquetas	Camellones	Orejas	Glorietas	Áreas Verdes	Cursos de Agua	Laderas-Cerros	Estacionamientos	Edificios
Jardín Microcuena	• min. 1 m de ancho	• min. 2 m de ancho	• min. 1 m de ancho en arriate	• min. 2 m de diámetro	• min. 8 m ² área. Lados min. 2 m	•	•	• min. 5% del área total	•
Jardín de Lluvia	• máx. 1 m de ancho	• máx. 2 m de ancho	• máx. 1 m de ancho en arriate	• máx. 2 m de diámetro	• máx. 8 m ² área.	•	•	• máx. 5% del área total	•
Pozo de Infiltración	• min. 2 m de ancho	• min. 10 m de ancho	•	• min. 2 m de diámetro	• min. 100 m ²	•	• máx. 8% de pendiente	• máx. 2% del área total	•
Zanja/Bordo	•	• min. 8% de pendiente	•	•	• min. 8% de pendiente	• min. 8% de pendiente	• min. 8% de pendiente	•	•
Drenaje Francés	• min. 0.5 m de ancho	• min. 0.5 m de ancho	•	•	• min. 0.5 m de ancho	•	•	• min. 0.5 m de ancho	• min. 1.5 m distancia de cimentaciones
Superficies Permeables	•	•	•	•	• Para áreas pavimentadas	•	•	•	•
Presa Filtrante	•	• min. 33% de pendiente	•	•	• min. 33% de pendiente	• min. 1 5% de pendiente	• min. 33% de pendiente	•	•
Cisterna	•	•	•	•	• Necesita filtro de sedimentos	•	•	• Necesita filtro de sedimentos	•
Techos Verdes	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Muros Verdes	•	•	•	•	• Soportes para enredaderas	•	•	• Soportes para enredaderas	•

Fuente: Manual de Lineamientos de Diseño de Infraestructura Verde para Municipios Mexicanos (2017:176).

Si bien la selección y combinación de estrategias puede ser tan variada como sea factible y necesario, en la Tabla 6 se detallan aquellas que se consideran pertinentes de aplicación para el caso específico sujeto de análisis.

Esquema 3. Árbol de decisión de SuDS.



* Los suelos tipo A son aquellos con buenas características de infiltración (gravas y arenas limpias). Los suelos tipo B presentan tasas de infiltración moderadas, siendo suelos de textura gruesa con presencia de finos.

Fuente: Lara (2016:110)

La aplicación de esta metodología permite:

- a. Determinar las mejores alternativas técnicas, en función de su ubicación al interior y fuera de la estructura urbana, para llevar a cabo actividades de captación de agua pluvial.
- b. Identificar las alternativas más adecuadas y eficientes de tratamiento para el reuso de agua pluvial.
- c. Diseñar un modelo que contenga la(s) técnica(s) más adecuada(s) para la captación y aprovechamiento de aguas pluviales.

Siguiendo las distintas etapas que contempla el modelo WSUD, con base en los resultados arrojados por el diagnóstico, se determinará en qué etapa del proceso se ubica actualmente la Ciudad de Aguascalientes, para posteriormente determinar los elementos necesarios –en términos de localización, tipo de infraestructura y formas de aprovechamiento- que se requieren en cada etapa del proceso de transición hacia una Ciudad Sensible al Agua.

Dado que todo proceso de planeación debe de contemplar una visión a largo plazo de las problemáticas urbanas, tener una orientación al usuario, especificar los conflictos sobre los objetivos considerar los distintos impactos y efectos que pueda tener la implementación de un plan o política pública (Bracken, 2007:28) , en el Capítulo IV se analizan tres escenarios y sus contribuciones a la problemática hídrica: a) adverso, b) optimista, y c) ideal. En el Capítulo IV se analizan las ventajas comparativas entre cada uno de los escenarios que permite la determinación de la mejor vía de solución; principalmente, la aportación del diseño de escenarios consiste en la determinación del volumen de agua susceptible de ser captada y aprovechada, presentando las tendencias de consumo, y ahorro de agua subterránea, que se esperaría en el supuesto que cada escenario representa.

El trabajo culmina con las conclusiones sobre las potencialidades y restricciones de cada escenario y las áreas de oportunidad que la aplicación de un modelo sensible al agua puede representar para futuros trabajos que atiendan a la misma problemática. Es importante destacar que el análisis presentó limitantes, algunas vinculadas a la disponibilidad de información, tanto en calidad como en relevancia que se van puntualizando a lo largo del texto; además de que existen variables que quedaron fuera del análisis tanto por no contar

con información puntual, como por la limitante del tiempo, como el análisis pluviométrico detallado y los análisis piezométricos para la determinación real de captación de los embalses existentes en la zona de estudio. Sin embargo, el trabajo puede ser considerado como un punto de partida para futuros acercamientos que puedan abordar la problemática y aporte a aquellos que lo aborden. En el subsiguiente capítulo se presentan los resultados del diagnóstico de la superficie de captación pluvial, la precipitación y la demanda de agua en la zona de estudio que servirá de base para la identificación de zonas prioritarias de intervención y el diseño de estrategias y escenarios.



CAPÍTULO III

DIAGNÓSTICO CONTEXTUALIZADO

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se realiza un diagnóstico de los factores determinantes para la planeación de un sistema de captación pluvial encaminado a posicionar a la ciudad de Aguascalientes como una Ciudad Sensible al Agua para el año 2040. Para ello se realiza un diagnóstico de los tres aspectos señalados en el apartado de metodológico: 1) superficie de captación, 2) precipitación y 3) la demanda de agua en la ciudad, para lo cual se analizarán sus distintos componentes, los cuales habrán de definir la viabilidad de implementación de distintas estrategias enfocadas a la captación de agua pluvial.

El presente capítulo está estructurado en tres secciones, en la primera se detallan las características naturales que definen las variables correspondientes a la superficie de captación: hidrografía, textura de suelo, topografía y pendiente y cobertura vegetal; en el segundo apartado se analizan las variables de precipitación: tendencia de lluvias, precipitación media anual y caudal de escurrimiento; el último apartado comprende el diagnóstico de las variables sociales analizadas relacionadas con la demanda de agua en la zona de estudio, para lo cual se analiza la dinámica demográfica, el consumo de agua y las capacidades de extracción y distribución de agua.

El análisis de estas variables permitirá la identificación de aquellas zonas susceptibles de aprovechamiento como zonas de captación y aquellas que presentan la mayor presión debido a la expansión urbana y la demanda social de agua. Dicho análisis sentará la base para la construcción de mapas de zonificación diferenciada, urbana y periurbana, con base en las cuales se habrá de desarrollar la estrategia propuesta para el diseño del sistema de captación pluvial en el siguiente capítulo.

1. SUPERFICIE DE CAPTACIÓN

Hidrografía

Las características hidrográficas superficiales de la zona de estudio son el resultado de la conjunción de las condiciones climáticas y topográficas de la región. En este apartado se analizan las corrientes superficiales y los cuerpos de agua. Los primeros están pensados como sistemas para la captación y canalización de las aguas pluviales. Los segundos, se considera pueden ser utilizados como almacenamientos.

El área de estudio carece de corrientes de gran caudal y más bien se conforma por cauces de menor nivel que fungen como parte del drenaje de la zona del Valle de Aguascalientes. La corriente más importante del Estado es el Río San Pedro, el cual cruza el territorio de norte a sur, mientras el resto de la red hidrográfica está conformada por escurrimientos estacionales que confluyen en la corriente principal y dirigiendo su flujo aguas abajo (Mapa 3).

En cuanto a la zona de estudio, ésta se encuentra situada al centro de la entidad en la parte más baja del Valle de Aguascalientes, su ubicación la hace propensa a que los escurrimientos generados en los parteaguas escurran en dirección hacia el Río San Pedro desde el oriente y el poniente de la zona de estudio, cruzando en su trayecto la zona urbana de la ciudad de Aguascalientes. En total, la zona de estudio es flanqueada por 11 arroyos estacionales que presentan flujos de agua intermitentes, principalmente durante la temporada de lluvias que han mantenido su funcionalidad como canalizadores de escurrimientos, salvo en los tramos correspondientes a los cauces urbanos en donde parte del cauce, en algunos arroyos, han sido acanalados o eliminados para dar lugar al entramado urbano de la ciudad de Aguascalientes.

Tabla 7. Corrientes principales que cruzan la zona urbana de la ciudad de Aguascalientes

Nombre	Longitud (km)
Arroyo Don Pascual	9.3
Arroyo El Molino	11.04
Arroyo La Hacienda	13.98
Arroyo Los Arellano	11.84
Arroyo Salto de Montoro	21.66

La Hierbabuena, Arroyo Los Arellano, Arroyo Morcinique, Arroyo Salto de Montoro, Arroyo San Francisco y el Río San Pedro; éstas se circunscriben dentro de una cuenca, dividida a su vez en subcuencas y microcuencas, las cuales están determinadas en función del tamaño del área drenada.

Los cuerpos de agua receptores que se encuentran al interior de la estructura urbana son dos: 1) presa Los Gringos y 2) presa El Cedazo que cuentan con una capacidad para almacenar 1.4 millones de metros cúbicos y 637, 834 metros cúbicos de agua, respectivamente. Por otra parte, la presa Los Parga, ubicada fuera de la zona urbana de la ciudad de Aguascalientes y construida sobre el cauce del Río San Francisco, tiene capacidad para almacenar 500,000 metros cúbicos de agua (IMPLAN, 2018:174).

Además de los embalses mencionados, la zona de estudio cuenta con numerosos cuerpos de agua de carácter intermitente que se forman principalmente en temporada de lluvias en la zona oriente de la ciudad y en las microcuencas de la zona sur. La existencia de encharcamientos naturales en la zona hace evidente su capacidad de retención de escurrimientos y corrobora su factibilidad para la delimitación de áreas para implementar estrategias de captación en la zona periurbana, adicionales a los existentes o, incluso, asociados a los mismos.

Tabla 8. Aguascalientes. Cuerpos de almacenamiento de agua dentro de la zona de estudio.

Presas y bordos		Capacidad de almacenamiento (millones de m ³)	%
Total		5.392	100
La Escondida-Palo Seco	Total microcuenca	0.355	6.6
	Buenvista de Peñuelas	0.130	2.4
	San Isidro	0.095	1.8
	Francisco Guerra	ND	ND
	Montoro	0.120	2.2
Salto de Montoro	Total microcuenca	0.050	0.9
	Coyotes	ND	ND
	Cotorina de en medio	ND	ND
	El Caimán	ND	ND
	Los Tordos	0.020	0.4
	Guadalupe	0.030	0.6
Calvillito-Parga	Total microcuenca	1.716	31.8

	Presas y bordos	Capacidad de almacenamiento (millones de m³)	%
	Parga	0.500	9.3
	Las Grullas	1.216	22.6
San Pedro-San Francisco	Total microcuenca	0.145	2.7
	El Xoconostle	0.145	2.7
El Cedazo-San Antonio	Total microcuenca	0.727	13.5
	El Cedazo	0.638	11.8
	San José de la Ordeña	0.089	1.7
Las Trancas-Cueva del Tecolote	Total microcuenca	0.300	5.6
	El Cariñan	0.300	5.6
La Hierbabuena	Total microcuenca	0.328	6.1
	San Ignacio	0.136	2.5
	Sandoval	0.192	3.6
Los Gringos-Los Arellano	Total microcuenca	1.584	29.4
	Los Gringos	1.400	26.0
	Santa Elena	0.184	3.4
Chicalote	Total microcuenca	0.187	3.5
	Viñedo Rivier	0.187	3.5

Fuente: Elaboración propia con información del Sistema de Seguridad de Presas, CONAGUA 2019

Topografía y Pendiente

La zona de estudio se sitúa principalmente en una zona de relieve plano, al situarse la ciudad en la base del valle; predominan las pendientes del 0 al 6 % aunque se presentan pendientes que varían del 6 al 12 % al oriente de la ciudad en la zona correspondiente a los lomeríos y la altitud varía entre los 1840 a los 2010 m.s.n.m. Por otro lado, 98.1% de la zona de estudio se asienta en una zona con pendientes llanas (0-5%), presentando elevaciones moderadas (5-10%) únicamente al oriente de la zona urbana la cual está vinculada a la zona de lomeríos, esto presenta las condiciones ideales para la selección de sitios de inundación y almacenamiento de agua pluvial.

En las pendientes llanas se manifiesta una problemática durante la temporada de lluvias por el acumulamiento de agua pluvial proveniente de las zonas más altas, generando inundaciones y encharcamientos en zonas diversas, además de provocar conflictos en la ciudad como congestión vial y disfunción en el suministro de energía eléctrica (IMPLAN, 2018:57), los cuales pueden ser utilizados como áreas para captar agua pluvial con el debido

tratamiento y canalización. La topografía y la pendiente habrán de fijar la dirección de los escurrimientos, además de determinar los puntos de inundación.

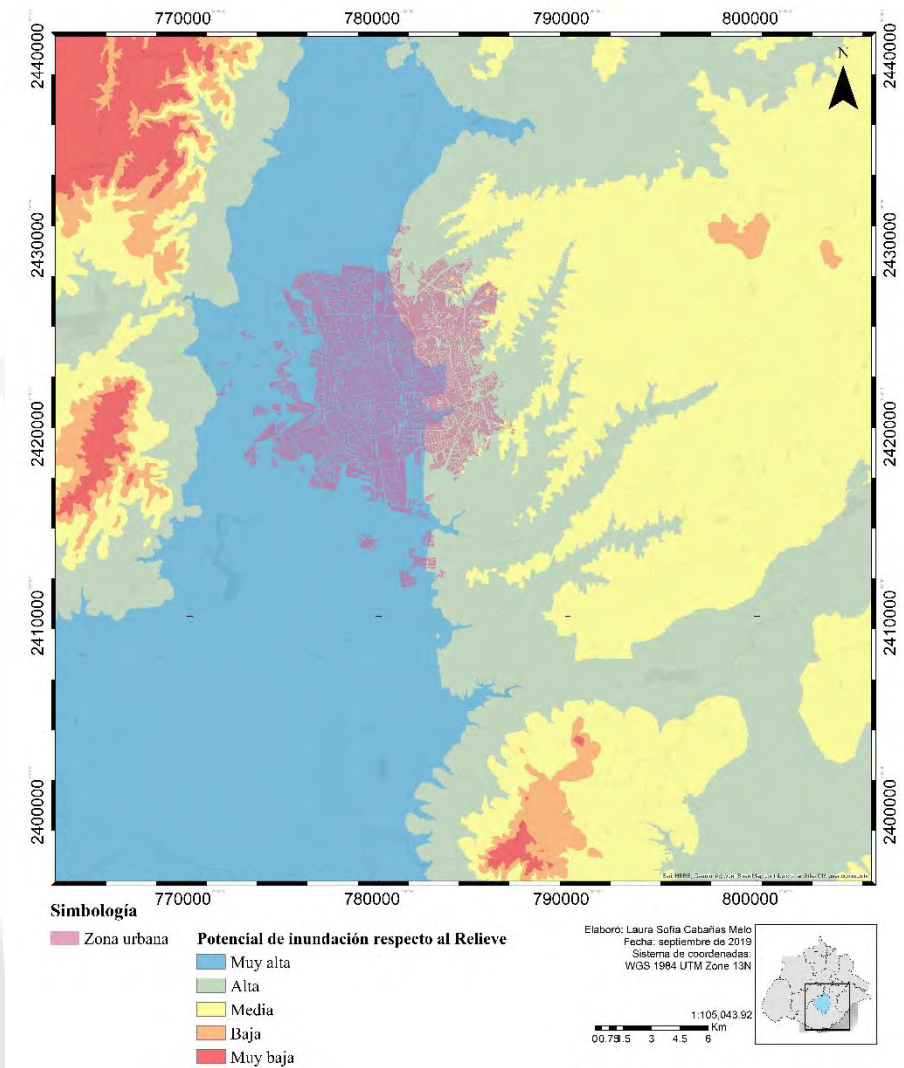
Tabla 9. Relación de topografía y pendiente por microcuencas

Nombre	Topografía m		Pendiente
	inicio	final	%
Calvillito-Parga	2100	1900	2.29
Chicalote	2010	1850	1.58
La Hierbabuena	2130	1840	1.96
El Cedazo-San Antonio	2060	1840	3.23
El Molino	2020	1850	2.65
La Hacienda-San Nicolás	2040	1840	3.01
Las Trancas-Morcinique	2130	1840	2.21
Los Gringos-Los Arellano	2050	1840	2.77
Don Pascual	2030	1850	2.55
Las Trancas-Cueva del Tecolote	2400	1880	5.26
San Pedro-San Francisco	2440	1830	3.62
Salto de Montoro	2030	1840	2.17
La Escondida-Palo Seco	1970	1810	1.54
San Francisco-Cobos-Paso Hondo	2060	1840	2.65

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Modelo de elevación para el estado de Aguascalientes escala 1:50,000, Inegi.

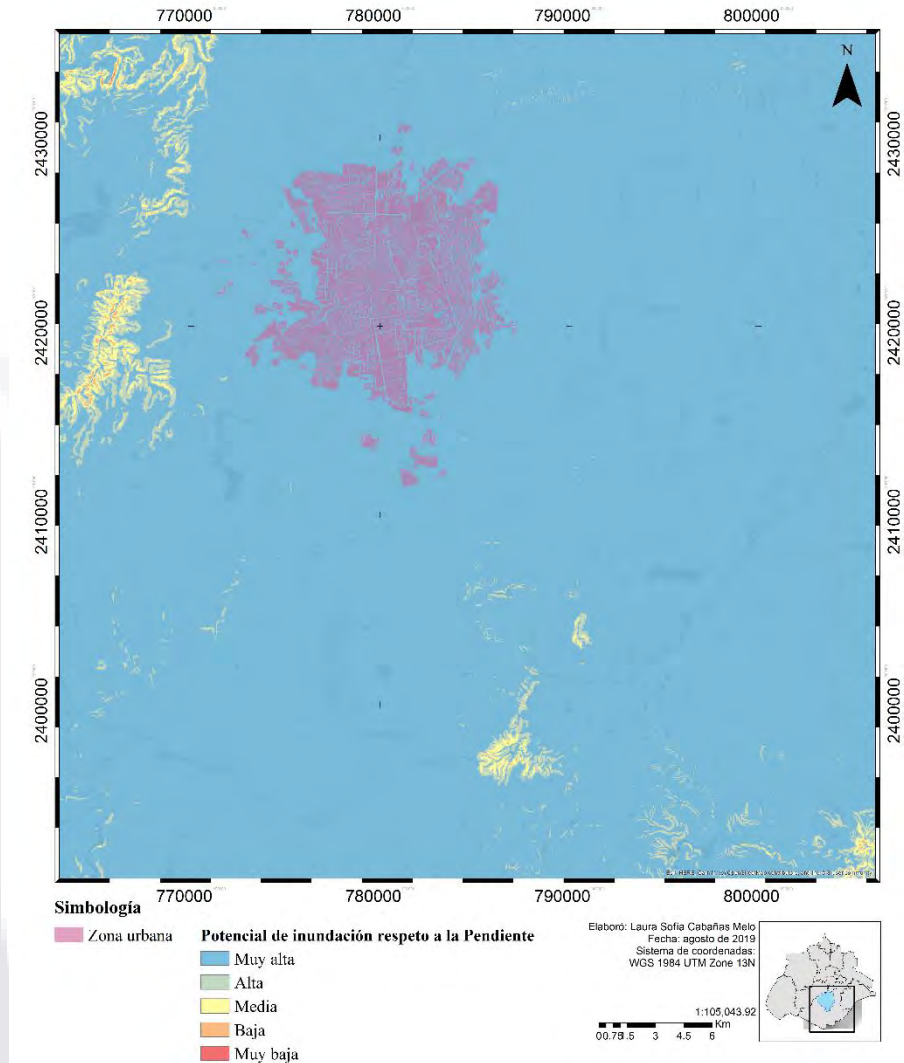
Las microcuencas que presentan las pendientes promedio más pronunciadas son Las Trancas-Cueva del Tecolote, San Pedro-San Francisco y El Cedazo-San Antonio, siendo estas en donde se esperarían los flujos con velocidades más rápidas. Si bien existen franjas con pendientes superiores al 5%, principalmente en la zona oriente de la zona de estudio, la mayor parte de la zona de estudio presenta pendientes llanas y moderadas. La pendiente incide en la velocidad de los escurrimientos sobre el terreno, por lo que se esperaría un flujo más rápido en las microcuencas antes mencionadas. Aunque se esperaría que los escurrimientos fueran retenidos en las zonas que conserven aún cobertura vegetal, a diferencia de las zonas urbanizadas en donde el agua fluye con el mínimo de retención.

Mapa 4. Aguascalientes: Reclasificación de datos topográficos



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de topografía.

Mapa 5. Aguascalientes: Reclasificación de datos de pendiente



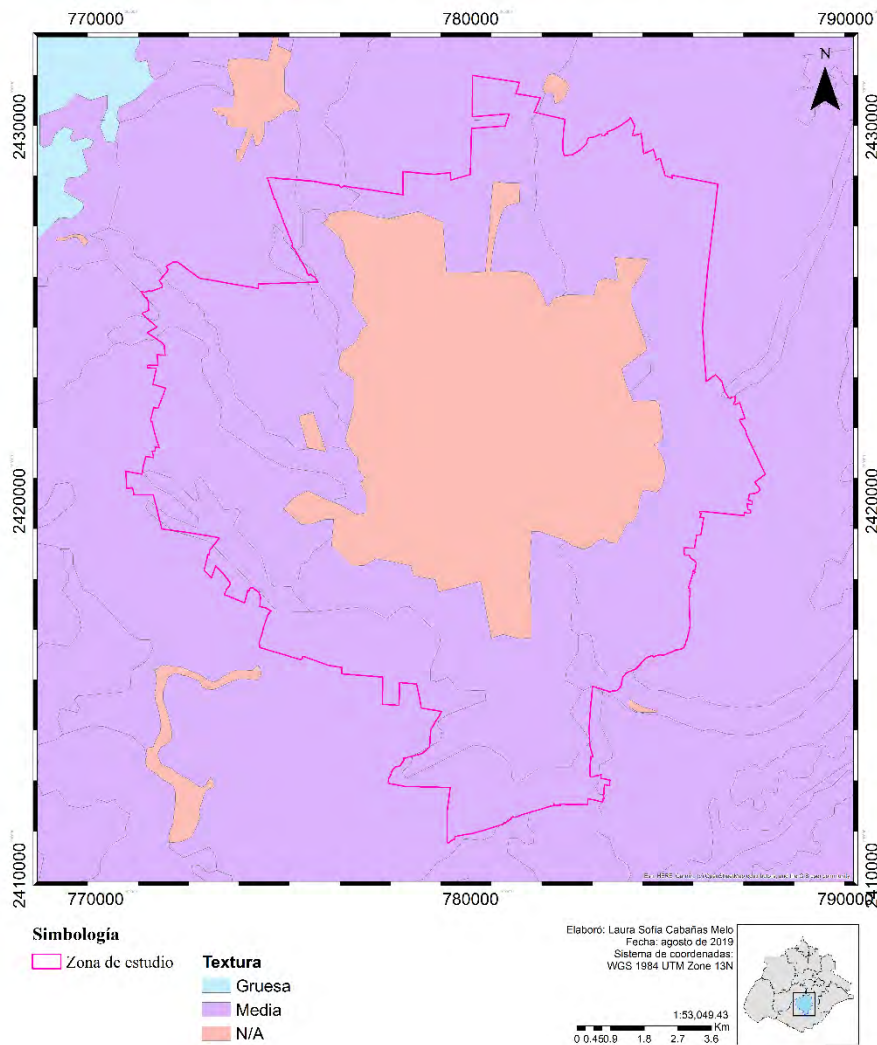
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de pendiente.

En cuanto a la topografía de la zona de estudio, se reclasificaron los valores de relieve (Mapa 4) y pendiente (Mapa 5) respectivamente. Las zonas con mejor potencial de inundación es la zona baja del valle y las partes bajas de los lomeríos del oriente de la ciudad, estas son las zonas que presentan las características topográficas ideales para ubicar reservorios de captación pluvial. La pendiente de estas zonas puede contribuir al diseño del sistema de distribución del agua almacenada, de manera que se reduzcan costos de implementación.

Textura de suelo

La textura del suelo indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño (arena, limo y arcilla), en el suelo; tiene que ver con la simplicidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que es capaz de retener y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa (FAO, 2006).

Mapa 6. Textura del suelo en la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia con base en la Red hidrográfica escala 1:50,000, INEGI.

La textura del suelo se refiere a la proporción existente entre las clases de tamaño de partícula (o fracciones) en un volumen de suelo dado y se describe como una clase textural de suelo, este factor habrá de determinar la permeabilidad del suelo y a su vez, su capacidad

de retener y almacenar escurrimientos pluviales, o de favorecer procesos de infiltración. Los suelos en la zona de estudio son predominantemente de clase textural media, por su equilibrio de arcilla, limo y arena en los 30 cm superficiales; esto es, la infiltración será más rápida en suelos arenosos y más lenta en suelos arcillosos.

La clasificación de los suelos al interior del territorio varía principalmente en cuanto a su potencial agrícola, el cual se define en función de la concentración y retención de nutrientes, a diferencia de las propiedades físicas del suelo cuya variación no es tan representativa. La mayor parte de la zona de estudio está compuesta por suelos fértiles, capacidad agrícola aceptable y mediana permeabilidad que se han ido incorporando de forma gradual al desarrollo urbano, perdiendo su capacidad como zonas con recarga acuífera, principalmente en la zona poniente y sur poniente (IMPLAN, 2018:88). Al oriente de la ciudad se presentan suelos de baja permeabilidad y fertilidad moderada ideales para la ubicación de sistemas de captación de gran magnitud, tales como humedales construidos o zanjas de retención.

Cobertura vegetal

Para conocer la cobertura vegetal de la zona de estudio se tomó como base la cartografía de la carta de Uso del Suelo y Vegetación del Inventario forestal Nacional en su Serie VI, publicada por el INEGI. Conocer esta variable tiene por objetivo identificar el ritmo al que ha ido ocurriendo el cambio de uso de suelo en la zona de estudio y delimitar las zonas con mayor presión por la expansión urbana. La cobertura vegetal habrá de determinar la velocidad de los escurrimientos en función de la superficie impermeable, además de la capacidad de retención de agua en su tránsito por la microcuenca. De acuerdo con ésta, el área presenta: zonas agrícolas, cuerpos de agua, matorral crasicaule, pastizal, zonas urbanas y zonas de vegetación secundaria. Cabe destacar que la mayor superficie (55.98%) corresponde a zonas agrícolas que circundan a la zona urbana correspondiente a la ciudad de Aguascalientes y las localidades aledaña. El crecimiento tanto de la zona agrícola como de la estructura urbana ha dejado solo remanentes dispersos de zonas con vegetación natural, matorrales y pastizales, principalmente en la zona asociada a los lomeríos y en la zona sur, específicamente en las microcuencas El Cedazo-San Antonio, La Hacienda-San Nicolás y

Chicalote, Salto de Montoro, La Hierbabuena y Calvillito-Parga, estos tipos de vegetación son de especial importancia debido a su capacidad para la retención del agua en el suelo y a la infiltración hacia el subsuelo.

El uso de suelo habrá de determinar la cantidad y velocidad de la escorrentía desde las zonas más elevadas en las zonas circundantes, ya que las zonas con cobertura vegetal natural contribuyen a la retención de agua en el suelo, mientras que las zonas pavimentadas de la zona urbana anulan el proceso de infiltración, permitiendo que el agua corra de manera continua hacia las partes más bajas del valle.

Tabla 10. Aguascalientes: Distribución por microcuena de usos de suelo y vegetación, 2017

Nombre	Uso de suelo y vegetación, Serie VI						
	Cuerpo de agua	Agrícola	Bosque	Matorral	Pastizal	Vegetación secundaria	Urbano
Total	150.28	41,608.92	163.84	1,753.03	2,390.72	10,972.30	17,293.82
Calvillito-Parga	60.39	7,763.01			328.33	1,816.11	385.92
Chicalote		2,327.28		378.32			931.33
La Hierbabuena		3,719.52			167.53	531.72	1,887.51
El Cedazo-San Antonio	14.00	2,659.29		531.67	317.09	1,157.46	2,305.44
El Molino		682.18		64.54			618.07
La Hacienda-San Nicolás		740.59		623.96	0.31		1,944.32
Las Trancas-Morcinique	14.44	1,970.61			168.97	228.81	551.59
Los Gringos-Los Arellano	7.06	196.85		152.45			2,172.57
Don Pascual		188.53		2.09			1,434.17
Las Trancas-Cueva del Tecolote	11.97	1,007.24	43.92		83.91	235.75	37.47
San Pedro-San Francisco	12.29	2,963.64	119.92		2.35	923.65	615.26
Salto de Montoro	7.64	7,134.61			679.79	2,557.98	221.25
La Escondida-Palo Seco	19.39	5,507.63			525.75	1,421.43	1,484.71
San Francisco-Cobos-Paso Hondo	3.11	4,747.94			116.69	2,099.41	2,704.22

Fuente: Elaboración propia con información carta uso de suelo y vegetación, serie VI del Estado de Aguascalientes escala 1:250,000, Inegi.

Actualmente, el crecimiento de la ciudad de Aguascalientes continúa absorbiendo territorio rural con uso para la agricultura de temporal y de riego, disminuyendo a su vez las áreas de vegetación natural que la circundan (IMPLAN, 2018:96). Como se puede apreciar, las microcuencas asociadas a la zona urbana de la ciudad de Aguascalientes son las que han perdido la mayor superficie de suelo agrícola y han aumentado la presencia de suelo urbano, mientras que las zonas donde ha aumentado la presencia de vegetación secundaria probablemente corresponden a zonas donde la calidad ambiental de áreas con vegetación natural ha disminuido o se ha visto modificado por actividades antrópicas. La cobertura vegetal se toma en cuenta para la determinación de zonas inundables debido a que presenta las condiciones idóneas para el desarrollo de estrategias de captación a gran escala; por el contrario, la zona urbana presenta limitantes hacia la aplicación de estrategias de este tipo por la poca disponibilidad de grandes superficies de captación y los costos de reconversión para obras de tal magnitud.

Tabla 11. Aguascalientes: Variación porcentual de cambio de uso de suelo y vegetación por microcuenca, 1997-2017

Nombre	Cuerpo de agua	Agrícola	Bosque	Matorral	Pastizal	Vegetación secundaria	Urbano
Calvillito-Parga	0.20	-0.10	0.00	-2.12	-19.25	17.54	3.73
Chicalote	0.00	-20.19	0.00	-2.96	0.00	0.00	23.14
La Hierbabuena	-0.02	-21.55	0.00	-8.73	-1.06	8.43	22.92
El Cedazo-San Antonio	0.00	-4.02	0.00	-8.82	-15.15	16.57	11.41
El Molino	0.00	-37.87	0.00	-4.20	0.00	0.00	42.07
La Hacienda-San Nicolás	0.00	-17.42	0.00	-13.53	-1.39	0.00	32.34
Las Trancas-Morcinique	0.49	-14.82	0.00	-10.65	2.23	7.80	14.94
Los Gringos-Los Arellano	0.00	-7.58	0.00	-6.77	-11.72	0.00	26.07
Don Pascual	0.00	-3.00	0.00	-9.89	-3.16	0.00	16.05
Las Trancas-Cueva del Tecolote	0.84	1.41	-14.49	-8.57	1.56	16.60	2.64
San Pedro-San Francisco	0.10	-2.68	-6.48	0.00	-20.84	19.92	9.99
Salto de Montoro	0.01	0.93	0.00	0.00	-27.16	24.13	2.09
La Escondida-Palo Seco	0.01	9.14	0.00	0.00	-41.59	15.87	16.57

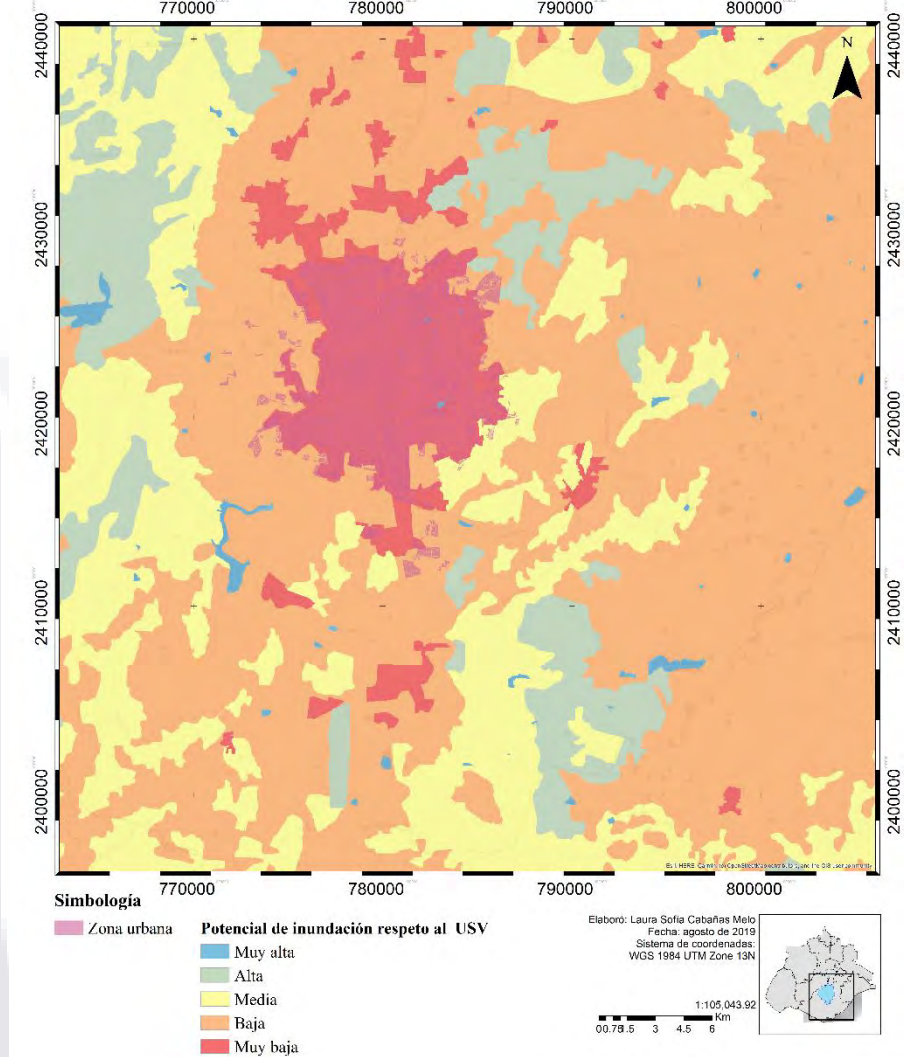
San Francisco-Cobos-
Paso Hondo

0.03	-13.65	0.00	-9.31	-13.93	21.71	15.15
------	--------	------	-------	--------	-------	-------

Fuente: Elaboración propia con información de carta uso de suelo y vegetación del Estado de Aguascalientes escala 1:250,000 series II, IV y VI, INEGI.

Con el propósito de determinar las zonas inundables, se consideraron los cuerpos de agua y la zona urbana como aquellas con las condiciones más propensas a inundarse por su sellamiento total del suelo. La reclasificación de los datos se realizó de acuerdo con la ponderación asignada (Mapa 7). En este esquema, se obtuvo el mapa de uso de suelo y vegetación reclasificado de acuerdo con la en la zona de estudio, que establece el potencial de inundación para cada tipo de cobertura, considerando los cuerpos de agua existentes como aquellos con mejor potencial y la zona urbana como la zona con el menor potencial de inundación por la escasa disponibilidad de grandes áreas en donde puedan implementarse estrategias de captación grandes como humedales o zanjas de retención. Con esto en consideración, las estrategias de captación planteadas habrán de diferenciarse en función de la existencia o no de suelo impermeable y la cercanía con la zona urbana. El comportamiento de los escurrimientos en esta zona será distinto de aquellos en las zonas con cobertura natural, por lo que las estrategias planteadas para la zona urbana serán distintas.

Mapa 7. Aguascalientes: Reclasificación de datos por uso de suelo y vegetación



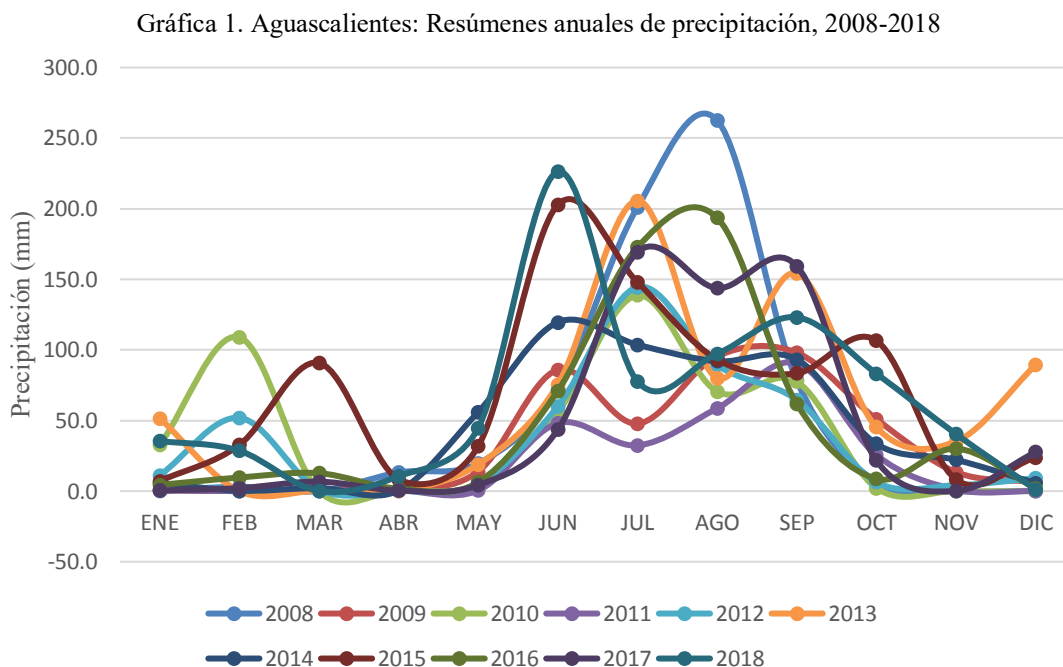
Fuente: Elaboración propia a partir de mapa de uso de suelo y vegetación.

2. PRECIPITACIÓN

Tendencia de lluvias

Por su contexto geográfico, el Estado de Aguascalientes cuenta con tres tipos de clima: semiseco templado (BS1k), semiseco cálido (BS1h) y templado subhúmedo con lluvias en verano C(w). Asimismo, presenta lluvias estacionales en verano en el orden de 574 mm anuales. La precipitación media mensual que se presenta en el estado de Aguascalientes,

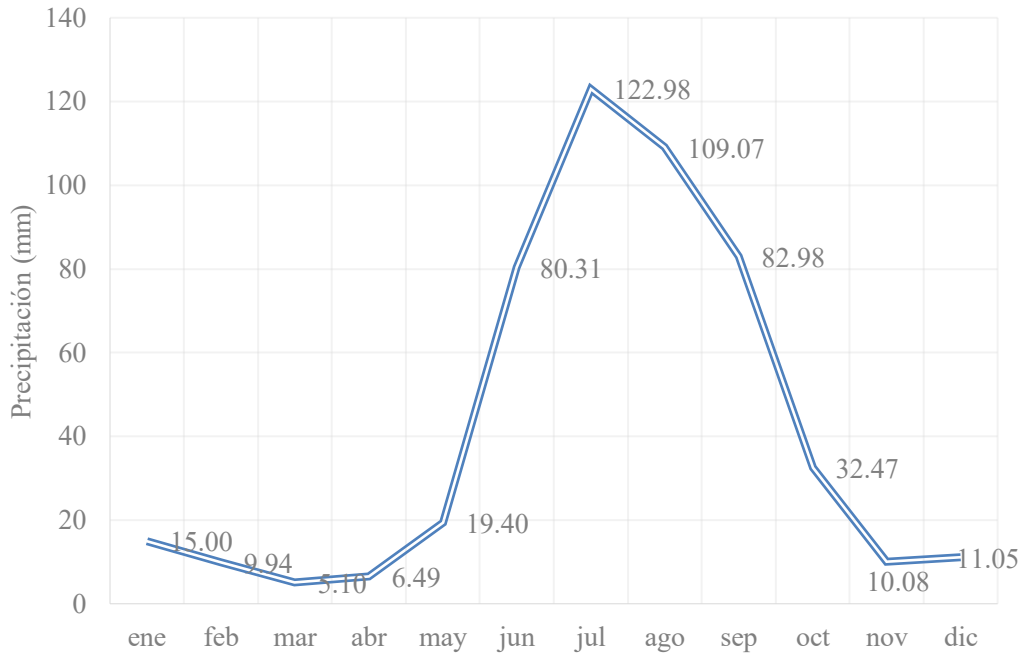
durante el periodo 2008 - 2018 con información de las estaciones hidrometeorológicas de CONAGUA, indica que el 75.5% de la precipitación se concentra principalmente en los meses de junio a septiembre.



Fuente: Estadísticas Climatológicas, SMN (véase Anexo 1)

La ciudad de Aguascalientes, por su parte, recibe un promedio de 470 mm de lluvia al año, de acuerdo con los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas de la CONAGUA. Sin embargo, los datos estadísticos proponen que los patrones de distribución y precipitación muestran una tendencia a incrementarse, al haber registros anuales en las últimas dos décadas muy por encima del promedio característico de zonas similares (IMPLAN, 2018:64). Este aumento de la precipitación en la región marca un área de oportunidad para la búsqueda de fuentes alternativas de abastecimiento que pudieran contribuir a reducir la dependencia de la ciudad hacia el agua subterránea.

Gráfica 2. Ciudad de Aguascalientes: Precipitación media mensual, 2008 al 2018



Fuente: Elaboración propia con estadística hidrometeorológica de SMN

Un factor importante para considerar es la disponibilidad de agua que habrá de variar a lo largo del tiempo pues la mayor parte de las lluvias suceden en verano mientras el resto del año presenta lluvias esporádicas, lo cual hace necesario diseñar las estrategias que puedan captar y almacenar la mayor cantidad de agua para su posterior uso en la ciudad.

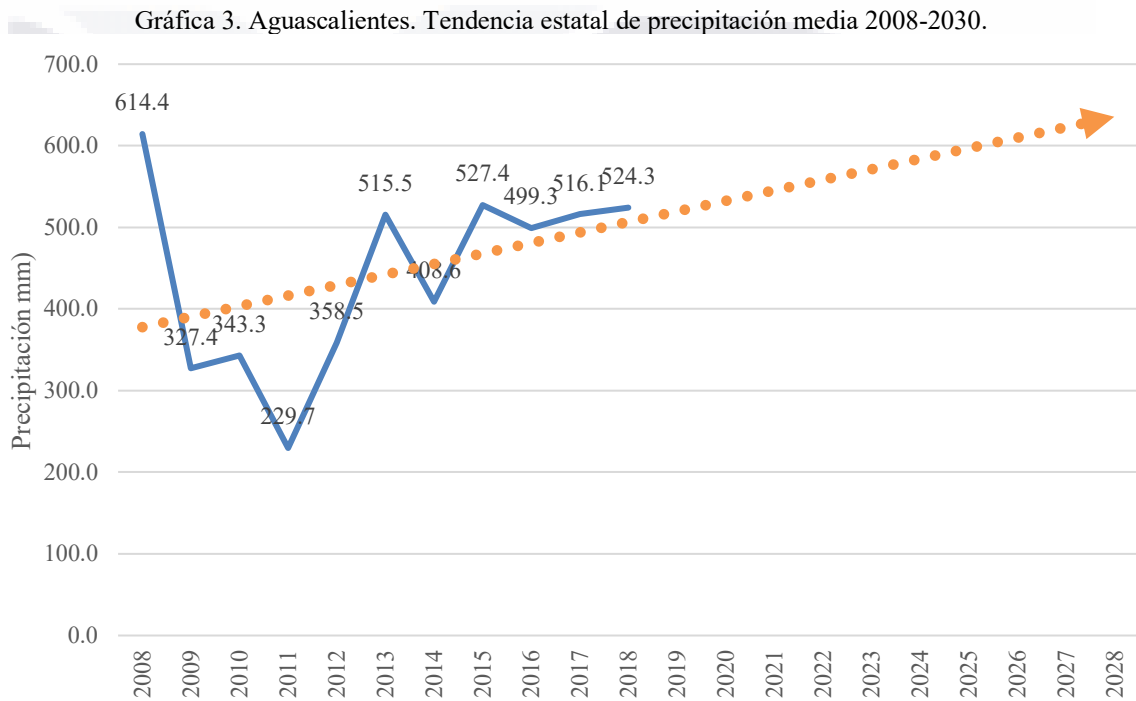
Los patrones climáticos impulsan la cantidad y calidad del agua que se captura. La lluvia total, las frecuencias, los flujos máximos y los períodos secos se consideran en el diseño de Ciudades Sensibles al Agua. Los períodos secos prolongados requieren el uso de especies de plantas tolerantes a la sequía y tienen efectos negativos sobre la calidad del agua (Kuller et al., 2017:272).

*Precipitación Media Mensual (PMM)*³⁶

La pertinencia de un sistema de captación pluvial habrá de considerar las tendencias de lluvia en la región, éstas son cambios graduales de incremento o decremento en el tiempo de las

³⁶ La precipitación media mensual es la lámina de precipitación promedio que es registrada mensualmente en cada estación.

variables estudiadas, asociadas comúnmente a factores climáticos. La precipitación en México varía de forma importante entre regiones y existen estudios que pronostican una variación en las tendencias de precipitación, principalmente en las regiones áridas y semiáridas en donde se espera un incremento de 1.8% en la precipitación total anual. La magnitud de la tendencia es lineal y proporcional al régimen pluviométrico (Méndez González et al., 2019:53).



Fuente: Elaboración propia con estadística hidrometeorológica de SM

Tomando ese dato como referencia, cálculos preliminares indican que la relación entre el consumo anual en el Estado y la precipitación media anual presentan un balance positivo. Es decir, el agua pluvial captada a nivel estatal podría satisfacer la demanda de agua para uso urbano en el supuesto de que lograrse captar y almacenar la totalidad de los escurrimientos, pero teniendo agua restante que pudiera redirigirse a los cursos de agua o infiltrarse al acuífero. Los cálculos se realizaron tomando en cuenta que el 21.4% de la

precipitación total³⁷ escurre sobre la superficie.³⁸ La precipitación en el estado de Aguascalientes, como en el resto del país, no es constante a través del tiempo y en promedio la precipitación anual se calcula alrededor de los 574.7 mm. Sin embargo, al igual que la tendencia nacional, en el territorio estatal la tendencia de precipitación coincide, mostrando una tendencia lineal a la alza como se puede apreciar en la Gráfica 3.

Tabla 12. Aguascalientes. Cálculos de precipitación pluvial y consumo de agua potable

Concepto	Volumen (millones de litros)
Agua pluvial total	4,317
Agua pluvial neta ^{a\}	1,204
Consumo anual estatal	144
Balance ^{b\}	1,060

a\ El volumen de agua pluvial neta es la precipitación susceptible de captura dentro del territorio estatal, considerando una pérdida del 72.1% por evapotranspiración.

b\ El balance hace referencia a la diferencia entre el agua pluvial neta y el consumo anual. El total refleja el agua disponible después de satisfacer la demanda.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA e INEGI

De acuerdo con la información estadística obtenida de 39 estaciones climatológicas³⁹ del Servicio Meteorológico Nacional, la PMM se calcula en 42.1 mm que se distribuyen de manera heterogénea en el territorio. Los datos de precipitación mensual acentúan la cuestión de la disponibilidad de agua de lluvia pues el 78% de la precipitación normal mensual cae durante los meses de junio a septiembre. El escurrimiento generado por la precipitación ocurrida en ese periodo de tiempo será el objeto de captación principal, y en función de dicho escurrimiento se habrán de generar y diseñar las estrategias de captación.

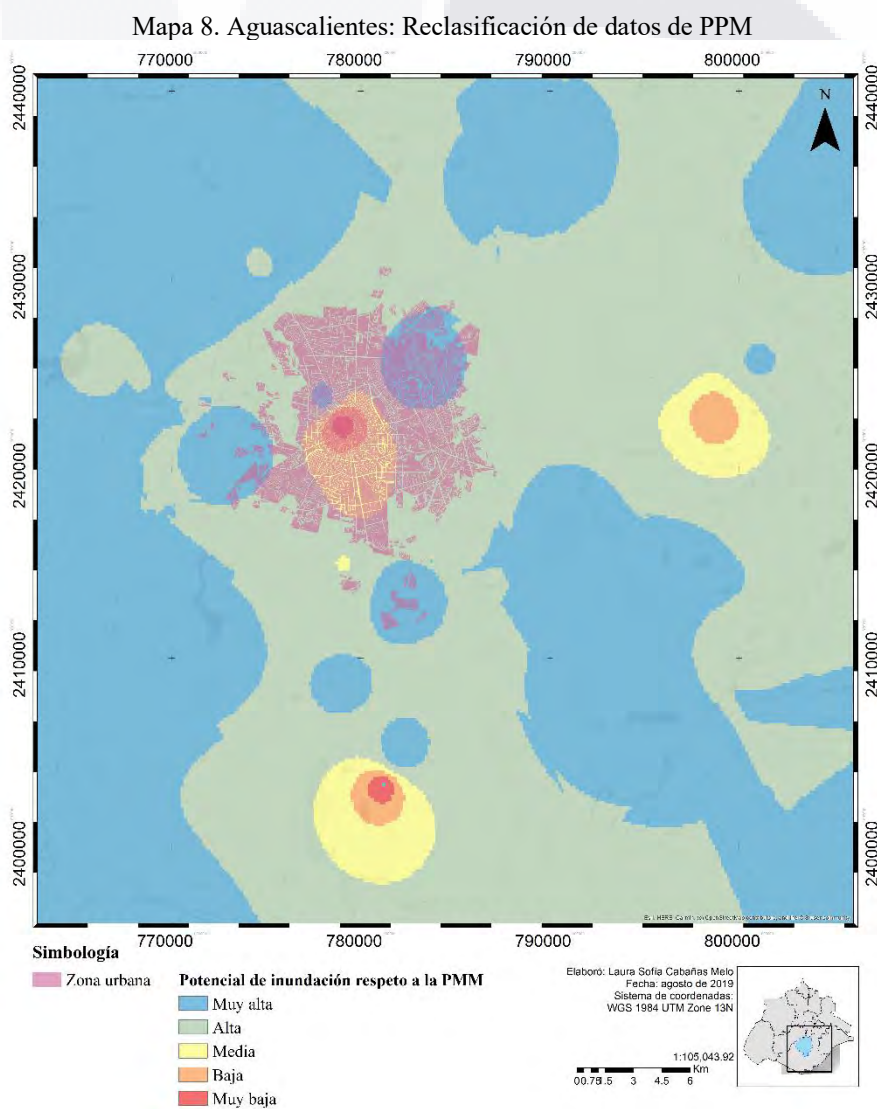
Si bien la precipitación es un dato que se mide de manera puntual, para conocer de la manera más cercana a la realidad su distribución espacial se construyó un mapa de isoyetas

³⁷ México recibe aproximadamente 1'449,471 millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, se estima que el 72.1% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 21.4% escurre por los ríos o arroyos, y el 6.4% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. (CONAGUA, 2018b)

³⁸ Cálculos elaborados con base en información de consumo anual y precipitación media anual 2008-2018 de CONAGUA.

³⁹ Las estaciones consultadas cuentan en su mayoría con datos de 20 años de registros.

que sirvió para conocer la precipitación en cada microcuenca de la zona de estudio. El mapa obtenido muestra la variación de precipitación al interior de la zona de estudio, que fluctúa desde los 23.8 y 47.5 mm, mismos que son reducidos en general pero congruentes con el tipo de clima de la región. Para la reclasificación de la información se determinaron los rangos y los pesos para la variable precipitación, a fin de obtener los valores que se ajustaran a la escala deseada, obteniendo los rangos expuestos en el anexo metodológico, con estos valores se obtuvo el mapa ponderado de distribución de precipitación media mensual para la zona de estudio (Mapa 8).



Fuente: Elaboración propia a partir de mapa isoyetas.

Tabla 13. Aguascalientes. Precipitación media mensual promedio por microcuenca en la zona de estudio, 2008-2018

Nombre	PMM Promedio	%
Total	482.63	100.00
Calvillito-Parga	29.05	100.00
Chicalote	40.12	6.02
La Hierbabuena	37.78	8.31
El Cedazo-San Antonio	24.01	7.83
El Molino	38.66	4.97
La Hacienda-San Nicolás	38.88	8.01
Las Trancas-Morcinique	37.74	8.06
Los Gringos-Los Arellano	27.34	7.82
Don Pascual	25.11	5.66
Las Trancas-Cueva del Tecolote	40.55	5.20
San Pedro-San Francisco	37.29	8.40
Salto de Montoro	35.41	7.73
La Escondida-Palo Seco	34.01	7.34
San Francisco-Cobos-Paso Hondo	36.68	7.05

Fuente: Elaboración propia con datos estadísticos de estaciones hidrometeorológicas

Las microcuencas Las Trancas-Cueva del Tecolote, Chicalote y La Hacienda-San Nicolás son las que presentan una precipitación mayor relativo al resto del sistema; tanto las microcuencas Chicalote como La Hacienda-San Nicolás corresponden a una zona predominantemente urbanizada, por lo que las estrategias en esta zona corresponderán a intervenciones puntuales y de cambio de materiales por la poca disponibilidad de espacio para la generación de nuevas zonas de captación, a diferencia de Las Trancas-Cueva del Tecolote, donde se pudiera pensar en otro tipo de estrategias de mayor tamaño.

Caudal máximo de escurrimiento

Las zonas con mayor escurrimiento son las correspondientes a las microcuencas San Francisco-Cobos-Paso Hondo y Salto de Montoro, con volúmenes de entre 0.61 y 0.74 m³/seg., Siguen en orden de importancia las microcuencas Calvillito-Parga y La Escondida-Palo Seco con rangos de escurrimiento entre 0.45 y 0.61 m³/seg. Se estima que los escurrimientos se deben principalmente a extensión de la superficie de las microcuencas, ya que comprenden las superficies más grandes del sistema, además de presentar una mayor

proporción de cobertura de suelo vegetal permeable que permite la retención de agua, y una pendiente que promueve que los escurrimientos generados en las zonas altas del parteaguas fluyan aguas abajo a un ritmo más lento que propicia su retención.

Las microcuencas que presentan los volúmenes de escurrimiento más bajos son clasificadas como aquellas con un menor potencial de inundación y poco recomendables para desarrollar estrategias de captación de gran tamaño. Sin embargo, llama la atención el hecho de que las microcuencas Los Gringos-Los Arellano y Don Pascual, a pesar de estar en el rango más bajo de escurrimiento, comprenden las zonas de la ciudad con mayor problemática de inundaciones en temporada de lluvias, esto se vincula al hecho de que los cauces naturales de los arroyos que comprenden la corriente principal en dichas microcuencas, mantienen su función de drenaje, pero sin proveer los servicios naturales de canalización previos a su urbanización, por lo tanto, esa zona ha perdido su capacidad de resiliencia ante eventos de precipitación abundante y los sistemas de captación y canalización de escurrimientos artificiales, invariablemente se ven rebasados e insuficientes. Si bien la precipitación en la región no es más abundante ni constante a lo largo del tiempo, como en las regiones templadas del país, el caudal calculado indica que el volumen susceptible de ser captado en una hora equivaldría a 17.12 millones de litros de agua⁴⁰, considerando los datos actuales de precipitación, en el supuesto de que se captara el total del agua pluvial.

Cabe mencionar que la problemática anterior se debe no solo a los escurrimientos sino a la conjunción de distintos factores como la pendiente más pronunciada de la zona oriente por su cercanía con los lomeríos y, principalmente, por la canalización del arroyo Don Pascual y el sellamiento⁴¹ del suelo en casi la totalidad de la superficie. La expansión de la estructura urbana, asociada a la pavimentación y sellamiento del suelo, previene que el agua se infiltre y corra hacia las zonas más bajas; esto aunado a la deficiencia del drenaje en

⁴⁰ La cifra de volumen captado fue obtenida de la conversión de los datos obtenidos para el caudal, de m³/s a litros por hora, considerando 1000 litros por cada metro cúbico.

⁴¹ Por “sellamiento del suelo” se hace referencia a la cobertura permanente de la superficie del suelo con material artificial impermeable, dando lugar a pérdida no reversible del suelo y la mayoría de sus servicios ecosistémicos. Los principales impactos negativos sobre los servicios ecosistémicos son pérdidas de producción de alimento y fibra; pérdida significativa o total de retención de agua en el suelo; capacidad de neutralización y purificación reducida; y reducción de la capacidad de secuestro de carbono (FAO, 2016).

esa zona de la ciudad, propicia las condiciones para que cada año la ciudad se inunde y se traduzca en problemáticas viales, sociales y hasta económicas.

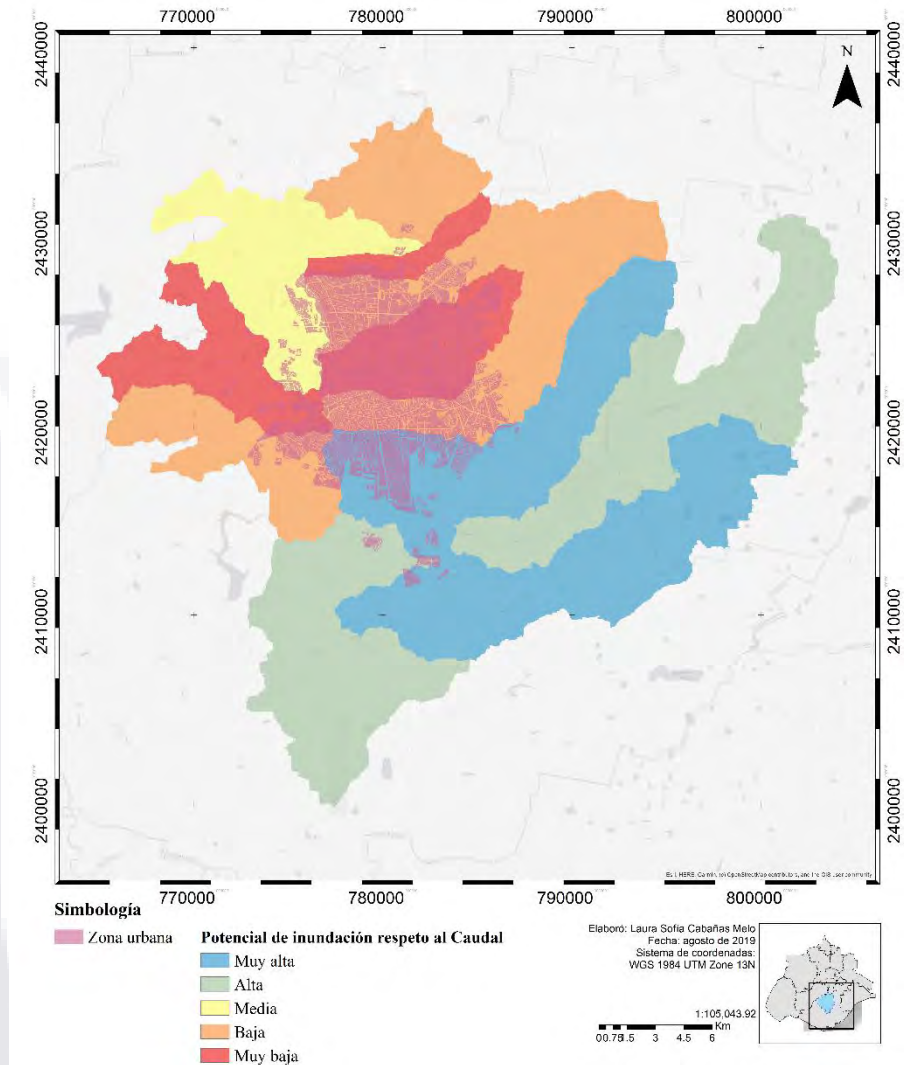
Tabla 14. Aguascalientes. Caudal y volumen máximo de escurrimiento por microcuenca de la zona de estudio, 2008-2018

Nombre	Intensidad (I)	Superficie cuenca (A)	Coefficiente escorrentía (C)	Caudal (Q) m3/s	Volumen (millones de litros/hora)
Total				4.75	17.118
Calvillito-Parga	0.04	10,353.75	0.44	0.51	1.834
Chicalote	0.06	3,636.93	0.45	0.26	0.919
La Hierbabuena	0.05	6,306.28	0.47	0.43	1.540
El Cedazo-San Antonio	0.03	6,984.95	0.47	0.30	1.097
El Molino	0.05	1,364.79	0.57	0.12	0.417
La Hacienda-San Nicolás	0.05	3,309.18	0.53	0.26	0.940
Las Trancas-Morcinique	0.05	2,943.29	0.47	0.20	0.728
Los Gringos-Los Arellano	0.04	2,528.93	0.62	0.17	0.597
Don Pascual	0.03	1,624.79	0.64	0.10	0.365
Las Trancas-Cueva del Tecolote	0.06	1,420.25	0.45	0.10	0.361
San Pedro-San Francisco	0.05	4,637.12	0.49	0.33	1.177
Salto de Montoro	0.05	10,601.27	0.46	0.66	2.379
La Escondida-Palo Seco	0.05	8,958.90	0.50	0.58	2.102
San Francisco-Cobos-Paso Hondo	0.05	9,671.37	0.54	0.74	2.662

Fuente: Elaboración propia con datos estadísticos de estaciones hidrometeorológicas, aplicados al método racional para cálculo de caudal

Resultado de la ponderación de los datos obtenidos para el caudal máximo de escurrimiento por microcuenca se obtuvo un mapa de distribución (Mapa 9) en donde destacan las microcuencas Salto de Montoro, San Francisco-Cobos-Paso Hondo, Calvillito-Parga y La Escondida-Palo Seco por clasificarse con muy alto y alto potencial de inundación. Un sistema de captación pluvial que colecte el agua de lluvia previo al proceso de escurrimiento podría garantizar la captura del mayor volumen de agua posible, además de evitar la contaminación derivada del escurrimiento y prevenir, a su vez, las problemáticas asociadas a la acumulación de agua en la ciudad, y estas microcuencas podrían representar la mejor opción de localización.

Mapa 9. Aguascalientes: Reclasificación de datos de caudal máximo



Fuente: Elaboración propia a partir de mapa de caudales.

Síntesis

La distribución espacial de la precipitación al interior de la zona de estudio se concentra principalmente en las microcuencas Las Trancas-Cueva del Tecolote, Chicalote, La Hacienda-San Nicolás y El Molino: mientras que aquellas con la precipitación más baja son El Cedazo-San Antonio, Don Pascual y Los Gringos-Los Arellano. Las cuatro microcuencas principales concentran 32.8% de la precipitación anual de la zona de estudio.

Tabla 15. Aguascalientes. Promedio de precipitación media mensual por microcuena en la zona de estudio, 2008-2018

Nombre	PMM
Calvillito-Parga	29.05
Chicalote	40.12
La Hierbabuena	37.78
El Cedazo-San Antonio	24.01
El Molino	38.66
La Hacienda-San Nicolás	38.88
Las Trancas-Morcinique	37.74
Los Gringos-Los Arellano	27.34
Don Pascual	25.11
Las Trancas-Cueva del Tecolote	40.55
San Pedro-San Francisco	37.29
Salto de Montoro	35.41
La Escondida-Palo Seco	34.01
San Francisco-Cobos-Paso Hondo	36.68

Fuente: Elaboración propia a partir de datos estadísticos de estaciones meteorológicas.

Es importante considerar que los datos de precipitación por microcuena son el resultado de la interpolación de datos puntuales, por lo que para obtener resultados más exactos sería necesario realizar un muestreo más amplio en la totalidad de la zona de estudio que permitiera obtener datos exactos del volumen de precipitación por microcuena y su variación en el tiempo.

3. DEMANDA DE AGUA EN LA CIUDAD

Población

La ciudad de Aguascalientes ha pasado por distintos periodos de desarrollo y crecimiento a través de los años; de acuerdo con datos de INEGI, la ciudad pasó de contar con una población de 181 277 habitantes en 1970, a 747 519 en 2010 (IMPLAN, 2018). Los datos más recientes obtenidos de la Encuesta Intercensal 2015 de INEGI indican que la ciudad alberga 785 942 personas. El aumento en la población se vio acompañado de una expansión territorial de tal manera que mientras que la población se cuadruplicó en 40 años, la superficie de la ciudad creció 7 veces en el mismo periodo (IMPLAN, 2018:31).

Tabla 16. Población total del municipio y la ciudad de Aguascalientes

Año	Población del Municipio ^{b\}	Población de la Ciudad ^{c\}	%
1980 ^{a\}	359454	293152	81.55
1990	506274	440425	86.99
1995	582827	537523	92.23
2000	643419	594092	92.33
2005	723043	663671	91.79
2010	797010	747519	93.79
2015	877190	785945	89.60
2016	910036	836120	91.88
2017	923323	848328	91.88
2018	936373	860318	91.88
2019	949277	872174	91.88
2020	961977	883842	91.88
2021	974529	895374	91.88
2022	986919	906758	91.88
2023	999203	918044	91.88
2024	1011346	929201	91.88
2025	1023372	940250	91.88
2026	1035303	951212	91.88
2027	1047149	962096	91.88
2028	1058899	972892	91.88
2029	1070563	983608	91.88
2030	1082166	994269	91.88

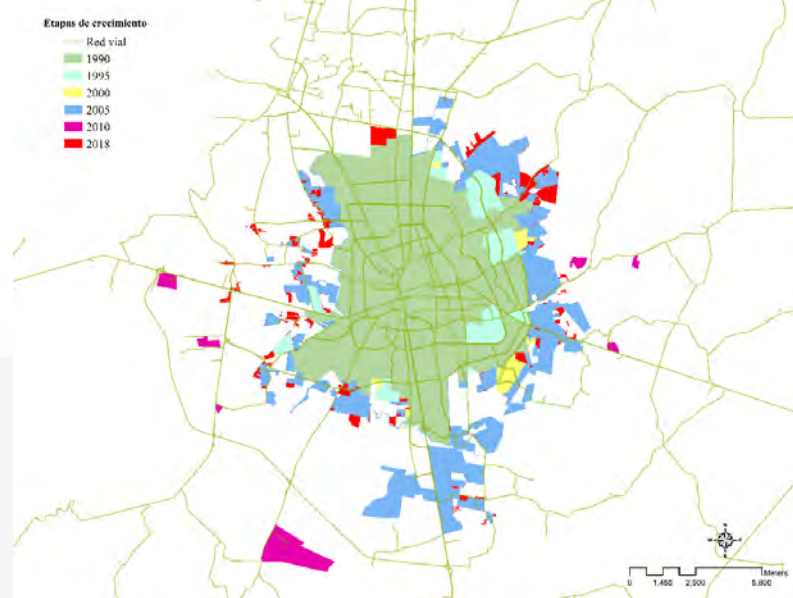
Fuente: Proyecciones de la Población de los Municipios de México, 2015-2030. (CONAPO, 2019)

a\Los datos de población fueron obtenidos del documento “Población total, tasa de crecimiento del estado, el municipio y la ciudad de Aguascalientes. Años disponibles de 1794 a 2015” (Implan, 2018)

b\La población del municipio de Aguascalientes fue obtenida de las Proyecciones de la Población de los Municipios de México, 2015-2030

c\La proyección de población para la ciudad de Aguascalientes a partir del año 2016 se calculó con base a las proyecciones de población para el municipio, considerando que la población de la ciudad corresponde al 91.88% del total del municipio, siguiendo la tendencia presentada desde el año 2000 al 2015.

Mapa 10. Etapas de crecimiento de la ciudad de Aguascalientes 1990-2018

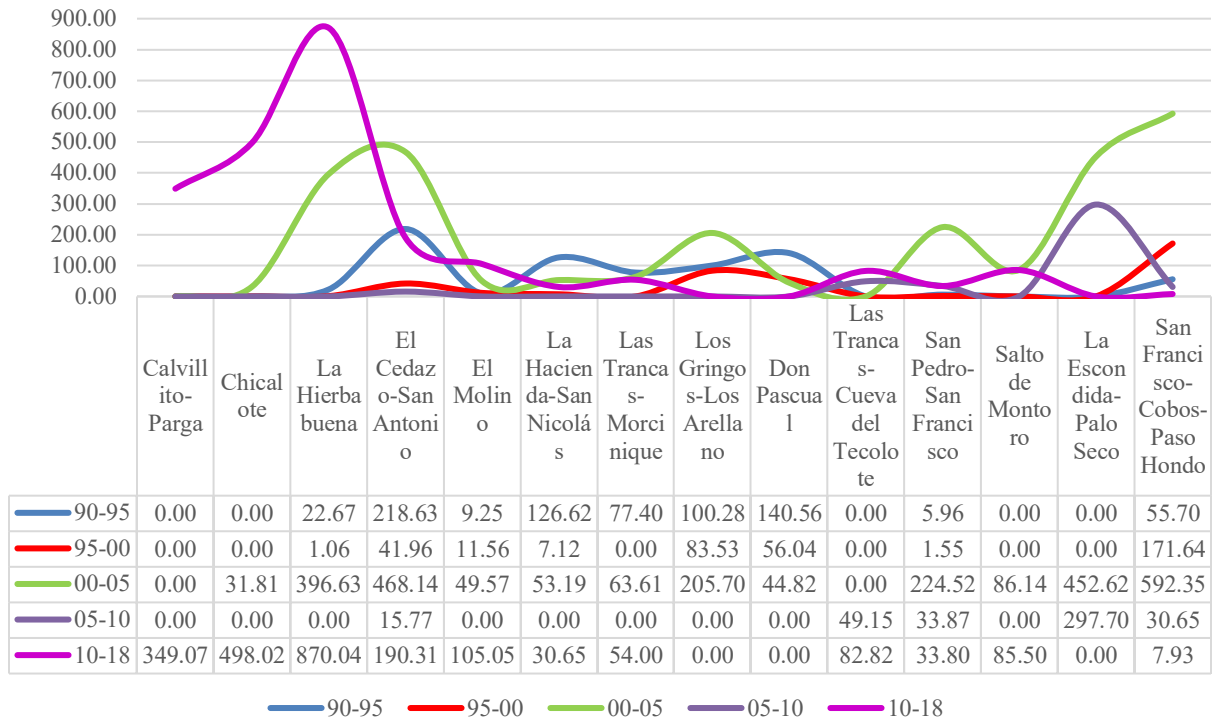


Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 y 2018

La expansión de la ciudad hacia las periferias tuvo su auge desde el año 2005 (Mapa 10), y continúa hasta la actualidad, aunque a menor ritmo; fue en estas zonas donde se establecieron en su mayoría desarrollos habitacionales de alta densidad, provocando una aglomeración de población en estas zonas y una mayor demanda de servicios de agua potable y sanitarios.

El crecimiento se presentó de forma gradual en el tiempo y desigual en el espacio, presentando momentos de expansión distintos al interior de la zona de estudio; en el periodo 1990-1995 la microcuenca que presentó un mayor crecimiento fue El Cedazo-San Antonio; el periodo de 1995-2000 se destacó la microcuenca Los Gringos-Los Arellano aunque en menor magnitud respecto al periodo anterior; la expansión de mayor magnitud para el periodo 2000-2005 se registró en las microcuencas San Francisco-Cobos-Paso Hondo y El Cedazo-San Antonio, siendo éste el periodo de mayor crecimiento a nivel general; para el periodo 2005-2010 la expansión territorial se presentó en la microcuenca La Escondida-Palo Seco y en el último periodo, del 2010-2018, el crecimiento se dio principalmente en la microcuenca La Hierbabuena alcanzando casi las 900 hectáreas (Gráfica 4).

Gráfica 4. Incrementos por microcuenca en la superficie de la estructura urbana de la ciudad de Aguascalientes en el periodo 1990-2018. (Datos en hectáreas.)



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 y 2018

Si bien la ciudad ha estado en constante expansión, la población se ha aglomerado en zonas específicas de la ciudad, concentrando así la demanda de servicios y recursos; la microcuenca más densamente poblada es San Francisco-Cobos-Paso Hondo, seguida de cerca por El Cedazo-San Antonio, ambas albergan colonias de tipo popular al oriente de la ciudad.

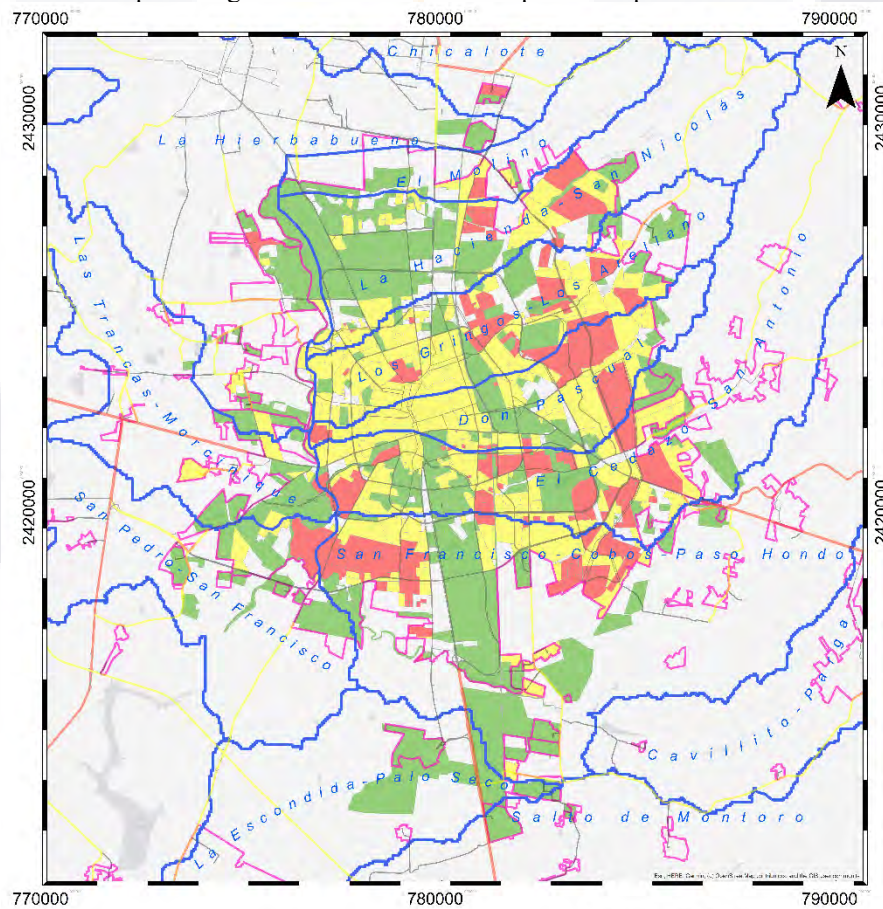
Tabla 17. Aguascalientes. Densidad de población por microcuencas en la zona de estudio, 2018 (habitantes por hectárea)

Nombre	Baja	Media	Alta
Calvillito-Parga	50.84	292.64	
Chicalote	11.29	302.92	210.02
La Hierbabuena	640.84	207.16	47.93
El Cedazo-San Antonio	810.95	1539.47	640.89
El Molino	295.53	241.51	77.73

Nombre	Baja	Media	Alta
La Hacienda-San Nicolás	1305.62	732.66	228.57
Las Trancas-Morcinique	550.30	150.76	106.74
Los Gringos-Los Arellano	646.54	1665.81	486.08
Don Pascual	463.06	1343.13	464.05
Las Trancas-Cueva del Tecolote	167.33		
San Pedro-San Francisco	661.90	74.18	106.33
Salto de Montoro	168.05		
La Escondida-Palo Seco	672.62	14.96	
San Francisco-Cobos-Paso Hondo	1716.87	792.73	656.90

Fuente: Elaboración propia con datos del Marco geostadístico nacional 2018.

Mapa 11. Aguascalientes. Densidad de población por microcuenca



Simbología

- Zona urbanizada (pink outline)
- Microcuencas (blue outline)

Red vial

- Federal (red line)
- Estatad (yellow line)
- Municipal (grey line)
- Calle (black line)

Densidad

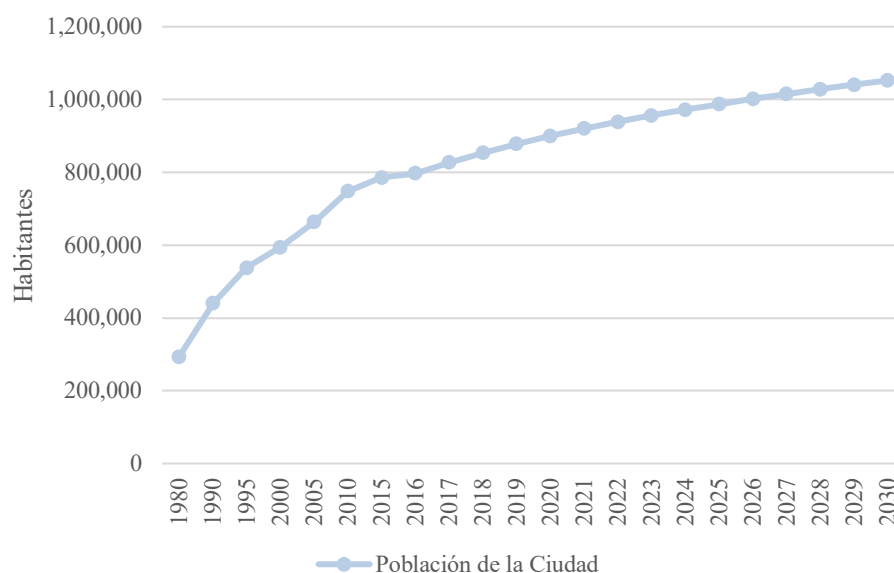
- Baja (green)
- Media (yellow)
- Alta (red)

Elaboró: Laura Sofía Ceballos Melo
 Fecha: enero de 2020
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N

1:50,303.25
 00.426.95 1.7 2.55 3.4 km

Con respecto al servicio de abastecimiento de agua potable, los pozos que dan servicio a las zonas más densamente pobladas son aquellos que cuentan con los volúmenes de concesión más altos. Hidrológicamente esto contribuye al agravio de la situación de estrés hídrico del acuífero por su alta concentración de extracción. Esta sobreexplotación focalizada fomenta el aumento del cono de abatimiento⁴² en el subsuelo, haciendo necesaria la perforación a mayores profundidades en donde la calidad del agua no cuenta con la calidad necesaria para consumo humano, volviendo necesaria la implementación de sistemas de tratamiento y reacondicionamiento constante de la infraestructura, que a su vez se traduce en un aumento de costos de mantenimiento, energéticos y para el consumidor.

Gráfica 5. Proyecciones de población para la ciudad de Aguascalientes



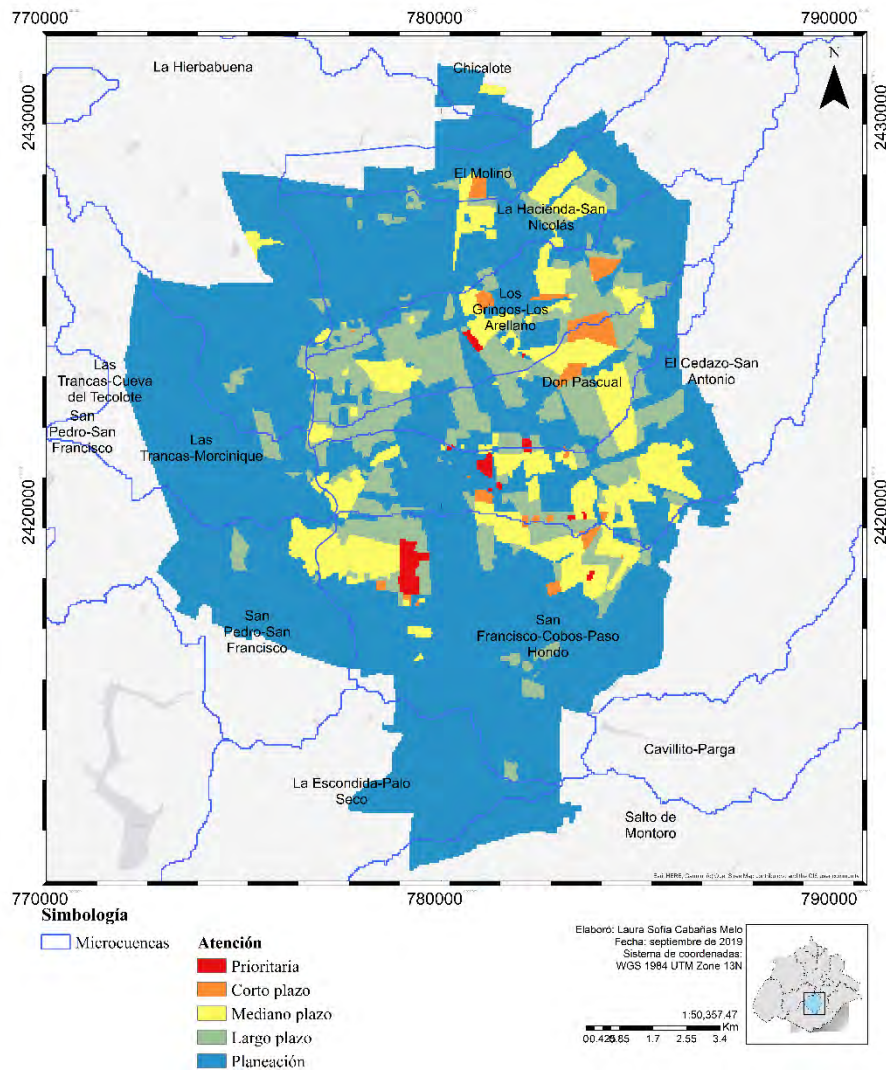
Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPO, 2019

El crecimiento demográfico y la expansión de la ciudad, si bien ha disminuido su ritmo desde el 2000, se estima que continúe en aumento; de seguir con los patrones de crecimiento presentados hasta el momento (Gráfica 5), se esperaría que para el año 2030 la ciudad contuviera a 994 269 personas y para 2040 se estima que la población podría alcanzar más de 1.13 millones de habitantes (IMPLAN, 2018:117). Esto a su vez tiene implicaciones

⁴² Al extraer agua mediante pozos con equipo de bombeo, ocurre un abatimiento de la superficie libre del agua al interior de acuífero. En el subsuelo que rodea al pozo, debido al escurrimiento del agua hacia éste, ocurre una depresión cónica denominada “cono de abatimiento” (César, 1994:84).

en la demanda de servicios, en este caso específicamente de agua, y de la infraestructura necesaria para satisfacer las necesidades de la población, agravando los problemas hídricos en la región debido a la sobreexplotación del acuífero que, de acuerdo con investigadores como la doctora Marcela Ramírez de la UAA, le quedan pocos años de permanencia antes de agotar sus reservas.

Mapa 12. Aguascalientes: Reclasificación de datos de densidad de población por microcuenca.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2018

La reclasificación de los datos de densidad de población (Mapa 12) se ponderó, al igual que el resto de los factores, y se obtuvo un mapa de distribución en donde se puede apreciar que el rango con la mayor densidad de población se concentra en las microcuencas

antes mencionadas, aunque ahora se concentran en el extremo poniente de la microcuenca Sa Francisco-Cobos-Paso Hondo.

Consumo

Los datos de CONAGUA indican que, del total de agua consumida en el estado de Aguascalientes, 68% es consumido por parte del sector agrícola, el cual es abastecido por el Distrito de Riego 001 cuya fuente principal es la Presa Presidente Plutarco Elías Calles. El 32% restante, destinados a uso urbanos e industriales, es abastecido directamente de los pozos de extracción distribuidos en el territorio y concentrándose en la zona urbana de la ciudad de Aguascalientes.

Tabla 18. Estado de Aguascalientes: Volumen anual de extracción de agua (unidades?), 2008-2017

	2008 ^{a)}		2011 ^{b)}		2014 ^{c)}		2017 ^{d)}	
CONSUMO	(hm ³)	(%)	(hm ³)	(%)	(hm ³)	(%)	(hm ³)	(%)
Total	625	100	441	100	440.4	100	445	100
Agrícola	495	79.2	312	70.75	306	60.5	303	68.1
Urbano	119	19.0	119	26.98	121.7	31.1	127	28.5
Industrial	11	1.8	10	2.27	12.7	2.7	15	3.6

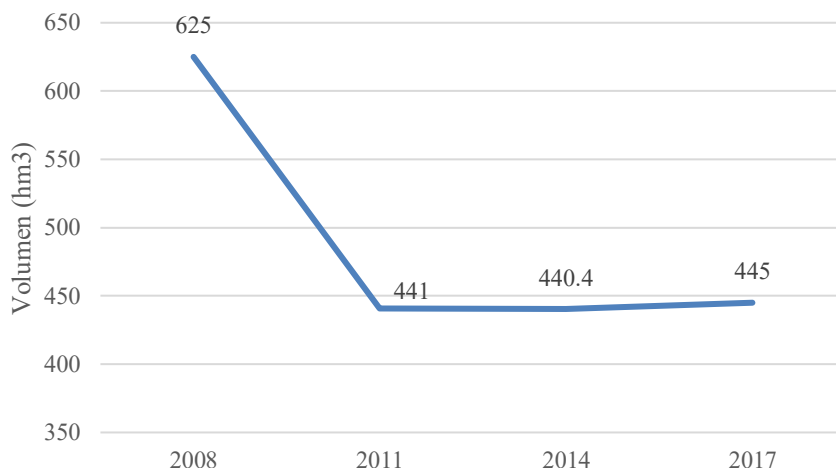
a) Estadísticas del Agua en México 2008, CONAGUA.

b) Estadísticas del Agua en México 2011, CONAGUA.

c) Estadísticas del Agua en México 2014, CONAGUA.

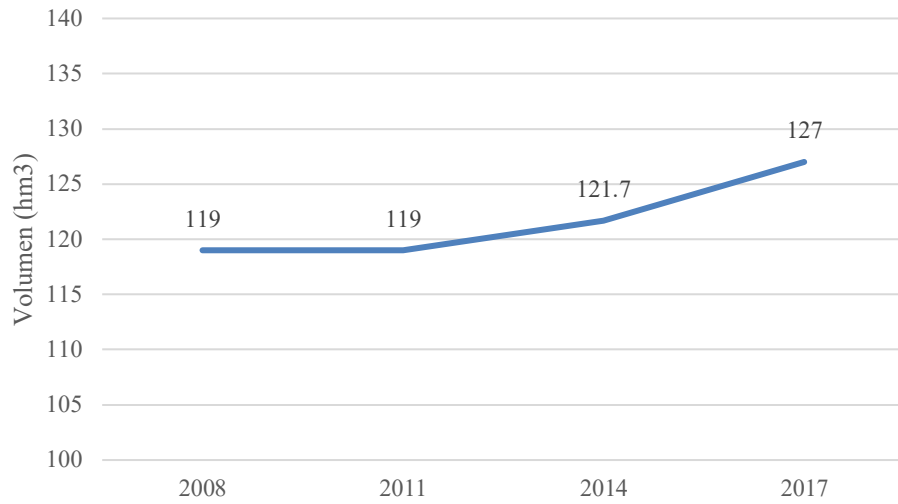
d) Estadísticas del Agua en México 2017, CONAGUA.

Gráfica 6. Acuífero de Aguascalientes. Extracción total de agua subterránea, periodo 2008 - 2017



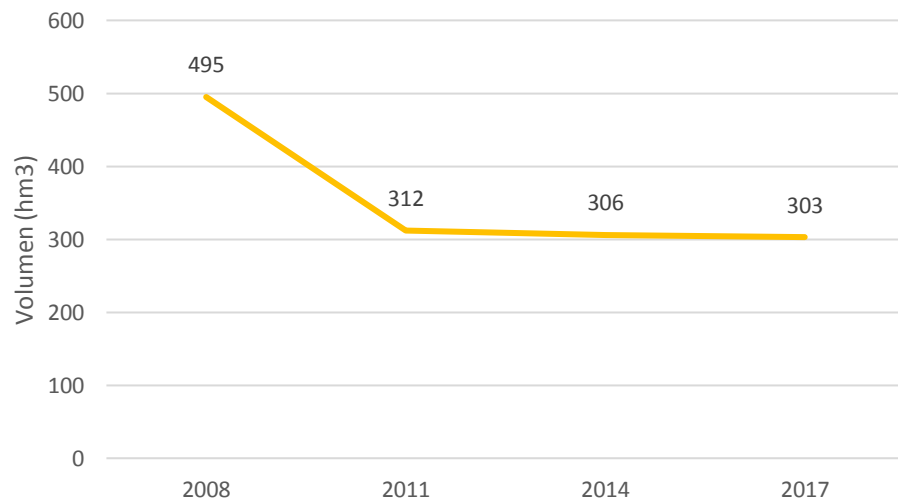
Fuente: Elaboración propia con datos de Estadísticas del Agua en México 2008, 2011, 2014 y 2017, CONAGUA

Gráfica 7. Acuífero de Aguascalientes. Consumo histórico de agua subterránea en el sector Urbano, periodo 2008- 2017



Fuente: Elaboración propia con datos de Estadísticas del Agua en México 2008, 2011, 2014 y 2017, CONAGUA

Gráfica 8. Acuífero de Aguascalientes .Consumo histórico de agua subterránea en el sector Agrícola, periodo 2008 - 2017

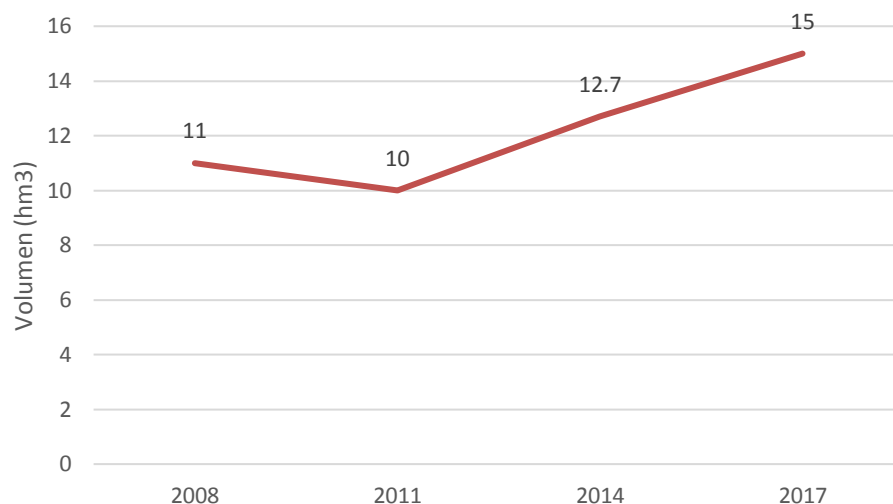


Fuente: Elaboración propia con datos de Estadísticas del Agua en México 2008, 2011, 2014 y 2017, CONAGUA

La extracción en el Estado presentó una baja en el periodo de 2008 a 2011 (Gráfica 6) posiblemente resultado de políticas públicas encaminadas al fomento del cuidado del agua o a cambios en la utilización del recurso en las zonas agrícolas, siendo este último el sector que presentó un comportamiento similar durante el periodo de análisis. Sin embargo, la tendencia del consumo en el sector urbano presentó un comportamiento opuesto en el mismo

periodo, la cual ha mantenido un incremento constante hasta la actualidad. Incluso el consumo urbano presenta un crecimiento más pronunciado respecto al agrícola y el industrial (véase, Gráfica 8 y Gráfica 9).

Gráfica 9. Acuífero de Aguascalientes. Consumo histórico de agua subterránea en el sector Industrial, periodo 2008 - 2017

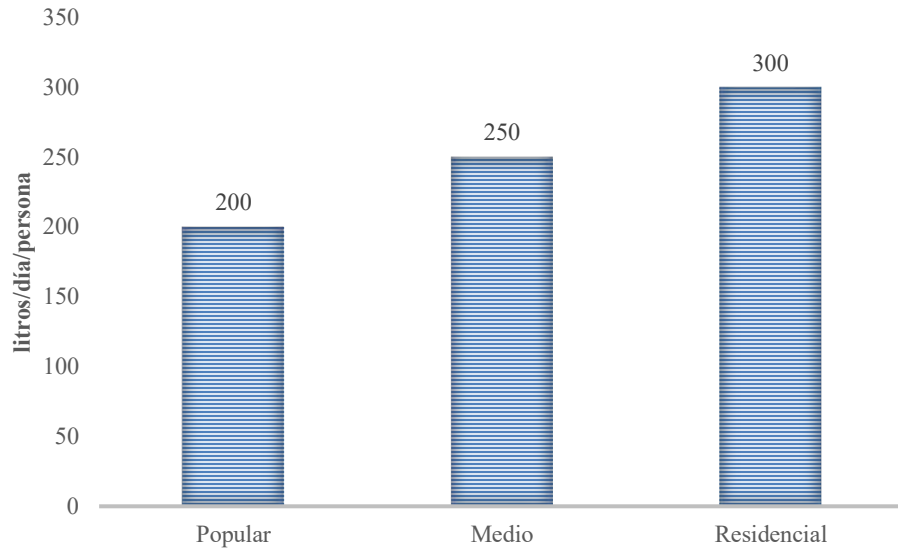


Fuente: Elaboración propia con datos de Estadísticas del Agua en México 2008, 2011, 2014 y 2017, CONAGUA

El aumento en el consumo urbano e industrial en el Estado probablemente se vincule al crecimiento económico y poblacional que se ha presentado en la ciudad. Actualmente, se estima en el Acuífero del Valle de Aguascalientes un volumen de extracción de 445 hm³ anuales, de los cuales 303 hm³ son para uso agrícola, 127 hm³ para uso público-urbano y 16 hm³ para uso industrial para usos múltiples (CONAGUA, 2018b:242). En el municipio de Aguascalientes se extraen 104 hm³ de agua potable al año de los cuales se aprovecha únicamente entre el 40% y el 45% principalmente a causa de fugas, derrames en los tanques y, en general, a la falta de mantenimiento de la infraestructura (de Santos, 2018).

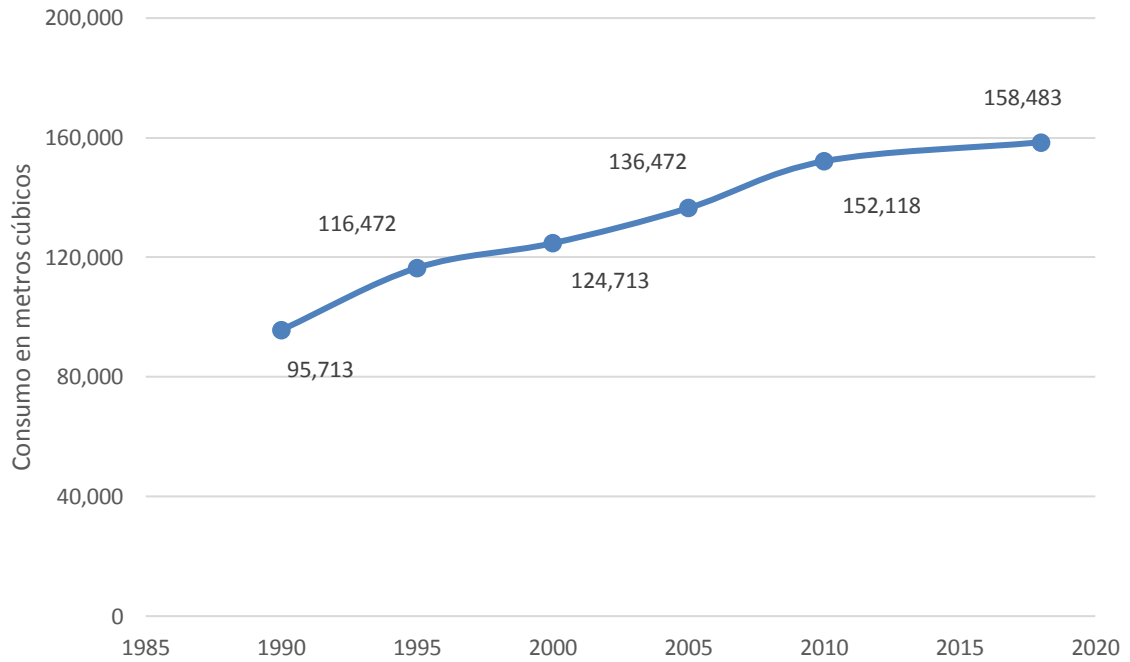
Tomando como referencia los datos de población para la ciudad, se puede hacer un análisis de la evolución que se ha presentado en el consumo de agua en el periodo comprendido entre 1990 y 2018. El patrón de consumo ha presentado un comportamiento casi lineal con una tasa de crecimiento promedio del 10.77%.

Gráfica 10. Ciudad de Aguascalientes. Gasto por lote para agua potable (litros/persona/día)



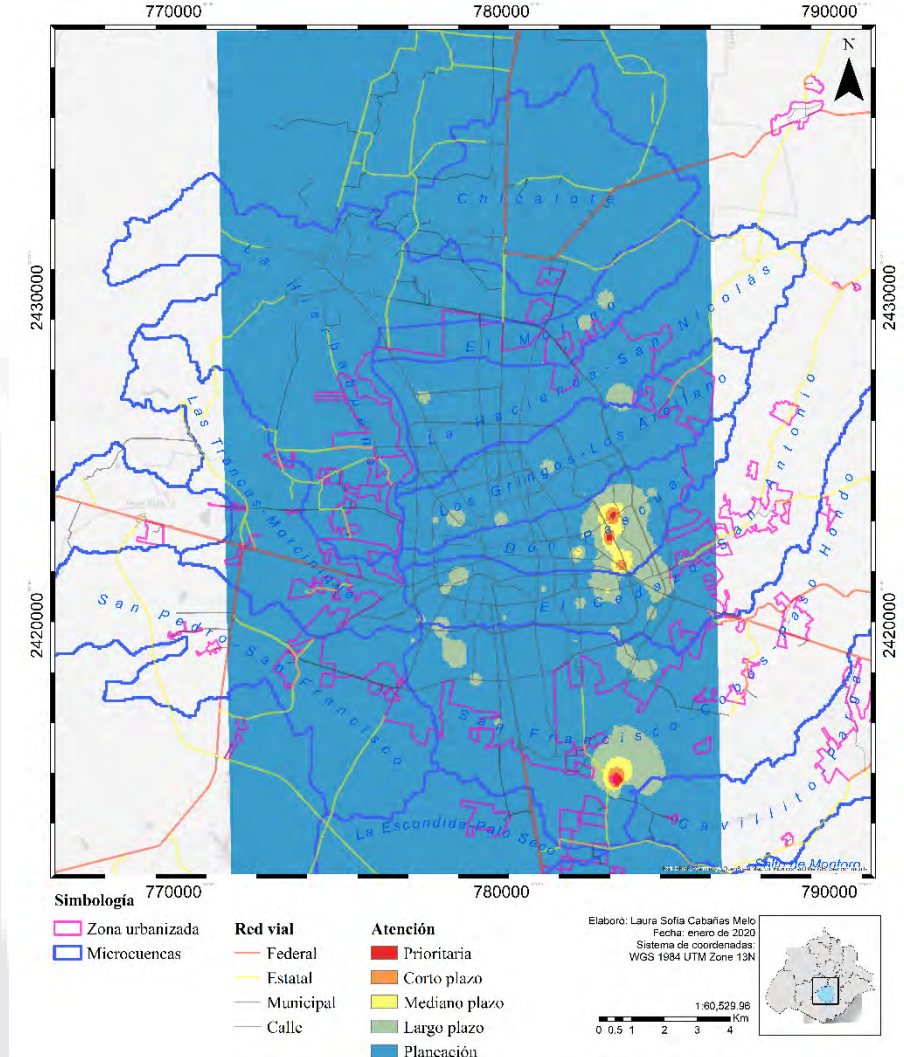
Fuente: Periódico Oficial del Estado de Aguascalientes, 2008

Gráfica 11. Consumo histórico de agua en la ciudad de Aguascalientes



Fuente: Elaboración propia con información de CONAGUA e INEGI

Mapa 13. Aguascalientes: Reclasificación por microcuenca de datos de consumo .



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de consumo.

La reclasificación de los datos de consumo arrojó un mapa de distribución⁴³ por microcuencas (Mapa 13) en el que se aprecia que la concentración de puntos de alto consumo se da en las microcuencas San Francisco-Cobos-Paso Hondo y Don Pascual principalmente, y en menor grado en El Cedazo-San Antonio. Las microcuencas consideradas de atención prioritaria son aquellas en donde la magnitud del impacto de estas zonas sobre el recurso es alta, tanto por la problemática social que implica el tener colonias con problemas de

⁴³ El área de distribución representada en el mapa únicamente comprende los datos obtenidos de los datos de consumo correspondiente a los pozos urbanos del municipio de Aguascalientes, por lo que la interpolación realizada en el sistema de información geográfica no arrojó datos para el total del área de estudio por no contar con datos disponibles.

desabasto de agua potable, como por la reducción en el consumo general que implicaría la disminución de la extracción de agua subterránea en estas zonas.

Extracción

El Estado de Aguascalientes es de las pocas entidades del país que dependen completamente del agua de los acuíferos para satisfacer las necesidades de agua potable para consumo de la población y el desarrollo de sus actividades productivas. En el ámbito municipal, Aguascalientes se ve inmerso dentro de tres acuíferos:

- a) Valle de Aguascalientes: ubicado en la zona central del estado, con una longitud de 90 km y superficie de 1, 178 km².
- b) Valle de Chicalote: se localiza al oriente del estado, y abarca un superficie de 657 km².
- c) Zona de El Llano: llanura irregular situada al oriente y sureste del Estado y abarca un área de 487 km².

Como se ha mencionado previamente, la fuente de abastecimiento de la ciudad capital es el acuífero Valle de Aguascalientes, el cual fue catalogado como zona de veda por tiempo indefinido, según lo establecido en el decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación (24 de mayo de 1963). El acuífero está clasificado como sobreexplotado y con alto estrés hídrico.

Al interior de la zona urbana, la extracción se realiza mediante pozos profundos los cuales dan servicio a las colonias de la capital, existen usos habitacionales, comerciales e industriales concesionados para su aprovechamiento. De acuerdo con los resultados arrojados en el Censo de Aprovechamientos e Hidrometría realizado en 2014, en el acuífero Valle de Aguascalientes se registraron un total de 1,830 aprovechamientos de agua subterránea de los cuales 1,769 son pozos y 61 norias; de ellos 1,468 (82%) se consideran activos y 362 inactivos (CONAGUA, 2018a:25). El ritmo de extracción de aguas subterráneas ha catalogado al Acuífero del Valle de Aguascalientes, del cual se abastece la ciudad de Aguascalientes, como uno de los acuíferos con mayor explotación al presentar un déficit de -91.24 hm³ anuales (CONAGUA, 2018b:31).

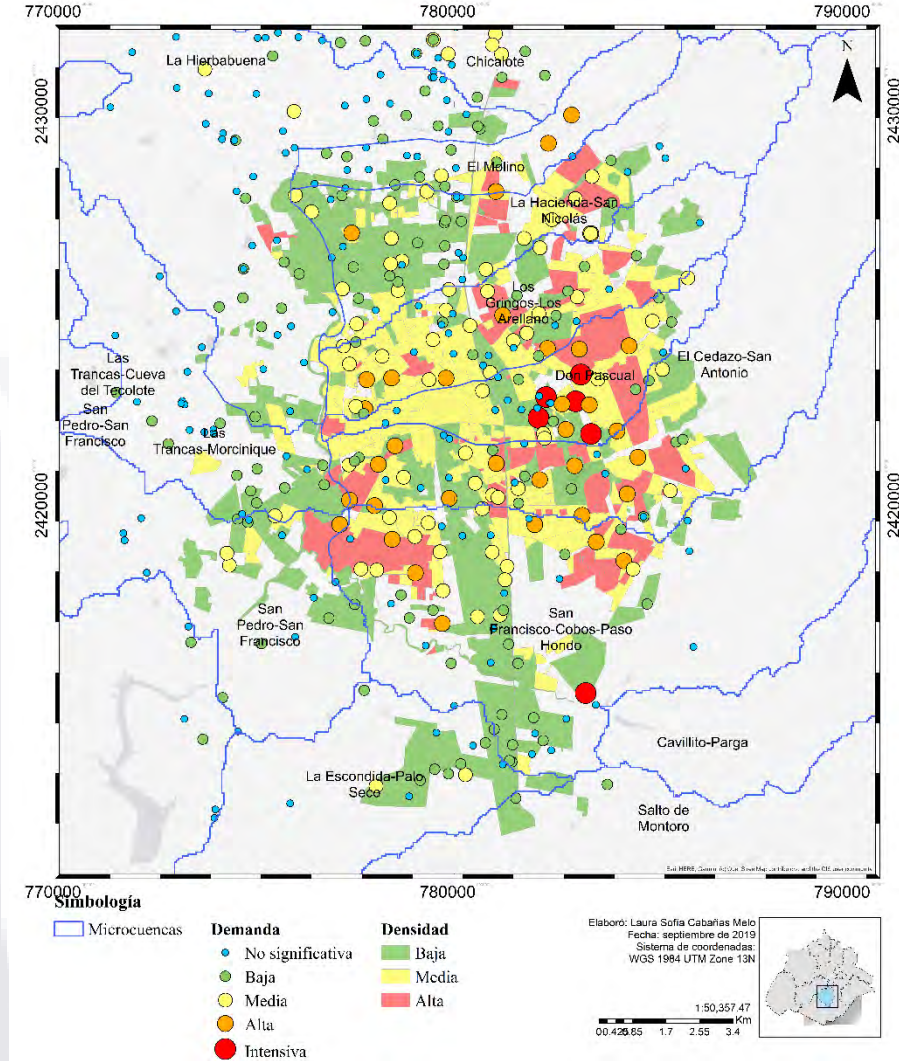
Al año 2017, la ciudad de Aguascalientes contaba con 174 pozos de extracción dentro de la zona urbana, con volúmenes de concesión para extracción que varían entre los 1,234 y 3'821,416 metros cúbicos anuales; la demanda de agua en la ciudad varía en función del tipo de lote al cual se le asignan los derechos de uso, de acuerdo con lo establecido en el Acuerdo CD/001/2008⁴⁴ publicado en el Periódico Oficial del Estado el 29 de septiembre de 2008, de tal manera que de acuerdo con la clasificación acordada se asignan 200, 250 y 300 litros por persona por día (l/p/d) para lotes de tipo popular, residencia y campestre respectivamente.

Según datos de concentración de puntos de alta extracción de agua y las zonas identificadas como de más alta densidad poblacional, se puede establecer una relación directa entre la localización de los pozos con el mayor volumen de agua concesionada para su extracción y la zona con mayor demanda del recurso (Mapa 14), haciendo más intensivo su impacto hacia las reservas de agua subterránea, además de que se esperaría que el ritmo crecimiento del cono de abatimiento incrementara en función del crecimiento de población en esas zonas.

El volumen de extracción, el estado inadecuado de la infraestructura de agua potable y sanitaria, los bajos indicadores de tratamiento de aguas residuales y el bajo nivel de reuso de aguas tratadas para usos alternos propician las condiciones para que la crisis de abastecimiento de agua en la ciudad de Aguascalientes sea cada vez más probable. De ahí que se vuelve una necesidad el planear ciudades resilientes que se adapten a dichos cambios. Los factores demográficos y el consecuente aumento del consumo de agua, resultado de una mayor demanda per cápita, son los principales responsables de la presión ejercida sobre los recursos hídricos; tanto de forma directa para agua potable, saneamiento, higiene y usos domésticos, como de forma indirecta a través de la creciente demanda de bienes y servicios de intenso consumo de agua, incluidos alimentos y energía (WWAP, 2019:23).

⁴⁴ Acuerdo del consejo directivo mediante el cual se determina las tarifas por autorización de factibilidades correspondiente a los derechos de extracción y derechos de conexión a las redes de agua potable por lote y/o vivienda y saneamiento, uso comercial, industrial y servicios, en cumplimiento a lo establecido por el artículo 16 Fracción III del reglamento del organismo público descentralizado de la administración municipal denominado Comisión Ciudadana de Agua Potable y Alcantarillado.

Mapa 14. Aguascalientes. Relación entre densidad de población y extracción de agua subterránea



Fuente: Elaboración propia con información de CCAPAMA y el Marco Geoestadístico de INEGI.

De acuerdo con el entonces Secretario de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Agua, Alfredo Alonso Ruiz Esparza, se estima que “cada año se abaten entre un metro y medio o dos al nivel freático del agua” (La Jornada, 2019), generando costos adicionales al proceso de extracción. Si bien las zonas identificadas como de mayor profundidad de extracción se concentran sobre la franja oriente de la ciudad, pudiera vincularse no solo al cono de abatimiento del acuífero bajo la ciudad, sino a su cercanía con las zonas de mayor relieve. Sin embargo, el resto de la zona urbana presenta varias zonas que superan los 480 metros de profundidad; esto no solo representa problemas económicos y de salud, sino pudiera representar un riesgo a la población en general asociado al riesgo por subsidencia en la

ciudad. El fenómeno de subsidencia, dependiendo de las características geológicas particulares de la zona, pudiera verse acelerado por el abatimiento del acuífero, aumentando la probabilidad de hundimientos y fracturas en la zona urbana que pudieran derivar en daños estructurales y a la sociedad.

Distribución

La infraestructura de distribución de agua potable y de drenaje sanitario en la ciudad de Aguascalientes presenta una cobertura de 98% y 99% respectivamente. Si bien la ciudad no presenta rezagos importantes en cuanto a cobertura, no se cuenta con una red independiente de drenaje pluvial, salvo colectores que dan servicio a zonas específicas de la ciudad⁴⁵, y los resultados de su ausencia han sido evidentes en años recientes por su la ineficiencia del sistema de drenaje para captar y canalizar la totalidad de los escurrimientos, en caso de lluvias atípicas que superan la capacidad de carga de la línea de drenaje de la ciudad.

Periódicamente, el municipio realiza grandes inversiones en el mantenimiento y modernización de la red sin conseguir indicadores de eficiencia superiores al 45% (El Heraldo, 2018). La expansión de la zona urbana hacia la periferia, además de la modificación de los cauces originales de varios de los cuerpos de agua que cruzan la ciudad, altera la hidrología de las cuencas asociadas a los mismos al modificar la red de drenaje natural y el proceso de transformación lluvia-escorrentía (SIAPA, 2014). Estas modificaciones tienen impacto directo en el ciclo hidrológico, principalmente por la disminución de la infiltración natural del agua hacia el subsuelo y el aumento en los caudales de escurrimiento pluvial, que derivan a su vez en problemáticas en algunas zonas de uso habitacional principalmente por inundaciones.

⁴⁵ Los trabajos de obra pública en la ciudad se han enfocado en la construcción de infraestructura que canalice los escurrimientos al exterior de la cuenca; tal es el caso de la reciente construcción del Colector Pluvial Casa Blanca, para el cual fue requerida una inversión de 142.8 millones de pesos (La Jornada, 2018) y cuya función es el mitigar las inundaciones al sur de la ciudad.

RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO

Según las condiciones del medio físico natural, se puede establecer que la superficie susceptible de aprovechamiento para captación de agua pluvial asciende a 55,207.05 hectáreas, equivalente al 74.3% de la superficie total de la zona de estudio. El resultado no incluye las zonas urbanas por no contar con espacios suficientes para desarrollar nuevas áreas de captación. Las microcuencas con mayor superficie disponible son: Salto de Montoro, Calvillito-Parga y La Escondida-Palo Seco. Tales microcuencas presentan, principalmente, una cobertura de tipo agrícola que puede contribuir a la retención de agua pluvial por no contar con suelo impermeable que fomente el escurrimiento en la zona.

Tabla 19. Aguascalientes. Superficie por microcuenca susceptible de aprovechamiento para implementación de estrategias de captación.

Nombre	Superficie (has)	%
Total	55,207.05	100.0
Calvillito-Parga	9,741.59	17.6
Chicalote	2,420.34	4.4
La Hierbabuena	3,967.42	7.2
El Cedazo-San Antonio	4,591.46	8.3
El Molino	701.08	1.3
La Hacienda-San Nicolás	1,390.40	2.5
Las Trancas-Morcinique	2,277.21	4.1
Los Gringos-Los Arellano	372.04	0.7
Don Pascual	194.74	0.4
Las Trancas-Cueva del Tecolote	1,181.89	2.1
San Pedro-San Francisco	3,943.03	7.1
Salto de Montoro	10,203.85	18.5
La Escondida-Palo Seco	7,377.07	13.4
San Francisco-Cobos-Paso Hondo	6,844.94	12.4

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos de geoprocesamientos en ArcMap, ver anexo metodológico.

La mayor demanda de agua potable se da en zonas específicas de la ciudad de Aguascalientes. Principalmente en la zona sur y oriente, en las colonias asociadas a las microcuencas San Francisco-Cobos-Paso Hondo, Don Pascual, Los Gringo-Los Arellano y El Cedazo-San

Antonio. Tales microcuencas son las más densamente pobladas y, en consecuencia, las que hacen un consumo más intensivo del recurso. Si bien la estructura urbana en las microcuencas cuenta con un nivel satisfactorio de cobertura de servicios de agua potable y alcantarillado, aún hace falta un sistema de drenaje pluvial independiente que de servicio a toda el área de estudio y no sólo a secciones puntuales.

Existe una distribución diferenciada de servicios entre las distintas microcuencas. La infraestructura de captación pluvial se concentra únicamente en seis de ellas, principalmente en la microcuenca El Cedazo-San Antonio que se caracteriza por presentar las mejores condiciones de precipitación y caudal. Eso sugiere que el agua captada en esta zona es completamente desaprovechada, pues las estructuras de captación pluvial existentes dirigen los escurrimientos actuales hacia el sistema de drenaje de la ciudad, haciendo imposible su aprovechamiento posterior.

Tabla 20. Cobertura por microcuencas de infraestructura para el manejo de aguas urbanas en Aguascalientes.

Nombre	PTAR ^{a\}		Captación Pluvial ^{b\}		Presas y bordos ^{c\}		
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	Volumen	%
Total	11	100	178	100	5	2.77	100.0
Calvillito-Parga	1	9.1			1	0.50	18.0
Chicalote	-						
La Hierbabuena	1	9.1			1	0.20	7.2
El Cedazo-San Antonio	1	9.1	103	57.9	1	0.67	24.3
El Molino	1	9.1	1	0.6			
La Hacienda-San Nicolás	-		7	3.9	1		
Las Trancas-Morcinique	1	9.1	1	0.6			
Los Gringos-Los Arellano	2	18.2	38	21.3	1	1.40	50.5
Don Pascual							
Las Trancas-Cueva del Tecolote		0.0					
San Pedro-San Francisco	1	9.1					
Salto de Montoro	-						
La Escondida-Palo Seco	-						
San Francisco-Cobos-Paso Hondo	3	27.3	28	15.7			

PTAR – Planta de tratamiento de aguas residuales

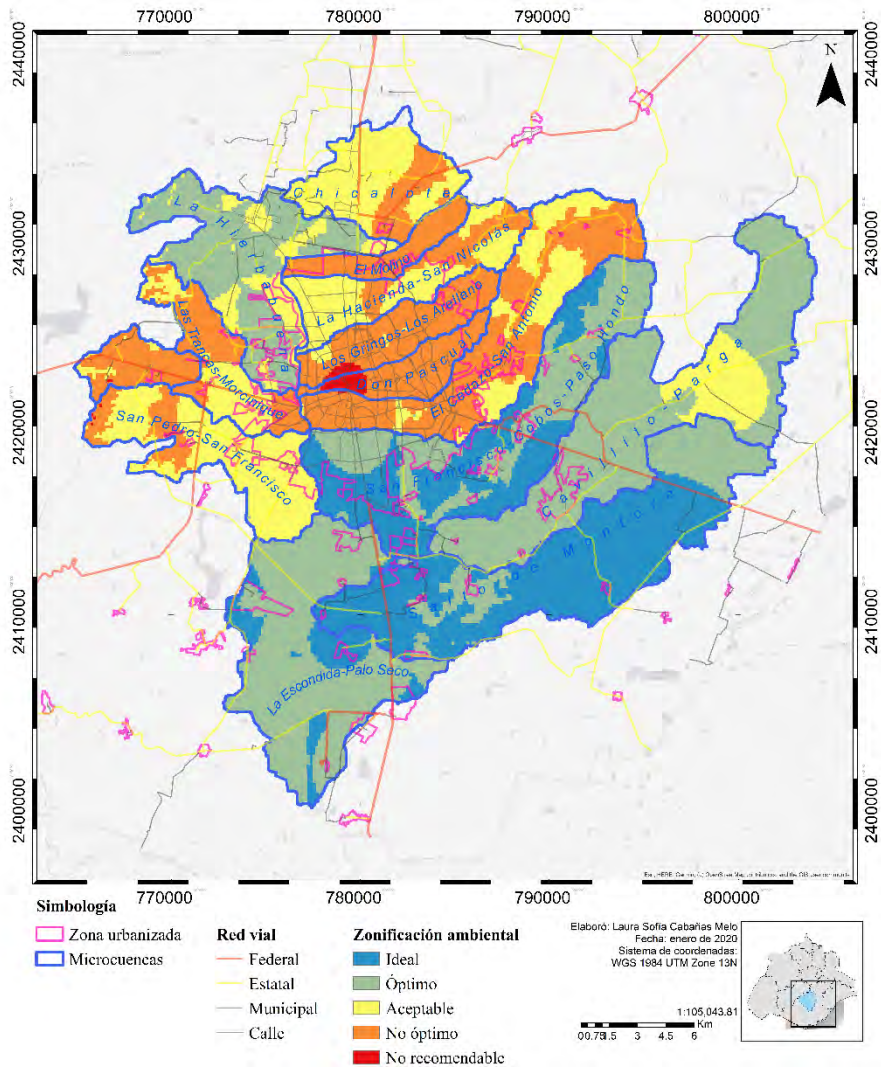
Drenaje Pluvial – Número de caimanes construidos al interior de cada microcuenca para canalización de escurrimientos hacia el drenaje sanitario

Presas y bordos – Número de estructuras presentes por microcuenca

Fuente: Elaboración propia con datos de CCAPAMA, 2014 a\, 2019 b\ e IMPLAN, 2018 c\

La construcción de un drenaje pluvial independiente que permitiera el aprovechamiento de los escurrimientos se traduciría en beneficios para la población relacionados principalmente con la disminución de inundaciones en temporada de lluvias y de los problemas asociados que ocasionan, ahorro económico debido a que el tratamiento requerido para las aguas pluviales podría realizarse por métodos más sencillos que los utilizados para aguas residuales urbanas.

Mapa 15. Zonificación en función de factores ambientales.

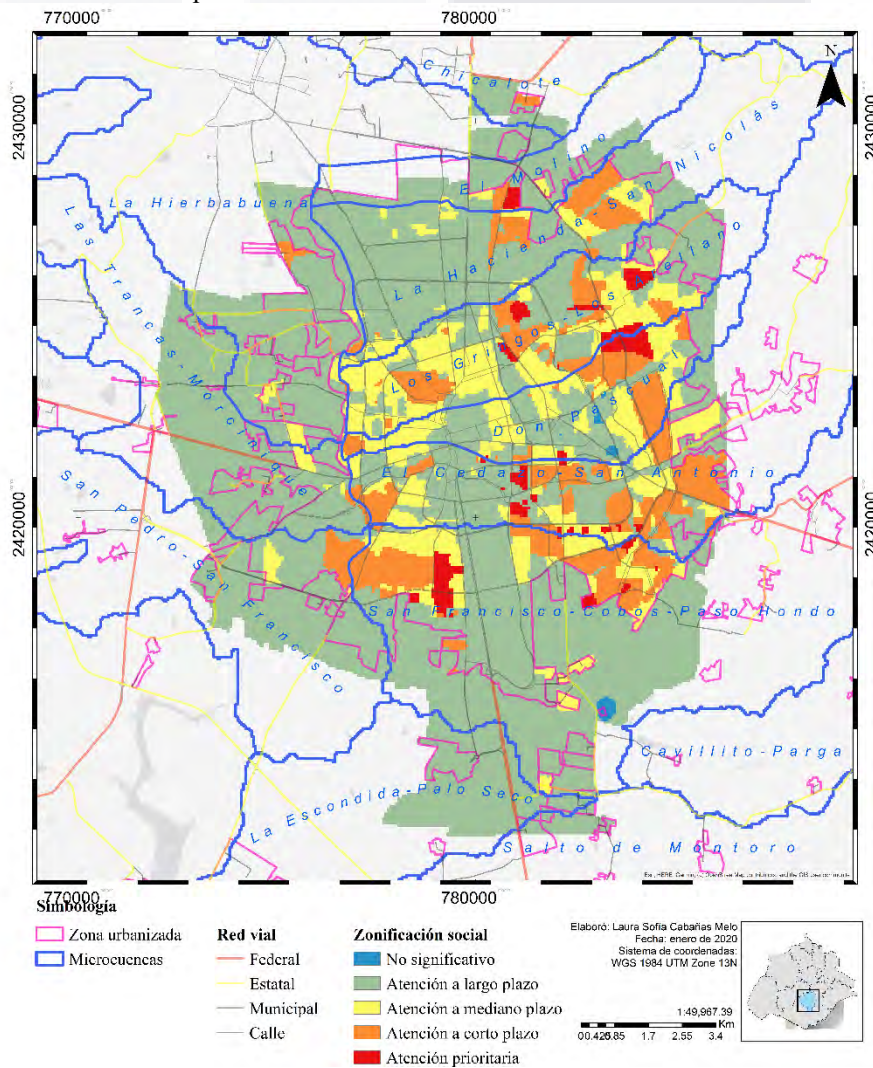


Fuente: Elaboración propia mediante calculadora ráster en ArcMap.

Con el análisis de las características del medio natural se obtuvo una zonificación en función de factores ambientales que toma en cuenta la clasificación de los datos

correspondientes a precipitación, caudal, cobertura vegetal, topografía y pendiente. Las zonas con mejores condiciones están en el sur y el oriente de la zona de estudio, coincidiendo con las microcuencas Salto de Montoro, San Francisco-Cobos-Paso Hondo, Calvillito-Parga y La Escondida-Palo Seco (Mapa 15). Existen zonas correspondientes a la microcuenca La Hierbabuena al noroeste de la zona de estudio que resultan de especial importancia por ser esta microcuenca una de las que actualmente presentan un ritmo de crecimiento mayor por el desarrollo de nuevos conjuntos habitacionales de tipo residencial (Mapa 15).

Mapa 16. Zonificación en función de factores sociales



Fuente: Elaboración propia mediante calculadora ráster en ArcMap.

Con respecto a los factores sociales del medio físico construido, se procesó de manera conjunta la información correspondiente a la densidad de población y a la demanda de agua en la ciudad de Aguascalientes. El resultado (Mapa 16) indica zonas específicas de la estructura urbana con niveles por debajo del ideal que coinciden con las áreas de mayor consumo y alta densidad. Éstas constituyen las zonas que deberán atenderse en el corto plazo como parte de las estrategias a implementar. A partir de lo anterior se definen las áreas de atención prioritaria que sentarán las bases para una propuesta de captación pluvial. Una vez aplicado el análisis geoespacial, tanto para los factores climáticos-territoriales como para los sociales, se establecieron las zonas prioritarias de atención debido a su potencial de inundación y la presión social hacia el recurso; de esta manera la zonificación propuesta se establece de la siguiente manera:

Se realizó una zonificación diferenciada considerando que los requerimientos espaciales para el desarrollo de estrategias intraurbanas y periurbanas son distintos por la disponibilidad de espacio y por el sellamiento del suelo. Excluyendo la superficie que actualmente presenta cobertura del suelo con materiales impermeables, específicamente zonas urbanas y restricciones correspondientes a las vías de comunicación, la superficie disponible para desarrollar actividades corresponde a la siguiente relación:

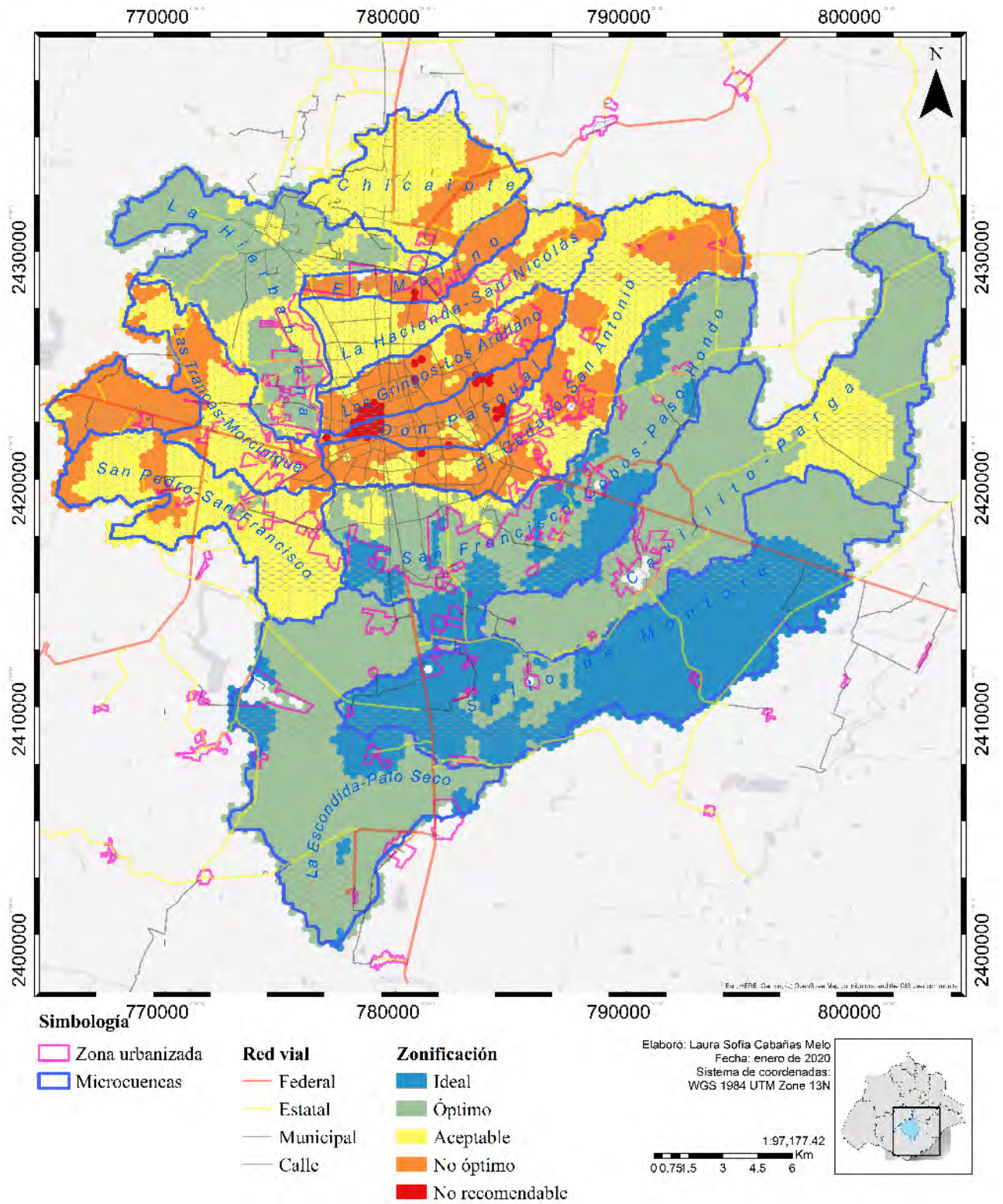
Tabla 21. Relación de superficies aptas para la implementación de estrategias de captación pluvial, por categoría de zonificación. (Hectáreas)

Clasificación	Periurbano	%	Urbano	%
Total	60720	100	30380	100
Ideal	12150	20.01	2910	9.58
Óptimo	27030	44.52	7980	26.27
Aceptable	13770	22.68	12020	39.57
No óptimo	7770	12.80	7070	23.27
No recomendable	0	0.00	400	1.32

Fuente: Elaboración propia con información de los mapas Mapa 15y Mapa 16

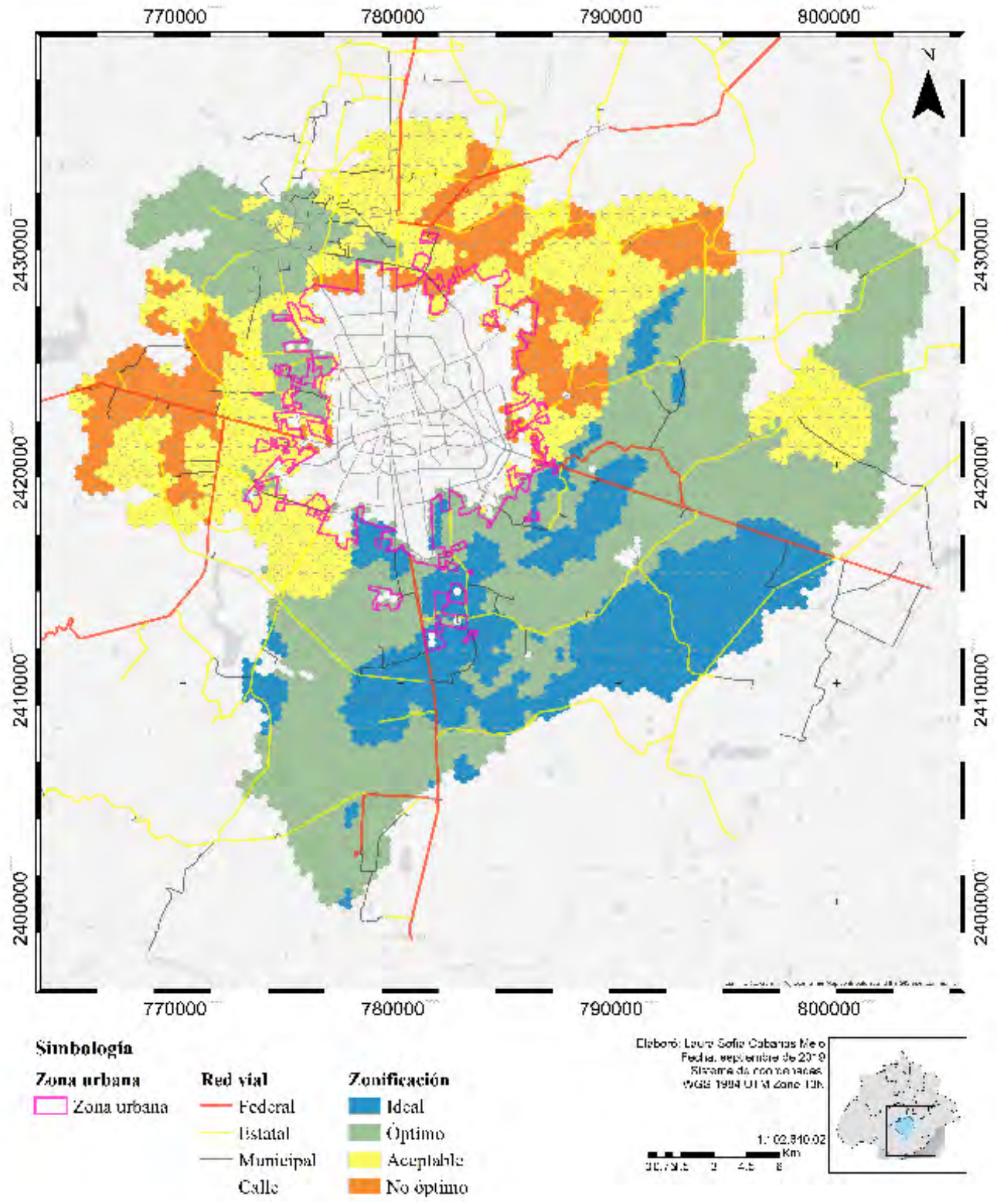
Las condiciones para implementar obras de captación de mayor magnitud en las zonas periurbanas son las mejores en la zona oriente y sur de la ciudad. Las zonas ubicadas hacia el norte presentan condiciones menos favorables en las cuales podrían implementarse estrategias distintas especialmente en las nuevas zonas a desarrollar ubicadas en la zona poniente a lo largo del río San Pedro.

Mapa 17. Zonificación prioritaria



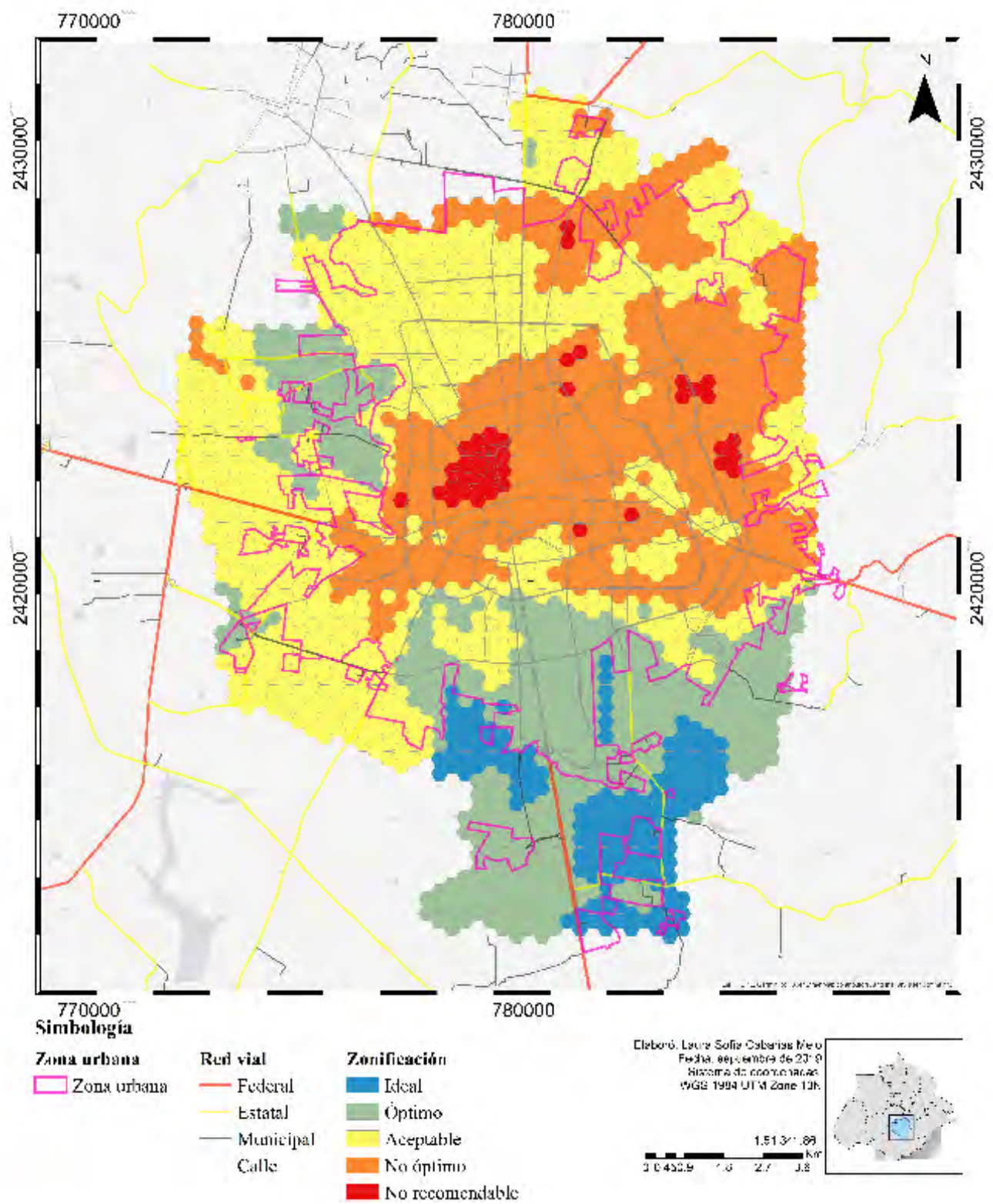
Fuente: Elaboración propia mediante calculadora ráster en ArcMap.

Mapa 18. Zonificación periurbana.



Fuente: Elaboración propia mediante calculadora ráster en ArcMap.

Mapa 19. Zonificación urbana



Fuente: Elaboración propia mediante calculadora ráster en ArcMap




Para el caso de las estrategias al interior de la zona urbana presenta un patrón similar al anterior, concentrándose las zonas idóneas para la captación de agua al sur de la ciudad; sin embargo la implementación de estrategias para grandes volúmenes no son factibles de desarrollar aquí; en cambio se plantearán estrategias puntuales tendientes a resolver focos de atención en zonas identificadas como de alta demanda, alta densidad y frecuentes problemas de abastecimiento de agua, normalmente ubicados en la zona oriente de la estructura urbana.



Una vez identificadas las fortalezas y potenciales de las microcuencas que comprenden la zona de estudio, es posible hacer una evaluación preliminar que permita establecer el nivel dentro de la escala, o fases de transición, del modelo de Ciudades Sensibles al Agua, los resultados se presentan en la Tabla 22. Los resultados indican que la zona de estudio, especialmente la ciudad de Aguascalientes podría considerarse en la segunda fase del proceso de tránsito hacia la sensibilidad al agua. La primera etapa correspondiente a la infraestructura de abastecimiento de agua puede considerarse acreditada, pues se cuentan con indicadores de cobertura de un 98%.


Valores similares de cobertura se reportan por la red del sistema de saneamiento. Sin embargo, se ha identificado como una necesidad primordial el desarrollo de una red drenaje pluvial que permita la captación del mayor volumen de escurrimientos pero que permita su posible futura utilización como parte del uso consuntivo urbano a diferencia de las condiciones actuales en donde los flujos se mezclan con las descargas sanitarias haciendo imposible su uso posterior.

Con respecto al resto de las etapas existen carencias estructurales, pero sobre todo de carácter no estructural que fomente un cambio ideológico y cultural en la población, modificando su forma de relacionarse con el medio, y haciendo su entorno más resiliente. Para lograr estos cambios se analizará la implementación de distintas estrategias que darán pie a la generación de escenarios, los cuales habrán de establecer de una manera clara la mejor vía de intervención para la construcción del sistema de captación pluvial propuesto. En el siguiente capítulo se abundará sobre las estrategias en cada uno de los rubros a desarrollar y los posibles escenarios de captación.





Tabla 22. Aguascalientes en tránsito hacia un futuro sensible al agua

ESTADO	OBJETIVOS POR ESTADO DE TRANSICIÓN	AGUASCALIENTES	SEMAFORIZACIÓN
<p>Water Supply City [ciudad que suministra agua]</p>	<p>La base normativa la constituye la capacidad de provisión efectiva de suministros de agua seguros para la población urbana en crecimiento.</p>	<p>La zona urbana de Aguascalientes presenta indicadores muy altos de cobertura del servicio de agua potable (98%) Sin embargo, la eficiencia de la red de abastecimiento presenta bajos niveles de eficiencia al no estar en condiciones óptimas por falta de mantenimiento adecuado y fallas en el sistema de gestión.</p>	
<p>Sewered City [ciudad con alcantarillas]</p>	<p>Alcanzar niveles satisfactorios niveles de saneamiento y salud pública para los ciudadanos.</p>	<p>La cobertura de la red de alcantarillado, al igual que la red de agua potable, presenta una cobertura sobresaliente al cubrir el 99% de la zona urbana. Hace falta desarrollar un drenaje pluvial que de servicio a la ciudad y contribuya al adecuado desempeño del drenaje sanitario, el cual se ve rebasado en temporada de lluvias por contar con infraestructura que ya se ve rebasada en su capacidad, principalmente en temporada de lluvias.</p>	
<p>Drained City [ciudad de drenajes]</p>	<p>Protección contra las inundaciones mediante el drenaje y la canalización de las aguas pluviales.</p>	<p>Ante la carencia de un sistema de drenaje pluvial, y la presencia de infraestructura con más de 30 años de antigüedad, resulta necesario buscar estrategias de captura y canalización de escurrimientos que liberen esfuerzo a la red sanitaria en casos de lluvias atípicas, como las sucedidas de varios años a la fecha. Si bien se ha desarrollado infraestructura que tiene el objetivo de canalizar los escurrimientos de zonas específicas de la ciudad, aunque forzando su tránsito fuera de la cuenca y no aprovechando el flujo ya sea para consumo como para el aprovechamiento de servicios ambientales en zonas cercanas a la zona urbana. Debido a su importancia, se plantea la atención a este punto en el PDUCA 2040 como parte de las posibles estrategias para el manejo de la lluvia excedente para lo cual se plantea la “la</p>	

ESTADO	OBJETIVOS POR ESTADO DE TRANSICIÓN	AGUASCALIENTES	SEMAFORIZACIÓN
		<p>instalación de sistemas de captación de agua pluvial en zonas con precipitación promedio mensual alta a nivel casa o fraccionamiento” y la “construcción estratégica de obras de regulación del agua excedente para garantizar la reducción de gastos picos, los cuales son los culpables de las inundaciones”</p>	
<p>Waterways City [ciudad de los cursos de agua]</p>	<p>Aplica políticas de protección y conservación de los cursos de agua al interior de la ciudad.</p> <p>Consiste en integrar los cuerpos de agua en los ejercicios de planeación, mediante la regulación de descargas y la implementación de nuevas tecnologías de tratamiento basados en ecosistemas (humedales).</p> <p>La educación y sensibilización de la sociedad es indispensable para lograr los objetivos en esta etapa.</p>	<p>Al contrario de lo propuesto en esta etapa, los cauces y cuerpos de agua de la ciudad no cuentan con condiciones naturales que permitan la integración de éstos y sus servicios ambientales hacia la sociedad local.</p> <p>La mayoría de los arroyos que históricamente corrían al interior de la zona urbana han sido entubados y, en muchas ocasiones, se ha construido encima del antiguo cauce, anulando completamente cualquier función ecosistémica de los arroyos.</p> <p>El desarrollo urbano en la ciudad se ha llevado a cabo a costa de los antiguos cauces, siendo ésta la principal razón de las constantes inundaciones en temporada de lluvias.</p> <p>Se requiere llevar a cabo campañas de sensibilización, tanto a autoridades como a la población en general, de manera que comprendan la importancia de mantener los cauces y sus flujos en buen estado y recuperar parte de los servicios ambientales que aún pueden ofrecer los arroyos que corren a cielo abierto en la ciudad.</p>	
<p>Water Cycle City [ciudad del ciclo del agua]</p>	<p>Reconoce los límites de los recursos naturales y, en consecuencia, promueve la protección y conservación de las fuentes de agua, tanto superficiales como subterráneas, promoviendo normas</p>	<p>Del mismo modo que la etapa anterior, la ciudad de Aguascalientes no cuenta con una visión aplicada al ciclo del agua urbano.</p> <p>Para proteger a largo plazo la fuente subterránea de agua, de la cual depende en su totalidad la ciudad para subsistir, es necesario aplicar políticas de conservación, educación y</p>	

ESTADO	OBJETIVOS POR ESTADO DE TRANSICIÓN	AGUASCALIENTES	SEMAFORIZACIÓN
	<p>dirigidas hacia a la sostenibilidad integral, tanto de las ciudades como de sus zonas de influencia.</p>	<p>promover cambios en los patrones de consumo, sumados a la aplicación de estrategias alternativas de reuso y captación de agua para uso en la ciudad.</p>	
<p>Water Sensitive City [Ciudad Sensible al Agua]</p>	<p>Busca la equidad inter e intrageneracional y la resiliencia urbana de frente a los efectos del cambio climático; el desarrollo urbano es adaptable a los cambios y la infraestructura cumple diversos propósitos debido a su multifuncionalidad.</p>	<p>Si bien es la etapa más importante y el escenario ideal, dadas las diversas limitantes que implica el aspirar un futuro sensible al agua, hasta la fecha no existe una ciudad que cumpla totalmente con los requisitos para asumirse como tal. Diversas ciudades han adoptado los lineamientos y políticas para diseñar y construir Ciudades Sensibles al Agua con el claro precepto de que es un ejercicio de planeación a largo plazo.</p> <p>Sin embargo, se continua la investigación y desarrollo de técnicas y tecnologías que permitan a los tomadores de decisiones aplicarlas, en un esfuerzo por acercarse cada vez más a este concepto.</p> <p>Aguascalientes aún no cuenta con las cualidades para denominarse una Ciudad Sensible al Agua, sin embargo, se plantea la hipótesis de que la aplicación de sistemas tendientes a hacer un uso más racional y menos agresivo hacia el ambiente puede hacer la diferencia para conseguir los objetivos de esta última etapa de transición en un escenario a largo plazo.</p>	

Fuente: Elaboración propia tomando como referencia el trabajo de (Rebekah Brown et al., 2008), Urban water management in cities, pp. 851-854.

-  Cumple satisfactoriamente con los objetivos de la etapa
-  Cumple parcialmente los objetivos de la etapa, requiere intervenciones estructurales para alcanzarlos.
-  Cumple escasamente con los objetivos de la etapa, requiere de intervenciones estructurales y no estructurales para lograrlo.
-  No cumple con los objetivos de la etapa

CAPITULO IV

AGUASCALIENTES UNA CIUDAD SENSIBLE AL AGUA: PROPUESTA DE PLANEACIÓN URBANA

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se plantean los escenarios y estrategias que pretenden establecer las bases para que la ciudad de Aguascalientes sea definida como una ‘Ciudad Sensible al Agua’. Para ello se definen tres escenarios: 1) *adverso*, cuya principal característica es mantener la actual dependencia del agua subterránea para abastecimiento de agua potable en la ciudad sin la implementación de fuentes alternativas de abastecimiento; 2) *optimista*, en el cual se plantea la construcción de infraestructura verde dentro de la estructura urbana y la zona periurbana de la ciudad de Aguascalientes con el objetivo de maximizar la capacidad de captación y abastecimiento en el largo plazo; y, 3) *ideal*, considerando la aplicación de un modelo de Ciudad Sensible al Agua y la modificación de los patrones de consumo de agua. Este último escenario es el más apegado a los principios de la sensibilidad al agua por contemplar en su implementación tanto medidas estructurales como no estructurales en su diseño.

Las estrategias se diferenciarán dentro del área de estudio en: 1) *estrategias periurbanas*, enfocadas a la captación de la mayor cantidad de agua pluvial en el punto de origen, previo a su escurrimiento, para evitar la pérdida de agua por escurrimiento, su contaminación y reducir el impacto social de la acumulación de escurrimientos en la zona urbana; y, 2) *estrategias intraurbanas*, que comprenden la implementación de infraestructura verde de menor tamaño y más asequible que permitirán la captura pluvial en zonas puntuales al interior de la ciudad.

Es importante señalar que los escenarios aquí propuestos son solo tres de un amplio abanico de posibilidades. Es decir, existen un sinfín de factores que intervienen en la generación de escenarios por el vínculo activo entre la dinámica poblacional y los procesos ecológicos, por lo cual existen muchos más escenarios posibles a considerar. Sin embargo, al final se busca lograr el objetivo fundamental de este trabajo, el cual consiste en acercar a la ciudad de Aguascalientes hacia un estado de sensibilidad al agua.

El capítulo se estructura en tres apartados; el primero hace una revisión de la capacidad actual de la zona de estudio en cuanto a estructuras de captación pluvial, su distribución espacial y el uso que se hace del agua captada, este constituye el primer escenario. El segundo apartado comprende el desarrollo del escenario optimista, en donde se detalla la construcción del sistema de captación pluvial integrado de estrategias intra y periurbanas; y el escenario ideal en donde se analiza el efecto de la reducción de la dotación de agua diaria por persona y la aplicación de medidas no estructurales de acuerdo al modelo de ‘Ciudades Sensibles al Agua’. Por último, el tercer apartado hace una síntesis de los resultados obtenidos en los tres escenarios y se hace una comparativa de las tendencias de consumo y ahorro para cada escenario.

1. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La zona de estudio cuenta en la actualidad con infraestructura de captación y almacenamiento pluvial compuesta por 3 presas y 17 bordos que se utilizan principalmente para uso agropecuario (41.9 % de riego, 9 % abrevadero) y para uso recreativo⁴⁶ (48.7 %). En conjunto, tienen una capacidad aproximada para captación y almacenamiento de 5.4 millones de metros cúbicos, mismos que alcanzarían para satisfacer el 10% de la demanda generada por la población actual dentro de la zona de estudio (tomando como referencia los cálculos realizados con base a la dotación por lote por persona, establecida por CCAPAMA, véase Anexo 10).

La distribución espacial de dicha infraestructura se concentra en 9 microcuencas de la zona de estudio. Principalmente en las microcuencas: Salto de Montoro y La Escondida-Palo Seco, con 5 y 4 respectivamente, mientras que el resto se encuentran en las microcuencas Calvillito-Parga, San Pedro-San Francisco, El Cedazo-San Antonio, Las Trancas-Cueva del Tecolote, La Hierbabuena, Los Gringos-Los Arellano y Chicalote; de todas, la microcuenca con mayor capacidad de almacenamiento de agua pluvial es Calvillito-Parga que cuenta con las presas Parga y Las Grullas que en conjunto pueden almacenar 1.72 millones de m³. Los Gringos-Los Arellano cuenta con la presa de Los Gringos y el bordo Santa Elena que en

⁴⁶ El agua captada en las presas Los Gringos y El Cedazo son, aparte, aprovechadas para el riego de áreas verdes (camellones) en la ciudad de Aguascalientes.

conjunto pueden almacenar 1.58 millones de metros cúbicos y a esta le sigue El Cedazo-San Antonio con una capacidad para 0.73 millones de m³. Estas tres microcuencas comprenden el 74.7% de la capacidad de captación y almacenamiento pluvial del total del área de estudio (Tabla 8).

A pesar de contar con infraestructura de captación, almacenamiento y tratamiento de aguas residuales en la zona de estudio actualmente no se aprovecha el agua almacenada para uso urbano salvo para el riego de áreas verdes proveniente de las plantas de tratamiento. El destino del agua pluvial para uso urbano implicaría una reducción en la extracción de agua subterránea durante la temporada de lluvia, que representaría además un ahorro en energía por la disminución del tiempo de uso de los pozos de la ciudad y la consecuente disminución en la extracción y en el ritmo de abatimiento del acuífero.

La infraestructura de captación existente se encuentra distribuida en la zona periurbana y la zona intraurbana. Dichas estructuras no se encuentran distribuidas de forma equitativa. Por un lado, es mayor el número de estructuras de captación ubicadas en la zona periurbana, pero aquellos de mayor capacidad se encuentran al interior de la estructura urbana, por lo cual se plantea como una posibilidad viable el implementar una línea de conducción que permita canalizar el agua pluvial desde los puntos de captura hacia los puntos de consumo al interior de la ciudad, teniendo como prioridad aquellas zonas con mayor déficit en el servicio de agua potable. Específicamente, al interior de la estructura urbana de la ciudad de Aguascalientes, se cuenta con tres estructuras de captación conformadas por las presas El Cedazo y Los Gringos, además del bordo Santa Elena, todas ellas funcionan a su vez como cuerpos receptores de las plantas de tratamiento de aguas residuales instaladas en sus respectivos parques urbanos.

Como ya se ha mencionado, la ciudad carece de drenaje pluvial que capte los escurrimientos de forma independiente al drenaje sanitario, lo cual hace imposible su posterior aprovechamiento, sin embargo, existe infraestructura pluvial en zonas específicas de la estructura urbana, como caimanos y coladeras, que tiene el propósito de captar y dirigir los escurrimientos hacia el drenaje sanitario para prevención de inundaciones. De acuerdo con datos oficiales, CCAPAMA ha invertido durante la presente administración 310 millones

de pesos⁴⁷ en obra hidráulica de la ciudad de Aguascalientes para mejorar el servicio de agua potable y sanitario mediante la construcción de pozos de extracción de agua subterránea y reacondicionamiento del sistema de drenaje. De forma adicional, la concesionaria del servicio de agua en la entidad destina 40 millones de pesos mensuales para la mejora del servicio, aunque éste permanezca insuficiente y presente bajos niveles de eficiencia.

A continuación se explorarán los posibles resultados en los supuestos en que se continúe con el modelo actual de abastecimiento y consumo de agua; que la capacidad de captación actual puede ser aprovechada y mejorada mediante la implementación de infraestructura verde como parte de un modelo de Ciudades Sensibles al Agua; o se modifique el patrón de dotación y consumo de agua en la zona urbana. En todos los casos se esperarían impactos tanto ambientales, como sociales y económicos particulares, definiendo incluso la pertinencia de aplicación de estrategias para cada caso.

2. ESCENARIOS Y ALTERNATIVAS DE PLANEACIÓN URBANA

Escenario adverso: Aguascalientes rumbo al día cero

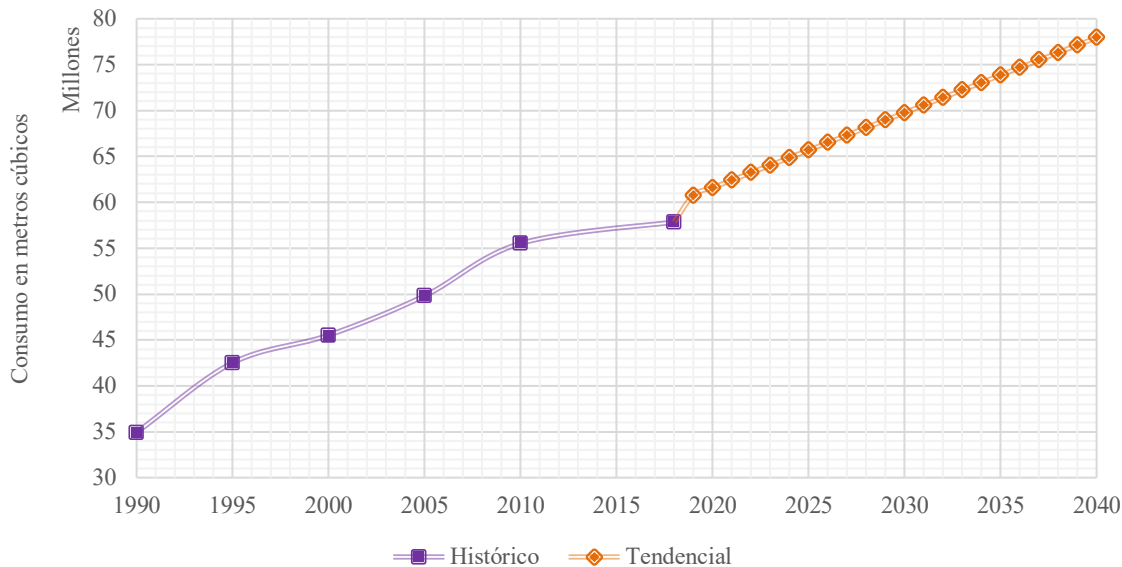
Este escenario tiene como elemento central el supuesto de que no existe intervención para mejorar las condiciones del consumo de agua y el uso del recurso pluvial que prevalecen actualmente en la ciudad. Esto es, de no presentar cambios en los patrones demográficos y manteniendo la dotación asignada por tipo de lote, la tendencia de aumento en el consumo se espera con una tendencia prácticamente lineal, lo cual indica que, para el año 2040, la extracción de agua en la ciudad podría alcanzar los 77.9 millones de metros cúbicos de agua anuales, equivalente a casi el 35% más del consumo registrado para el año 2018.

Si bien existe un desconocimiento respecto a la dimensión y capacidades reales del acuífero Valle de Aguascalientes (Flores, 2019), su sobreexplotación es una realidad y la

⁴⁷ El gobierno municipal, mediante CCAPAMA, ha realizado una inversión de 255 millones de pesos para la mejora del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Aguascalientes, principalmente para la construcción y reacondicionamiento de pozos en la zona urbana (El Sol del Centro, 2019); de manera adicional se han invertido 55 millones de pesos para atención de infraestructura hidráulica sanitaria en la ciudad la cual, según el director general de la Comisión Ciudadana de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Aguascalientes (CCAPAMA) resulta insuficiente pues “todavía existe mucha tubería de cobre, mucha tubería de asbesto e incluso de barro” (Página 24, 2019).

tendencia indica que dicha situación se agravará. Claro ejemplo de lo anterior es el hecho de que los pozos bombean el agua cada vez a profundidades mayores⁴⁸ de lo que se hacía históricamente. Sin embargo, estudios indican que la reserva del acuífero del cual se abastece la ciudad pudiera ser insuficiente para abastecer a la población por más de 10 o 12 años⁴⁹.

Gráfica 12. Tendencia de consumo de agua potable en la ciudad de Aguascalientes a/



a/ La tendencia de consumo presentada hace referencia al cálculo realizado a partir de la dotación por tipo de lote establecida por CCAPAMA, considerando los datos de la proyección demográfica de CONAPO.

Fuente: Elaboración propia con información censal de INEGI, proyecciones de crecimiento de CONAPO y dotación de agua por persona por tipo de lote de CCAPAMA

Bajo este contexto se esperaría que la ciudad de Aguascalientes pudiera alcanzar un nivel de estrés hídrico similar al presentado en Ciudad del Cabo, Sudáfrica, en el cual las autoridades determinaron la fecha en que las reservas de agua de la ciudad, de 4 millones de

⁴⁸ Según el Programa de Ordenamiento Ecológico local del municipio de Aguascalientes (2016), de los 276 pozos con los que contaba el municipio más del 67% presentaba profundidades de extracción dentro de un rango de 180 a 650 metros, mientras que el 33% restante presentaban rangos de 35 a 180 metros de profundidad. Actualmente, la extracción de agua se obtiene de profundidades superiores a 350 metros y hasta más de un 1,000, principalmente en pozos al interior de la ciudad (Newsweek, 2018).

⁴⁹ La Dra. Érika Marcela Ramírez López, investigadora del departamento de Bioquímica de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, estableció en el 2016 que el acuífero registra un nivel de abatimiento de al menos 1.5 metros cada año, mientras que la recarga es mucho menor a lo extraído, por lo cual “es preciso que se exploren ya otras alternativas de abastecimiento que puedan dar viabilidad al desarrollo de actividades productivas y de consumo humano”. (El Heraldo de Aguascalientes, 2016)

personas, estaban próximas a alcanzar su nivel más bajo registrado en su historia después de tres meses de sequía y sin poder abastecerse de fuentes alternas, lo cual representó que las ciudad se quedaría sin agua potable municipal para abastecer a la población. Tal fecha fue denominada como Día Cero.

En 2019, Aguascalientes es considerada, como la cuarta entidad con el mayor grado de estrés hídrico en el país al presentar un índice de 4.81 según los datos del programa Aqueduct⁵⁰ del Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute, 2019), casi un punto por arriba del resultado nacional, e incluso superior a lo registrado en Ciudad del Cabo (4.06) para el mismo año. De seguir las tendencias actuales, se esperaría llegar al límite de las reservas subterráneas aproximadamente en el año 2029 o 2034.

Estrategias periurbanas

En este escenario se mantienen las tendencias de crecimiento demográfico y de consumo de agua actuales y no se considera la implementación de estrategias de captación pluvial en la zona periurbana de la zona de estudio. Considerando el patrón de crecimiento expansivo de la ciudad, que mantiene como tendencia desde hace varios años, se esperaría una reducción en la superficie aprovechable de captación en la zona periférica. Además de la continua afectación a los cauces naturales de los arroyos al interior de la zona de estudio, lo que haría más difícil el aprovechamiento y acondicionamiento como zonas de captura, tratamiento y distribución de agua pluvial.

Sumado a lo anterior, la acción antrópica en las áreas urbanas provocaría una disminución del volumen de agua en los cursos de agua adyacentes y se acentuarían los procesos de degradación en los cauces naturales remanentes, favoreciendo procesos erosivos, contaminación de los escurrimientos y un aumento en el escurrimiento de agua pluvial producida en la periferia por el aumento de superficies impermeables derivada de la

⁵⁰ Aqueduct es un Atlas de estrés hídrico elaborado por el Instituto de Recursos Mundiales cuyo objetivo es identificar y evaluar el estrés hídrico de todo el mundo; éste jerarquiza a 189 países, junto con estados y provincias, en cuanto a estrés hídrico, riesgo de sequía y riesgo de inundación fluvial. Los resultados se presentan mediante un índice con escala de 0 a 5 que definen las categorías de riesgo, desde bajo hasta extremadamente alto. Un valor de 4.81 indica que Aguascalientes se encuentra en un riesgo muy alto de agotar sus reservas hídricas y alcanzar un nivel de estrés hídrico severo cercano o incluso mayor al caso de Ciudad del Cabo.

urbanización, impactando directamente en las zonas urbanas y aumentando la intensidad y frecuencia de inundaciones.

Además, con el crecimiento de la población se incrementa la demanda de servicios urbanos, lo cual haría indispensable la inversión de recursos económicos adicionales para poder suministrarlos. Sin embargo, frecuentemente el volumen requerido no siempre se tiene disponibles y es necesaria la construcción de nuevas redes de distribución haciendo indispensables recursos financieros adicionales sin que esto garantice la eficiencia y eficacia de las redes e infraestructura para abastecimiento de agua potable.

Estrategias urbanas

De igual manera, este escenario no considera la implementación de estrategias de captación pluvial al interior de la estructura urbana en la zona de estudio que permitiera el abastecimiento alternativo de agua y el consecuente ahorro de agua subterránea y la preservación de los mantos freáticos. Además, las problemáticas asociadas a eventos de lluvias atípicas, principalmente las inundaciones, se prevén cada vez con mayor frecuencia sobre todo en las zonas donde dicha problemática ya es recurrente. En consecuencia, se continuaría el desaprovechamiento de agua pluvial al prolongar su canalización mediante el sistema de drenaje municipal, favoreciendo así la salida del recurso cuenca abajo sin dar pie al aprovechamiento de este en la zona urbana de la zona de estudio y su consecuente contaminación por su paso por la ciudad y su mezcla con aguas residuales.

El aumento en la demanda de agua implicaría un alza en los costos de distribución por la necesidad de construir más pozos de extracción, además de la correspondiente ampliación de la red de distribución y sanitaria que den servicio a los nuevos desarrollos habitacionales y el reacondicionamiento de los pozos existentes que requieran extraer el agua a mayor profundidad. El existe una relación entre el consumo de agua potable y la densidad poblacional, por lo que se esperaría que en las microcuencas que mayor demanda de agua potable presentan en la actualidad, San Francisco-Cobos-Paso Hondo y El Cedazo-San Antonio, probablemente se vería sobrepasada la problemática de demanda de agua y se agravaría la situación en las zonas que actualmente presentan una demanda media.

Ante la falta del servicio de abastecimiento, se transitaría hacia condiciones y hábitos inadecuados de higiene. Además de la escasez se suma una utilización poco eficiente del

recurso volviendo más vulnerable a la población de zonas desprotegidas hacia enfermedades infecciosas de transmisión hídrica (como el cólera y la hepatitis). Todo lo anterior propiciaría una saturación en los sistemas de salud públicos que no solamente presentan problemas presupuestarios y se ven sobrepasados en su capacidad de atención, sino que además deberán hacer frente a una demanda mucho mayor de las zonas más carenciadas. El nivel agravado progresivo del estrés hídrico de la zona urbana implicaría establecer medidas de mitigación ante la escasez de agua, como tandeos y cortes en el servicio de abastecimiento, mismos que desencadenarían problemas ambientales (degradación de ecosistemas, erosión, contaminación de suelos, cuerpos y corrientes de agua), sociales (escasez de alimentos, aumento de morbilidad en sectores vulnerables, disminución en la calidad de vida, conflictos e inestabilidad social, migración) y económicos (baja producción agropecuaria, disminución del crecimiento económico por decremento o migración de empresas dependientes del recurso, desempleo, disminución de ingresos por impuestos) (Velasco, Ochoa, & Gutiérrez, 2019:48) que paralizarían a la ciudad y colapsarían la economía de la entidad.

Escenario optimista: En tránsito hacia un estado sensible al agua

Para alcanzar un estado como Ciudad Sensible al Agua es preciso cumplir objetivos en distintas etapas que establezcan las bases para poder acercarse a la sensibilidad hídrica en el largo plazo. Dentro del esquema de transición entre las distintas etapas, se puede establecer que Aguascalientes se encuentra en la segunda, ciudad de drenaje (Tabla 22). La implementación de sistemas de captación pluvial mediante la aplicación de infraestructura verde en la zona de estudio permitiría avanzar a la siguiente etapa de transición: ciudad drenada. Esta última es caracterizada por el aprovechamiento de los escurrimientos pluviales, además de la reducción del riesgo por inundación pluvial.

La futura infraestructura de agua urbana, en una Ciudad Sensible al Agua, habría de captar y reusar una combinación integrada de fuentes de agua (incluidas las aguas pluviales, aguas residuales y aguas grises). La gestión de todas las partes de la red de hidráulica, incluidas las captaciones de suministro de agua, la gestión de aguas residuales y la gestión de la demanda, son importantes para avanzar en los objetivos de las Ciudades Sensibles al Agua (CRC for Water Sensitive Cities, 2015).

Con lo anterior en mente, tomando en consideración la zonificación intraurbana y periurbana obtenida de la conjunción de las condiciones naturales y sociodemográficas de la zona de estudio (Ver Mapa 18y Mapa 19), se presenta la propuesta de un programa de implementación de infraestructura verde con el objetivo de captar la mayor cantidad de agua pluvial, tanto en el origen de los escurrimientos como al interior de la estructura urbana, considerando el tratamiento y distribución requeridos para conformar un sistema de abastecimiento alternativo que abastezca a la ciudad de Aguascalientes.

De esta manera, se considera que las áreas susceptibles de aprovechamiento para la implementación de estrategias periurbanas se ubican en las zonas con remanentes de vegetación natural ubicadas en las zonas de lomeríos en la zona oriente y al sur de la zona de estudio y en las zonas agrícolas. Por otra parte, las estrategias intraurbanas se enfocarán en parques y espacios recreativos, arroyos o canales urbanos y terrenos abandonados al interior de la zona urbanizada. A continuación, se hace una explicación detallada de las estrategias seleccionadas, su ubicación, su función y los escenarios de consumo que se esperan tanto por la aplicación de estrategias intraurbanas como periurbanas y el impacto que dichas obras tendrían sobre el consumo de agua de la población con tendencia al 2040.

Estrategias periurbanas

La zona periurbana cuenta con una gran extensión de territorio aprovechable por su carencia de zonas urbanizadas, lo cual las vuelve ideales para implementar zonas de captación pluvial de gran tamaño. Tomando en cuenta el mapa de zonificación periurbana (Mapa 18), las estrategias de captación se concentrarían principalmente en las zonas determinadas como ideales y óptimas, mismas que comprenden específicamente las microcuencas San Francisco-Cobos-Paso Blanco, Calvillito-Parga, Salto de Montoro y La Escondida-Palo Seco. En todos los casos, dichas microcuencas cubren el sur y el oriente de la zona de estudio, las cuales canalizan sus escurrimientos hacia el poniente con dirección al río San Pedro.

En estas zonas se aprovecharán espacios que de manera natural funcionan como reservorios estacionales de agua pluvial y que se encuentran vinculados con algún escurrimiento que pueda canalizar el agua captada de manera natural hacia los reservorios más grandes con los que actualmente cuenta la zona de estudio, principalmente presas y bordos. De esta manera se aumentaría la infraestructura de captación, se habilitarían los

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

cursos de agua y se implementarían trenes de tratamiento natural que garantizarían una calidad de agua adecuada para su uso posterior en la zona urbana.

Al final, la implementación de distintos elementos de infraestructura verde bajo el esquema de Ciudades Sensibles al Agua permitirá la conformación de una red de nodos y corredores conformado por diferentes estrategias en el territorio que permitirán conservar tanto los procesos ecológicos como la calidad natural del paisaje y sus elementos. Pero sobre todo, permitirá generar una red de captación, tratamiento y distribución alternativa a la red de abastecimiento tradicional que contribuya a disminuir la dependencia de abasto hacia las aguas subterráneas. El proceso de selección de las alternativas más adecuadas dependerá tanto del objetivo que se persiga como de los factores naturales del sitio. De acuerdo con la metodología planteada (Tabla 6), las estrategias para la zona periurbana se componen de técnicas con gran capacidad de captación pluvial por su disponibilidad de espacios amplios. Estas estrategias contribuyen al mantenimiento o restauración de los procesos ecológicos naturales del entorno y maximizan su permanencia y funcionalidad a largo plazo.

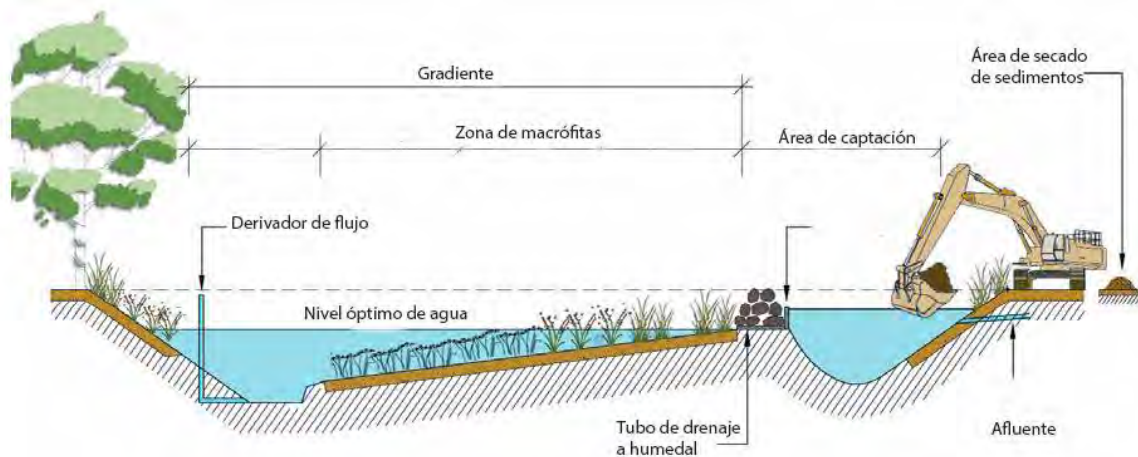
Entre las estrategias factibles de implementación en zonas periurbanas se encuentran: a) humedales construidos, b) depósitos de detención y c) estanques de retención. Todos ellos tienen la capacidad de recibir aportes de superficies superiores a 5 hectáreas (véase Esquema 3 del capítulo metodológico) por lo que la necesidad de espacios amplios sin urbanizar es indispensable. Sin embargo, si la disponibilidad de espacio no es un impedimento al interior de la traza urbana, la aplicación de estas alternativas es viable en zonas urbanas considerando mecanismos preventivos en caso de sobrepasar la capacidad de diseño de almacenamiento y garantizar la seguridad de la población aledaña (véase Esquema 3 del capítulo metodológico).

a) Humedales construidos

Los sistemas de humedales construidos son cuerpos de agua poco profundos (entre 1.5 y 3 metros de profundidad), con abundante vegetación, que utilizan procesos de sedimentación mejorada, filtración fina y absorción de contaminantes para eliminar los contaminantes del agua de lluvia. Los niveles de agua aumentan durante los eventos de lluvia y las salidas están configuradas para liberar lentamente los flujos, generalmente durante tres días, de regreso a los niveles de agua en clima seco (Melbourne Water, 2006).

Generalmente están constituidos por una zona de entrada (cuenca de sedimentos para eliminar sedimentos gruesos), una zona de macrófitas⁵¹ (área poco profunda con mucha vegetación para eliminar partículas finas y la absorción de contaminantes solubles) y un canal de derivación de alto flujo (para proteger la zona de macrófitas). Están diseñados para eliminar tanto contaminantes de aguas pluviales asociados con partículas finas a coloidales y contaminantes disueltos. Los humedales construidos forman parte de los sistemas de tratamiento secundarios, los cuales permiten la eliminación de materia orgánica y sólidos en suspensión hasta niveles de calidad acordes a los requisitos de descarga, además de fungir como cuerpo de captación. En el siguiente esquema (Figura 4) se presenta un ejemplo conceptual de un humedal construido:

Figura 4. Esquema conceptual de los componentes de un humedal construido



Fuente: Recuperado de WSUD Engineering Procedures for Stormwater Management in Tasmania 2012 (NRM North, 2012:8-3)

La activación de los humedales sucede al pasar lentamente la escorrentía a través de la zona de macrófitas, permitiendo así el proceso de tratamiento; además de ser importantes en el tratamiento de aguas pluviales, los humedales también pueden tener importantes beneficios para la sociedad al proporcionar un hábitat para la vida silvestre y un espacio para

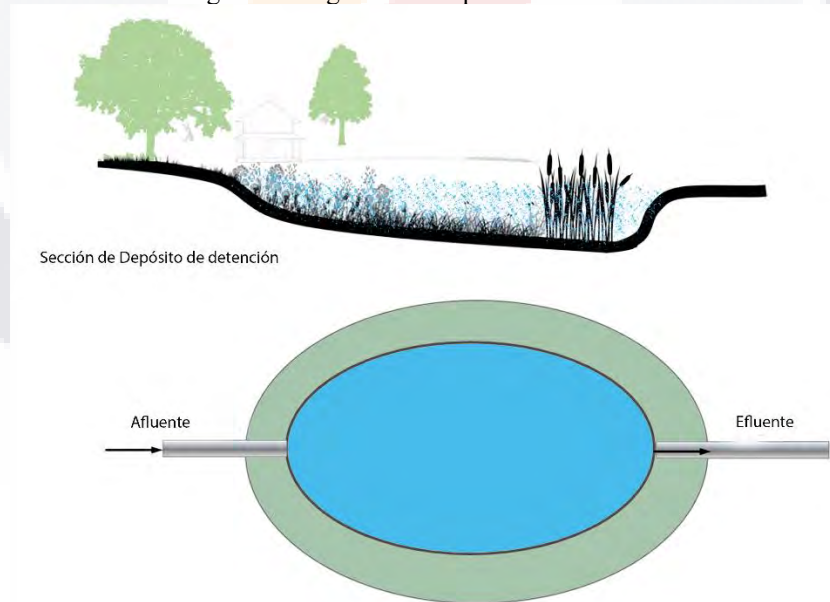
⁵¹ Las plantas macrófitas son un tipo de vegetación acuática que puede localizarse tanto en flotación o adherida al lecho de un cuerpo de agua; éstas depuran el agua indirectamente por la proliferación de bacterias microbianas que se agrupan en las raíces, siendo éstas las responsables de la purificación del agua. Estas bacterias sedimentan los contaminantes y materia orgánica contenidos en el agua, depurándola de forma natural.

recreación, como senderos para caminar y áreas de descanso. También pueden mejorar la estética de un desarrollo y ser una característica central en un paisaje. Los humedales se pueden construir en diferentes escalas, desde del tamaño de un bloque de casas hasta grandes sistemas regionales; en áreas altamente urbanas, pueden tener una forma de borde duro y ser parte de un paisaje urbano, mientras que en entornos regionales pueden tener más de 10 hectáreas y proporcionar un hábitat significativo para la vida silvestre.

b) Depósitos de detención

Este tipo de infraestructura es construida para almacenar de forma temporal grandes volúmenes de agua que ocurren aguas arriba o en las partes superiores de una cuenca, favorecen la eliminación de contaminantes mediante la sedimentación de éstos y pueden ser compaginados con otros usos de suelo, como los recreativos o localizarse en “zonas muertas”, siendo éstas aquellas zonas que no tienen ningún uso en la actualidad ni proyectado (Figura 5).

Figura 5. Diagrama de Depósito de detención



Fuente: Recuperado de (Fenyk, 2019)

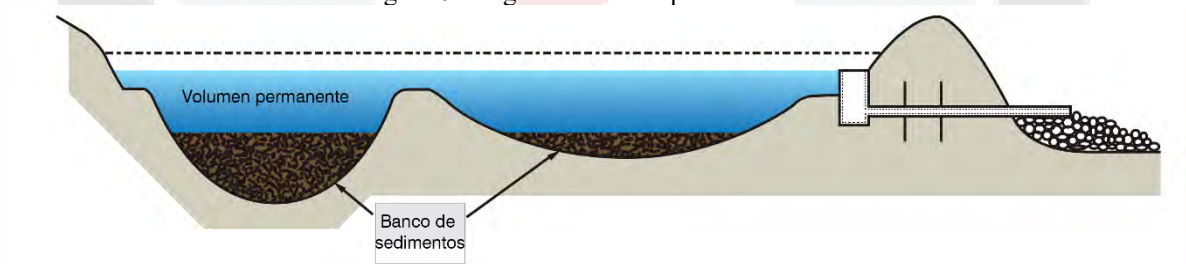
De acuerdo con Abellán (2013a), se recomienda que para un adecuado funcionamiento de este tipo de estructuras el área drenante comprenda una superficie entre 4

y 30 hectáreas, con una pendiente inferior al 15% y el suelo deberá de ser impermeable, ya sea por las características edafológicas y geológicas del sitio o mediante métodos inducidos, como el uso de geomembranas como parte del diseño. Estas estructuras constituyen una alternativa de fuente de abastecimiento para usos urbanos no potables, reduciendo así la demanda hacia la red de abastecimiento; además contribuye a reducir el impacto hacia la red de saneamiento durante lluvias intensas, al retener parte del agua de lluvia, contribuyendo así al control de inundaciones. Una de las ventajas de este tipo de alternativas es que, en el caso de que el agua almacenada no se destine para su consumo directo, los requerimientos de tratamiento son nulos, haciendo la instalación del sistema de aprovechamiento más barata.

c) Estanques de retención

Este tipo de estructuras corresponde a cuerpos de agua artificiales que presentan una lámina de agua permanente de hasta 2 metros de profundidad; su diseño permite retener por periodos largos el agua pluvial captada, además de promover la sedimentación de partículas y contaminantes. Contribuyen de manera importante a la reducción del volumen de escurrimientos y son muy efectivos en la eliminación de sólidos suspendidos y metales pesados (Trapote & Fernández, 2016) (Figura 6).

Figura 6. Diagrama de estanque de retención



Fuente: Recuperado de Stormwater Detention & Retention Pond Safety, (Platinum Ponds, 2015)

La construcción de estanques de retención presenta algunos condicionantes físicos a los que está sujeta la implementación de esta medida de control de la escorrentía los cuales son la disponibilidad de grandes extensiones del área de drenaje, aproximadamente 10 hectáreas, una pendiente longitudinal del perfil no mayor al 15% y que presente un diferencial de cotas entre 1,2 y 1,8 metros entre la entrada y la salida de agua (Abellán, 2013c).

Propuesta de aplicación periurbana

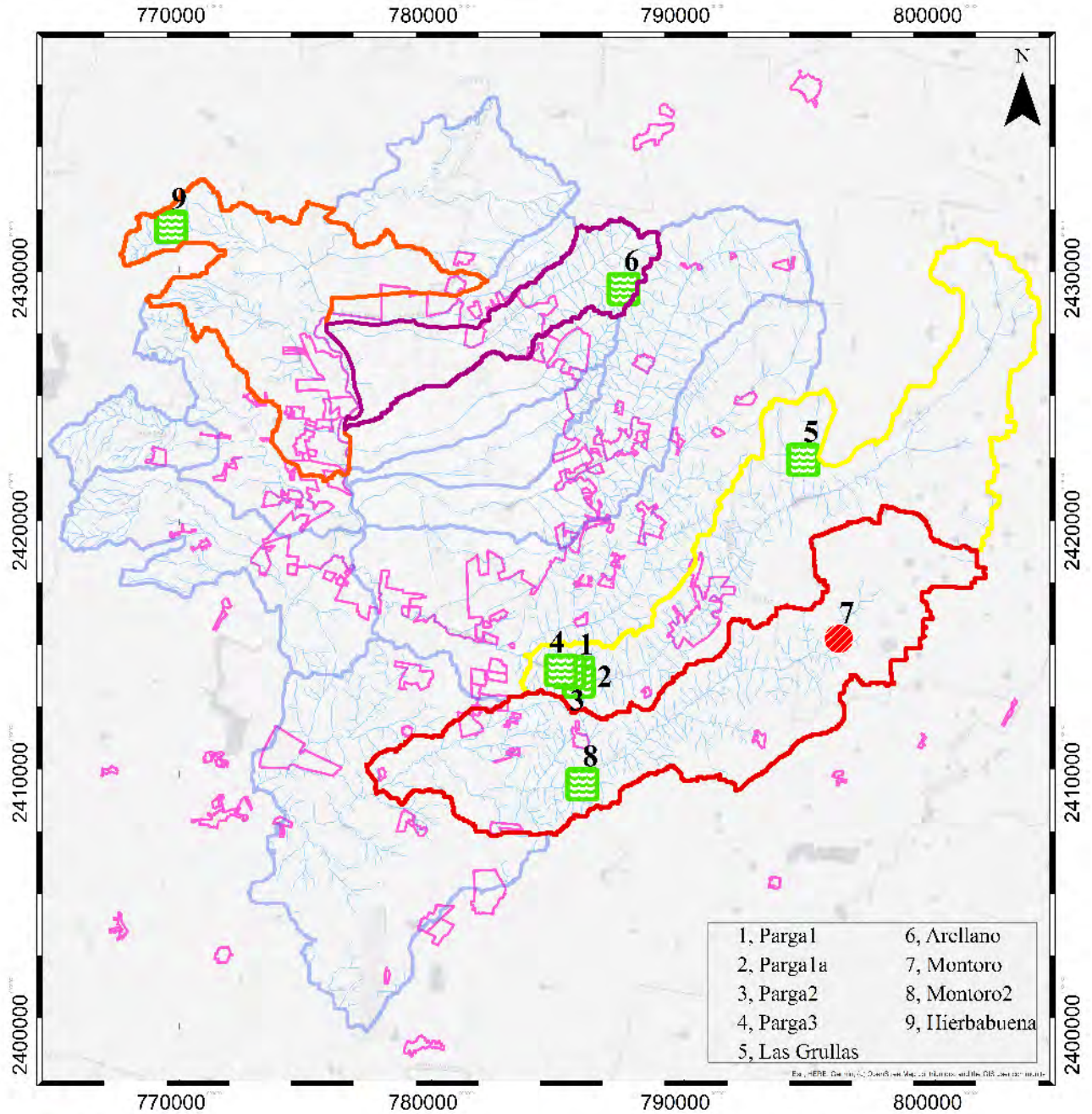
Como parte de las estrategias periurbanas, se plantea la creación de un sistema comprendido por ocho humedales construidos y un estanque de retención que, como se planteó inicialmente, habrán de vincularse a la infraestructura de captación existente en la zona de estudio tanto para aumentar la capacidad de almacenamiento como para potenciar el tratamiento del agua captada mediante el flujo secuencial por pendiente. El sistema de humedales construidos propuesto habría de abarcar 354.43 hectáreas con capacidad para captar y almacenar 23.27 millones de metros cúbicos de agua pluvial Tabla 23, equivalentes a poco más del 40% del consumo anual registrado en el año 2018. Tanto la superficie como la capacidad de almacenamiento pueden ser modificados en función de los objetivos de abastecimiento planteados.

Tabla 23. Extensión y capacidad de sistema de humedales propuestos

No.	Nombre	Superficie (m ²)	Captación (millones de m ³)	%
Total		3,544,288.00	23.27	100
<i>Sistema Presa Parga</i>				
1	Parga 1	100,000.00	0.23	0.97
2	Parga 1a	100,000.00	0.23	0.97
3	Parga 2	40,201.00	0.09	0.39
4	Parga 3	6,283.00	0.01	0.06
5	Las Grullas	400,000.00	0.90	3.87
<i>Sistema La Hacienda-San Nicolás</i>				
6	Arellano	841,262.00	1.89	8.13
<i>Sistema Montoro</i>				
7	Montoro	1,200,000.00	18.00	77.34
8	Montoro2	256,542.00	0.58	2.48
<i>Sistema Hierbabuena</i>				
9	Hierbabuena	600,000.00	1.35	5.80

Fuente: Elaboración propia

Mapa 20. Ubicación de estrategias periurbanas



Simbología

- Zona urbanizada
- Microcuencas
- Rasgos hidrográficos**
- Corrientes de agua

Estrategias periurbanas

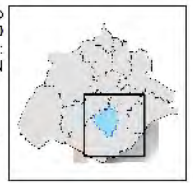
- Humedal
- Estanque de retención

Sistema

- Presa Parga
- La Hacienda-San Nicolás
- Hierbabuena
- Montoro

Elaboró: Laura Sofía Cabañas Melo
 Fecha: enero de 2020
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N

1:97,177.42
 0,0 751,5 3 4,5 6 Km



Fuente: Elaboración propia.

La implementación de las alternativas antes propuestas en sus microcuencas correspondientes dará lugar a la conformación de cuatro sistemas: a) Sistema Presa Parga (PU-SP), b) Sistema Montoro (PU-SM), c) Sistema Hierbabuena (PU-SH) y d) Sistema La Hacienda-San Nicolás (PU-SN) (Mapa 20). En cada caso la ubicación de las estructuras de captación y almacenamiento contribuirá a la reducción del volumen de los escurrimientos de agua pluvial hacia la estructura urbana de la zona de estudio, además de comprender los reservorios más grandes del sistema general de captación pluvial.

a) Sistema Presa Parga (PU-SP)

Como parte de este sistema se propone la construcción de cinco humedales que en conjunto comprenden una superficie de 64.6 hectáreas y presentan una capacidad de captación potencial de aproximadamente 1.5 millones de metros cúbicos (Mapa 21).

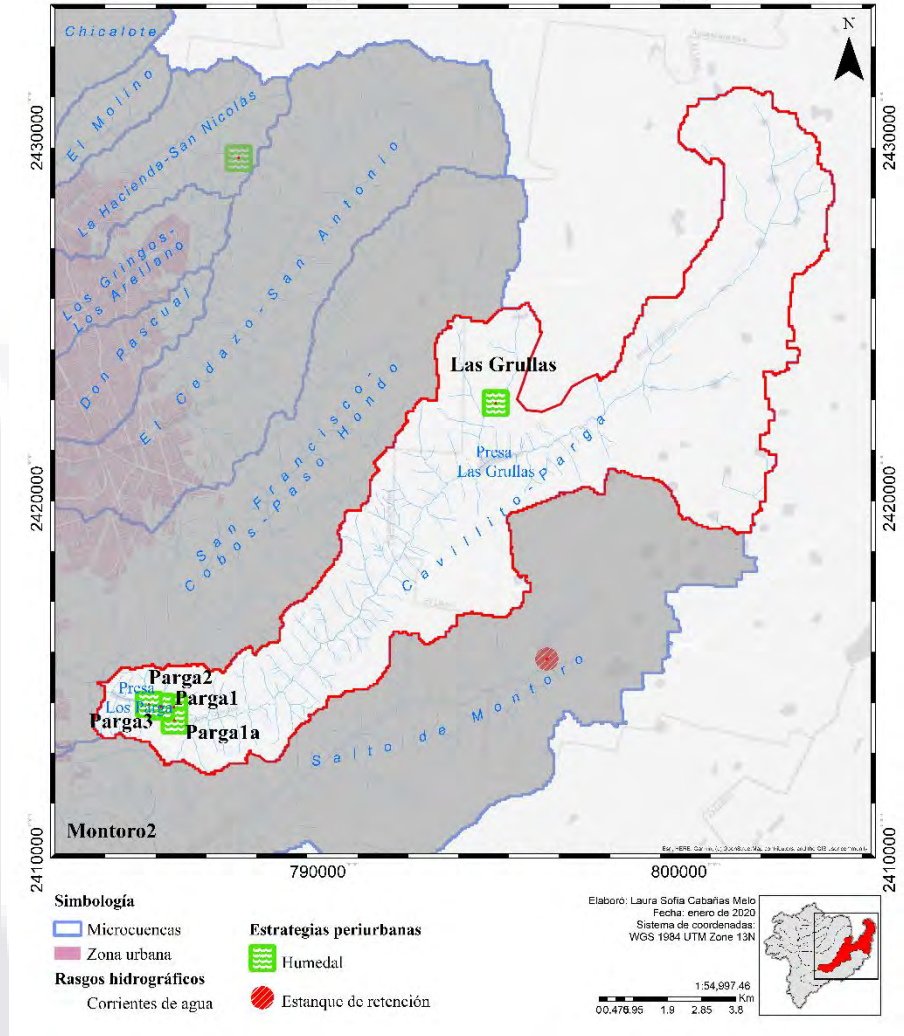
El primero, con una capacidad de 0.97 millones de metros cúbicos, se localiza en la parte superior de la microcuenca Calvillito-Parga vinculada a la presa Las Grullas con el propósito de captar los escurrimientos aguas arriba y aplicar un tratamiento a las aguas captadas mediante su paso por el humedal. El resto de los humedales se ubica en la parte baja de la microcuenca en la zona asociada a la Presa Los Parga, éstos abarcan una superficie de 24.6 has. y podrían almacenar poco más de 550 mil metros cúbicos de agua.

Tabla 24. Composición y superficie de elementos en el Sistema Presa Parga

Nombre	Superficie (m ²)	Captación (millones de m ³)	%
Total	3,544,288.00	23.27	100
<i>Sistema Presa Parga</i>	<i>646,484.00</i>	<i>1.45</i>	<i>6.25</i>
Parga 1	100,000.00	0.23	0.97
Parga 1a	100,000.00	0.23	0.97
Parga 2	40,201.00	0.09	0.39
Parga 3	6,283.00	0.01	0.06
Las Grullas	400,000.00	0.90	3.87

Fuente: Elaboración propia con base en información generada en sistemas de información geográfica.

Mapa 21. Propuesta periurbana. Sistema Presa Parga
790000 800000

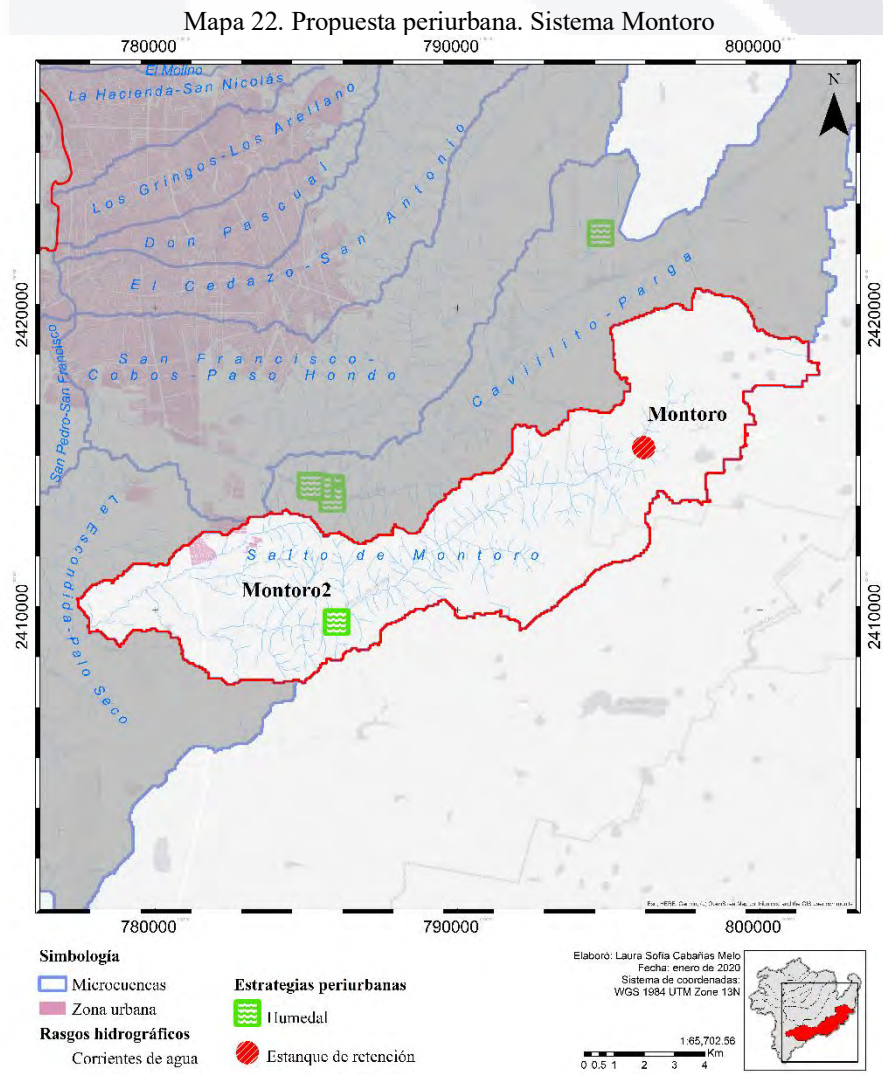


Fuente: Elaboración propia

En todos los casos, las estructuras se vinculan a la corriente principal de la microcuenca, de esta manera se construye un tren de tratamiento mediante el flujo de los escurrimientos a través de los humedales y el cauce natural del arroyo. Una vez tratada, se canalizarían los escurrimientos por gravedad hacia el vaso colector de la Presa Las Grullas en donde se almacenaría temporalmente para dirigir los escurrimientos a través del arroyo Calvillito hasta la Presa Los Parga, de donde se conectaría a una futura red de distribución que diera servicio a las localidades vecinas para uso urbano y las zonas industriales de la zona.

b) Sistema Montoro (PU-SM)

El presente sistema comprende la construcción de un estanque de retención con una extensión de 120 hectáreas y capacidad de almacenamiento para 18 millones de metros cúbicos. Este sistema se ubica aguas arriba en la microcuenca Salto de Montoro en una zona que presenta una depresión natural vinculada a la corriente principal de la microcuenca (Mapa 22). El humedal artificial se encuentra aguas abajo y comprende casi 26 hectáreas y tendría capacidad para almacenar más de 0.570 millones de metros cúbicos de escurrimientos pluviales; en conjunto abarcan una superficie de 145.7 hectáreas y presenta un potencial de captación aproximadamente de 19 millones de metros cúbicos.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Composición y superficie de elementos en el Sistema Montoro

Nombre	Superficie (m ²)	Captación (millones de m ³)	%
Total	3,544,288.00	23.27	100
<i>Sistema Montoro</i>	<i>1,456,542.00</i>	<i>18.58</i>	<i>79.82</i>
Montoro	1,200,000.00	18.00	77.34
Montoro2	256,542.00	0.58	2.48

Fuente: Elaboración propia con base en información generada en sistemas de información geográfica.

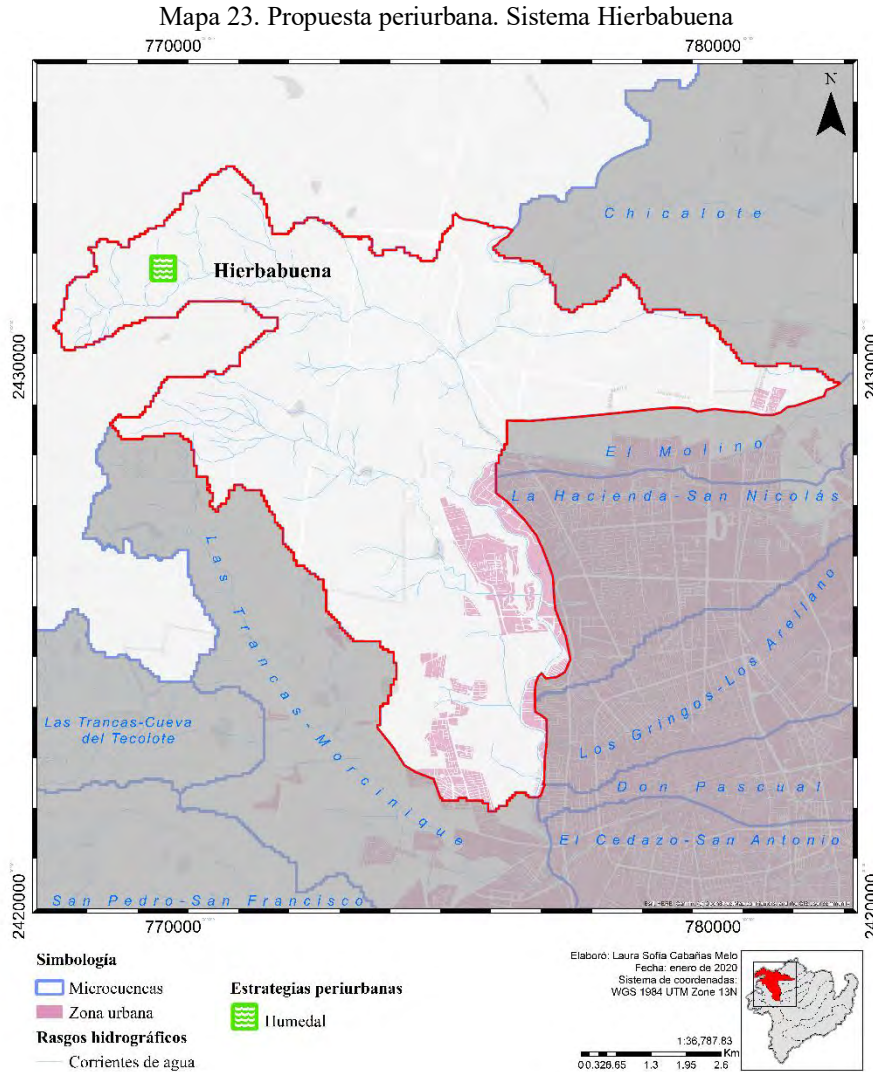
Dada la longitud de la microcuenca, este sistema también presenta las condiciones propicias para implementar un tren de tratamiento iniciando en el estanque de retención y concluyendo en el humedal artificial. Asimismo, sería necesario el desarrollo de una red de abastecimiento para canalizar el agua captada hacia los sitios de aprovechamiento potenciales. La implementación de un tren de tratamiento por gravedad tendría beneficios ambientales a largo plazo al propiciar la limpieza del cauce, la conservación de la ribera, la repoblación vegetal y el mejoramiento de la calidad ambiental de las zonas colindantes.

c) Sistema Hierbabuena (PU-SH)

El Sistema Hierbabuena comprende la construcción de un humedal artificial dentro de una superficie de 60 hectáreas en las cuales se podrá almacenar poco menos de 1.4 millones de metros cúbicos de agua pluvial para su posterior uso urbano (Mapa 23). Si bien este sistema no cuenta con las condiciones topográficas ideales que permitan la implementación de un tren de tratamiento, el propio humedal habrá de proporcionar un tratamiento secundario a las aguas captadas en la zona. Siendo esta una de las zonas que en la actualidad ha presentado un mayor crecimiento por la apertura de nuevos desarrollos habitacionales, es de las zonas que habrán de considerarse prioritarias para la implementación de estrategias de captación como se detallará más adelante.

Si bien la mayoría de las microcuencas con mejores características para implementar estrategias de captación pluvial se encuentran localizadas en la zona oriente de la zona de estudio, la microcuenca Hierbabuena es la única que comparte estas características en la zona poniente. El arroyo La Hierbabuena es uno de los pocos arroyos asociados a la ciudad de

Aguascalientes que presenta mejores condiciones ambientales⁵², de ahí que sea un área importante de conservación y aprovechamiento en materia de recursos hídricos.



Fuente: Elaboración propia

⁵² De acuerdo con el mapa de calidad ecológica del Programa de Desarrollo Urbano de la ciudad de Aguascalientes, el área que comprende la microcuenca Hierbabuena se ubica en la región identificada con una calidad ecológica media por presentar vegetación correspondiente a cultivos de riego y pastizal inducido. La superficie dentro de esta categoría corresponde al 31.2% de la superficie de la ciudad de Aguascalientes. Las únicas zonas identificadas con una calidad ecológica alta son aquellas vinculadas al Río San Pedro, el arroyo Morcini que y manchones de vegetación natural remanente al sur y al norte de la ciudad, éstas representando únicamente el 6.28% de la superficie total. (IMPLAN, 2018:105)

Tabla 26. Composición y superficie de elementos en el Sistema Hierbabuena

Nombre	Superficie (m ²)	Captación (millones de m ³)	%
Total	3,544,288.00	23.27	100
<i>Sistema Hierbabuena</i>	600,000.00	1.35	5.80
Hierbabuena	600,000.00	1.35	5.80

Fuente: Elaboración propia con base en información generada en sistemas de información geográfica.

d) Sistema La Hacienda-San Nicolás (PU-SN)

Para el Sistema La Hacienda-San Nicolás se contempla la construcción de un humedal asociado al arroyo La Hacienda (Mapa 24). La superficie comprende 84 hectáreas y tendría capacidad para almacenar casi 2 millones de metros cúbicos de lluvia. La implementación de estructuras de detención de escurrimientos en esta zona contribuirá a disminuir tanto la velocidad como el volumen de los escurrimientos generados en los lomeríos del oriente de la zona urbana. Dichos escurrimientos están asociados al problema de inundaciones en la zona más baja de la zona de estudio, por lo que, de manera adicional, el desarrollo de infraestructura contribuirá a la disminución de tales conflictos.

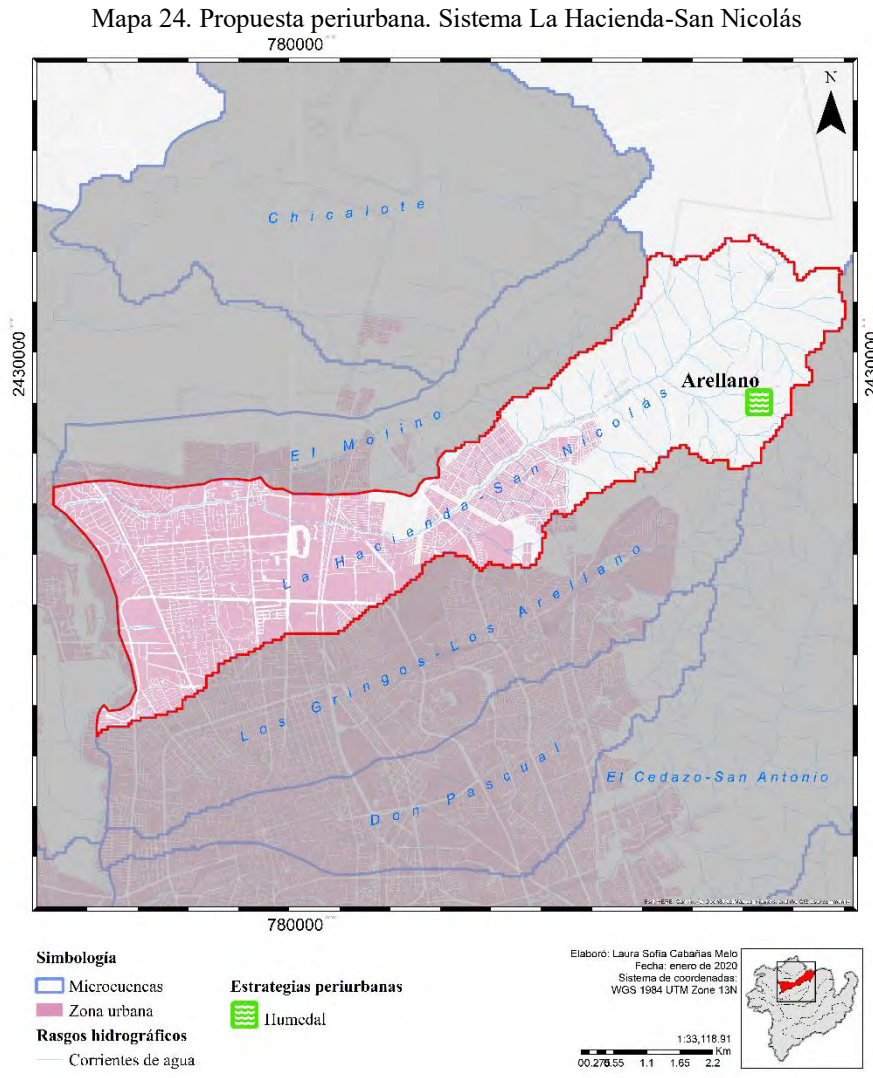
Tabla 27. Composición y superficie de elementos en el Sistema La Hacienda-San Nicolás

Nombre	Superficie (m ²)	Captación (millones de m ³)	%
Total	3,544,288.00	23.27	100
<i>Sistema La Hacienda-San Nicolás</i>	841,262.00	1.89	8.13
Arellano	841,262.00	1.89	8.13

Fuente: Elaboración propia con base en información generada en sistemas de información geográfica.

Tanto en este sistema, como en el resto, de manera asociada se obtendrá como beneficio adicional, por la distribución del flujo captado aguas arriba a través del cauce del arroyo, el saneamiento y regeneración del cauce y su vegetación asociada, brindando un hábitat adecuado a la fauna nativa de la región y mejorando de manera general la calidad y los servicios ambientales que este tipo de ecosistemas brinda de manera natural. La microcuenca en donde se ubica el Sistema La Hacienda – San Nicolás es una de las más

grandes de la zona de estudio y se encuentra en gran parte urbanizada, por lo que los efectos de la recuperación ambiental beneficiarán a gran parte de la población de la ciudad.



Fuente: Elaboración propia

Con la ejecución de los sistemas de captación y tratamiento antes descritos, sumados a la capacidad actual de almacenamiento -en el supuesto de que la total del agua recolectada fuera destinada a usos urbanos- el agua pluvial almacenada representaría una disminución en el consumo hacia la red de abastecimiento del 50% (29.2 millones de m³) del registrado en 2018. Con base en las proyecciones realizadas para el consumo de agua potable en la zona de estudio (Tabla 28), se esperaría que para 2040 el consumo fuera incluso menor al

presentado en 2018 por aproximadamente 36.8 millones de metros cúbicos, contribuyendo a la prolongación de la vida útil del acuífero del Valle de Aguascalientes al disminuir el abatimiento actual (Gráfica 13).

El volumen de consumo presentados en este escenario se obtuvo tomando en cuenta el consumo histórico (CH) registrado en el periodo de 1990 a 2018, la tendencia de consumo (TC) que se obtuvo tomando como referencia las proyecciones de población para la ciudad de Aguascalientes, su distribución por lote tipo de acuerdo a la clasificación de CCAPAMA, y el volumen de captación pluvial (CP) máximo de diseño que se espera obtener de los distintos cuerpos de captación y almacenamiento. De esta manera, el cálculo realizado para obtener el consumo tendencial del escenario ideal es el siguiente⁵³:

$$CT_{id} = TC - CP$$

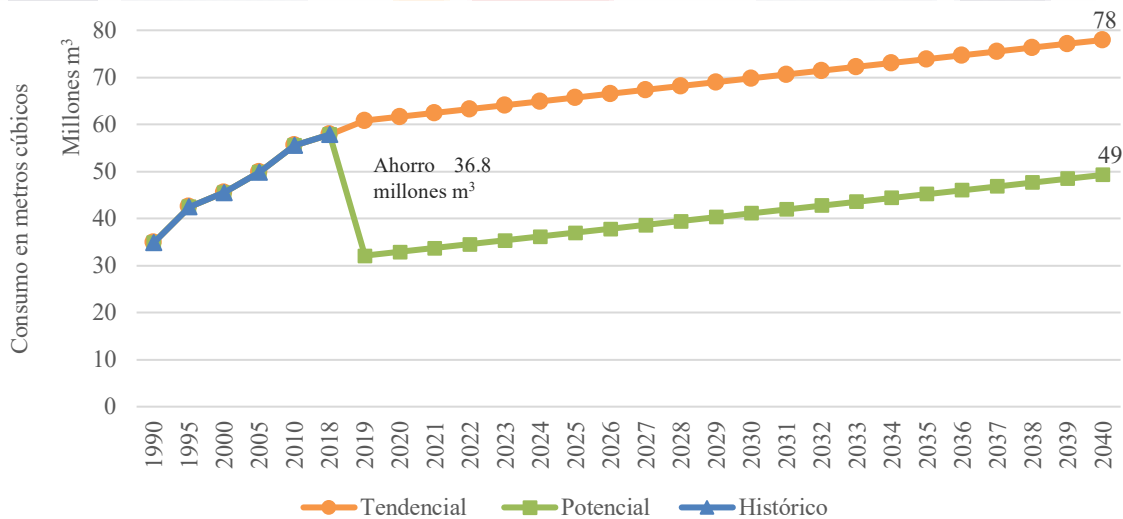
Donde:

CT_{id} = Consumo tendencial del escenario ideal

TC = Tendencia de consumo

CP = Volumen de captación pluvial

Gráfica 13. Escenarios de consumo de agua considerando estrategias periurbanas de captación pluvial en la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia con base en las proyecciones de crecimiento de población y consumo de agua potable para la zona de estudio.

⁵³ El detalle del cálculo se encuentra en el anexo metodológico del trabajo.

Tabla 28. Escenarios de consumo de agua en la zona de estudio (millones de metros cúbicos)

Año	Histórico	Tendencial ^{a/}	Potencial ^{b/}	% ^{c/}
1990	34.94	-	-	-
1995	42.51	-	-	-
2000	45.52	-	-	-
2005	49.81	-	-	-
2010	55.52	-	-	-
2018	57.85	-	-	-
2019	-	60.77	32.11	47.2
2020	-	61.59	32.92	46.5
2021	-	62.41	33.74	45.9
2022	-	63.23	34.56	45.3
2023	-	64.04	35.38	44.8
2024	-	64.86	36.20	44.2
2025	-	65.68	37.01	43.6
2026	-	66.50	37.83	43.1
2027	-	67.31	38.65	42.6
2028	-	68.13	39.47	42.1
2029	-	68.95	40.28	41.6
2030	-	69.77	41.10	41.1
2031	-	70.58	41.92	40.6
2032	-	71.40	42.74	40.1
2033	-	72.22	43.55	39.7
2034	-	73.04	44.37	39.2
2035	-	73.86	45.19	38.8
2036	-	74.67	46.01	38.4
2037	-	75.49	46.82	38.0
2038	-	76.31	47.64	37.6
2039	-	77.13	48.46	37.2
2040	-	77.94	49.28	36.8

a/ Las proyecciones de consumo tendencial fueron calculados siguiendo la ecuación de la línea de tendencia obtenida de los datos de consumo histórico:

$$(y = 817,623,795.19x - 1,590,008,932,145.23).$$

b/ Las proyecciones de consumo potencial se obtuvieron del resultado de la sustracción del volumen total susceptible de captación, resultado de la conjunción de la capacidad actual de los cuerpos de almacenamiento de la zona de estudio y la aplicación de las estrategias periurbanas y (28.6 millones de m³).

c/ Se indica el porcentaje que representa el consumo potencial con respecto al volumen registrado al 2018

Fuente: Elaboración propia con base en datos de consumo de CCAPAMA y cálculos propios.

Si bien las proyecciones de consumo posterior a la implementación de sistemas de almacenamiento también presentan una tendencia de crecimiento lineal, el volumen de agua proyectado para el consumo es significativamente menor y éste puede aún ser modificado en caso de que se implementen mecanismos complementarios o adicionales que permitan reducir un poco más el consumo de agua para uso urbano. Dichos mecanismos se explorarán con más de detalle en el escenario optimista.

Estrategias urbanas

La zona de estudio cuenta con la mayor parte de su territorio ya urbanizado, lo cual deja poco espacio aprovechable para la implementación de estrategias de captación pluvial de grandes dimensiones; siguiendo el mapa de zonificación urbana (Mapa 19) se puede apreciar que el 64% de la superficie no presenta condiciones favorables para la captación pluvial (Tabla 21) y las razones son diversas, desde el sellamiento del suelo debido a la urbanización, la alta demanda de agua subterránea, la concentración de pozos de extracción hasta altas densidades de población. Sin embargo, del 36% restante que presenta condiciones más favorables, los espacios disponibles para implementar estrategias similares a las periurbanas son limitados pues se carece de sitios con la extensión suficiente para desarrollar estrategias de infraestructura de gran tamaño debido al grado de urbanización existente

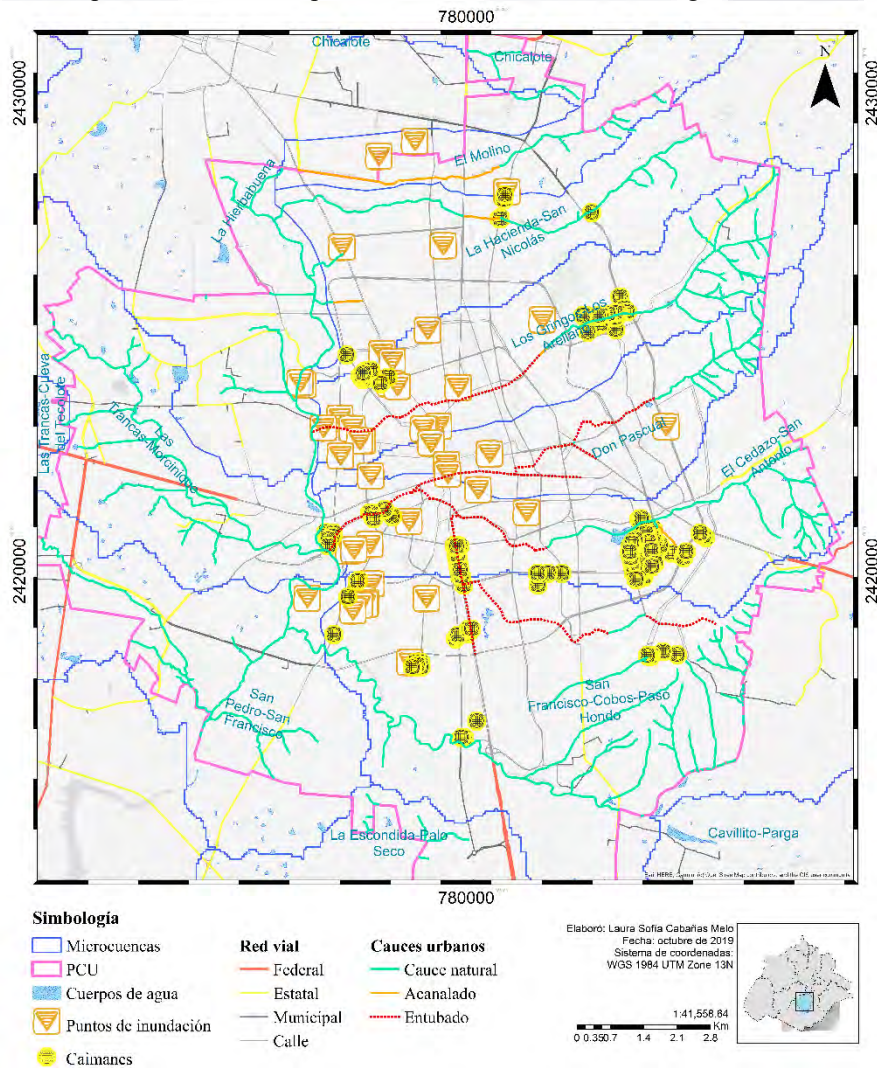
Al contrario de las estrategias periurbanas, la propuesta de infraestructura intraurbana no se concentra en puntos o microcuencas específicos, en cambio se tratará de desarrollar circuitos y corredores de infraestructura verde que brinde servicio a la ciudad en conjunto, tratando de brindar servicio a la población en general, tanto ambientales como urbanos. De esta manera, se contribuirá a solucionar problemáticas asociadas a la disponibilidad de agua de fuentes alternativas para uso urbano, además de aquellas relacionadas con los escurrimientos pluviales mientras se cumplen funciones adicionales que aportan una diversa variedad de servicios socioambientales.

En el caso específico de la zona urbana de la ciudad de Aguascalientes, como se ha mencionado, la falta de un drenaje pluvial independiente del drenaje sanitario es una agravante más para la problemática de las inundaciones pues, al no contar con la capacidad estructural adecuada, la red se satura en eventos de lluvias abundantes. Si bien la red de drenaje cuenta con infraestructura pluvial, su única función es captar y dirigir el agua hacia el drenaje sanitario en puntos específicos de la ciudad o hacia cuerpos colectores vecinos,

como es el caso de las presas El Cedazo y Los Gringos. Hasta la fecha no se han consolidado como una alternativa que dé solución al problema de inundaciones en la ciudad.

Considerando la falta de espacios amplios para la implementación de estrategias de captación pluvial al interior de la estructura urbana de la zona de estudio, las alternativas que se tomarán en cuenta en este apartado habrán de cumplir objetivos puntuales asociados a zonas de conflicto por la acumulación de escurrimientos pluviales, además de fungir como barreras para los escurrimientos generados en la zona de lomeríos ubicada al oriente de la ciudad de Aguascalientes.

Mapa 25. Problemática por inundaciones en la ciudad de Aguascalientes



Fuente: Elaboración propia con base en los puntos de conflicto presentados en (“Lluvias 13 de Julio,” 2019)

La implementación de infraestructura verde se ha postulado como una herramienta eficiente para el control y prevención de inundaciones, aumentando así la capacidad de resiliencia de las ciudades ante adversidades climatológicas. Como se ha mencionado en el capítulo anterior, la tendencia de precipitación pronostica un aumento tanto en volumen como en duración, por lo que la aplicación de medidas preventivas se hace cada vez más necesaria.

Esta red de infraestructura verde se buscará asociarla a los cauces urbanos naturales remanentes al interior de la ciudad y se plantean intervenciones en vialidades específicas, algunas de las cuales fueron construidas sobre antiguos cursos de agua, ahora entubados, por donde el flujo de escurrimientos son lugar recurrente de concentración de agua pluvial y puntos de conflicto por inundaciones. Las vialidades propuestas para intervenir son Gerónimo de la Mora, Av. de los Maestros, Av. Ayuntamiento, Av. Siglo XXI, Av. Rodolfo Landeros, Av. Alameda, Blvd. Colosio, Av. Canal Interceptor, Av. Fundición, Av. Gabriela Mistral – Petróleos Mexicanos y Av. López Mateos por ser las vialidades en donde se concentran los puntos de conflicto a causa de inundaciones en temporada de lluvias, lo cual las convierte en zonas altamente potenciales para desarrollar infraestructura de captación pluvial.

Las estrategias factibles de implementación en zonas urbanas son diversas en función y dimensiones, dependiendo de la aplicación que se le asigne. Entre algunas de las propuestas viables de aplicación se encuentran: cubiertas vegetadas, superficies permeables, superficies permeables con drenaje subterráneo, pozos de infiltración, zanjas de infiltración, drenajes filtrantes o franceses, jardines de infiltración, cunetas verdes y franjas filtrantes. Todos cuentan con la capacidad de recibir aportes de superficies menores a 5 hectáreas por lo que son intervenciones de tipo local.

1. Zanjas de infiltración (zonas de bioretención)

La escorrentía se filtra a través de la vegetación y una capa de material fino a medida que se filtra hacia abajo para posteriormente ser captada a través de tuberías perforadas y canalizada, ya sea hacia las vías fluviales aguas abajo o hacia almacenes para su reutilización. Estas estructuras proporcionan un tratamiento eficiente de las aguas pluviales mediante filtración fina, detención prolongada y cierta absorción biológica, además de proporcionar una función

de transporte y proporcionar cierto retardo de flujo para eventos frecuentes de lluvia (NRM North, 2012).

Una zanja de retención es capaz de captar toda, o casi toda, el agua precipitada que cae sobre la estructura y su área de drenaje asociada. Para determinar la capacidad de un elemento de bioretención se requiere contar con información del área y profundidad de la estructura, el área de drenaje aportadora de escurrimientos, precipitación promedio anual y el porcentaje esperado de retención. Con tales datos se calcula el volumen potencial de escurrimiento captado (RTE) mediante prácticas de bioretención y/o infiltración (Center for Neighborhood Technology, 2010). Siendo así, el cálculo para obtener dicho volumen se realiza de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$RTE = [PP * (AE + AD) * \% RE]$$

Donde

RTE = retención total de escurrimientos

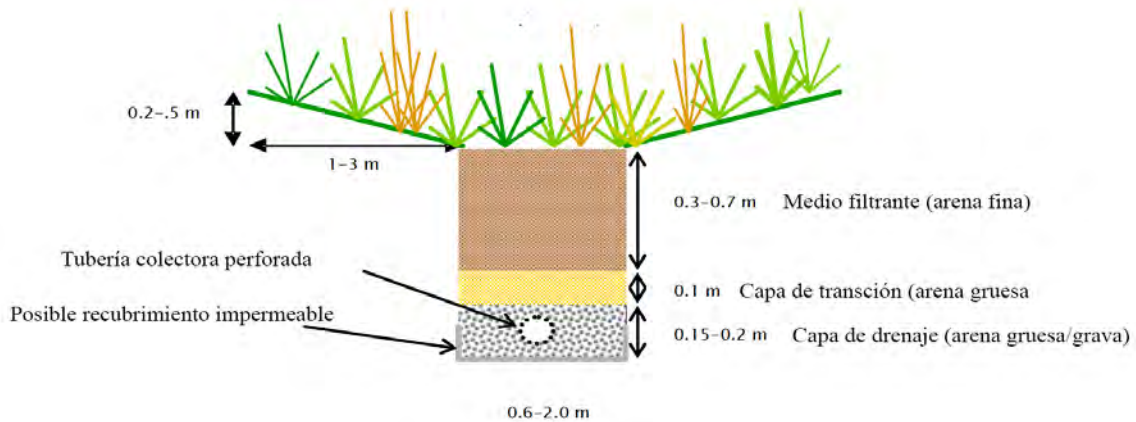
PP = precipitación media anual

AE = superficie que será ocupada por la estructura

AD = área drenada

%RE= porcentaje de retención esperado

Ilustración 1. Sección de ejemplo del sistema de bioretención



La vegetación previene la erosión, rompe continuamente el suelo a través del crecimiento de las plantas para evitar la obstrucción y proporciona biopelículas en las raíces de las plantas a las que los contaminantes pueden adherirse. El proceso de filtración generalmente mejora con vegetación más densa y alta.

2. Cunetas verdes

Esta estrategia consiste en estructuras lineales que pueden ser canales lineales vegetados, acolchados o de xeropaisajismo en zonas áridas, las cuales proporcionan retención e infiltración de aguas pluviales; suelen tener forma trapezoidal, base ancha (> 0,5 m) y talud tendido; están diseñadas para almacenar y transportar superficialmente los escurrimientos generados en las zonas impermeables contiguas. Deben generar bajas velocidades de escurrimiento (< 1-2 m/s) para facilitar la sedimentación de partículas en suspensión con el fin de obtener una eliminación eficaz de contaminantes, para lo cual es indispensable estar densamente vegetadas (Trapote & Fernández, 2016). Dependiendo del diseño, las aguas colectadas pueden ser infiltradas o canalizadas a un cuerpo colector para su aprovechamiento posterior, por medio de tuberías.

Ilustración 2. Ejemplo de cuneta verde.



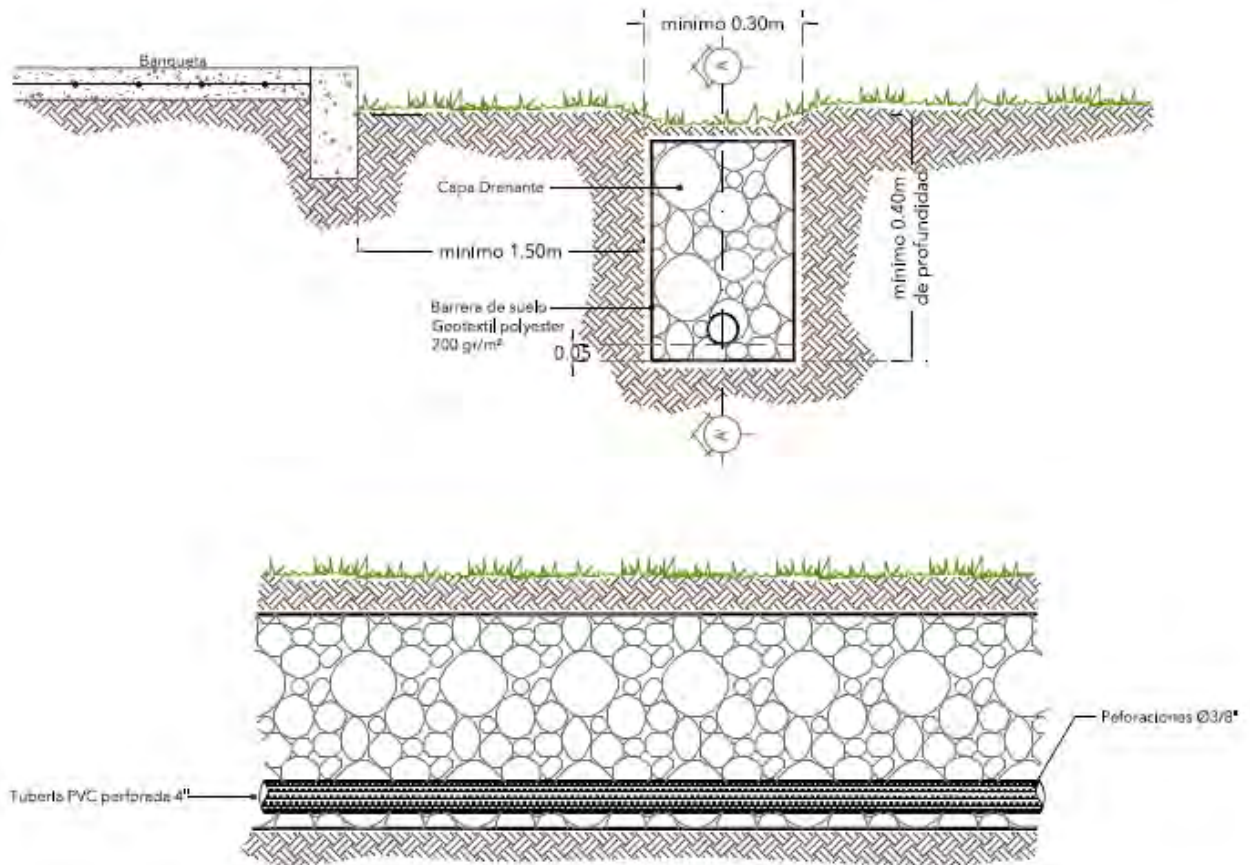
Fuente: drenajeyurbanosostenible.org

Su implementación mejora de la biodiversidad en el entorno urbano y de la calidad del aire debido a la vegetación; están diseñados como una alternativa a las tuberías tradicionales de aguas pluviales, integradas en estacionamientos y vialidades. La eficiencia de este tipo de estructuras puede ser medida aplicando el mismo cálculo utilizado para cuantificar la retención de escurrimientos en las zanjas de infiltración.

3. Drenaje francés

La construcción de un drenaje francés consiste en una zanja rellena de rocas diseñada para permitir la infiltración de agua pluvial a través de sus lados, fondo y extremos; éstas pueden ser recubiertas de geotextil y rellenas de material filtrante (para asegurar su funcionalidad a largo plazo); es común que en este tipo de estructuras sea incluido un conducto inferior de transporte (Abellán, 2013b).

Ilustración 3. Ejemplo de drenaje francés.



Fuente: (IMPLAN Hermosillo, 2017:130)

Están diseñados para captar y filtrar la escorrentía de superficies impermeables contiguas, permiten la infiltración y favorecen la laminación de la escorrentía. Se recomienda su implementación en zonas con suelos bien drenados para mejores resultados. Se construyen haciendo una excavación lineal (como mínimo de 30 cm de ancho por 40 cm de profundidad); por estar relleno de rocas, un drenaje francés tiene una captación de agua del 40% del volumen total de la capa drenante. No obstante, puede incluirse en el diseño una tubería perforada para aumentar la capacidad de captación y/o mejorar el flujo cuando se busca conducir agua (IMPLAN Hermosillo, 2017).

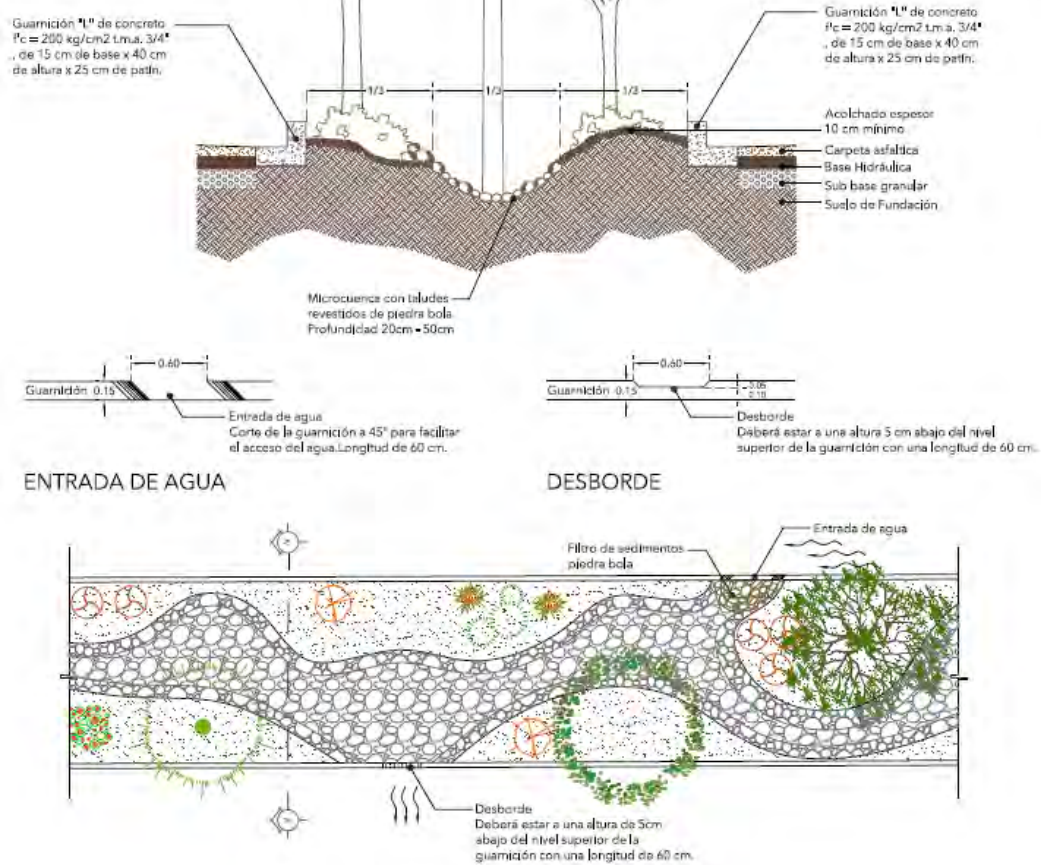
4. Franjas filtrantes (jardín microcuenca)

Éstas son jardines con depresiones conformadas en el terreno para que alcancen un nivel inferior que el de la superficie adyacente para captar agua de lluvia, se trata de superficies cubiertas de vegetación, con una pendiente pequeña, que provoca un flujo lento de la lámina de escorrentía superficial. Tienen la capacidad de tratar el agua mediante procesos físicos, químicos y biológicos, asegurando un efecto filtro gracias a la cobertura vegetal, que puede ser desde hierba hasta arbustos (Trapote & Fernández, 2016). Además del tratamiento de la escorrentía, que se realiza mediante el filtrado a través de la vegetación, se produce una disminución de la velocidad del agua, lo cual facilita tanto la sedimentación de otros contaminantes como la infiltración del agua.

Las microcuencas pueden construirse en espacios contenidos o extenderse longitudinalmente para formar canales o arroyos de retención e infiltración de agua pluvial (IMPLAN Hermosillo, 2017). Es la técnica de más bajo costo. Cuando se lleva a cabo en obra vial nueva, el costo es equiparable al de construir arriates comunes.

Se utilizan principalmente es en los márgenes o camellones de las carreteras en los que se disponga de suficiente espacio, ya sea como sistema aislado o como conexión a otro tipo de infraestructura, fungiendo incluso como pretratamiento. El volumen de agua susceptible de captura puede ser calculado mediante el método utilizado para las zanjas de infiltración.

Ilustración 4. Ejemplo de franja filtrante.

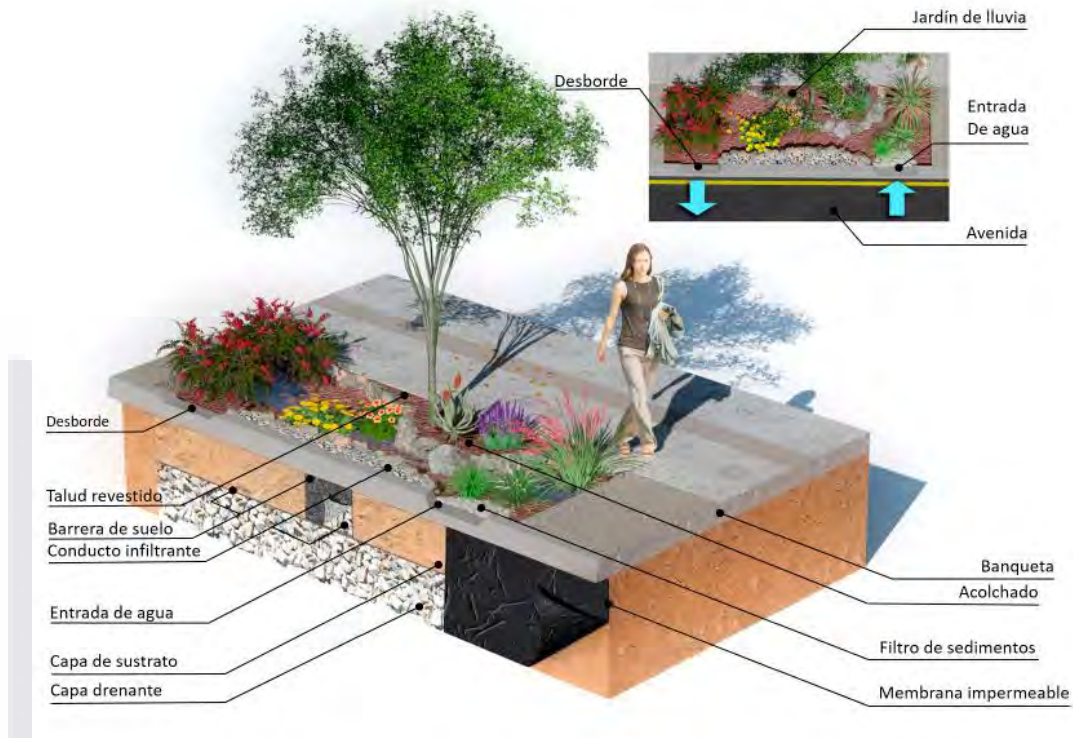


Fuente IMPLAN Hermosillo, (2017:94)

5. Jardines de infiltración (jardín de lluvia)

Presentando una estructura similar al Jardín Microcuenca, este tipo de estructuras tienen una capacidad de captación de agua pluvial mayor a los primeros a razón de contar adicionalmente con microcuencas además de capas permeables en niveles inferiores. Los jardines de infiltración permiten un tratamiento de la escorrentía a través de la vegetación y suelos preparados o autóctonos; si no disponen de un suelo preparado específicamente, se denominan jardines de lluvia, en donde tienen lugar procesos de interceptación de la lluvia, evapotranspiración, infiltración y eliminación de contaminantes que contribuyen así a la reducción de la escorrentía y su contaminación. Este tipo de infraestructuras pueden ser implementadas en una gran variedad de espacios urbanos debido a la flexibilidad que brinda su diseño y construcción (IMPLAN Hermosillo, 2017)

Ilustración 5. Ejemplo de jardín de lluvia



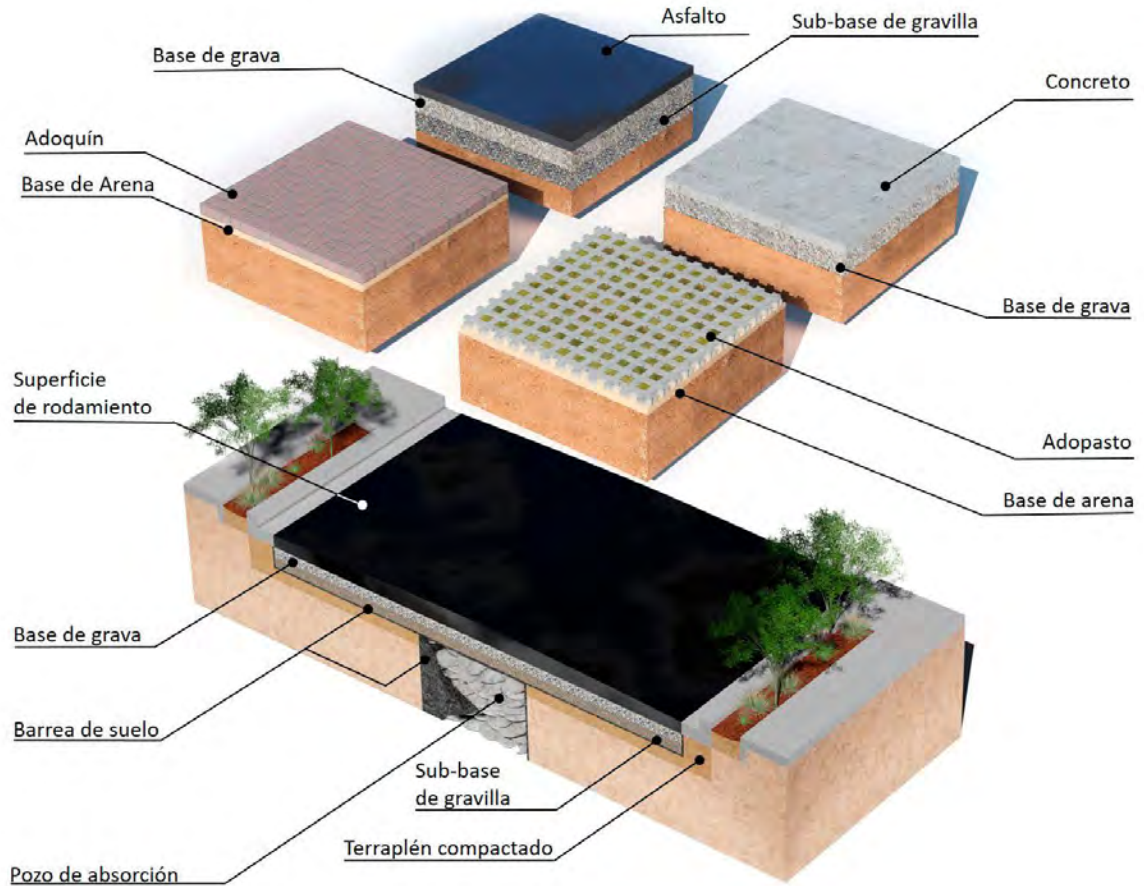
Fuente IMPLAN Hermosillo, (2017:102)

Como todas las alternativas encaminadas a la bioretención de escurrimientos pluviales mediante la retención de agua a través de la vegetación del sitio, el volumen de escurrimientos que pueden ser percibidos con la implementación de este tipo de estructuras es calculado con la misma ecuación de las zanjas de infiltración antes descrita.

6. Pavimento permeable

Los pavimentos permeables son superficies que, al mismo tiempo que permiten el tránsito de peatones o de tráfico rodado, permiten la infiltración vertical de los escurrimientos pluviales, abriendo la posibilidad de recargar los acuíferos, o bien sea captada y retenida en capas subsuperficiales para su posterior reutilización. Están conformados por materiales porosos que permiten el paso del agua a través de su estructura a la vez que ofrecen el mismo soporte estructural que los pavimentos tradicionales.

Ilustración 6. Ejemplo de pavimentos y aceras permeables



Fuente IMPLAN Hermosillo, (2017:136)

Con las superficies permeables, además de aminorar el caudal punta de escorrentía también se mejora la calidad del agua debido a la eliminación de aceites, grasas, metales, sólidos en suspensión, entre otros, presentes que el agua de lluvia después de su tránsito sobre el pavimento. Los pavimentos permeables a base de adoquín u otros materiales permiten la filtración del agua a través de sus juntas, siendo ideales para utilizarse en estacionamientos o cruces de calles debido a la baja resistencia de carga de estos materiales. Es recomendable colocar pozos de absorción a cada 50 metros para mejorar la infiltración de agua y asegurar la estabilidad de la estructura de pavimento (IMPLAN Hermosillo, 2017).

Para cuantificar el agua capaz de ser retenida por el pavimento permeable, es necesario conocer la precipitación anual promedio, el área que será ocupada por la infraestructura verde y el porcentaje de precipitación que sería capaz de retener. Dependiendo de la intensidad de la precipitación, algunos estudios han demostrado que el pavimento

permeable es capaz de infiltrar tanto como 80 a 100% de la lluvia que cae en un sitio (Center for Neighborhood Technology, 2010).

La siguiente ecuación permite establecer la cantidad total de escurrimientos que la instalación de pavimento puede reducir anualmente. Al igual que con los cálculos de bioretención e infiltración, el porcentaje de lluvia que esta alternativa puede captar depende de los metros cuadrados disponibles y los tiempos máximos de retención establecidos para un sitio específico; de esta manera se obtiene que:

$$RTE = [PP * AE * \% RE]$$

Donde

RTE = retención total de escurrimientos

PP = precipitación media anual

AE = superficie que será ocupada por la estructura

%RE= porcentaje de retención esperado

7. Parque hídrico

Este tipo de equipamiento se define como parques inundables, los cuales ocupan grandes superficies que durante la mayor parte del año actúan como un parque normal, pero que actúan como grandes cuerpos receptores durante los eventos de lluvia y reciben los escurrimientos provocados aguas arriba. Los parques hídricos tienen la capacidad de mitigar inundaciones, infiltrar agua al acuífero y captar agua pluvial para abastecimiento de la población, además de proveer espacios públicos (Perló Cohen & Castro-Reguera, 2017).

Estos parques contemplan la mezcla de distintas alternativas de infraestructura verde que en conjunto permiten captar, almacenar y dar tratamiento a grandes volúmenes de agua pluvial al mismo tiempo de brindar espacios de esparcimiento que mejoran la calidad ambiental y la salud de la población asociada al área a intervenir.

Ilustración 7. Parque hídrico La Quebradora, en Iztapalapa (CDMX).

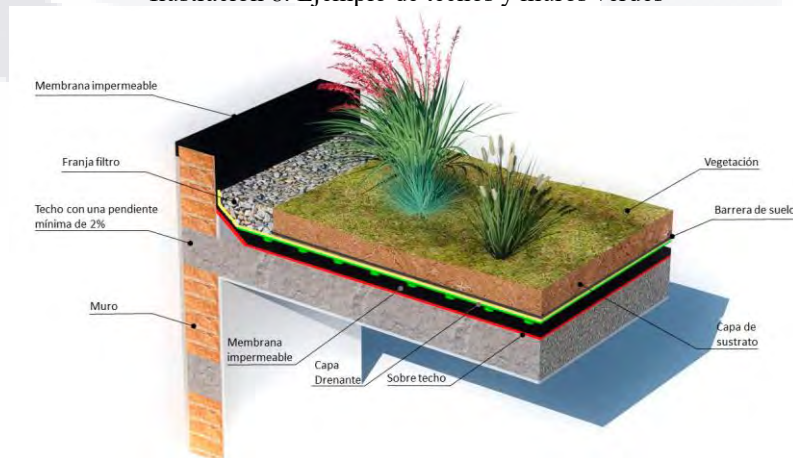


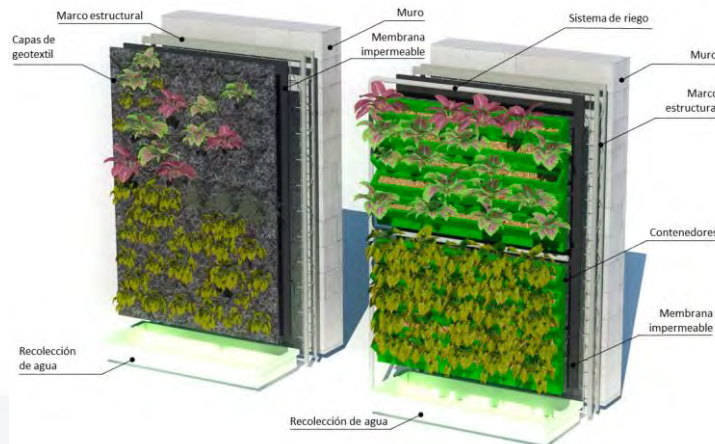
Fuente: greendates.com.mx/la-quebradora-primer-parque-hidrico-del-pais/

8. Cubierta vegetada (techos o muros verdes)

En esta categoría se incluyen tanto los techos como los muros verdes, los cuales son sistemas multicapa con cubierta vegetal que recubren tejados y terrazas de todo tipo; están pensadas para interceptar y retener las aguas pluviales, reduciendo el volumen de escurrimiento y atenuando el caudal pico, además, retienen contaminantes, actúan como aislante térmico en edificios y ayudan a compensar el efecto “isla de calor” que se produce en las ciudades.

Ilustración 8. Ejemplo de techos y muros verdes





Fuente IMPLAN Hermosillo, (2017:159, 171)

Los techos verdes consisten en instalaciones que permiten el desarrollo de vegetación en las superficies superiores de cualquier edificación, no es simplemente una cubierta con macetas sino una técnica que requiere la implementación de un tratamiento especial en la techumbre que asegure la integridad de la estructura, proteger la superficie y generar los beneficios correspondientes para quienes habitan el lugar. Se compone de una serie de capas que incluyen: vegetación, sistema de riego, capa de sustrato, barrera de suelo, drenaje (capa drenante), y membrana impermeable.

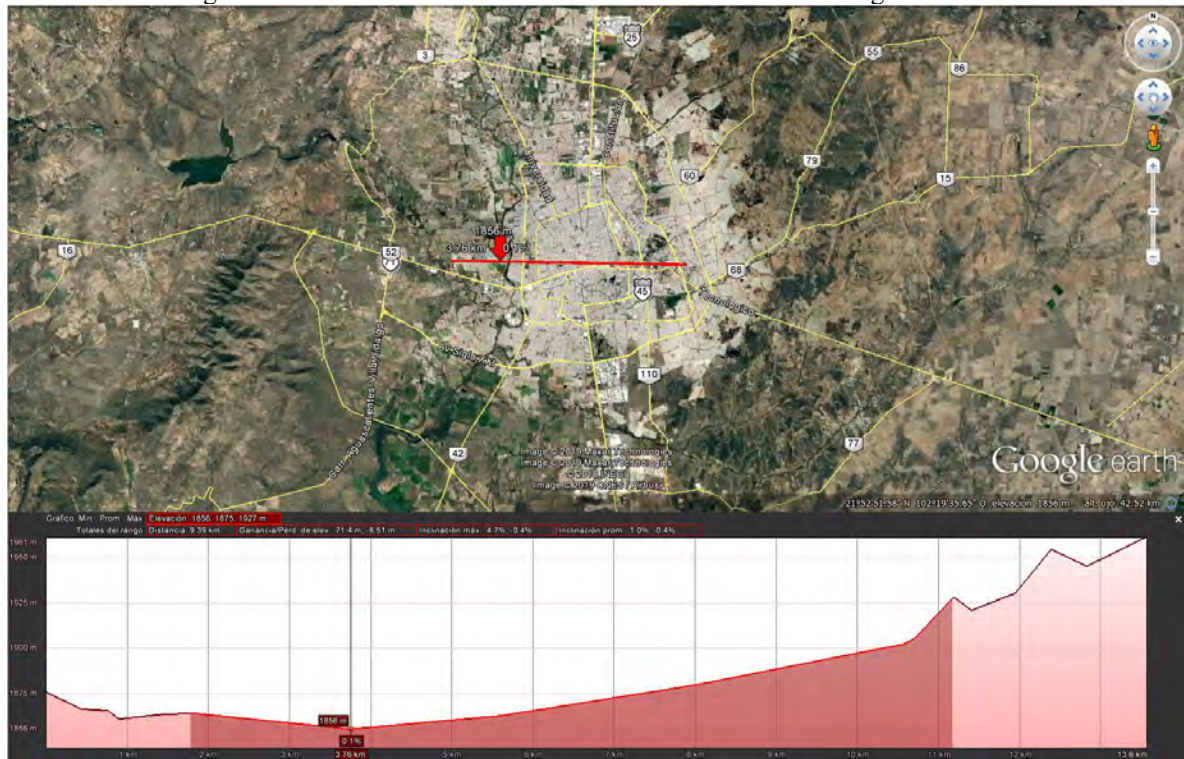
Por su parte, los muros verdes permiten el desarrollo de vegetación en superficies verticales soportados en paredes exteriores o interiores de edificaciones, aunque pueden ser estructuras independientes con soporte propio; son similares a los techos verdes en cuanto los beneficios que aportan a las edificaciones. Este sistema de drenaje, además de reducir los picos y volúmenes de escorrentía, provoca una gran reducción de los sólidos en suspensión y una moderada eliminación de los metales pesados transportados a la red de drenaje (IMPLAN Hermosillo, 2017).

Para cuantificar la escorrentía de aguas pluviales retenidas de los techos verdes, es necesario conocer la precipitación anual promedio, la superficie a ocupar por la implementación de infraestructura verde y el porcentaje de precipitación que la estructura puede retener. Estudios empíricos sobre el rendimiento de la retención de aguas pluviales en techos verdes han encontrado que éstos pueden retener entre 40 y 80 % de la precipitación anual; la ecuación para calcular el volumen de retención total de escurrimientos es la misma utilizada para el caso de las zanjas de infiltración.

Propuesta de aplicación urbana

Para el desarrollo de las estrategias intraurbanas se plantea la implementación de un conjunto de alternativas de infraestructura verde, localizadas sobre vialidades importantes de la ciudad de Aguascalientes de tal manera que en conjunto consoliden una serie de circuitos y corredores que maximicen los servicios socioambientales que pueden ofrecer.

Figura 7. Perfil de elevación de la zona urbana de la ciudad de Aguascalientes



Fuente: Elaboración propia con información de Google Earth, 2019.

Como se puede apreciar en la Figura 7, el perfil de elevación de la zona de estudio ilustra de manera gráfica cómo es que la estructura topográfica del área de estudio hace factible que los escurrimientos pluviales se acumulen al centro de la estructura urbana por su morfología irregular, sobre todo en la zona central, que impide el tránsito continuo del flujo desde los lomeríos del oriente hacia el poniente en el río San Pedro por ser la zona más baja. Esta última es una situación que tiene especial relevancia sobre todo en las zonas en donde los cauces naturales de los arroyos, que antes cruzaban la ciudad de oriente a poniente, han sido modificados y que, actualmente, cuentan con tramos acanalados, como es el caso del

arroyo El Molino, La Hacienda y Los Arellano, o fueron entubados casi en su totalidad al interior de la zona urbana como el arroyo Don Pascual, Los Arellano y El Cedazo.

La propuesta de estrategias intraurbanas tiene dos grandes funciones, 1) captar los escurrimientos pluviales previo a su ingreso a la estructura urbana y 2) reducir el flujo para favorecer la retención y evitar inundaciones. Para tal efecto se tiene considerado la implementación de ocho alternativas de infraestructura verde: 1) bioretención, 2) cunetas verdes, 3) drenaje francés, 4) franjas filtrantes, 5) jardines de infiltración, 6) pavimentos permeables para avenidas, calles y camellones, 7) un parque hídrico al norte de la ciudad y 8) un estanque de retención en el parque La Pona.

El sistema de infraestructura urbana comprende una superficie de 409 hectáreas que tendría la capacidad de captar hasta 1.55 millones de metros cúbicos de agua pluvial, representando aproximadamente el 2.68% del consumo anual de agua potable registrado para la ciudad de Aguascalientes en el año 2018; de la misma manera que en el caso de las estrategias periurbanas, el volumen de captación dependerá directamente de la superficie en la cual sea implementada algún tipo de infraestructura verde.

Tabla 29. Extensión y capacidad de sistema de infraestructura verde urbana propuesta

Estrategia	Superficie (m²)	RTE (m³)	%
Total	4,09	55	100.00
Franjas filtrantes	576,000	0.24	15.20
Cuneta verde	80,203	0.04	2.43
Drenaje francés	9,175	0.01	0.35
Bioretención	7,619	0.01	0.34
Pavimento permeable ^{a/}	3,248,955	1.22	78.90
Parque hídrico ^{a/}	125,518	0.03	1.97
Estanque de retención	10,000	0.02	1.29
Cubiertas permeables	33,927	0.01	0.62
Jardines de infiltración	46,042	0.01	0.80

a/ Tanto la propuesta de pavimento y superficies permeables, como el desarrollo del parque hídrico, comprenden una propuesta para zonas específicas de la ciudad únicamente con fines de cálculo de escurrimientos, el volumen de agua susceptible de retención habrá de variar dependiendo de la superficie que se seleccione para ser intervenida.

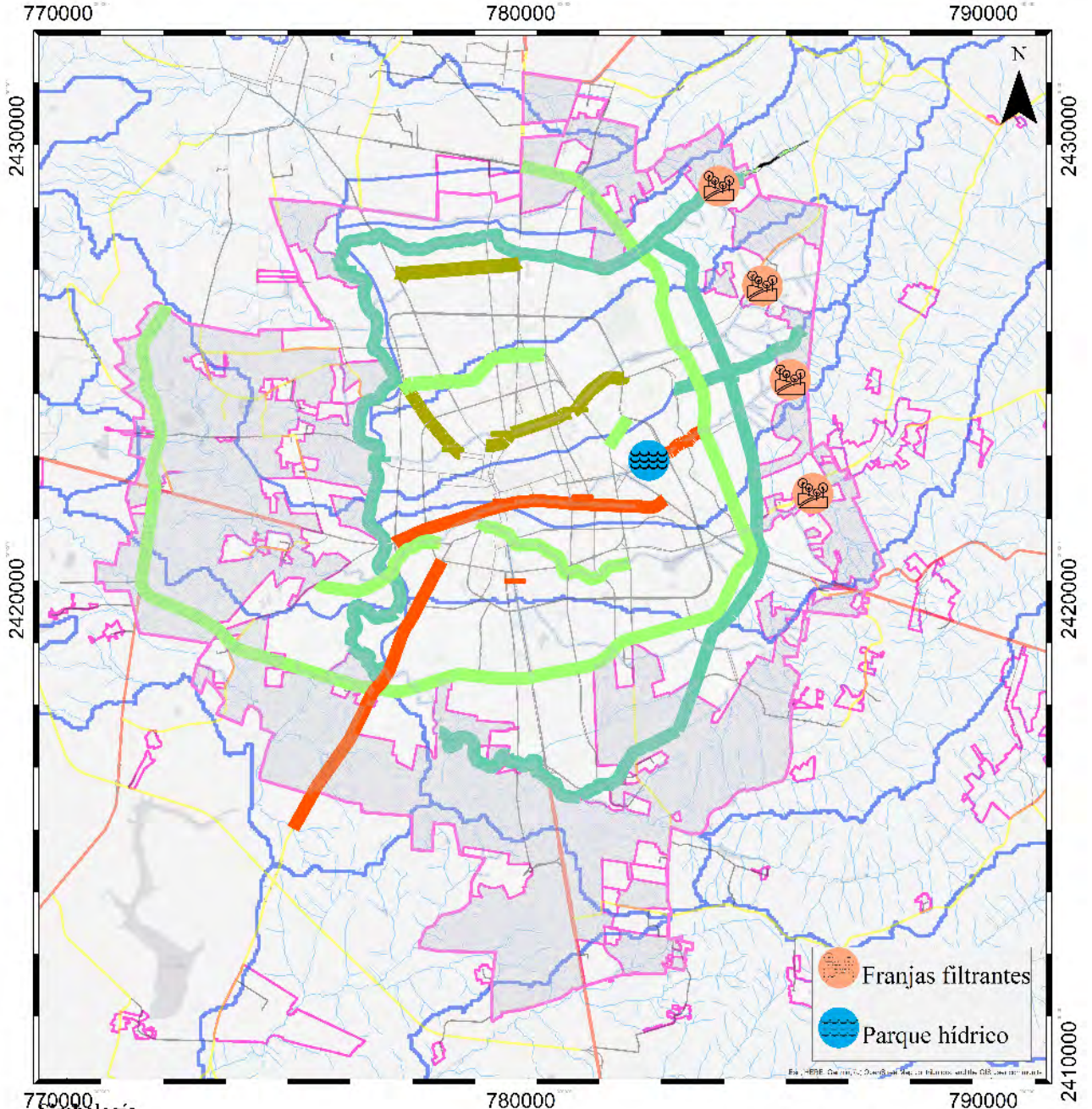
Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados por tipo de infraestructura y su potencial de retención de escurrimientos

En este sentido, se propone la construcción de franjas filtrantes en la base de los lomeríos del oriente de la ciudad, siguiendo las curvas de nivel, en los espacios remanentes sin urbanizar; las microcuencas involucradas son La Hacienda-San Nicolás, Los Gringos-Los Arellano, Don Pascual y El Cedazo-San Antonio (véase, Mapa 26). En conjunto, estas estructuras componen la primera línea de captación de escurrimientos, mismos que se canalizarán hacia las corrientes principales de cada microcuenca para dirigirlos a alguno de los cuerpos de almacenamiento con los que ya cuenta la ciudad, siendo el caso de las presas El Cedazo y Los Gringos, o en su caso, hacia el parque hídrico y el estanque de retención propuestos (Mapa 26).

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Aguascalientes, se tiene proyectado el desarrollo de un Corredor Ecológico Recreativo y Deportivo destinado para “movilidad no motorizada y motorizada de baja velocidad; incluye andadores peatonales y ciclovías bidireccionales, carriles exclusivos para el transporte público, mejoramiento/aumento de las áreas verdes, y en su caso, construcción de equipamiento deportivo y/o recreativo” (IMPLAN, 2018). En dicho corredor se propone la construcción de cunetas verdes en todo el trazo, de manera que fungiría como una segunda barrera contra escurrimientos, mismos que serían captados en las tuberías subterráneas para su posterior conducción hacia las zonas de almacenamiento.

Este circuito podría consolidarse como la base para el trazo y construcción de una red de drenaje pluvial, independiente del drenaje sanitario, que permitiera la captación y distribución del agua pluvial; considerando que la mayoría de las estrategias de infraestructura verde proporcionan un tratamiento secundario a los escurrimientos, el agua que circulara por la red pluvial podría ser apta para su uso en riego de áreas verdes o cualquier uso urbano no potable, a reserva de realizar los análisis de calidad de agua correspondientes.

Mapa 26. Ubicación de estrategias intraurbanas



<p>Simbología</p> <ul style="list-style-type: none"> Zona urbanizada Microcuencas Rasgos hidrográficos Corrientes de agua 	<p>Red vial</p> <ul style="list-style-type: none"> Federal Estatal Municipal Calle 	<p>Estrategias urbanas</p> <ul style="list-style-type: none"> Bioretención Cuneta verde Drenaje francés Jardines de infiltración Pavimento permeable 	<p>Elaboró: Laura Sofia Cabañas Melo Fecha: enero de 2020 Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 13N</p> <p style="text-align: right;">1:52,956.84 Km</p> <p style="text-align: center;">0 0.450.9 1.8 2.7 3.6</p>	
--	--	--	---	--

Fuente: Elaboración propia.

Se propone la construcción de corredores transversales al circuito verde, atendiendo aquellas en donde se concentran los puntos de conflicto por inundaciones. Debido a que no todas cuentan con espacios amplios para el desarrollo de infraestructura, se plantea la implementación de drenes franceses, jardines de infiltración y zonas de bioretención, las cuales pueden ser intercambiadas o implementadas de manera indistinta en las zonas propuestas.

Se plantea el uso de pavimento y superficies permeables en las zonas asociadas a los arroyos y aquellas delimitadas con una política de conservación de acuerdo con la Zonificación Secundaria del PDUCA 2040. Sin embargo, se recomienda su implementación en áreas amplias tales como explanadas, estacionamientos y áreas recreativas, en donde el potencial de captación pueda ser aprovechado durante los eventos de precipitación. Se propone su implementación en los nuevos desarrollos habitacionales proyectados para el poniente y sur de la zona urbana, a fin de evitar el prolongado sellamiento del suelo y las problemáticas asociadas que conlleva, de manera que las nuevas zonas habitacionales fueran planeadas desde una perspectiva de resiliencia y sensibilidad al agua.

Por otra parte, el estanque de retención propuesto al interior de la zona correspondiente a La Pona comprende el desarrollo de una hectárea con una profundidad de 2 metros para que sea funcional siguiendo los criterios definidos en la sección anterior de este capítulo. Al igual que el resto de las estrategias, el estanque de retención cumpliría funciones de captación y recepción de escurrimientos que fueran canalizados de los corredores antes planteados, colocándose como un nodo dentro de la red de estrategias intraurbanas.⁵⁴

Mediante la implementación de las alternativas de infraestructura urbana antes descritas, el agua pluvial susceptible de ser captada representaría un ahorro de más de 1.5 millones de metros cúbicos anuales de agua subterránea; este ahorro incrementa al sumarle

⁵⁴ Existen alternativas adicionales que pudieran contribuir al adecuado funcionamiento de la red pluvial propuesta, como el uso de sensores en las tuberías e implementos que permitan realizar un monitoreo constante de la red y poder identificar fugas o desperfectos en las instalaciones. A manera de ejemplo de lo anterior se plantea el caso de las ciudades de Doha, en Sao Paulo, y Pekin en donde el uso de sensores han permitido administrar eficientemente el agua al reducir la pérdida de líquido por fugas en una razón de entre el 40 y 50% (Frey & Osborne, 2017).

el volumen captado mediante las estrategias periurbanas, de esta manera se lograría un ahorro de más del 50% del volumen total de agua extraída registrado en el 2018, haciendo aún más efectivo el proceso de tránsito hacia una Ciudad Sensible al Agua. Si bien la implementación de infraestructura intraurbana no plantea un incremento sustancial en el volumen potencial de captación pluvial, presenta beneficios adicionales relacionados con la prevención de inundaciones, reducción de la isla de calor, mejora de la calidad ambiental al interior de la estructura urbana y el aumento de áreas verdes públicas para beneficio de la población.

Hasta ahora, los escenarios planteados de consumo potencial de agua potable en la zona de estudio parten del supuesto de que la implementación de estrategias intraurbanas y periurbanas se dan en un solo momento en el tiempo. Sin embargo, la realidad es que existen limitaciones técnicas y económicas para que eso pueda suceder, por lo cual es necesario realizar una programación de actividades que permita plantear objetivos a corto, mediano y largo plazo. Para tal propósito es indispensable establecer una jerarquía que permita priorizar las zonas y actividades a desarrollar.

Tomando en cuenta los mapas de zonificación urbana y periurbana, producto del análisis del diagnóstico de la zona de estudio (Mapa 18 y Mapa 19), las zonas prioritarias habrán de definirse tomando como criterio principal el grado de presión hacia el suelo no urbanizado debido a que éste habrá de determinar las zonas que requieren de una intervención inmediata con el objetivo de evitar la pérdida de suelo a causa de la urbanización.

De esta manera, las zonas con mejor potencial de captación, ubicadas en la zona periurbana de la zona de estudio, habrían de ser identificadas como de prioridad baja y el desarrollo de la infraestructura en las microcuencas correspondientes se programarían a mediano y largo plazo debido a que la presión hacia el suelo en esta zona da pie a desarrollar estrategias de planeación que garanticen la pertinencia, eficiencia y permanencia de las obras a largo plazo; por el contrario, las zonas con bajo o nulo potencial de captación pluvial, ubicadas principalmente al interior de la estructura urbana de la ciudad de Aguascalientes y su zona de crecimiento, serán aquellas que presenten la prioridad más alta por la presión ejercida hacia el suelo no urbanizado en la periferia, tanto por asentamientos irregulares como por el propio desarrollo urbano de la ciudad. Las zonas de potencial de captación medio serán las siguientes en orden de importancia y el desarrollo de infraestructura en esta zona se habrá

de desarrollar entre el corto y mediano plazo para garantizar la atención a los puntos de conflicto por inundaciones al interior de la zona urbana.

Tabla 30. Matriz de priorización de estrategias

Estrategia	Tipo	Prioridad	Clave	Temporalidad			
				Corto	Mediano	Largo	Periódico
FF	U	1	FF-U-1	*	*		
CV	U	1	CV-U-1	*	*		
DF	U	2	DF-U-2	*	*	*	*
BR	U	2	BR-U-2	*	*		
PP	U	1	PP-U-1		*	*	*
PH	U	3	PH-U-3			*	
CP	U	1	CP-U-1	*	*		
J	U	3	JI-U-3	*	*		
E	U	2	E-U-2			*	
RP	U	1	RP-U-1		*	*	*
H	P	1	H-P-1		*	*	
E	P	2	E-P-2			*	

Estrategia

FF = Franjas filtrantes
 CV = Cuneta verde
 DF = Drenaje francés
 BR = Bioretención
 PP = Pavimento permeable
 PH = Parque hídrico

CP = Cubiertas permeables
 J = Jardines de infiltración
 RP = Red pluvial
 H = Humedales artificiales
 E = Estanque de retención

Prioridad

1 = Alta
 2 = Media
 3 = Baja

Tipo

U = urbana
 P = periurbana

Temporalidad

Corto = aplicación a 1 año
 Mediano = aplicación a 3 años
 Largo = aplicación a 5 años
 Periódico = aplicación, planeación y desarrollo con carácter permanente.

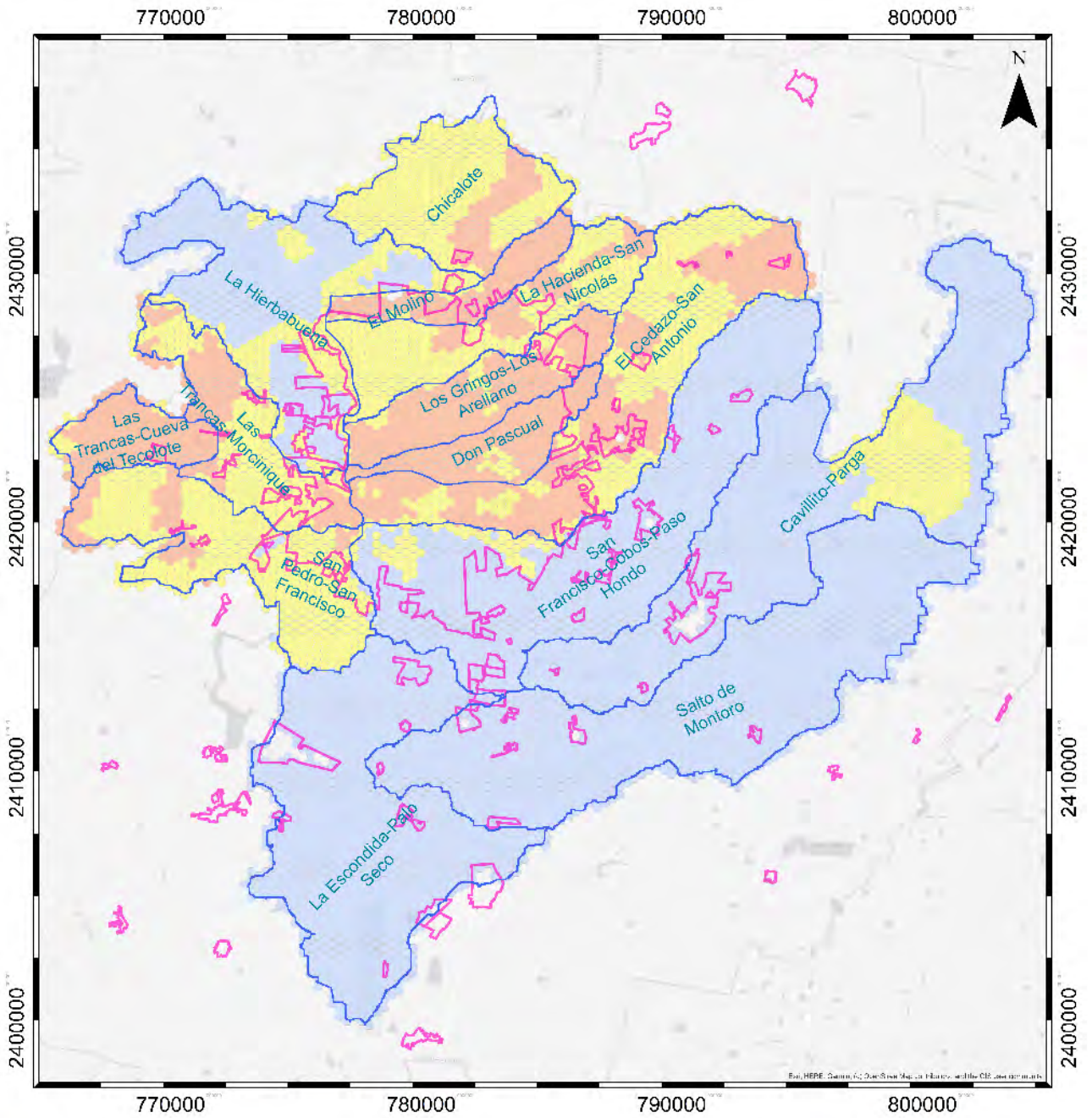
Con base en los anteriores criterios, se desarrolló una matriz de aplicación de estrategias en donde se define: a) el tipo de infraestructura (urbana o periurbana), b) prioridad de aplicación (alta, media, baja) y c) temporalidad de implementación (corto, mediano, largo plazo o de aplicación periódica) (Tabla 30). Es importante destacar que la temporalidad de las estrategias puede variar dentro del mismo grupo prioritario por lo que podrían existir estrategias de alta prioridad pero de aplicación a mediano plazo o de aplicación permanente. Un ejemplo destacable es la construcción del sistema de drenaje pluvial que es de alta prioridad pero su aplicación no podría realizarse en corto plazo debido a que la obra requeriría la gestión de presupuesto y financiamiento, que limitaría su implementación y la colocaría dentro de los objetivos a largo plazo. Sin embargo, también habría de ser periódica y

generalizada en la zona de estudio, siguiendo el crecimiento programado de la estructura urbana de la ciudad.






Un análisis por microcuencas muestra que la mayor superficie se localiza dentro de la zona identificada con prioridad baja, representando más del 55% de la superficie total del área de estudio, contrastando con las zonas altamente prioritarias que cubren apenas casi el 18% de la superficie total (Mapa 27). Las microcuencas prioritarias son aquellas en donde los cauces urbanos han sido altamente impactados y coinciden con la ubicación de la zona urbana, tales microcuencas son El Cedazo-San Antonio, Los Gringos-Los Arellano, Don Pascual, El Molino, Las Trancas-Cueva del Tecolote y Las Trancas-Morcinique, por orden de extensión. Las microcuencas ubicadas en la superficie determinada con baja prioridad, con posibilidad de desarrollar ejercicios de planeación son en su mayoría San Francisco-Cobos-Paso Hondo, La Hierbabuena, Calvillito-Parga, Salto de Montoro y La Escondida-Palo Seco, las cuales habrán de ser las que alojen los sistemas de humedales previamente descritos (Mapa 27).

Se puede apreciar que la superficie propicia para realizar ejercicios de planificación de infraestructura de captura pluvial son reducidas al interior de la estructura urbana de la ciudad de Aguascalientes, de ahí que las zonas identificadas como de prioridad alta se ubiquen al centro y en la periferia de la misma; las zonas caracterizadas como de prioridad alta y media coinciden con las microcuencas cuyos cursos de agua principales cruzan la ciudad en dirección oriente – poniente , incluso los flujos virtuales, y son las mismas que presentan el mayor número de casos de conflicto por inundaciones.

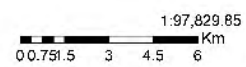
Mapa 27. Zonas prioritarias de intervención



Simbología

- | | |
|---|---|
|  Microcuencas | Prioridad |
|  Zona urbanizada |  Alta |
| |  Media |
| |  Baja |

Elaboró: Laura Sofía Cabañas Melo
 Fecha: noviembre de 2019
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N



Fuente: Elaboración propia con datos de superficie obtenidos por geoprocetos en ArcGIS.

Tabla 31. Determinación de zonas prioritarias por microcuenca

	Prioridad							
	Total		Alta		Media		Baja	
	Has	%	Has.	%	Has.	%	Has.	%
Total	74,342	100.00	13,126	17.66	19,833	26.68	41,383	55.67
El Cedazo-San Antonio	6,919	9.31	3,494	26.62	3,335	16.81	90	0.22
Los Gringos-Los Arellano	2,559	3.44	2,129	16.22	431	2.17	0	0.00
Don Pascual	1,626	2.19	1,499	11.42	127	0.64	0	0.00
El Molino	1,542	2.07	1,325	10.10	215	1.09	1.4	0.003
Las Trancas-Cueva del Tecolote	1,375	1.85	1,276	9.72	99	0.50	0	0.00
Las Trancas-Morcinique	3,068	4.13	1,118	8.51	1,938	9.77	12	0.03
La Hacienda-San Nicolás	3,299	4.44	787	5.99	2,512	12.66	0	0.00
Chicalote	3,613	4.86	773	5.89	2,803	14.13	38	0.09
San Pedro-San Francisco	4,861	6.54	688	5.24	4,001	20.17	173	0.42
San Francisco-Cobos-Paso Hondo	9,863	13.27	22	0.17	660	3.33	9,181	22.18
La Hierbabuena	6,465	8.70	16	0.12	2,060	10.39	4,389	10.61
Calvillito-Parga	9,944	13.38	0	0.00	1,637	8.26	8,306	20.07
Salto de Montoro	10,394	13.98	0	0.00	5	0.02	10,389	25.11
La Escondida-Palo Seco	8,814	11.86	0	0.00	11	0.05	8,803	21.27

Fuente: Elaboración propia con datos de superficie obtenidos por geoprocesos en ArcGIS

En función de la priorización por microcuencas se puede establecer las estrategias de aplicación más pertinente en cada caso. Se hace evidente que las microcuencas compuestas en su mayoría por superficies de prioridad baja son aquellas en donde la implementación de estrategias periurbanas, como alta capacidad de captación y retención de escurrimientos, es factible por la disponibilidad de espacios amplios sin urbanizar. Por otra parte, el resto de las microcuencas ya urbanizadas en su mayoría, son aptas para la implementación de infraestructura urbana con capacidades de captación de escurrimiento menor y de impacto de tipo local o puntual.

Tabla 32. Resumen de estrategias por microcuenca

Microcuencas	Estrategias											
	FF-U	CV-U	DF-U	BR-U	PP-U	PH-U	CP-U	JI-U	E-U	RP-U	H-P	E-P
El Cedazo-San Antonio	X	X	X	X	X		X	X		X		
Los Gringos-Los Arellano	X	X	X		X		X	X		X		
Don Pascual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
El Molino					X		X	X		X		
Las Trancas-Cueva del Tecolote					X		X			X		

Microcuencas	Estrategias											
	FF-U	CV-U	DF-U	BR-U	PP-U	PH-U	CP-U	JI-U	E-U	RP-U	H-P	E-P
Las Trancas-Morcinique		X			X		X	X		X		
La Hacienda-San Nicolás	X	X	X		X		X			X	X	
Chicalote					X		X			X		
San Pedro-San Francisco		X		X	X		X	X		X		
San Francisco-Cobos-Paso Hondo		X		X	X		X	X		X		
La Hierbabuena		X			X		X			X	X	
Calvillito-Parga					X		X			X	X	
Salto de Montoro					X		X			X	X	X
La Escondida-Palo Seco					X		X			X		

Fuente: Elaboración propia

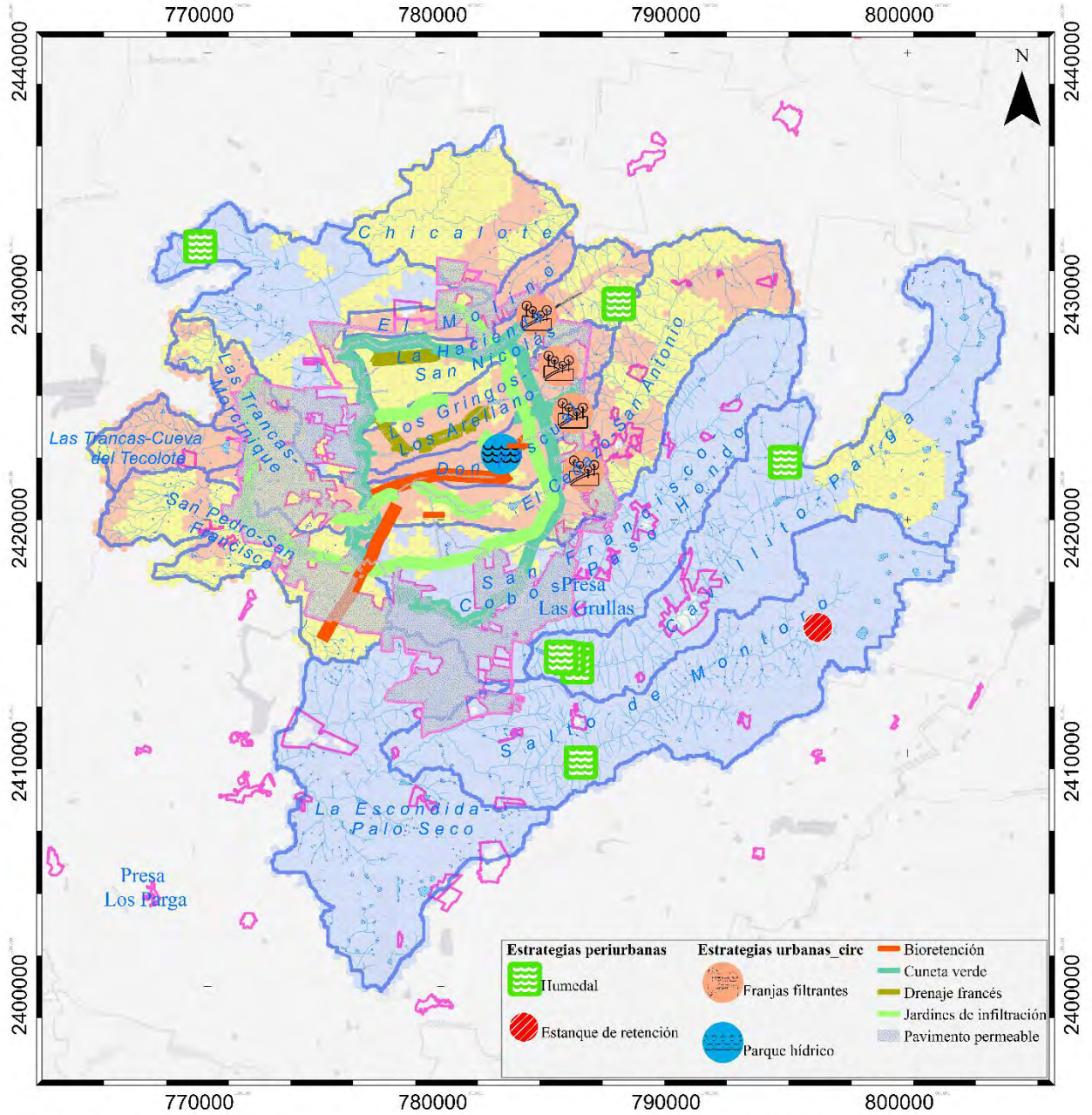
Estrategia

- FF = Franjas filtrantes
- CV = Cuneta verde
- DF = Drenaje francés
- BR = Bioretención
- PP = Pavimento permeable
- PH = Parque hídrico
- CP = Cubiertas permeables
- J = Jardines de infiltración
- RP = Red pluvial
- H = Humedales artificiales
- E = Estanque de retención

Las estrategias planteadas para implementar en cada microcuenca son una propuesta, más no se restringe a las seleccionadas para cada caso. Si bien todas las estrategias cumplen con la función de captar, retener y/o conducir los escurrimientos pluviales, la selección de alguna estrategia distinta estará determinada por las limitaciones del terreno o por los requerimientos propios de construcción a los cuales están sujetas; de manera que la compatibilidad de dichas estrategias únicamente se verá limitada por la facilidad o dificultad que presente la zona seleccionada para su implementación o reacondicionamiento.

Con la implementación de esta propuesta, compuesta por el aprovechamiento de la infraestructura de captación existente y el desarrollo de infraestructura verde urbana y periurbana se estaría hablando de una captura de hasta 30,206,886 metros cúbicos anuales de agua, equivalente a más del 52% del agua producida para la ciudad de Aguascalientes en el 2018, lo que implicaría la posibilidad de reducir la dependencia hacia el agua subterránea en casi la mitad, representando una oportunidad factible para alcanzar la recuperación del acuífero del Valle de Aguascalientes a largo plazo.

Mapa 28. localización general de estrategias intraurbanas y periurbanas



Simbología

- Zona urbanizada
- Microcuencas

Rasgos hidrográficos

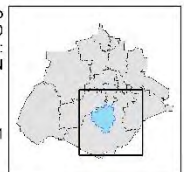
- Corrientes de agua
- Cuerpos de agua

Prioridad

- Alta
- Media
- Baja

Elaboró: Laura Sofía Cabañas Melo
 Fecha: enero de 2020
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N

1:105,043.81
 00.75 1.5 3 4.5 6 Km



Fuente: Elaboración propia.

Una vez establecida las prioridades a atender, y tomando en cuenta que se requiere de tiempo para gestionar recursos financieros, materiales, técnicos y espaciales, se realizó la programación de implementación de estrategias, obteniendo tres etapas de desarrollo; en la primera se llevaría a cabo la construcción de las estrategias intraurbanas de alta prioridad, representando menos del 1% de avance; la segunda etapa contempla estrategias de prioridad alta y media y el avance de desarrollo se esperaría alrededor del 39%; la tercer etapa comprende un avance del 78% hasta la conclusión de los 5 años que corresponden a la implementación de estrategias a largo plazo de baja prioridad; se calcula que el volumen máximo de captación se lograría para el año 2040.

De esta forma, la propuesta general de implementación de estrategias intraurbanas y periurbanas para captación de agua pluvial contribuirá a fortalecer la capacidad de resiliencia de la ciudad y los asentamientos humanos periurbanos de la zona de estudio para atender a mediano plazo el área de planeación que corresponde a la programación, construcción e implementación de los cuerpos de captura de agua pluvial de mayor dimensión. Si bien los cálculos realizados postulan la implementación de infraestructura pluvial como una alternativa altamente viable para abastecer las necesidades de agua para uso urbano, ésta es sólo una parte en el camino hacia la consolidación de Aguascalientes como una Ciudad Sensible al Agua.

El despliegue de mecanismos estructurales deberá de sumarse el desarrollo e implementación de medidas no estructurales que fomenten un cambio social que contribuya a garantizar la creación de una cultura de cuidado y gestión sustentable del agua que permita, a su vez, tener certeza sobre los recursos hídricos de la región a largo plazo. Sobre este punto se abundará en el siguiente escenario.

Escenario ideal: Aguascalientes una Ciudad Sensible al Agua

El reto más grande por sortear para alcanzar una ‘Ciudad Sensible al Agua’ es formular e implementar medidas no estructurales. Las medidas no estructurales son prácticas que no involucran instalaciones fijas y/o permanentes y, por lo general, funcionan mediante la generación de cambios en el comportamiento a través de la regulación gubernamental (por ejemplo, leyes de planificación y ambientales), persuasión, educación y/o instrumentos

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

económicos que incentiven el cambio hacia mejores prácticas de uso del agua (Taylor & Wong, 2002:1). La creación de una cultura de cuidado del agua es uno de los elementos clave en este proceso. Desde educación ambiental, cambios en patrones de consumo, innovación tecnológica, hasta implementación de políticas públicas y participación ciudadana, son necesarias para alcanzar los objetivos de sensibilidad al agua.

Existen distintas y diversas clasificaciones que agrupan las medidas no estructurales, sin embargo existen cinco grupos básicos:

1. Controles de planeación urbana: la implementación de este tipo de instrumentos para promover los principios de la WSUD en nuevos desarrollos, como la disminución del área de superficies impermeables.
2. Planificación estratégica y controles institucionales: la ejecución de planes estratégicos de gestión de la calidad de escurrimientos pluviales urbanos y mecanismos seguros de financiación para apoyar la implementación de estos planes.
3. Procedimientos de prevención de la contaminación: comprenden las prácticas adoptadas por las autoridades de gestión de aguas pluviales, en éstas se incluyen actividades de mantenimiento (de la red de drenaje de aguas pluviales) y elementos de sistemas de gestión ambiental (procedimientos de almacenamiento de materiales y capacitación del personal sobre gestión de aguas pluviales).
4. Programas de educación y participación: en este rubro se encuentran las campañas dirigidas a los medios, programas de capacitación y programas de drenaje de aguas pluviales.
5. Controles reglamentarios: comprende los mecanismos para el cumplimiento de las leyes locales, como aquellos encaminados a mejorar el control de la erosión y los sedimentos en los sitios de construcción, el uso de instrumentos reguladores como licencias ambientales para ayudar a administrar las instalaciones que puedan contaminar las aguas pluviales y programas para minimizar las descargas ilícitas a las aguas pluviales, entre otros.

La aplicación de medidas no estructurales relacionados con la captación y calidad de escurrimientos pluviales presenta una serie de beneficios, desde bajos costos de aplicación,

amplia cobertura territorial, contribuyen a lograr los objetivos en proyectos de acondicionamiento, promueven mecanismos de prevención de la contaminación mediante incentivos económicos, pero tiene un impacto específico sobre la participación ciudadana al fomentar en la sociedad un sentido de responsabilidad sobre los recursos hídricos y animar su participación e involucramiento en las distintas medidas de solución (A. Taylor et al., 2005:3).

Sin embargo, la adecuada implementación de mecanismos que permitan la reducción en los patrones de consumo depende en su totalidad del grado de aceptación a dicha medida por parte de la población, y este es uno de los motivos por los cuales el tránsito hacia un esquema de Ciudad Sensible al Agua implica una visión a largo plazo, pues la implementación de medidas no estructurales conlleva un proceso de educación y concientización social que, en la mayoría de los casos, presenta distintos impedimentos para alcanzar los objetivos marcados.

De acuerdo con la literatura (A. Taylor & Wong, 2002b:12), existen cinco factores que obstaculizan significativamente el progreso de la evaluación no estructural:

- 1) El *monitoreo* de medidas que pretendan lograr modificaciones en el comportamiento de las personas es naturalmente difícil debido a que dicho comportamiento es complejo. La tendencia de los efectos de las medidas no estructurales a cambiar con el tiempo, además de que la medición directa del comportamiento de las personas puede verse limitada por cuestiones como la privacidad, la influencia experimental en el comportamiento y el alto costo de monitorear eventos poco frecuentes;
- 2) El *efecto* de las medidas no estructurales sobre la calidad del agua pluvial puede ser sutil y enmascarado por los efectos de otras medidas de manejo y fuentes de contaminación y dichos factores de confusión no son fácilmente controlables en un sentido experimental durante el monitoreo;
- 3) La *incertidumbre* sobre la transferibilidad de los resultados obtenidos por su dependencia respecto al contexto en el que se aplican;
- 4) Algunas medidas no estructurales funcionan sinérgicamente, es decir que algunas prácticas individuales pueden no ser muy efectivas por sí solas pero, en

combinación con otras, pueden proporcionar una función clave en sistemas altamente efectivos;

- 5) La evaluación de medidas no estructurales adolece de problemas de comparabilidad. Es decir, se han utilizado diferentes metodologías de evaluación y esto hace que los resultados sean difíciles de comparar.

Es probable que la magnitud del cambio de comportamiento inducido varíe según la naturaleza de la actividad promovida y el público objetivo. Diversos estudios enfatizan que las actividades que brindan algún beneficio personal al público objetivo probablemente tengan una tasa más rápida y un mayor nivel de adopción (Taylor & Wong, 2002a:43). Sin embargo, estudios coinciden en que las medidas no estructurales son esenciales para la mejora de la calidad de las aguas pluviales urbanas; tanto a nivel de cuenca como a nivel ciudad es preferible una combinación equilibrada y sinérgica de medidas estructurales y no estructurales. Estas últimas son las que representan un valor más alto por ser el medio que garantizará a largo plazo la adecuada implementación y permanencia de las medidas estructurales.

R. Brown et al. (2008) proponen que para lograr los objetivos que plantea la ‘Ciudad Sensible al Agua’ es necesario generar un nuevo enfoque del desarrollo urbano que incluya espacios públicos independientes para las aguas pluviales; fortalecer una cultura urbana que valore y proteja el agua y conseguir que esa transformación cultural impacte tanto a las instituciones como a las comunidades y generar opciones tecnológicas sostenibles para su implementación. Uno de los medios para lograr tales objetivos es la disminución en el consumo de agua, el cual puede ser alcanzado mediante distintos mecanismos y enfoques tales como lineamientos de desarrollo urbano, controles institucionales, estrategias de prevención de la contaminación, programas de educación y participación ciudadana y controles regulatorios (A. Taylor & Wong, 2002a).

Una alternativa para contribuir a conseguir los objetivos de una Ciudad Sensible al Agua es la reducción en los patrones de consumo, adicional a la implementación de medidas estructurales de captura de agua pluvial, tratamiento y reuso. El consumo de agua en Aguascalientes, al igual que en distintas ciudades de México, es considerado de los más altos a nivel mundial. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (Tabla 33), una

dotación de 100 litros por persona, por día (l/p/d), son más que suficientes para que una persona desarrolle sus actividades y garantice la atención a sus necesidades de manera satisfactoria, cifra que contrasta contra la dotación establecida por CCAPAMA que ronda entre los 200 y 300 l/p/d, lo cual representa entre dos y tres veces más sobre el volumen recomendado por la OMS.

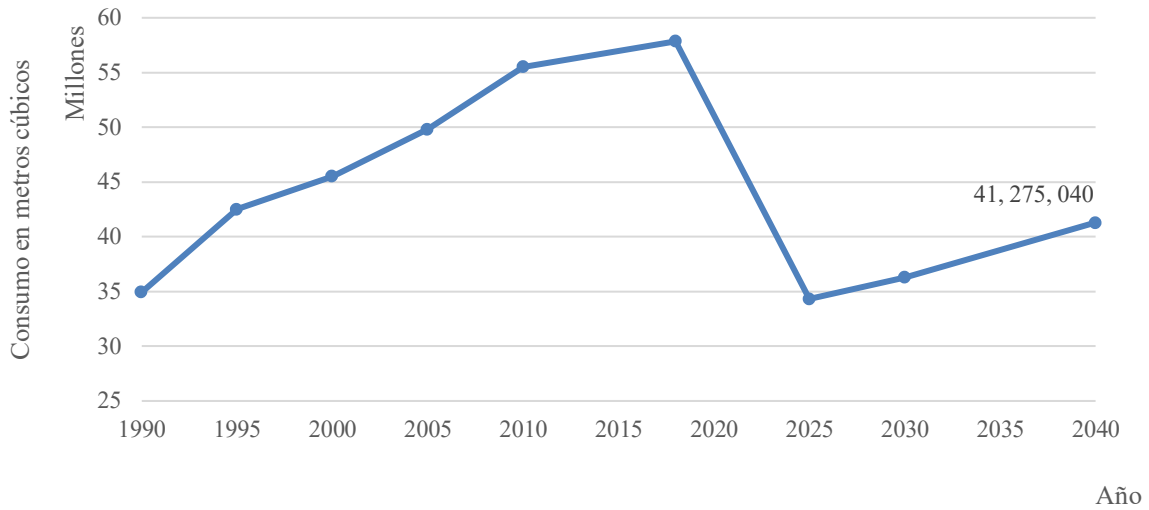
Tabla 33. Requisitos del nivel del servicio de agua para promover la salud

Nivel del servicio	Medición del acceso	Necesidades atendidas	Impacto en la salud
Sin acceso (cantidad recolectada generalmente menor de 5 l/p/d)	Más de 1.000 m o 30 minutos de tiempo total de recolección	Consumo – no se puede garantizar Higiene – no es posible (a no ser que se practique en la fuente)	Muy alto
Acceso básico (la cantidad promedio no puede superar 20 l/p/d)	Entre 100 y 1.000 m o de 5 a 20 minutos de tiempo total de recolección	Consumo – se debe asegurar Higiene – el lavado de manos y la higiene básica de la alimentación es posible; es difícil garantizar la lavandería y el baño a no ser que se practique en la fuente	Alto
Acceso intermedio (cantidad promedio de aproximadamente 50 l/p/d)	Agua abastecida a través de un grifo público (o dentro de 100 m o 5 minutos del tiempo total de recolección)	Consumo – asegurado Higiene – la higiene básica personal y de los alimentos está asegurada; se debe asegurar también la lavandería y el baño	Bajo
Acceso óptimo (cantidad promedio de 100 l/p/d y más)	Agua abastecida de manera continua a través de varios grifos	Consumo – se atienden todas las necesidades Higiene – se deben atender todas las necesidades	Muy bajo

Fuente: Retomado de Domestic Water Quantity, Service Level and Health, (Howard & Bartram, 2003:22)

De acuerdo con los principio de Ciudades Sensibles al Agua el propósito de la reducción de la demanda es conservar el agua y contribuir a la sostenibilidad ambiental y la conservación de los suministros de agua al incorporar una variedad de medidas de eficiencia del agua (o reducción de la demanda) (Department of Planning and Local Government, 2009:4). Tomando en consideración los argumentos anteriores, se propone la reducción en la dotación de agua diaria por persona al volumen propuesto por la OMS de 100 l/p/d; el resultado de la aplicación de dicha política representaría un ahorro hacia el año 2040 cercano al 30% del agua generada para la ciudad de Aguascalientes en el año 2018.

Gráfica 14. Proyección de consumo considerando una dotación de 100 l/p/d



Fuente: Elaboración propia con base en las proyecciones de crecimiento de población y consumo de agua potable para la zona de estudio.

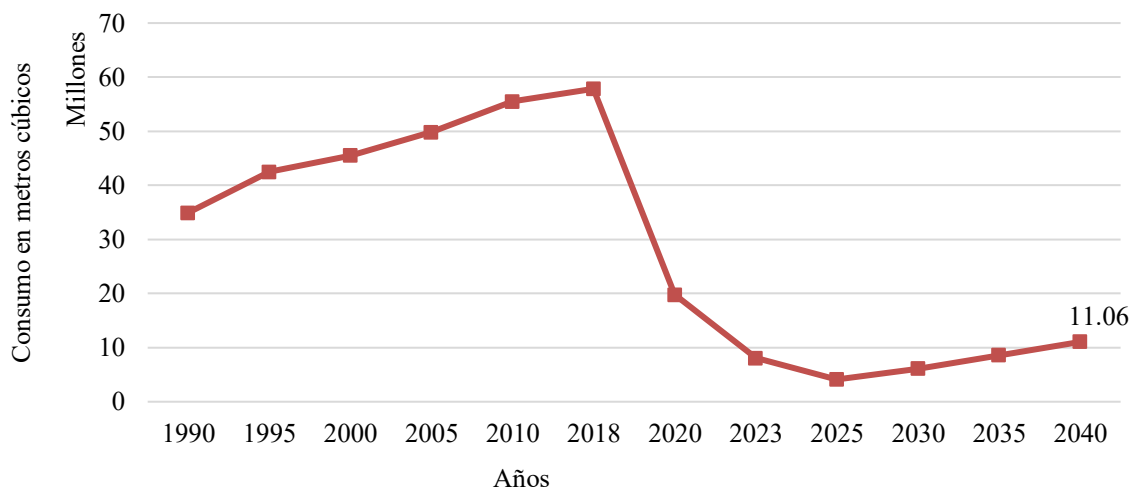
La Gráfica 14 representa la tendencia en el consumo de agua subterránea en el supuesto de que se redujera de manera generalizada y en un solo momento en el tiempo la dotación de 100 litros diarios por persona a. Esta medida implica una drástica disminución en el agua extraída en el acuífero, de hasta un 60% del volumen generado en el 2018, además de que no implica un gasto económico por no existir la necesidad de desarrollar infraestructura de ningún tipo. En un primer acercamiento, la reducción en la dotación de agua como tal representa un ahorro significativo a corto plazo. Sin embargo, la aplicación de una medida de este tipo lleva implícito un costo político y social que las autoridades no necesariamente estarían dispuestas a asumir, lo cual haría poco probable una aplicación tajante en este sentido.

Sin embargo, se puede lograr una modificación en los patrones de consumo a largo plazo mediante la sensibilización y educación de autoridades gubernamentales, grupos productivos y la población en general de manera que se logre adoptar una cultura del agua que promueva su conservación y uso racional. No obstante, estas medidas requieren de tiempo y es una de las razones por las que la implementación conjunta de medidas estructurales y no estructurales da mejores resultados.

La planeación de una estrategia de desarrollo urbano que contemple el desarrollo de infraestructura, en este caso basada en la naturaleza, mediante la implementación simultánea

de medidas no estructurales puede potencializar los resultados obtenidos en cada uno de los escenarios por separado. Considerando la propuesta de implementación de infraestructura del escenario anterior (‘Escenario optimista’, sección anterior de este capítulo) sumando una posible disminución en el consumo por la reducción en la dotación de agua por persona se obtendría un escenario donde en el año 2040 el consumo de agua subterránea equivaldría a poco más de 11 millones de metros cúbicos, equivalentes al 19% del volumen total registrado en el 2018 para la ciudad de Aguascalientes.

Gráfica 15. Ciudad de Aguascalientes: Proyección de consumo considerando una reducción en la dotación por persona y la construcción de infraestructura verde (millones de m³ por año), 1990-2040



Fuente: Elaboración propia con base en las proyecciones de crecimiento de población y consumo de agua potable para la zona de estudio y los resultados obtenidos para el escenario de consumo optimista.

El contexto institucional es uno de los factores clave para impulsar el desarrollo por ser las que determinan el funcionamiento de la sociedad, principalmente las instituciones municipales por ser fundamentales en la guía de acciones individuales y colectivas (Garrocho et al., 2014), de ahí la importancia de la definición de corresponsabilidades en este escenario.

Tabla 34. Matriz de corresponsabilidades para la implementación del sistema de captación pluvial

Corresponsabilidad					
Sistema de captación de agua pluvial					
Actividades	Municipal	Estatal	Federal	Organismos públicos / privados	Organismos internacionales
Planeación de proyectos	IMPLAN	CPLAP SEGUOT		UAA	
Implementación de estrategias		INAGUA	CONAGUA		
Construcción de estanques y humedales		INAGUA SOP	CONAGUA		
Construcción y reacondicionamiento de camellones, parques y jardines	SOP SSP				
Administración	CCAPAMA				
Mantenimiento y vigilancia	SSP SEMADESU	SSMAA PROESPA			
Capacitación a funcionarios		SSMAA		UAA	WRI CRC ONU-HABITAT
Sensibilización y educación hídrica	SEMADESU	SSMAA IEA		UAA ONG	CRC ONG

Dependencias

SOP – Secretaría de Obras Públicas

SEMADESU – Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable

SSP – Secretaría de Servicios Públicos

CCAPAMA – Comisión Ciudadana de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Aguascalientes

IMPLAN – Instituto Municipal de Planeación

INAGUA⁵⁵ – Instituto del Agua del Estado

SSMAA – Secretaría de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Agua

PROESPA – Procuraduría Estatal de Protección al Ambiente

SEGUOT - Secretaría de Gestión Urbanística, Ordenamiento Territorial, Registral y Catastral

CPLAP - Coordinación General de Planeación y Proyectos

Organismos

CRC - Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities

WRI – World Resources Institute

ONU-HABITAT – Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos

UAA – Universidad Autónoma de Aguascalientes

IP – Iniciativa Privada

ONG – Organizaciones No Gubernamentales

Fuente: Elaboración propia con base en las atribuciones establecidas por ley para cada dependencia y las necesidades operativas de la propuesta.

⁵⁵ En marzo del 2018 se publicó en el Periódico Oficial del Estado el acuerdo administrativo mediante el cual se decretaba la extinción del Instituto y la transmisión de responsabilidad administrativa a la Secretaría de Obras Públicas (SOP) y a la Secretaría de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Agua (SSMAA), no obstante, en

Como parte de las medidas a implementar deberá de considerarse un reajuste en las atribuciones y obligaciones de las dependencias y organismos involucrados tanto en el desarrollo de infraestructura urbana como en la dotación del servicio de abastecimiento y saneamiento de agua. Parte fundamental será un programa permanente de capacitación a funcionarios que permita el entendimiento de la problemática y su propuesta de solución con el objetivo de alcanzar la adecuada implementación de estrategias y políticas derivadas del proceso de transición hacia un modelo sensible al agua y la posterior gestión sustentable de dicho recurso.

La implementación de un modelo de desarrollo sensible al agua enfrenta limitantes justamente en su etapa de aplicación social, como se ha expuesto al principio del escenario, de ahí que la consolidación de una ciudad como sensible al agua sea un proceso de muy largo plazo, principalmente por la necesidad de generar cambios sociales que permitan generar un sentido de pertenencia y de responsabilidad hacia el medio natural, los recursos y servicios que provee, de manera que el cambio generado perdure en el tiempo. Es este tiempo de cambio ideológico el que permite planear, programar y desarrollar, de manera simultánea, la infraestructura necesaria para hacer frente a las problemáticas en el corto y mediano plazo, pero manteniendo objetivos claros a largo plazo que permitan alcanzar los principios de sensibilidad al agua: reducción del consumo de agua potable, maximización de la reutilización del agua, reducción de la descarga de aguas residuales, minimización de la contaminación de las aguas pluviales antes de que se descargue al medio acuático y la maximización de la protección de las aguas subterráneas.

3. SÍNTESIS DE ESCENARIOS

En el presente capítulo se analizaron tres escenarios en donde se examinaron distintas variables para poder determinar la tendencia de consumo de agua subterránea. El primer escenario únicamente contempla el aprovechamiento de las obras de almacenamiento con las que ya cuenta el área de estudio para uso urbano sin modificaciones en los patrones de

noviembre de 2019 se aprobaron reformas y adiciones a la Ley de Agua para el Estado de Aguascalientes para dar paso a la (re)creación del Instituto estatal del Agua de Aguascalientes, el cual habrá de depender de la obtención de recursos federales (La Jornada, 2019b)

consumo. El segundo considera el desarrollo de infraestructura verde tanto al interior de la estructura urbana como en la periferia pero no considera cambios en los patrones de consumo de la población residente de la ciudad. El tercero toma en cuenta tanto la construcción e implementación de infraestructura de captación, así como modificaciones en el patrón de consumo de la población de la ciudad de Aguascalientes derivado de una reducción en la dotación de agua diaria por persona y modificaciones en el aparato gubernamental.

Tabla 35. Síntesis de resultados por escenario

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Consumo de agua total al 2040	77,943,610 m³	47,736,715 m³	11,068,153 m³
Almacenamiento actual	5,381,517 m ³	5,381,517 m ³	5,381,517 m ³
Construcción de infraestructura verde	No	Si	Si
Volumen de captación anual con infraestructura verde	0	23,274,648 m ³	23,274,648 m ³
Disminución en la dotación al 2040	0	0	86%
Ahorro al 2040	0	36,668,571	66,875,457

Fuente: Elaboración propia con base a la información de las tablas Tabla 23 y Tabla 28

Si bien, el resultado del escenario ideal presenta los mejores resultados, la implementación de las medidas no estructurales propuestas presentan numerosas limitaciones de aplicación. Tales características la convierten en la opción de mayor tiempo de ejecución y prolonga la permanencia de la problemática hídrica que ha propiciado el aumento del estrés hídrico en la zona de estudio. Por otro lado, el escenario 1 no incluye el desarrollo de ningún tipo de alternativa estructural o no estructural por lo que los resultados son catastróficos al proponer un futuro sin agua por el excesivo ritmo de extracción de las reservas subterráneas.

La alternativa que se postula como la más viable es aquella incluida en el escenario optimista. En ella el desarrollo de infraestructura verde tiene el impacto suficiente para generar un ahorro a largo plazo que pudiera ser suficiente para contribuir a la estabilización del acuífero. Si bien el impacto del desarrollo de infraestructura es en sí alentador, es preferente el acompañarlo de medidas alternativas que fomenten un cambio social y

garanticen la permanencia y eficiencia del sistema de abastecimiento alternativo de agua propuesto para la zona de estudio. En el subsiguiente capítulo, correspondiente a la quinta y última sección de este trabajo, se presentan las conclusiones generales del proyecto sobre los alcances y limitantes del proyecto para alcanzar los objetivos de sensibilidad al agua.



CAPÍTULO V
CONCLUSIONES: ALCANCES, LIMITANTES Y UNA AGENDA
PENDIENTE PARA LA PLANEACIÓN DE UNA CIUDAD SENSIBLE
AL AGUA

1. UNA CIUDAD SENSIBLE AL AGUA: ¿ALTERNATIVA REAL PARA EL PROBLEMA DEL AGUA EN LAS CIUDADES?

Una ‘Ciudad Sensible al Agua’ forma parte de las iniciativas que buscan establecer una relación más cercana entre el medio ambiente y la ciudad. De acuerdo con la teoría de la transición de las ciudades propuesta por la corriente de las Ciudades Sensibles al Agua, cada ciudad que se clasifica dentro de este esquema ha sido el resultado de la evolución que ha tenido la manera en que dichas ciudades gestionaron sus aguas pluviales, potables y residuales durante los últimos 2 siglos (Molina Prieto & Villegas Rodríguez, 2015). El proceso de evolución cuenta con 6 estados por los cuales las ciudades habrán de transitar en su proceso para alcanzar el estatus de “sensibles al agua”; a medida que una ciudad progresa a través de los estados de transición, se definen objetivos adicionales (R. Brown et al., 2009).

Una vez ubicados en un punto del proceso de evolución hacia una Ciudad Sensible al Agua, se pueden identificar las necesidades y puntos débiles para, entonces, proponer estrategias que pongan a la ciudad en el camino hacia la etapa final del proceso. Si bien existen distintos barreras y limitantes -socioculturales, institucionales, educativas, financieras, técnicas y conceptuales- que pueden entorpecer el tránsito hacia la sensibilidad hídrica, se pueden ir planteando los mecanismos y estrategias a seguir a corto, mediano y largo plazo.

Ya analizados los modelos previamente expuestos, se puede hacer una selección en función de la problemática a resolver. A continuación, se presenta un resumen de los puntos a considerar para seleccionar el modelo que mejor satisfaga las necesidades específicas para este trabajo:

Tabla 36. Aplicabilidad para cada tipo de modelo de captación pluvial

Modelo	Nivel de aplicación	Tipo	Costo	Utilidad
Infraestructura verde	Puntual/ Cuenca	Estructural	Bajo	Acciones sencillas y puntuales que tienen mejores resultados mientras más elementos trabajen en conjunto
Desarrollo de Bajo Impacto	Puntual / Ciudad	Estructural	Medio	Administración de agua pluvial en sitio para infiltración y reducción de escorrentía (inundaciones)
Diseño y Desarrollo Urbano de Bajo Impacto	Ciudad	Estructural	Medio	Proteger y mejorar la biodiversidad de un sitio. Intervenciones puntuales en grandes áreas con enfoque ecológico.
Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible	Ciudad	Estructural	Medio	Reducción de inundaciones
Ciudad Esponja	Ciudad/ Región	Estructural	Alto	Reducción de inundaciones y reutilización de agua pluvial
Desarrollo Urbano Sensible al Agua (WSUD)	Ciudad/ Región	Estructural No estructural	Bajo/ Medio*	Control de escurrimientos, reutilización de agua pluvial, abastecimiento sustentable de agua, protección del ciclo hidrológico, mitigar efectos del cambio climático

*El costo de las acciones aplicadas varía en función del tipo de medida a aplicar para cumplir los objetivos específicos en un caso específico

Tras haber analizado todos los modelos anteriores, el WSUD se considera el modelo más completo por su aplicación de medidas estructurales y no estructurales que contribuirán a la adecuada implementación y ejecución de las obras para captura pluvial.

2. METODOLOGÍA: ELEMENTOS PARA CONSTRUIR UNA ‘CIUDAD SENSIBLE AL AGUA’

La aplicación de un modelo sensible al agua involucra una planeación a largo plazo que abarca el desarrollo de distintas obras o etapas dentro del territorio, por lo que habrá de establecerse claramente la corresponsabilidad de las autoridades y sectores involucrados para garantizar su efectividad a largo plazo y poder cumplir los objetivos de abastecimiento de agua urbana en la ciudad.

Si bien este modelo ya lleva operando más de 20 años en Australia, aún no existe un consenso sobre una metodología que permita replicar esquemas de desarrollo urbano sensible

al agua en distintas ciudades, debido a factores ambientales y económicos, pero la literatura sugiere que el factor principal para una adecuada institucionalización del modelo es la voluntad política, además de la capacidad técnica y social para llevarlo a cabo.

Un punto indispensable es el acceso a la información y la disponibilidad de esta, ya que no siempre se cuenta con información específica de la zona de estudio como fue el caso de la precipitación y los puntos de extracción, además de que no toda la información disponible se encuentra actualizada o en los formatos requeridos para su proceso.

3. DIAGNÓSTICO: LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES Y SUS POSIBILIDADES PARA CONVERTIRSE EN UNA CIUDAD SENSIBLE AL AGUA

A pesar de que en la zona de estudio existen actualmente estructuras de captación y almacenamiento de agua pluvial, dicha infraestructura no se aprovecha para abastecer de agua para uso urbano a la ciudad y las localidades que forman parte de la zona de estudio.

De manera simple, se puede apreciar cuáles son las microcuencas que presentan las mejores condiciones, por la suma de las características naturales del medio, por presentar los mejores volúmenes de precipitación y caudal, y por presentar la menor demanda de agua respecto al resto. Todos los factores habrán de definir el tipo de estrategia que mejor se ajuste a las condiciones de cada microcuenca y de las necesidades de la población para plantear acciones a corto, mediano y largo plazo tendientes a alcanzar las cualidades de una Ciudad Sensible al Agua.

Las tendencias de precipitación, derivados de los efectos del cambio climático, permiten suponer que los eventos atípicos cada vez serán más frecuentes en la región, pudiendo generar problemáticas aún mayores en caso de no tomar medidas preventivas, como sería el caso de construir sistemas de captación capaces de retener los escurrimientos y la implementación de técnicas de infraestructura verde en las zonas urbanizadas o por urbanizar, para maximizar la captación de agua in-situ.

Como resultado del diagnóstico se pudo apreciar que la zona de estudio cuenta con las condiciones de terreno suficientes para desarrollar un sistema de captación periurbano que permita satisfacer las necesidades de agua de la población sin contribuir al prolongado

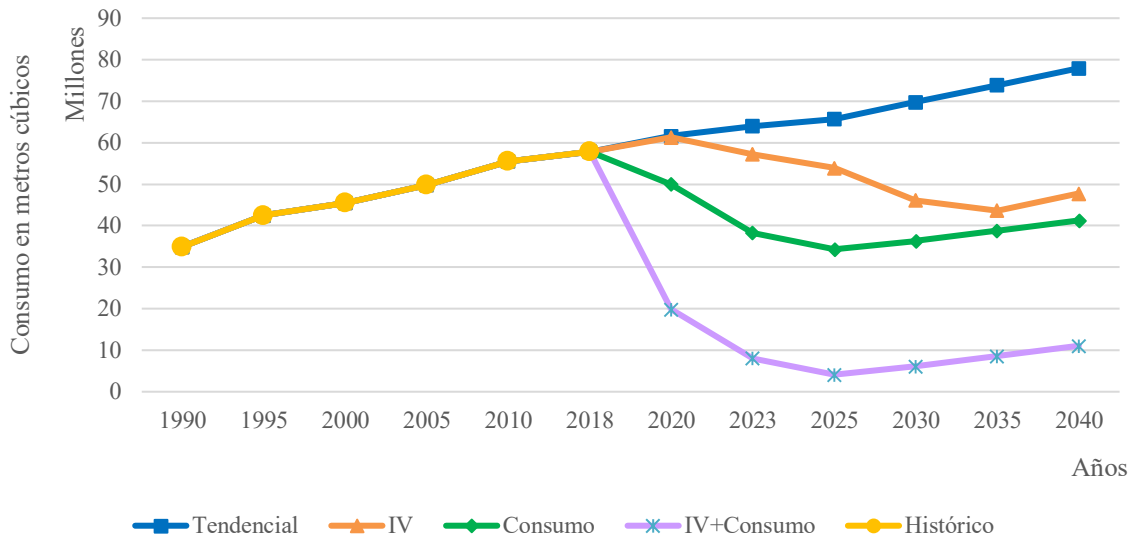
abatimiento del acuífero, sin perder de vista los servicios ambientales adicionales de mejorar la calidad ambiental de la zona de estudio tras la implementación de infraestructura verde.

4. ESCENARIOS

Como se ha expuesto, la implementación de distintos tipos de infraestructura verde a nivel urbano y periurbano puede representar una opción viable que garantice la plena satisfacción de las necesidades de agua por parte de la población, además de los beneficios socioambientales que dichas estructuras conllevan.

Haciendo un comparativo de los distintos escenarios antes expuestos, se puede apreciar que, si bien tanto la implementación de medidas estructurales y no estructurales dan resultados favorables en su aplicación independiente, los mejores resultados se obtienen de la aplicación conjunta de ellas, prolongando así la vida útil del acuífero y garantizando la disponibilidad de agua a largo plazo.

Gráfica 16. Escenarios combinados de consumo de agua en la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia con base en las proyecciones realizadas para los tres escenarios.

Es importante destacar que este ejercicio es un primer acercamiento al tema del abastecimiento de agua a través de fuentes alternativas el cual fue realizado a partir de datos empíricos y es necesario realizar mediciones específicas para obtener cálculos más precisos

de captura y de localización de infraestructura, además de hacer un análisis del impacto y aceptación social a las medidas antes presentadas.

5. REFLEXIONES FINALES

Es importante destacar el hecho de que esta propuesta se fundamenta en el desarrollo de soluciones basadas en la naturaleza (infraestructura verde) que rompe con la tendencia histórica que ha predominado en la ciudad de Aguascalientes de desarrollar obras estructurales (infraestructura gris) que demandan gran cantidad de recursos económicos, son poco eficientes y que, incluso, llegan a tener un impacto negativo en el ambiente al generar contaminantes en cualquiera de sus procesos, o modificar ciclos y procesos naturales.

Una crítica al modelo de Ciudades Sensibles al Agua consiste en que la mayoría de los casos aplicados corresponden a ciudades pertenecientes a países desarrollados, las cuales cuentan con la capacidad económica para realizar la construcción de infraestructura y la implementación de tecnología de apoyo, además del capital humano y el ambiente político y social adecuados para la correcta implementación del modelo. Si bien una de las ventajas de la infraestructura verde es la asequibilidad de costos de implementación y mantenimiento, aún puede representar un gasto considerable para ciudades de países en vías de desarrollo.

Se hace entonces indispensable la búsqueda de mecanismos de financiamiento que permitan acceder a ciudades en desarrollo a programas de apoyo enfocados al fortalecimiento de la resiliencia urbana y la construcción de infraestructura basada en la naturaleza, vinculando tanto a organismos internacionales como a la iniciativa privada; además de incluir programas de capacitación para empleados gubernamentales que garanticen la adecuada construcción, implementación y monitoreo de las políticas públicas encaminadas al desarrollo de sistemas de este tipo. Pero sobre todo, es prioritario el diseño y aplicación de campañas de educación a la población en general y el mejoramiento de las áreas verdes urbanas que permitan el desarrollo de una cultura de cuidado del ambiente y de sus recursos, principalmente del agua, de manera que el cambio social fortalezca los cambios estructurales urbanos y el efecto se potencialice, y persista, a largo plazo.

Uno de los elementos clave para alcanzar la eficiencia del sistema de captación es el desarrollo de una red pluvial independiente del alcantarillado sanitario que permita la

conducción de escurrimientos, posiblemente con calidades de agua satisfactorias para uso urbano, que permita alcanzar niveles de resiliencia satisfactorios, disminuya problemáticas asociadas a inundaciones y permita el aprovechamiento del agua pluvial sin necesidad de aplicar sistemas de tratamiento más complejos y costosos.

Un tema para futuros trabajos de investigación el impacto de la implementación de políticas de reutilización de aguas tratadas para uso urbano e industrial, además de buscar y proponer las mejores sistemas de tratamiento de agua basado en ecosistemas que permita incrementar el volumen de agua disponible generado por fuentes alternativas.

El modelo de Ciudades Sensibles al Agua es un claro ejemplo de lo que los esfuerzos para planear las ciudades pueden lograr cuando existe voluntad política, capacidad técnica, compromiso social y una sociedad involucrada en la toma de decisiones y con un nuevo sentido de pertenencia y arraigo hacia la ciudad y el medio del cual forma parte. Es la planeación de medidas estructurales a largo plazo, en función de la implementación de medidas no estructurales que permitan la transición hacia esquemas que permitan construir ciudades resilientes y justas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abellán, A. (2013a, octubre 29). *Depósitos superficiales de detención*. SuD Sostenible. <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/depositos-superficiales-de-detencion/>
- Abellán, A. (2013b, octubre 29). *Drenes filtrantes o franceses*. SuD Sostenible. <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/drenes-filtrantes-o-franceses/>
- Abellán, A. (2013c, octubre 29). *Estanques de retención*. SuD Sostenible. <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/estanques-de-retencion/>
- Adler, I. (2010). A Call for a New Paradigm. *Sophia, Craig Patterson Writing Prize anthology: The Challenge of Sustainable City Living & the Scale of Community*, 5–8. <https://www.ucl.ac.uk/~ucbpeal/sophia/cpbookletweb.pdf>
- Agarwal, A., de los Ángeles, M. S., Bhatia, R., Chéret, I., Dávila-Poblete, S., Falkenmark, M., González, F., Jonch-Clausen, T., Ait Kadi, M., Kindler, J., Rees, J., Roberts, P., Rogers, P., Solanes, M., & Wright, A. (2000). *Manejo integrado de recursos hídricos*. Global Water Partnership. <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/04-integrated-water-resources-management-2000-spanish.pdf>
- Ammar, A., Riksen, M., Ouessar, M., & Ritsema, C. (2016). Identification of suitable sites for rainwater harvesting structures in arid and semi-arid regions: A review. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(2), 108–120. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.03.001>
- Antón, D. J. (1996). *Ciudades sedientas : agua y ambientes urbanos en América Latina*. Montevideo Centro Internacional De Investigaciones Para El Desarrollo - Ciid Ottawa, Ont. Ed. Nordan [Erscheinungsort Nicht Ermittelt] Unesco.
- Arniella, E. F. (2017). Evaluation of Smart Water Infrastructure Technologies (SWIT). In *Iadb.org*. BID. <https://publications.iadb.org/en/evaluation-smart-water-infrastructure-technologies-swit>
- Beatley, T., & Newman, P. (2013). Biophilic Cities Are Sustainable, Resilient Cities. *Sustainability*, 5(8), 3328–3345. <https://doi.org/10.3390/su5083328>
- Benedict, M. A., & McMahon, E. (2006). *Green infrastructure : linking landscapes and communities*. Island Press.
- Bracken, I. (2007). *Urban Planning Methods Research and Policy Analysis*. Routledge Library Editions - The City. (Original work published 1981)
- Brown, R., Keath, N., & Wong, T. H. F. (2009). Urban water management in cities: historical, current and future regimes. *Water Science & Technology*, 59(5), 847–855. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.029>
- Brown, Rebekah, Keath, N., & Hoong, T. (2008). Transitioning to Water Sensitive Cities: Historical Current and Future Transition States. In R. Ashley (Ed.), *1th International Conference on Urban Drainage*. Iwa Publishing. <https://www.semanticscholar.org/paper/Transitioning-to-Water-Sensitive-Cities%3A-Historical-Brown-Keath/1ab8b49029ed54efc4e42c5a74d51b88624f02ff>
- Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M. ., Scherzer, A., Tramberend, S., Nava, L. ., Wada, Y., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Magnuszewski, P., Cosgrove, B., & Wiberg, D. (2011). Water Futures and Solution - Fast Track Initiative (Final Report). In *Iiasa.ac.at*. International Institute for Applied Systems Analysis. <https://doi.org/http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13008/1/WP-16-006.pdf>
- Cañedo, Y. (2014). La región bajo-centro-occidente de México, ¿el nuevo polo industrial del país? *Seminario de Análisis Regional y Estudios Espaciales*, 8, 12–15. http://www.saree.com.mx/unam/sites/default/files/CANEDOB8_2014.pdf

- Carmon, N., Shamir, U., & Meiron-Pistiner, S. (1997). Water-sensitive Urban Planning: Protecting Groundwater. *Journal of Environmental Planning and Management*, 40(4), 413–434. <https://doi.org/10.1080/09640569712010>
- CEA. (2014). *La Infraestructura Verde Urbana de Vitoria-Gasteiz* (p. 188). Centro de Estudios Ambientales - Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz. <https://www.vitoria-gasteiz.org/docs/wb021/contenidosEstaticos/adjuntos/eu/32/95/53295.pdf>
- Center for Neighborhood Technology. (2010). The Value of Green Infrastructure: A Guide to Recognizing Its Economic, Environmental and Social Benefits. In *cnt.org*. CNT. <https://www.cnt.org/publications/the-value-of-green-infrastructure-a-guide-to-recognizing-its-economic-environmental-and>
- César Valdez, E. (1994). *Abastecimiento de agua potable* (Vol. 1). Facultad de Ingeniería, UNAM. <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/13768>
- Chan, F. K. S., Griffiths, J. A., Higgitt, D., Xu, S., Zhu, F., Tang, Y.-T., Xu, Y., & Thorne, C. R. (2018). “Sponge City” in China—A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. *Land Use Policy*, 76, 772–778. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.005>
- Christian Amos, C., Rahman, A., & Mwangi Gathenya, J. (2016). Economic Analysis and Feasibility of Rainwater Harvesting Systems in Urban and Peri-Urban Environments: A Review of the Global Situation with a Special Focus on Australia and Kenya. *Water*, 8(4), 149. <https://doi.org/10.3390/w8040149>
- CIRA. (2002). *Sequía en un mundo de agua* (D. Anton & C. Diaz Delgado (eds.)). Piriguazú.
- CONAGUA. (2011). *Atlas del agua en*. SEMARNAT. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-18-11.pdf>
- CONAGUA. (2012). *Agenda del Agua 2030*. CONAGUA. <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sgp-10-12baja.pdf>
- CONAGUA. (2014, febrero 13). *Uso integral del agua en Aguascalientes, prioridad de la Conagua y el Gobierno del Estado*. <https://www.gob.mx/conagua/prensa/uso-integral-del-agua-en-aguascalientes-prioridad-de-la-conagua-y-el-gobierno-del-estado>
- CONAGUA. (2016a). *Atlas del Agua en México 2016*. CONAGUA. http://201.116.60.25/publicaciones/AAM_2016.pdf
- CONAGUA. (2016b). *Estadísticas del Agua en México 2016*. CONAGUA. http://201.116.60.25/publicaciones/EAM_2016.pdf
- CONAGUA. (2016c). *Lineamientos Técnicos: Sistema de Captación de Agua de Lluvia con Fines de Abasto de Agua Potable a Nivel Vivienda*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/152776/LINEAMIENTOS_CAPTACION_P_LUVIAL.pdf
- CONAGUA. (2016d). *Logros del Programa Nacional Hídrico 2016*. SEMARNAT. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/197058/Logros_2016_PE_Nacional_H_drico_060316_web2.pdf
- CONAGUA. (2018a). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Aguascalientes (0101)*. CONAGUA. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/Aguascalientes/DR_0101.pdf
- CONAGUA. (2018b). *Estadísticas del Agua en México, edición 2018*. SEMARNAT. http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf
- CONAGUA. (2019a). *Disponibilidad por Acuífero. Acuíferos Aguascalientes*. Conagua.Gob.Mx. <https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Edos/aguascalientes/ac.html>
- CONAGUA. (2019b). *Sistema de Seguridad de Presas*. Conagua.Gob.Mx. https://presas.conagua.gob.mx/inventario/hnombre_presa.aspx
- CONAPO. (2011). *La Planeación Demográfica*. CONAPO. <http://conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Resource/208/6/images/LaPlaneacionDemograficaEnMexico.pdf>

- CONAPO. (2019). Proyecciones de la Población de los Municipios de México, 2015-2030. *Datos.Gob.Mx*. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050/resource/992890a0-f5c9-4bb1-bd70-573ad98c9e61>
- Consejo Consultivo del Agua A.C. (2011). *Gestión del Agua en las Ciudades de México. Indicadores de Desempeño 2011 – Agua.org.mx*. Agua.Org.Mx. <https://agua.org.mx/biblioteca/gestion-del-agua-en-las-ciudades-de-mexico-indicadores-de-desempeno-2011/>
- Coombes, P., & Kuczera, G. (2003). A Sensitivity Analysis of an Investment Model Used to Determine the Economic Benefits of Rainwater Tanks. *28th International Hydrology and Water Resources Symposium*, 1–8. https://pdfs.semanticscholar.org/ce80/6897c4268a372b0be9feb723f178932e96d3.pdf?_ga=2.38992291.1491121708.1578549371-956946678.1575310915
- Cortés-Lara, M., Flores-Elizondo, R., Álvarez-Partida, F., Preciado-Quiroz, A., Antonio-Pérez, J., Flores-Chávez, R., Juárez-Ramírez, A., & ; Martínez-Villalba, J. (2018). *Sustentabilidad y tecnología. Herramientas para la gestión segura y eficiente del hábitat (Hábitat Sustentable Contemporáneo)*. ITESO. <https://rei.iteso.mx/bitstream/handle/11117/5468/9786078528851-REI.pdf?sequence=2>
- Intergovernmental Agreement On A National Water Initiative Between the Commonwealth of Australia and the Governments of New, (2004)* (testimony of Council of Australian Governments). <https://www.pc.gov.au/inquiries/completed/water-reform/national-water-initiative-agreement-2004.pdf>
- CRC for Catchment Hydrology. (2001, septiembre). Water Sensitive Urban Design in The Australian Context. *Melbourne Water*. <https://ewater.org.au/archive/crcch/archive/pubs/pdfs/technical200107.pdf>
- Stormwater resource in Australia Submission 44. Response to the Australian Senate Inquiry into Stormwater*, (2015) (testimony of CRC for Water Sensitive Cities).
- CRC for Water Sensitive Cities. (2018a). Water Utilities of the Future – Australia’s experience in starting the transition. In <http://www.watersensitivecities.org.au/>. Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities. <https://watersensitivecities.org.au/wp-content/uploads/2018/03/Utilities-of-the-Future-180313-R11.pdf>
- CRC for Water Sensitive Cities. (2018b). *Waterproofing the West*. Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities. https://watersensitivecities.org.au/wp-content/uploads/2018/10/11-Waterproofing-the-west_FINAL.pdf
- Cruz Vicente, M. A., Agatón Lorenzo, D., & Añorve Fonseca, N. N. (2018). El agua desde la economía circular: base para el turismo sustentable y el desarrollo local en Acapulco. In *Impacto Socio-Ambiental, Territorios Sostenibles Y Desarrollo Regional Desde El Turismo* (pp. 483–501). Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C. https://doi.org/http://ru.iiec.unam.mx/4277/1/3-Vol2_Parte2_Eje12_Cap1-058-Cruz-Agaton-Anorve.pdf
- CVC, & TRCA. (2010). *Low Impact Development Stormwater Management Planning and Design Guide*. Credit Valley Conservation & Toronto and Region Conservation Authority. https://cvc.ca/wp-content/uploads/2014/04/LID-SWM-Guide-v1.0_2010_1_no-appendices.pdf
- CYCNA. (2017). *Programa de Captación de Agua Pluvial*. Cementocruzazul.Com.Mx. <https://cementocruzazul.com.mx/comunicacion-progreso/publicado/enfoque-de-gestion-e-indicadores/empresas-de-desarrollo-horizontal/cementos-y-concretos-nacionales/captacion-de-agua-pluvial/index.html>
- Dai, L., van Rijswijk, H. F. M. W., Driessen, P. P. J., & Keessen, A. M. (2017). Governance of the Sponge City Programme in China with Wuhan as a case study. *International Journal of Water Resources Development*, 34(4), 578–596. <https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1373637>

- de Santos, C. (2018, agosto 26). Sólo se aprovecha 40% del agua extraída de pozos. *El Heraldo de Aguascalientes*. <http://www.heraldo.mx/solo-se-aprovecha-40-del-agua-extraida-de-pozos/>
- Debo, T. N., & Reese, A. (2002). Municipal Stormwater Management. In *CRC Press*. CRC Press. <https://www.crcpress.com/Municipal-Stormwater-Management/Debo-Reese/p/book/9781566705844>
- Department of Planning and Local Government. (2009). *Introduction to Water Sensitive Urban Design. Summary Sheet*. Government of South Australia. https://www.sa.gov.au/_data/assets/pdf_file/0007/9448/WSUD_summary_1_2_3.pdf
- Ding, G. K. C. (2017). Wastewater Treatment and Reuse—The Future Source of Water Supply. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 4, 43–52. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.10170-8>
- DOF. (2018, enero 4). *Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las Regiones Hidrológico-Administrativas que se indican*. Dof.Gob.Mx. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5510042&fecha=04/01/2018
- Domene, E., & Sauri, D. (2003). Modelos Urbanos y consumo de agua. El riego de jardines privados en la región metropolitana de Barcelona. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, 32, 5–17. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17603201>
- Donofrio, J., Kuhn, Y., McWalter, K., & Winsor, M. (2009). Research Article: Water-Sensitive Urban Design: An Emerging Model in Sustainable Design and Comprehensive Water-Cycle Management. *Environmental Practice*, 11(3), 179–189. <https://doi.org/10.1017/s1466046609990263>
- Eionet. (2005, enero). *Water stress*. Water Glossary; European Environment Information and Observation Network. <https://www.eea.europa.eu/themes/water/glossary/water-stress>
- El Heraldo. (2016, Julio 20). Automotriz, la industria que más agua consume | El Heraldo de Aguascalientes. *Heraldo.Mx*. <http://www.heraldo.mx/automotriz-la-industria-que-mas-agua-consume/>
- El Heraldo. (2018, septiembre 28). Costará 500 mdp actualizar red hidráulica: CCAPAMA. *El Heraldo de Aguascalientes*. <http://www.heraldo.mx/costara-500-mdp-actualizar-red-hidraulica-ccapama/>
- El Heraldo de Aguascalientes. (2016, junio 4). *El acuífero de Aguascalientes tiene vida útil de hasta 15 años* | *El Heraldo de Aguascalientes*. *Heraldo.Mx*. <http://www.heraldo.mx/el-acuifero-de-aguascalientes-tiene-vida-util-de-hasta-15-anos/>
- El Sol del Centro. (2019, septiembre 7). Fuerte inversión en las obras hidráulicas. *El Sol Del Centro*. <https://www.elsoldelcentro.com.mx/local/fuerte-inversion-en-las-obras-hidraulicas-4151842.html>
- Elgendy, H. (2003). *Development and Implementation of Planning Information Systems in collaborative spatial planning processes* [Dissertation, Universität Fridericiana zu Karlsruhe]. https://www.pro-raum-consult.com/uploads/planning_information_systems.pdf
- Ellis, J. B. (2006). The DayWater decision support approach to the selection of sustainable drainage systems: A multi-criteria methodology for BMP decision makers. *Water Practice and Technology*, 1(1). <https://doi.org/10.2166/wpt.2006002>
- European Commission, CORDIS. (2002). *Adaptive decision support system for stormwater pollution control*. <https://cordis.europa.eu/project/rcn/67528/factsheet/es>
- FAO. (2006). *Textura de suelo*. Métodos Sencillos Para La Acuicultura; Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/SPA_MENU.htm
- FAO. (2007). *Coping with water scarcity - Challenge of the twenty-first century*. Food and Agriculture Organization. <http://www.fao.org/3/a-aq444e.pdf>
- FAO. (2016). *Sellado del suelo*. FAO. <http://www.fao.org/3/b-i6470s.pdf>

- Fazlollahi, B., Parikh, M. A., & Verma, S. (1997). Adaptive decision support systems. *Decision Support Systems*, 20(4), 297–315. [https://doi.org/10.1016/s0167-9236\(97\)00014-6](https://doi.org/10.1016/s0167-9236(97)00014-6)
- Fenyk, H. (2019, April 8). Flood prevention and butterflies: The role and potential of stormwater detention basins. *Lowerraritanwatershed.Org*. <http://lowerraritanwatershed.org/2019/04/08/flood-prevention-and-butterflies-the-role-and-potential-of-stormwater-detention-basins/>
- Flores Nieves, A. J. (2019, Julio 31). No se conoce la dimensión exacta del manto acuífero del Valle de Aguascalientes. *La Jornada Aguascalientes (LJA.Mx)*. <https://www.lja.mx/2019/07/no-se-conoce-la-dimension-exacta-del-manto-acuifero-del-valle-de-aguascalientes/>
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 254–280. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>
- Futuro. (2018, octubre 24). Magna obra pluvial pone en marcha el Gobernador | Revista Futuro. *Revistafuturoags.Mx*. <http://revistafuturoags.mx/2018/10/24/magna-obra-pluvial-pone-en-marcha-el-gobernador/>
- Garrocho, C., Aguilar, A. G., Brambila, C., Graizbord, B., & Sobrino, J. (2014). Hacia una cultura de las ciudades sostenibles. In *UNFPA México*. Fondo de Población de las Naciones Unidas. https://mexico.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/ciudadessostenibles_0.pdf
- Gautam, M. R., Acharya, K., & Stone, M. (2010). Best Management Practices for Stormwater Management in the Desert Southwest. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 146(1), 39–49. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704x.2010.00390.x>
- Girardet, H. (2010). *Regenerative Cities*. World Future Council. https://www.worldfuturecouncil.org/wp-content/uploads/2016/01/WFC_2010_Regenerative_Cities.pdf
- Glaeser, E. L. (2011). *Triumph of the city: how our greatest invention makes us richer, smarter, greener, healthier, and happier*. The Penguin Press.
- Guo Ban Fa No.23., Aviso de la Oficina General del Consejo de Estado sobre cómo hacer un buen trabajo en la construcción de instalaciones de control de inundaciones y drenaje urbano (2013). http://www.gov.cn/zhengce/content/2013-04/01/content_5066.htm
- Guo Ban Fa No.75, Opiniones orientadoras de la Oficina General del Consejo de Estado sobre la Promoción de la Construcción de la Administración Estatal de la Ciudad de Esponja (2015). http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-10/16/content_10228.htm
- Guo Fa No.36, Opiniones del Consejo de Estado sobre el fortalecimiento de la construcción de infraestructura urbana (2013). http://www.gov.cn/zhengce/content/2013-09/13/content_5045.htm
- GWP. (2011). *Hacia una gestión integrada de aguas urbanas*. GWP. <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/perspective-papers/01-towards-integrated-urban-water-management-2011-spanish.pdf>
- GWP, & Cobos, C. (2017). *Recomendaciones para la implementación de prácticas y políticas relacionadas con los sistemas de cosecha de aguas de lluvia frente al cambio climático*. GWP Centroamérica. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/recomendaciones-sc.pdf
- Harikishore Kumar Reddy, D. (2017). Water Pollution Control Technologies. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 4, 3–22. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.10163-0>
- Hayward, K. (2019, April 15). *Realising the vision of a water sensitive city*. The Source; International Water Association. <https://www.thesourcemagazine.org/realising-the-vision-of-a-water-sensitive-city/>
- Hernández Guerra, S. J. (2018). *Estudio mediante el uso de simulaciones numéricas para determinar las características de velocidad y volumen de recarga natural al acuífero del valle de Aguascalientes a través de discontinuidades superficiales* [Tesis de Maestría].

- Hernández-Marín, M., Guerrero-Martínez, L., Zermeño-Villalobos, A., Rodríguez-González, L., Burbey, T. J., Pacheco-Martínez, J., Martínez-Martínez, S. I., & González-Cervantes, N. (2018). Spatial and temporal variation of natural recharge in the semi-arid valley of Aguascalientes, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 26(8), 2811–2826. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1819-x>
- Hoban, A. (2019). Water Sensitive Urban Design Approaches and Their Description. In *Approaches to Water Sensitive Urban Design Potential, Design, Ecological Health, Urban Greening, Economics, Policies, and Community Perceptions*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/c2016-0-03594-5>
- Hofste, R., Kuzma, S., Walker, S., Sutanudjaja, E., Bierkens, M., Kuijper, M., Sanchez, M., Van Beek, R., Wada, Y., Rodríguez, S., & Reig, P. (2019). *Aqueduct 3.0: Updated Decision-Relevant Global Water Risk Indicators*. World Resources Institute. https://wriorg.s3.amazonaws.com/s3fs-public/aqueduct-30-updated-decision-relevant-global-water-risk-indicators_1.pdf
- Howard, G., & Bartram, J. (2003). *Domestic Water Quantity, Service Level and Health*. WHO Press. https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf?ua=1
- Hudson, N. W. (1997). *Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. (Boletín de Suelos de la FAO - 68)*. FAO. <http://www.fao.org/3/T0848S/T0848S00.htm>
- IANAS, & Unesco. (2015). *Urban water : challenges in the Americas : a perspective from the Academies of Sciences*. Inter-American Network Of Academies Of Sciences (Ianas); United Nations Educational, Scientific And Cultural Organization.
- IMPLAN. (2018). *Programa de Desarrollo Urbano Ciudad de Aguascalientes 2040. Evaluación 1*. IMPLAN Hermosillo. (2017). *Manual de Lineamientos de Diseño de Infraestructura Verde para Municipios Mexicanos*. http://www.implanhermosillo.gob.mx/wp-content/uploads/2019/06/Manual_IV3.pdf
- INEGI. (2001). Diccionario de datos climáticos. (Vectorial). Esc. 1: 250 000 y 1: 1 000 000. Sistema Nacional de Información Geográfica. In *Inegi.org.mx*. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825223885>
- INEGI. (2018). *Aguascalientes 2018/03*. Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas DENUE.
- Jaume, A. (n.d.). *Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible*. <http://www.agroambient.gva.es/documents/163005665/163975683/AGRICULTURA8-16I+memoria/1d8cb413-3eb3-4f5e-a247-e4466a59b21c>
- Jiménez-Cisneros, B. (2014). Agua, ciudades y futuro. *Ciencia*, 65(4), 14–19. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/65_4/PDF/Agua.pdf
- Jiménez-Cisneros, B., Torregrosa y Armentia, M. L., Aboites-Aguilar, L., & CONAGUA. (2010). *El agua en México : cauces y encauces*. Academia Mexicana De Ciencias.
- Kuller, M., Bach, P. M., Ramirez-Lovering, D., & Deletic, A. (2017). Framing water sensitive urban design as part of the urban form: A critical review of tools for best planning practice. *Environmental Modelling & Software*, 96, 265–282. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.07.003>
- La Jornada. (2011, marzo 2). Consumo desmedido del agua en Aguascalientes, mayor que en ciudades europeas - La Jornada Aguascalientes (LJA.mx). *La Jornada Aguascalientes*. <https://www.lja.mx/2011/03/consumo-desmedido-del-agua-en-aguascalientes-mayor-que-en-ciudades-europeas/>
- La Jornada. (2018, octubre 25). *Comienzan obras del colector pluvial Casa Blanca, en Aguascalientes*. <https://www.lja.mx/2018/10/comienzan-obras-del-colector-pluvial-casa-blanca-en-aguascalientes/>
- La Jornada. (2019a, septiembre 2). Aguascalientes capital necesita un plan hídrico a largo plazo. *La Jornada Aguascalientes (LJA.Mx)*. <https://www.lja.mx/2019/09/aguascalientes-capital-necesita-un-plan-hidrico-a-largo-plazo/?sfns=mo>

- La Jornada. (2019b, noviembre 8). *Aprueba Congreso de Aguascalientes creación del Inagua*. La Jornada Aguascalientes (LJA.Mx). <https://www.lja.mx/2019/11/aprueba-congreso-de-aguascalientes-creacion-del-inagua/>
- Lara, A. (2016). Metodología para la gestión eco-integradora y participativa del ciclo del agua en el espacio habitado [Tesis Doctoral]. In *Idus.us.es*. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/11441/54425>
- Ley de Agua para el Estado de Aguascalientes*, (2000). <http://eservicios2.aguascalientes.gob.mx/NormatecaAdministrador/archivos/EDO-18-4.pdf>
- Li, X., Li, J., Fang, X., Gong, Y., & Wang, W. (2016, mayo 16). Case Studies of the Sponge City Program in China. *World Environmental and Water Resources Congress 2016*. <https://doi.org/10.1061/9780784479858.031>
- Li, Z., Xu, S., & Yao, L. (2018). A Systematic Literature Mining of Sponge City: What Has Been Done and The Challenges Standing Ahead. *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints201801.0158.v1>
- Lluvias 13 de Julio. (2019). [Map]. In *eSpatial*. https://maps.esp.tl/maps/_Lluvias-13-de-Julio/pages/map.jsp?geoMapId=711158&TENANT_ID=226329
- López, C. (2019, noviembre 26). Urgen especialistas un verdadero Plan Hídrico para garantizar abasto de agua en la entidad. *BI Noticias Aguascalientes*. <https://binoticias.com/nota.cfm?id=69711&t=urgem-especialistas-un-verdadero-plan-hidrico-para-garantizar-abasto-de-agua-en-la-entidad>
- Mamani, P. (2018). *Clasificación de los bienes*. Academia.Edu. https://www.academia.edu/7222116/Clasificaci%C3%B3n_de_los_bienes
- Márquez, D. (2007, noviembre 12). La gestión del agua en México según la OCDE. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/2007/11/12/index.php?section=opinion&article=03401eco>
- Martínez, P., & Moeller, G. E. (2017). *Seguridad hídrica en México*. Academia de Ingeniería de México.
- Martínez Sandoval, A. (2005). La diferenciación de productos: Una breve nota. *Entramado*, 1(2), 34–47. <https://www.redalyc.org/pdf/2654/265420471005.pdf>
- Martínez Valdés, Y., & Villalejo García, V. M. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(1), 58–72. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382018000100005
- Martínez-Austria, P. F. (2013). Los retos de la seguridad hídrica. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 4(5), 165–180. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000500011
- McDonald, R. I., Douglas, I., Revenga, C., Hale, R., Grimm, N., Grönwall, J., & Fekete, B. (2011). Global Urban Growth and the Geography of Water Availability, Quality, and Delivery. *AMBIO*, 40(5), 437–446. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0152-6>
- McDonald, R. I., Green, P., Balk, D., Fekete, B. M., Revenga, C., Todd, M., & Montgomery, M. (2011). Urban growth, climate change, and freshwater availability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(15), 6312–6317. <https://doi.org/10.1073/pnas.1011615108>
- McDonald, R. I., Weber, K., Padowski, J., Flörke, M., Schneider, C., Green, P. A., Gleeson, T., Eckman, S., Lehner, B., Balk, D., Boucher, T., Grill, G., & Montgomery, M. (2014). Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure. *Global Environmental Change*, 27, 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.022>
- McGrane, S. J. (2016). Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review. *Hydrological Sciences Journal*, 61(13), 2295–2311. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1128084>
- Mehmood, A. (2015). Of resilient places: planning for urban resilience. *European Planning Studies*, 24(2), 407–419. <https://doi.org/10.1080/09654313.2015.1082980>
- Melbourne Water. (2006). *WSUD engineering procedures : stormwater*. Csiro Publishing.

- Melbourne Water. (2011). *Developing a Strategic Approach to WSUD Implementation Guidelines for Councils*. Melbourne Water Corporation. <https://www.clearwatervic.com.au/user-data/resource-files/Strategic-Approach-to-WSUD-Implementation-Guidelines.pdf>
- Melbourne Water. (2013). *WSUD maintenance guidelines A guide for asset managers*. Melbourne Water Corporation. <https://www.melbournewater.com.au/media/636/download>
- Melbourne Water. (2017). *Introduction to WSUD*. <https://www.melbournewater.com.au/planning-and-building/stormwater-management/introduction-wsud>
- Méndez González, J., Nívar Cháidez, J. de J., & González Ontiveros, V. (2019). Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones Geográficas*, 65, 38–55. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112008000100004
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2005). *Guía de diseño y especificaciones de elementos urbanos de infraestructura de aguas lluvias*. Gobierno de Chile. <https://www.hesep.cl/intranet/upload/documentos/5c9102de5a5ed.pdf>
- Molina Prieto, L. F., & Villegas Rogríguez, E. (2015). Ciudades sensibles al agua: paradigma contemporáneo para gestionar aguas urbanas. *Revista de Tecnología*, 14(1), 53–64. <https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6041582.pdf>
- Mora Legaspi, M. (2018, April 2). *Cinco acuíferos sobreexplotados*. El Sol del Centro. <https://www.elsoldelcentro.com.mx/local/cinco-acuiferos-sobreexplotados-1582080.html>
- Morgan, C., Bevington, C., Levin, D., Robinson, P., Davis, P., Abbott, J., & Simkins, P. (2013). *Water Sensitive Urban Design in the UK – Ideas for built environment practitioners*. CIRIA. https://www.susdrain.org/files/resources/ciria_guidance/wsud_ideas_book.pdf
- Newsweek. (2018, marzo 23). Secan 2 mil 400 pozos acuífero de Aguascalientes. *Newsweek México*. <https://newsweekespanol.com/2018/03/secan-2-mil-400-pozos-acuifero-de-aguascalientes/>
- Nguyen, T. T., Ngo, H. H., Guo, W., Wang, X. C., Ren, N., Li, G., Ding, J., & Liang, H. (2019). Implementation of a specific urban water management - Sponge City. *Science of The Total Environment*, 652, 147–162. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.168>
- NRM North. (2012). *Engineering procedures for stormwater management in Tasmania WSUD Engineering Procedures for Stormwater Management in Tasmania 2012 b*. NRM North. <https://www.nrmnorth.org.au/client-assets/content/teer/programs/ntsp/docs/WSUD%20Engineering%20Procedures.pdf>
- O'Brien, G. (2017). Cities – good for the environment? *International Journal of Environmental Studies*, 75(1), 16–28. <https://doi.org/10.1080/00207233.2017.1392767>
- OECD. (2015). Water withdrawals (indicator). *OECD*. OECD Data. <https://data.oecd.org/water/water-withdrawals.htm>
- OECD. (2016). Water Governance in Cities. In *OECD Studies on Water*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264251090-en>
- ONU. (2019, abril 25). *Agua*. Un.Org. <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>
- ONU Noticias. (2018, mayo 16). Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo | ONU DAES | Naciones Unidas Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. *ONU DAES | Naciones Unidas Departamento de Asuntos Económicos y Sociales*. <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>
- ONU-Habitat. (2019). *Comprender las dimensiones del problema del agua*. Onuhabitat.Org.Mx. <https://onuhabitat.org.mx/index.php/comprender-las-dimensiones-del-problema-del-agua>
- Oswald, Ú. (2011). Water Resources in Mexico. In *Hexagon Series on Human and Environmental Security and Peace*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-05432-7>
- Página 24. (2019, septiembre 30). Se ha Invertido 55 mdp en la Infraestructura Hidráulica; no es Suficiente: Refugio Muñoz | Página 24. *Página24.Com.Mx*. <https://pagina24.com.mx/2019/09/30/local/se-ha-invertido-55-mdp-en-la-infraestructura-hidraulica-no-es-suficiente-refugio-munoz/>

- Peñuela Arévalo, L. A., & Carrillo Rivera, J. J. (2013). Definición de zonas de recarga y descarga de agua subterránea a partir de indicadores superficiales: centro-sur de la Mesa Central, México. *Investigaciones Geográficas*, 81. <https://doi.org/10.14350/rig.30518>
- Perevochtchikova, M. (2010). La problemática del agua: revisión de la situación actual desde una perspectiva ambiental. In J. L. Lezama & B. Graizbord (Eds.), *Los grandes problemas de México* (pp. 61–104). El Colegio de México. <https://2010.colmex.mx/16tomos/IV.pdf>
- Periódico Oficial del Estado de Aguascalientes. (2008, septiembre 29). ACUERDO CD/001/2008. P.O., LXXI(39), 9. <http://eservicios2.aguascalientes.gob.mx/periodicooficial/web/viewer.html?file=../Archivos/699.pdf#page=12>
- Perló Cohen, M., & Castro-Reguera, L. (2017). *Propuesta General para Parque Hídrico La Quebradora*. http://www.agua.unam.mx/vi-encuentro/assets/pdf/ponencias/castro_loreta.pdf
- Perpiñán Guerra, A. A., & Marbelló Pérez, R. V. (2014). Metodología de apoyo a la decisión para la gestión integrada del agua en el sector institucional. *Gestión y Ambiente*, 17(2), 31–43. <https://doi.org/10.15446/ga>
- PIMAgS. (2018). *Población total, tasa de crecimiento del estado, el municipio y la ciudad de Aguascalientes*. Plataforma de Información Municipal de Aguascalientes. <http://www.pimags.gob.mx/index.php?p=buscador&q=tasa+de+crecimiento#responsive>
- Platinum Ponds. (2015, agosto 28). Stormwater Detention & Retention Pond Safety. *Platinum Ponds*. <https://www.platinumlakemanagement.com/blog/stormwater-detention-retention-pond-safety>
- PROCAPTAR. (2016). *Localidades con lluvias menores a 1,500 mm que pueden ser factibles de aplicar sistemas de captación de agua de lluvia (A)*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/266745/LLUVIA_MENOR_1500_MM_OK_A.pdf
- PUB. (2019). *Water from Local Catchment*. PUB, Singapore's National Water Agency. <https://www.pub.gov.sg/watersupply/fournationaltaps/localcatchmentwater>
- Radcliffe, J. C. (2019). History of Water Sensitive Urban Design/Low Impact Development Adoption in Australia and Internationally. In *Approaches to Water Sensitive Urban Design* (pp. 1–24). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812843-5.00001-0>
- Radcliffe, J. C., Page, D., Naumann, B., & Dillon, P. (2017). Fifty years of water sensitive urban design, Salisbury, South Australia. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11(4). <https://doi.org/10.1007/s11783-017-0937-3>
- Raworth, K. (2012). *Un espacio seguro y justo para la humanidad ¿Podemos vivir dentro del donut?* https://oi-files-d8-prod.s3.eu-west-2.amazonaws.com/s3fs-public/file_attachments/dp-espacio-seguro-justo-humanidad-130212-es_3.pdf
- Raworth, K. (2013). Defining a Safe and Just Space for Humanity. In L. Starke (Ed.), *State of the World 2013: Is Sustainability Still Possible? (Is Sustainability Still Possible?)* (pp. 28–38). Island Press.
- Redacción. (2019, octubre 3). Municipio capitalino constituye “Fondo de Agua.” *Líder Empresarial*. <https://www.liderempresarial.com/municipio-capitalino-constituye-fondo-de-agua/>
- Resnik, D. B. (2010). Urban Sprawl, Smart Growth, and Deliberative Democracy. *American Public Health Association*, 100(10), 1852–1856. <https://doi.org/doi:10.2105/AJPH.2009.182501>
- Rodríguez Sánchez, J. (2012). *Nuevas tendencias en la gestión de drenaje pluvial en una cuenca urbana* [Universidad de la Rioja]. https://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/TFE000523.pdf
- Rusli, N., Majid, M. R., & Muhamad Ludin, A. N. (2011). Low Impact Development: An Approach To Retrofit A Conventional Stormwater Management System. *5th Seatuc South East Asian Technical University Consortium Symposium*. https://www.researchgate.net/publication/327200107_LOW_IMPACT_DEVELOPMENT_AN_APPROACH_TO_RETROFIT_A_CONVENTIONAL_STORMWATER_MANAGEMENT_SYSTEM

- SAGARPA. (2000). *Hidrología aplicada a las pequeñas obras hidráulicas*. <http://www.campopotosino.gob.mx/index.php/biblioteca-digital/category/240-archivos?download=3899:hidrologia-aplicada-a-pequeas-obras>
- Sánchez Vélez, A. S., García Núñez, R. M., & Palma Trujano, A. (2003). *La cuenca hidrográfica : unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales*. Semarnat, Centro De Educación Y Capacitación Para El Desarrollo Sustentable.
- Sauri, D. (2009, enero). Agua y modelos de desarrollo urbano. *V Congreso de Ordenación Del Territorio*.
- Scholz, M., Corrigan, N. L., & Yazdi, S. K. (206 C.E.). The Glasgow Sustainable Urban Drainage System Management Project: Case Studies (Belvidere Hospital and Celtic FC Stadium Areas) | Environmental Engineering Science. *Environmental Engineering Science*, 23(6), 908–922. <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/ees.2006.23.908>
- SEDATU. (2016). Guía de Resiliencia Urbana. In *gob.mx*. http://70.35.196.242/onuhabitadmexico/Guia_de_Resiliencia_Urbana_2016.pdf
- SEMADESU. (2016). Pronóstico. In *Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Aguascalientes*. <https://www.ags.gob.mx/SEMADESU/POEL/BITACORA%20AMBIENTAL/7%20PRONOSTICO/ETAPA%20DE%20PRONOSTICO%20Y%20TALLERES.pdf>
- SEMARNAT. (2015). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde*. SEMARNAT. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf
- Serrao-Neumann, S., Renouf, M., Kenway, S. J., & Low Choy, D. (2017). Connecting land-use and water planning: Prospects for an urban water metabolism approach. *Cities*, 60, 13–27. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.07.003>
- 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. *Water Science and Technology*, 65(2), 340–352. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.858>
- SIAPA. (2014). *Actualización de los criterios y lineamientos técnicos para factibilidades en a Z.M.G. Sistema Intermunicipal de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado*. <http://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/portada.pdf>
- Sini, R. (2019). Singapore’s Green Infrastructure and Biophilic Urbanism. In B. Dahiya (Ed.), *Singapore’s Park System Master Planning. Advances in 21st Century Human Settlements*. (pp. 211–251). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6746-5_8
- Sobrino, J., Garrocho, C., Graizbord, B., Brambilia, C., & Aguilar, A. G. (2015). Ciudades sostenibles en México: una propuesta conceptual y operativa. In *UNFPA Mexico. Fondo de Población de las Naciones Unidas*. https://mexico.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/Ciudades_sostenibles_Mex_esp.pdf
- Srinivasan, V., Seto, K. C., Emerson, R., & Gorelick, S. M. (2013). The impact of urbanization on water vulnerability: A coupled human–environment system approach for Chennai, India. *Global Environmental Change*, 23(1), 229–239. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.10.002>
- Strosser, P., Delacámara, G., Hanus, A., Williams, H., & Jaritt, N. (2015). Una guía para apoyar la elección, el diseño y la implementación de las medidas naturales de retención de agua en Europa : recoger los múltiples beneficios de las soluciones basadas en la naturaleza. In *Europa.eu. NWRM*. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a6de1b15-d277-4753-bc37-3b746b09ef9f/language-es>
- Suárez, A., Camarena, P., Herrera, I., & Lot, A. (2011). *Infraestructura verde y corredores ecológicos de los pedregales: ecología urbana del sur de la Ciudad de México* (1a ed.). Universidad Nacional Autónoma de México Coordinación de la Investigación Científica. https://arquitectura.unam.mx/uploads/8/1/1/0/8110907/infraestructura_verde.pdf

- Suárez, J., Puertas, J., Anta, J., Jácome, A., & Álvarez-Campana, J. M. (2014). Gestión integrada de los recursos hídricos en el sistema del agua urbana: Desarrollo Urbano Sensible al Agua como enfoque estratégico. *Ingeniería Del Agua*, 18(1), 111–123. <https://doi.org/10.4995/ia.2014.3173>
- Tagle Zamora, D., Caldera Ortega, A. R., & Rodríguez González, J. A. (2016). Complejidad ambiental en el Bajío mexicano: implicaciones del proyecto civilizatorio vinculado al crecimiento económico. *Región y Sociedad*, 29(68). <https://doi.org/10.22198/rys.2017.68.a873>
- Tan, P. Y., Wang, J., & Sia, A. (2013). Perspectives on five decades of the urban greening of Singapore. *Cities*, 32, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.02.001>
- Taylor, A., Monk, E., Torre, A., & Mazzella, L. (2005). Non-structural controls. In *Stormwater Management Manual for Western Australia*. Department of Environment and Swan River Trust. https://www.water.wa.gov.au/_data/assets/pdf_file/0003/1677/84958.pdf
- Taylor, A., & Wong, T. (2002a). *Non-structural stormwater quality : best management practices : a literature review of their value and life-cycle costs*. Crc For Catchment Hydrology.
- Taylor, A., & Wong, T. (2002b). *Non-structural stormwater quality best management practices: an overview of their use, value, cost and evaluation. Report 02/11*. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. <https://ewater.org.au/archive/crcch/archive/pubs/pdfs/technical200211.pdf>
- Taylor, P. J. (2014). *Extraordinary cities : millenia of moral syndromes, world-systems and city/state relations*. Edward Elgar Publishing, Ltd., Cop.
- Thamer, A. M., Megat-Johari, M. M., & Noor, A. H. G. (2007). Study on Potential Uses of Rainwater harvesting in Urban Areas. *Rainwater Utilization Colloquium*. http://empslocal.ex.ac.uk/people/staff/fam203/developing%20countries%20database%20-%20Jacob%20Marsh/pdf_wat_tech_rain/University%20Putra%20-%20Rainwater%20in%20Urban%20Areas.pdf
- Thévenot, D. R., & Fifth Framework Programme (European Commission. (2008). *DayWater : an adaptive decision support system for urban stormwater*. Iwa Publishing.
- Trapote, A., & Fernández, H. (2016). *Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible*. Universidad de Alicante. Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales. <http://www.agroambient.gva.es/documents/163005665/163975683/AGRICULTURA8-16I+memoria/1d8cb413-3eb3-4f5e-a247-e4466a59b21c>
- UNESCO. (2015). *Agua, sociedad y cooperación. 50 años de los programas sobre agua para el desarrollo sostenible de la UNESCO*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000235029>
- UN-Habitat. (2010). *The state of the world's cities 2010/11 : cities for all : bridging the urban divide*. UN-Habitat. <https://unhabitat.org/books/state-of-the-worlds-cities-20102011-cities-for-all-bridging-the-urban-divide/>
- UN-Habitat. (2015). *International Guidelines on Urban and Territorial Planning*. UN-Habitat. https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/IG-UTP_English.pdf
- UN-Water. (2010). *Agua y Ciudades. Hechos y Cifras*. https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/swm_cities_zaragoza_2010/pdf/facts_and_figures_long_final_spa.pdf
- van Roon, M. (2007). Water localisation and reclamation: Steps towards low impact urban design and development. *Journal of Environmental Management*, 83(4), 437–447. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.04.008>
- van Roon, M., & van Roon, H. (2005). Low Impact Urban Design and Development Principles for Assessment of Planning, Policy and Development Outcomes. *Centre for Urban Ecosystem Sustainability. University of Auckland, Working Paper 051*.
- van Wambeke, J. (2005). *The Micro watershed as a place for planning the use and management of natural resources, Socio-Territorial approach*. http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/en/recnat/micro.htm

- Vázquez-Dávila, M. de J. (2018). *Análisis urbanístico de la ciudad de Aguascalientes para el aprovechamiento del agua pluvial y la aportación en la recarga de acuíferos* [Tesis].
- Velasco, I., Ochoa, L., & Gutiérrez, C. (2019). Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *Región y Sociedad*, 17(34), 35–71. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252005000300002
- Vera Tenorio, N. (2018). La captación de lluvia como un acto transformador para la Ciudad de México. In *La crisis del agua y la metr. poli alternativas para la zona Metropolitana del Valle de México* (pp. 230–237). Siglo Veintiuno Editores.
- Vermont Department of Environmental Conservation. (2018). *Guide to Stormwater Management for Homeowners and Small Businesses*. Vermont Department of Environmental Conservation. https://dec.vermont.gov/sites/dec/files/wsm/erp/docs/2018-06-14%20VT_Guide_to_Stormwater_for_Homeowners.pdf
- White House Council on Environmental Quality. (2013, enero 18). Building the Future: Innovative Water Infrastructure. *Whitehouse.Gov*. <https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2013/01/18/building-future-innovative-water-infrastructure>
- Wong, T.H.F., Allen, R., Brown, R. R., Deletic, A., Gangadharan, L., Gernjak, W., Jakob, C., Jonstone, P., Reeder, M., Tapper, N., Vietz, G., & Walsh, C. J. (2013). *Blueprint 2013 - Stormwater Management in a Water Sensitive City*. Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities. <https://watersensitivecities.org.au/wp-content/uploads/2016/06/blueprint2013.pdf>
- Wong, T.H.F., & Brown, R. R. (2009). The water sensitive city: principles for practice. *Water Science & Technology*, 60(3), 673–682. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.436>
- Wong, Tony H.F: (2016). Water Sensitive Urban Design – The Journey Thus Far. *Australian Journal of Water Resources*, 10(3), 1–11. https://www.researchgate.net/publication/254310504_Water_Sensitive_Urban_Design_-_The_Journey_Thus_Far
- Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, B., & Shaffer, P. (2007). *The SUDS manual C697*. 16. Construction Industry Research and Information Association (CIRIA). <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=57cb3e1af7b67ef3e41da8f1&assetKey=AS%3A402343179898880%401472937497168>
- World Economic Forum. (2018). *Informe Global de Riesgos 2018*. World Economic Forum. <https://www.marsh.com/mx/insights/research/informe-global-de-riesgos-2018.html>
- World Economic Forum. (2019). *Informe Global de Riesgos 2019*. World Economic Forum. <https://www.marsh.com/ar/es/insights/research/informe-riesgos-globales-2019.html>
- World Resources Institute. (2019). *Aqueduct Country Ranking - México*. Wri.Org. <https://www.wri.org/applications/aqueduct/country-rankings/?country=MEX>
- WWAP. (2009). *Water in a changing world: the United Nations world water development report 3*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000181993>
- WWAP. (2010). *3er Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Hechos y cifras*. UNESCO. http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/wwap_WWDR3_Facts_and_Figures_SP.pdf
- WWAP. (2015). *Water for a sustainable world : the United Nations world water development report 2015*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000231823>
- WWAP. (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261494>
- WWAP. (2019). *Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304>

- Yazar, A., & Ali, A. (2016). Water Harvesting in Dry Environments. In M. Farooq & K. Siddique (Eds.), *Innovations in Dryland Agriculture* (pp. 49–98). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47928-6_3
- Zevenbergen, C., Fu, D., & Pathirana, A. (2018). Transitioning to Sponge Cities: Challenges and Opportunities to Address Urban Water Problems in China. *Water*, *10*(9), 1230. <https://doi.org/10.3390/w10091230>





TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS



ANEXO METODOLÓGICO

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

Anexo 1. Procesamiento de información geoestadística como parte del análisis AHP.

El análisis de la información fue realizado aplicando el método AHP basado principalmente en un proceso de ponderación, mediante la asignación de pesos a cada variable, en función de su relevancia, asignando un valor numérico; se ejecutó la herramienta de Calculadora Ráster en ArcMap, con el cual se obtuvo el mapa de zonificación de sitios susceptibles para implementación de estrategias de captación pluvial.

La información fue procesada mediante procesos geoespaciales ejecutados en el programa ArcMap 10.5, en donde se obtuvo, primero, una capa individual para cada factor, para posteriormente obtener una capa con los valores traspuestos. Una vez analizadas las variables a evaluar, con el objetivo de poder hacer comparable la información de acuerdo con los mismos criterios, se realizó la reclasificación de las variables en 5 clases, de acuerdo con la metodología propuesta en Hernández-Marín et al. (2018) para lo cual se realizaron los cálculos correspondientes para cada una de las variables analizadas considerando sus valores máximos y mínimos con lo que se obtuvieron los rangos para cada clase (Anexo 3). Una vez reclasificados los datos de cada variable se ejecutó el análisis multicriterio en ArcMap, este análisis es una herramienta que permite analizar distintas variables y asignarles un valor de importancia de forma arbitraria. Esta metodología habilita la combinación de información de las variables involucradas para obtener un valor general.

Como primer punto se analizaron las condiciones naturales de la superficie de captación, tomando como unidad de análisis las microcuencas asociadas a las corrientes del agua que cruzan por la zona urbana de la ciudad de Aguascalientes. Como parte del análisis del medio natural se analizó la estructura hidrográfica, que define la unidad de análisis del presente proyecto; la textura del suelo y su distribución al interior de la zona de estudio por su importancia en la determinación de la capacidad de infiltración (retención en este caso); la estructura topográfica y la distribución de pendientes, que habrán de definir las zonas en donde los escurrimientos tendrían mayor o menor velocidad, además de la dirección que dichos escurrimientos habrían de tomar rumbo a las zonas de drenaje; y por último, pero no menos importante, la distribución de usos de suelo (urbano y no urbano) y de vegetación al interior de la zona de análisis, la existencia de vegetación tanto inducida como natural influye en la capacidad de retención de escurrimientos del suelo, al contrario de las zonas urbanizadas

en donde los escurrimientos fluyen sin obstáculos a su paso impactando directamente en las zonas más bajas y provocando inundaciones.

Como segundo punto, se realizó una revisión estadística de precipitación para 30 estaciones hidrometeorológicas (Anexo 1) con el objetivo de determinar la tendencia y volumen de precipitación, y así poder identificar las microcuencas con mayores probabilidades de captación. Los datos obtenidos en este paso, junto con el análisis del medio natural, comprenden el marco para calcular el caudal máximo de escurrimiento por microcuenca, este último determinar el volumen máximo de escurrimiento que se puede esperar en cada microcuenca de acuerdo con los datos de superficie y precipitación requeridos por el método racional.

Tomando en consideración el hecho de que no existen datos estadísticos de precipitación en cada microcuenca, por la ausencia en muchos casos de estaciones hidrometeorológicas, con la información estadística disponible se generó un mapa de isoyetas que muestra la distribución de la precipitación al interior de la ciudad¹, mediante la interpolación de los datos calculados de Precipitación Media Mensual (PMM) con la aplicación de la herramienta IDW de ArcMap 10.5.

Una vez obtenidos los datos de precipitación media mensual por microcuenca se calculó el caudal máximo de escurrimiento para cada una aplicando el método racional², el cual se obtiene mediante la Fórmula 1³, la cual aplicada para cada una de las microcuencas, con base en los datos estadísticos previamente mencionados, se obtiene el caudal máximo de escurrimiento específico para cada caso (Anexo 2).

$$Q = \frac{CIA}{360} \quad (1)$$

¹ Al momento de desarrollar el plano de isoyetas se pudo identificar que la distribución de las estaciones climatológicas es poco uniforme al interior de la zona de estudio, por lo que las zonas identificadas con una mayor precipitación corresponden únicamente a los puntos en donde se ubican las estaciones y no significa que la precipitación sea menor en los espacios intermedios. El análisis de precipitación se realizó utilizando únicamente la información disponible, por lo que un análisis más detallado requerirá de un proceso de medición y registro más amplio.

² El método racional se utiliza en hidrología para determinar el caudal máximo de descarga de una cuenca hidrográfica. La metodología se basa en la aplicación de factores estimados, que relacionan la lluvia media mensual o anual con las escorrentías generadas.

³ Fórmula expuesta en (Hudson, 1997).

Donde:

Q = caudal en metros cúbicos por segundo,
I = intensidad en milímetros por hora,
A = superficie de la cuenca en hectáreas,
C = coeficiente de escorrentía sin dimensiones.

El coeficiente C, utilizado para el cálculo de caudal, mide la proporción de la lluvia que se convierte en escorrentía. A manera de ejemplo, en una cobertura impermeable casi toda la lluvia se convertirá en escorrentía, de manera que C será casi 1.0, mientras que un suelo arenoso bien drenado, donde 90% de la lluvia penetran en la tierra, el valor de C sería de 0.1 (Hudson, 1997). Debido a que el área de drenaje para cada microcuenca presenta distintos tipos de vegetación y pendiente, el coeficiente C se obtuvo de cada área parcial y posteriormente se calculó el promedio ponderado (Anexo 2b). Los mapas de reclasificación obtenidos para los factores de la variable precipitación se obtuvieron aplicando los criterios del Anexo 3.

Por último, se analizaron las variaciones demográficas en la zona de estudio en el periodo de 1990-2018, para lo cual se hizo una revisión estadística de los distintos instrumentos de conteo de población aplicados por INEGI, además de estadísticas elaboradas por CONAPO e IMPLAN; este análisis y las proyecciones de crecimiento de población derivadas, habrán de sentar las bases para realizar el cálculo de consumo anual de agua potable que corresponde a la demanda empírica de la zona de estudio que habría de satisfacer a través del sistema de captación pluvial. Al igual que los casos anteriores, los criterios del Anexo 3 fueron aplicados en su variable correspondiente para la reclasificación y relativización de la información.

Anexo 2. Datos de precipitación de estaciones climatológicas de la zona de estudio.

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	PMM
1001	11.05	6.14	4.47	9.25	12.72	60.24	95.81	88.43	71.02	30.83	8.39	9.22	28.2
1004	16.57	10.23	5.23	7.00	22.83	79.77	122.54	103.20	84.72	33.51	10.60	10.03	42.5
1005	15.38	11.43	6.11	8.12	18.37	86.15	136.40	120.91	99.55	38.05	11.71	12.32	47.2
1007	13.35	5.55	5.04	6.73	18.14	77.97	99.82	103.14	70.21	29.43	13.20	13.73	37.8
1016	17.64	7.61	7.12	12.90	18.42	91.24	111.20	122.03	80.77	36.09	6.93	10.83	41.4
1022	13.81	9.13	6.48	7.92	23.36	88.50	130.65	116.97	94.40	35.08	11.02	10.81	45.7
1024	12.50	10.33	4.26	4.46	18.25	69.72	112.25	104.60	77.38	31.91	9.03	8.92	38.6
1025	16.23	6.60	6.17	8.26	21.13	74.69	96.32	95.45	80.85	29.15	12.88	13.51	37.8
1027	15.83	9.74	5.79	8.94	16.99	90.54	120.85	115.12	93.04	38.12	10.61	14.00	44.4
1030	13.80	9.28	5.57	7.72	17.48	90.16	124.22	116.69	90.56	33.97	9.68	12.23	43.8
1031	16.94	10.94	4.85	9.18	23.99	84.07	123.34	102.81	82.90	34.52	11.40	9.74	43.1
1033	16.85	11.25	5.77	7.30	22.96	76.77	125.49	111.75	70.32	32.28	9.74	9.03	42.1
1034	6.21	4.77	1.85	2.94	9.67	21.92	33.41	29.77	26.28	12.67	5.45	5.34	13.3
1035	13.89	5.67	1.66	4.22	16.32	48.76	120.43	106.70	60.83	36.63	13.22	11.25	36.5
1036	13.78	7.40	3.70	0.38	47.33	66.00	126.30	146.80	51.17	16.75	1.70	7.60	30
1043	10.30	0.15	0.33	5.00	12.20	40.15	198.05	114.46	64.17	63.30	24.83	28.73	45.4
1045	17.62	10.35	5.52	4.94	18.10	68.19	116.96	95.65	80.15	33.43	9.54	10.37	39.2
1057	12.24	3.33	2.93	8.55	14.14	103.15	113.21	117.11	88.08	37.15	14.10	11.18	42.5
1062	15.32	10.84	4.53	6.58	29.13	87.70	136.21	122.70	80.60	33.24	9.20	12.92	45.8
1063	10.65	2.22	2.92	11.97	20.70	101.25	106.88	119.43	81.34	39.41	11.72	9.19	44.9
1073	15.51	11.97	5.19	6.13	21.46	79.90	127.51	117.52	91.99	33.57	11.47	9.98	44.7
1074	15.72	10.90	3.72	3.07	14.79	75.12	129.41	108.72	80.12	27.81	6.79	11.11	40.4
1075	16.33	10.75	5.15	5.28	16.14	83.93	131.03	110.56	87.60	31.77	8.54	11.69	42.2
1076	18.12	10.06	3.60	6.50	20.24	87.94	133.51	116.19	91.03	33.82	9.44	12.63	45.2
1077	18.14	9.90	3.15	7.43	24.43	106.45	163.10	126.40	89.41	31.51	7.45	10.73	47.5
1079	17.86	11.09	5.92	5.29	17.87	82.54	140.31	109.64	100.97	31.71	9.43	13.63	45
1083	20.57	12.38	6.39	4.96	15.90	64.55	111.45	85.55	66.23	32.19	10.00	13.20	37.2
1085	20.97	11.12	5.98	6.04	19.95	73.48	116.81	101.90	82.77	29.66	7.96	12.18	39.8
1090	16.12	11.66	5.16	5.75	18.04	84.32	142.87	102.00	76.52	32.46	9.19	14.71	43.3
1096	14.98	10.44	5.97	5.83	21.51	89.79	127.96	115.78	95.21	35.25	8.30	10.81	44.8
1097	7.97	15.05	8.34	8.90	20.16	103.03	130.33	113.97	95.14	29.29	9.60	7.79	46.5
1098	18.61	13.10	7.68	4.48	15.86	81.24	130.79	98.26	78.18	28.32	7.91	11.48	42.9
1099	16.762	11.23	5.47	9.87	21.25	84.96	111.83	102.78	83.64	35.58	7.88	9.13	41.7
1101	15.59	9.63	5.82	6.59	19.27	82.94	114.45	100.50	84.95	30.25	11.51	7.35	41.2
1104	12.23	19.29	7.24	6.47	13.68	95.98	113.44	110.54	99.55	20.40	7.13	2.38	38.7
1105	15.11	13.14	6.57	2.20	14.43	63.26	119.45	115.28	98.16	26.39	14.29	15.99	45.8
1106	13.47	21.64	5.98	1.68	15.79	98.75	125.59	109.36	107.05	30.98	9.23	5.94	45.7
14054	16.87	13.69	6.82	7.92	24.15	95.15	138.80	118.83	100.35	35.05	11.96	10.24	49.5
14122	14.11	7.55	4.40	6.40	19.41	91.93	137.13	136.06	99.13	34.99	9.98	8.92	47.1
PROM	15.00	9.94	5.10	6.49	19.40	80.31	122.98	109.07	82.98	32.47	10.08	11.05	41.5

Fuente: Estadísticas climatológicas de CONAGUA por estación hidrometeorológica

Anexo 3. Cálculo de caudal y volumen máximo por microcuenca

Nombre	Prom PMM	Intensidad (I) mm/h	Superficie cuenca (A) has	Coefficiente escorrentía (C)	Caudal (Q) m3/s
Calvillito-Parga	29.05	0.04	10353.75	0.44	0.51
Chicalote	40.12	0.06	3636.93	0.45	0.26
La Hierbabuena	37.78	0.05	6306.28	0.47	0.43
El Cedazo-San Antonio	24.01	0.03	6984.95	0.47	0.30
El Molino	38.66	0.05	1364.79	0.57	0.12
La Hacienda-San Nicolás	38.88	0.05	3309.18	0.53	0.26
Las Trancas-Morcinique	37.74	0.05	2943.29	0.47	0.20
Los Gringos-Los Arellano	27.34	0.04	2528.93	0.62	0.17
Don Pascual	25.11	0.03	1624.79	0.64	0.10
Las Trancas-Cueva del Tecolote	40.55	0.06	1420.25	0.45	0.10
San Pedro-San Francisco	37.29	0.05	4637.12	0.49	0.33
Salto de Montoro	35.41	0.05	10601.27	0.46	0.66
La Escondida-Palo Seco	34.01	0.05	8958.90	0.50	0.58
San Francisco-Cobos-Paso Hondo	36.68	0.05	9671.37	0.54	0.74

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

donde:

- Q es el caudal en metros cúbicos por segundo,
- I es la intensidad en milímetros por hora,
- A es la superficie de la cuenca en hectáreas,
- C es un coeficiente de escorrentía sin dimensiones.

3a. Tabla de valores generales del coeficiente C

Uso del suelo y pendiente del terreno	Textura		
	Gruesa	Media	Fina
Bosque			
Plano (0-5% pendiente)	0.1	0.3	0.4
Ondulado (6-10% pendiente)	0.25	0.35	0.5
Escarpado (11-30% pendiente)	0.3	0.5	0.6
Pastizales			
Plano (0-5% pendiente)	0.1	0.3	0.4
Ondulado (6-10% pendiente)	0.16	0.36	0.55
Escarpado (11-30% pendiente)	0.22	0.42	0.6
Terrenos cultivados			
Plano (0-5% pendiente)	0.3	0.5	0.6

Uso del suelo y pendiente del terreno	Textura		
	Gruesa	Media	Fina
Ondulado (6-10% pendiente)	0.4	0.6	0.7
Escarpado (11-30% pendiente)	0.52	0.72	0.82
Zonas urbanas	30% de la superficie impermeable	50% de la superficie impermeable	70% de la superficie impermeable
Llanas	0.4	0.55	0.65
Onduladas	0.5	0.65	0.8

3b. Cálculo de coeficiente C por microcuena

Nombre	Bosque			Pastizal			Agrícola			Urbano			(C)
	%	c	C _{usv}	%	c	C _{usv}	%	c	C _{usv}	%	c	C _{usv}	
Calvillito-Parga			0.00	22.38	0.36	8.06	53.00	0.50	26.50	23.38	0.40	9.35	0.44
Chicalote			0.00	10.40	0.30	3.12	64.11	0.50	32.05	25.49	0.40	10.20	0.45
La Hierbabuena			0.00	11.09	0.42	4.66	63.32	0.50	31.66	25.59	0.40	10.24	0.47
El Cedazo-San Antonio			0.00	29.28	0.36	10.54	41.69	0.60	25.02	28.85	0.40	11.54	0.47
El Molino			0.00	4.73	0.36	1.70	55.15	0.60	33.09	40.12	0.55	22.07	0.57
La Hacienda-San Nicolás			0.00	18.86	0.36	6.79	24.14	0.60	14.48	57.00	0.55	31.35	0.53
Las Trancas-Morcinique			0.00	13.51	0.42	5.68	71.31	0.50	35.66	14.68	0.40	5.87	0.47
Los Gringos-Los Arellano			0.00	6.09	0.36	2.19	17.48	0.60	10.49	76.07	0.65	49.45	0.62
Don Pascual			0.00	0.13	0.36	0.05	11.94	0.60	7.16	87.93	0.65	57.15	0.64
Las Trancas-Cueva del Tecolote	3.09	0.50	1.55	22.51	0.30	6.75	73.56	0.50	36.78			0.00	0.45
San Pedro-San Francisco	2.59	0.30	0.78	19.97	0.36	7.19	7.11	0.50	3.56	68.13	0.55	37.47	0.49
Salto de Montoro			0.00	30.59	0.36	11.01	68.82	0.50	34.41	0.52	0.40	0.21	0.46
La Escondida-Palo Seco			0.00	16.16	0.36	5.82	63.83	0.60	38.30	13.88	0.40	5.55	0.50
San Francisco-Cobos-Paso Hondo			0.00	20.87	0.36	7.51	75.49	0.60	45.29	3.05	0.40	1.22	0.54

c = coeficiente C de tabla de valores generales

C_{usv} = coeficiente C calculado por tipo de uso de suelo (usv), por microcuena

C = coeficiente C por microcuena

$$C = \sum C_{usv1} + C_{usv2} + \dots C_{usvn}$$

Anexo 4. Criterios de ponderación por variable de análisis

PRECIPITACION

Estación	PMA
1001	28.2
1004	42.5
1005	47.2
1007	37.8
1016	41.4
1022	45.7
1024	38.6
1025	37.8
1027	44.4
1030	43.8
1031	43.1
1033	42.1
1034	13.3
1035	36.5
1036	30
1043	45.4
1045	39.2
1057	42.5
1062	45.8
1063	44.9
1073	44.7
1074	40.4
1075	42.2
1076	45.2
1077	47.5
1079	45
1083	37.2
1085	39.8
1090	43.3
1096	44.8
1097	46.5
1098	42.9
1099	41.7
1101	41.2
1104	38.7
1105	45.8
1106	45.7
14054	49.5
14122	47.1

CLASES	5
MAX	49.5
MIN	13.3
RANGO	7.24

ID	MIN	MAX	PESO
1	13.3	20.5	5
2	20.5	27.8	4
3	27.8	35.0	3
4	35.0	42.3	2
5	42.3	49.5	1

PENDIENTE

CLASES	5
MAX	54.2
MIN	1.5
RANGO	10.5409532

ID	MIN	MAX	PESO
1	1.5	12.1	1
2	12.1	22.6	2
3	22.6	33.2	3
4	33.2	43.7	4
5	43.7	54.2	5

TOPOGRAFIA

CLASES	5
MAX	2240.00
MIN	1820.00
RANGO	84.00

ID	MIN	MAX	PESO
1	1820	1904	1
2	1904	1988	2
3	1988	2072	3
4	2072	2156	4
5	2156	2240	5

USO DE SUELO

ID		PESO
Cuerpos de Agua	0.39	1
Matorral	0.08	2
Pastizal	0.13	2
Bosque	0.23	2
Arbustos	0.12	3
Agricultura	0.17	4
Zona urbana	0.11	5

DENSIDAD

CLASES	5
MAX	305.00
MIN	1.00
RANGO	60.80

ID	MIN	MAX	PESO
1	1	62	1
2	62	123	2
3	123	183	3
4	183	244	4
5	244	305	5

CAUDAL

CLASES	5
MAX	0.74
MIN	0.10
RANGO	0.12787619

ID	MIN	MAX	PESO
1	0.10	0.23	5
2	0.23	0.36	4
3	0.36	0.48	3
4	0.48	0.61	2
5	0.61	0.74	1

Anexo 5. Algoritmos de ponderación para análisis multicriterio en ArcMap.

Ponderación para superficie de captación (zonas potenciales)

$$\text{Peso} = (\text{"Reclasificación\Potencial de inundación respecto a la PMM"} * 0.25) + (\text{"Reclasificación\Potencial de inundación respecto al Caudal"} * 0.3) + (\text{"Reclasificación\Potencial de inundación respecto al USV"} * 0.1) + (\text{"Reclasificación\Potencial de inundación respecto al Relieve"} * 0.20) + (\text{"Reclasificación\Potencial de inundación respecto a la Pendiente"} * 0.15)$$

Ponderación para zonificación general

$$\text{"Zonning\Zonas potenciales"} * 0.7 + (\text{"Zonning\Zonificación social"} * 0.3)$$

Anexo 6. Rangos de clasificación para Zonificación.

Zonificación 1	
CLASES	5
MAX	3.4
MIN	1.2
RANGO	0.44

Zonificación 2	
CLASES	5
MAX	3.6
MIN	1.2
RANGO	0.48

ID	MIN	MAX
1	1.2	1.6
2	1.6	2.1
3	2.1	2.5
4	2.5	3.0
5	3.0	3.4

ID	MIN	MAX
1	1.2	1.7
2	1.7	2.2
3	2.2	2.6
4	2.6	3.1
5	3.1	3.6

Zonificación 3	
CLASES	5
MAX	4.0
MIN	1.2
RANGO	0.57

Zonificación 4	
CLASES	5
MAX	3.8
MIN	1.1
RANGO	0.54

Zonificación 5	
CLASES	5
MAX	3.6
MIN	1.2
RANGO	0.48

ID	MIN	MAX
1	1.2	1.7
2	1.7	2.3
3	2.3	2.9
4	2.9	3.4
5	3.4	4.0

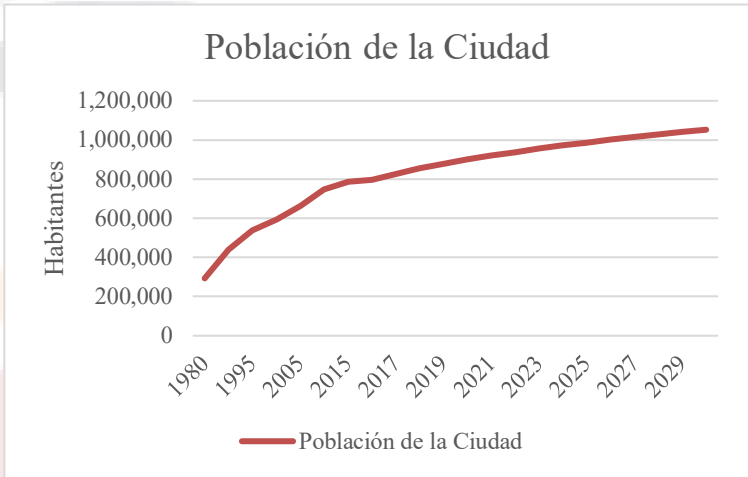
ID	MIN	MAX
1	1.1	1.6
2	1.6	2.2
3	2.2	2.7
4	2.7	3.3
5	3.3	3.8

ID	MIN	MAX
1	1.2	1.7
2	1.7	2.2
3	2.2	2.6
4	2.6	3.1
5	3.1	3.6

Anexo 7. Cálculo de proyecciones demográficas para la ciudad de Aguascalientes

Año	Población del Municipio	Tc	Población de la Ciudad	Población de la Ciudad
1980	359454		293152	293,152
1990	506274	40.85	440425	440,425
1995	582827	15.12	537523	537,523
2000	643419	10.40	594092	594,092
2005	723043	12.38	663671	663,671
2010	797010	10.23	747519	747,519
2015	877190	10.06	785945	785,945
2016	910036	3.74	836120	797,374
2017	923323	1.46	848328	827,045
2018	936373	1.41	860318	853,587
2019	949277	1.38	872174	877,598
2020	961977	1.34	883842	899,517
2021	974529	1.30	895374	919,681
2022	986919	1.27	906758	938,350
2023	999203	1.24	918044	955,731
2024	1011346	1.22	929201	971,989
2025	1023372	1.19	940250	987,262
2026	1035303	1.17	951212	1,001,661
2027	1047149	1.14	962096	1,015,281
2028	1058899	1.12	972892	1,028,203
2029	1070563	1.10	983608	1,040,494
2030	1082166	1.08	994269	1,052,213
2031				1,063,411
2032				1,074,133
2033				1,084,417
2034				1,094,297
2035				1,103,804
2036				1,112,966
2037				1,121,806
2038				1,130,346
2039				1,138,607
2040			1,130,823	1,146,605

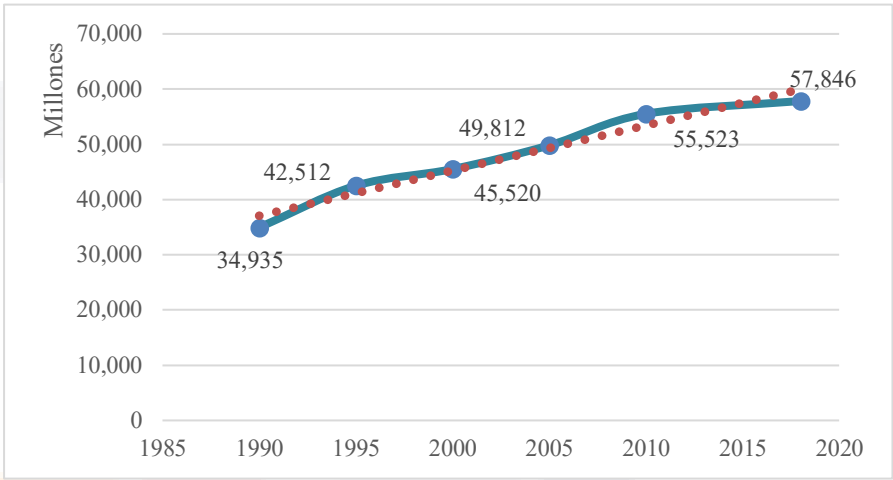
Ecuación de línea de tendencia
 $y = (251917 * \ln(x)) + 273527$



Anexo 8. Cálculo de consumo anual de agua | Escenario tendencial

Año	Consumo Histórico	Consumo Tendencial
1990	34,935,099	34,935,099
1995	42,512,189	42,512,189
2000	45,520,282	45,520,282
2005	49,812,317	49,812,317
2010	55,523,125	55,523,125
2018	57,846,167	57,846,167
2019		60,773,510
2020		61,591,134
2021		62,408,758
2022		63,226,382
2023		64,044,006
2024		64,861,629
2025		65,679,253
2026		66,496,877
2027		67,314,501
2028		68,132,125
2029		68,949,748
2030		69,767,372
2031		70,584,996
2032		71,402,620
2033		72,220,243
2034		73,037,867
2035		73,855,491
2036		74,673,115
2037		75,490,739
2038		76,308,362
2039		77,125,986
2040		77,943,610

Ecuación de línea de tendencia
 $y = 817,623,795.19x - 1,590,008,932,145.23$



Estrategia	metros		Cant.	m ²	has	m ²	m ³	m ³
	Longitud	Ancho		Superficie estrategia	Área drenada	PPM	RTE	
Blvd. Colosio	11,054							1983
Av. Fundición	1,935							347
Av. Gabriela Mistral	4,680							839
Av. López Mateos	6,042							1084
Bioretención	7,619	1	1	7,619	0.76	20,000	0.47	5,193
Av. de los Maestros	6,650	1	1					4533
Av. Prolongación Alameda	969	1	1					660
Pavimento permeable*				3,248,955	324.90	20,000	0.47	1,221,867
Superficie de conservación PDUCA				3,248,955	324.9	20,000		1,221,867
Parque hídrico	0	0.3	1	125,518	12.55	50,000	0.47	30,482
Pavimento permeable	1,214	2	1	2,428	0.2			913
Estanque de retención		2		10,000	1.0			20,000
Cubiertas permeables				33,927	3.4			9,569
Jardines de infiltración	46,042	1	1	46,042	4.60	20,000	0.47	12,419
Av. Ayuntamiento	7,043							
Av. Siglo XXI	32,379							
Av. Canal Interceptor	6,620							

Volumen máximo de captación por estrategia

m ³	Estrategia	Clave
30,206,886.06	Total Sistema WSUD	[U+(A+H)]
5,381,516.95	Almacenamiento actual	(A)
23,274,648.00	Construcción de infraestructura verde periurbana	(P)
28,656,164.95	Captación gran volumen	(A+P)
1,550,721.11	Construcción de infraestructura verde urbana	(U)

Anexo 10. Cálculo de consumo anual de agua por escenario

Año	Histórico	Tendencial	Potencial	Consumo (C) **	WSUD
1990	34,935,099	34,935,099	34,935,099	34,935,099	34,935,099
1995	42,512,189	42,512,189	42,512,189	42,512,189	42,512,189
2000	45,520,282	45,520,282	45,520,282	45,520,282	45,520,282
2005	49,812,317	49,812,317	49,812,317	49,812,317	49,812,317
2010	55,523,125	55,523,125	55,523,125	55,523,125	55,523,125
2018	57,846,167	57,846,167	57,846,167	57,846,167	57,846,167
2020		61,591,134	61,306,282	50,003,823	19,796,937
2023		64,044,006	57,222,785	38,240,307	8,033,421
2025		65,679,253	53,919,739	34,319,136	4,112,249
2030		69,767,372	46,152,215	36,290,813	6,083,927
2035		73,855,491	43,648,596	38,782,926	8,576,040
2040		77,943,610	47,736,715	41,275,040	11,068,153

Año	Reducción consumo m ³ ** (R)
2020	11,587,311
2023	25,803,698
2025	31,360,118
2030	33,476,559
2035	35,072,565
2040	36,668,571

$$Potencial = Tendencial_{tn} - Total\ WSUD_{tn}$$

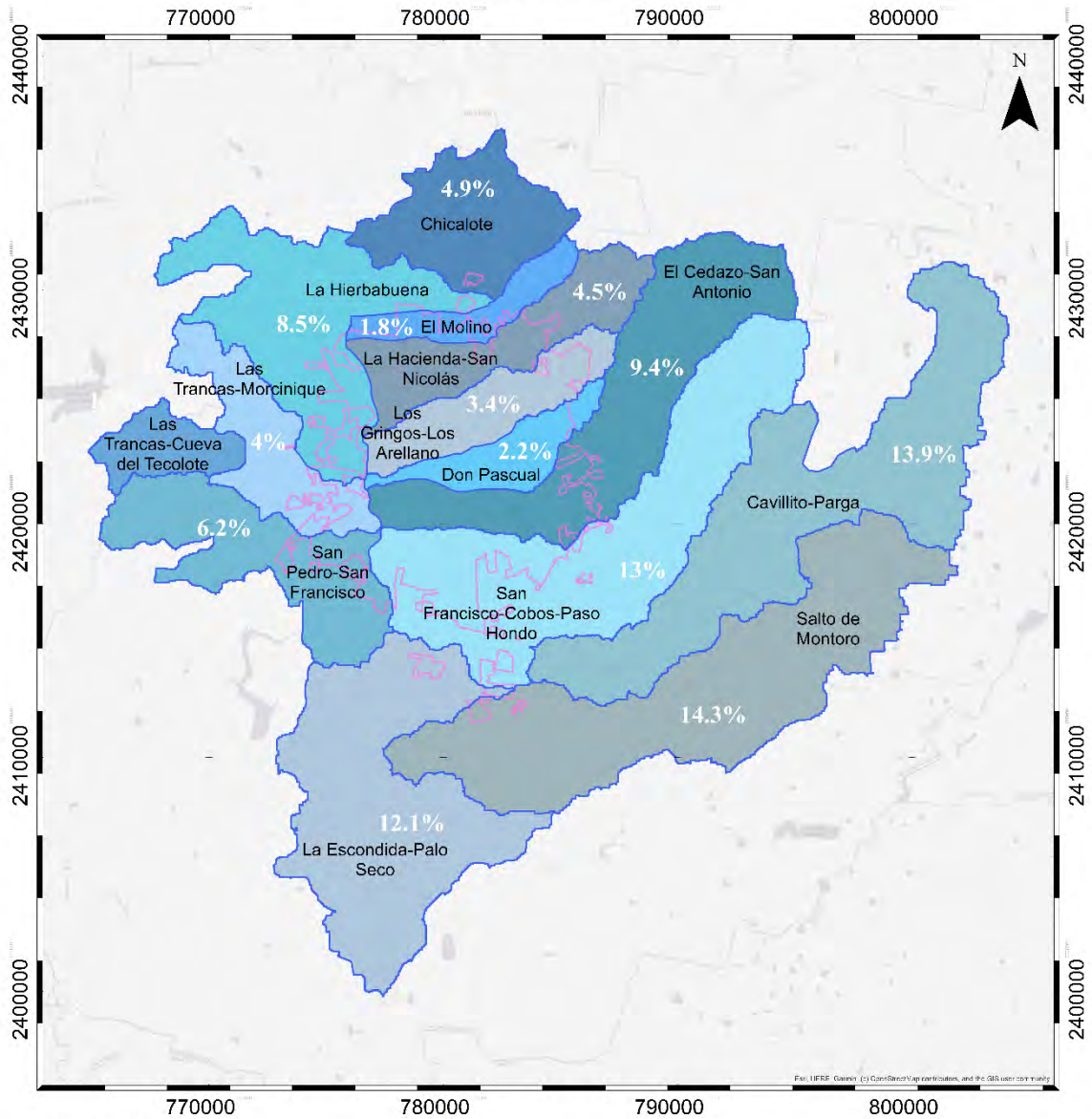
$$Consumo = Tendencial_{tn} - R_{tn}$$

$$WSUD = Tendencial - (Potencial_{tn} + Consumo_{tn})$$



ANEXO DE MAPAS

MICROCUENCAS



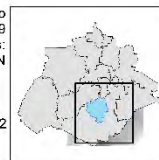
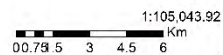
Simbología

Microcuencas

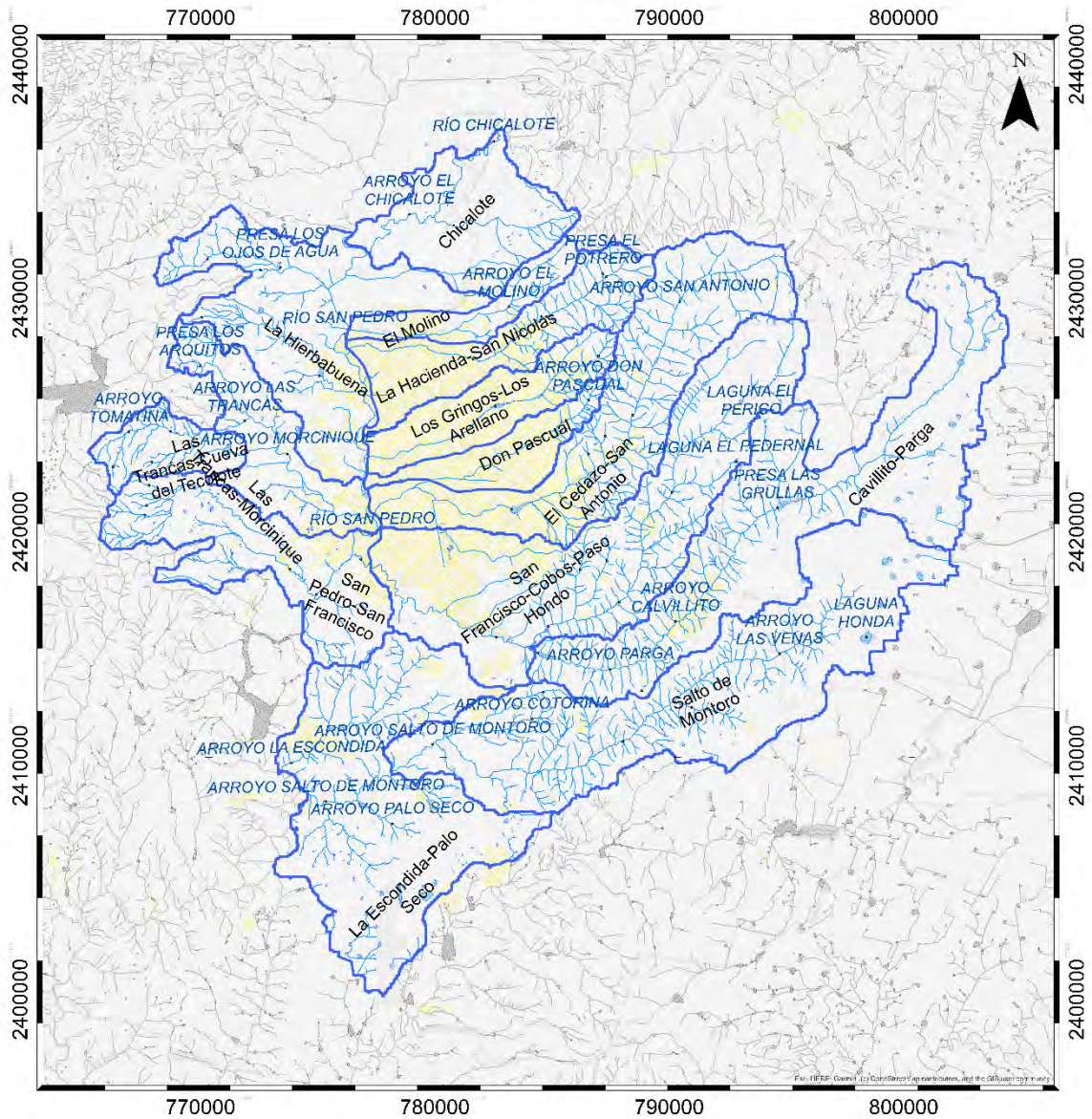
Zona urbana

Zona urbana

Elaboró: Laura Sofia Cabañas Melo
 Fecha: septiembre de 2019
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N



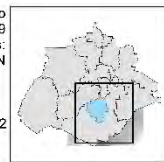
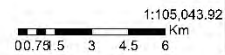
HIDROGRAFÍA



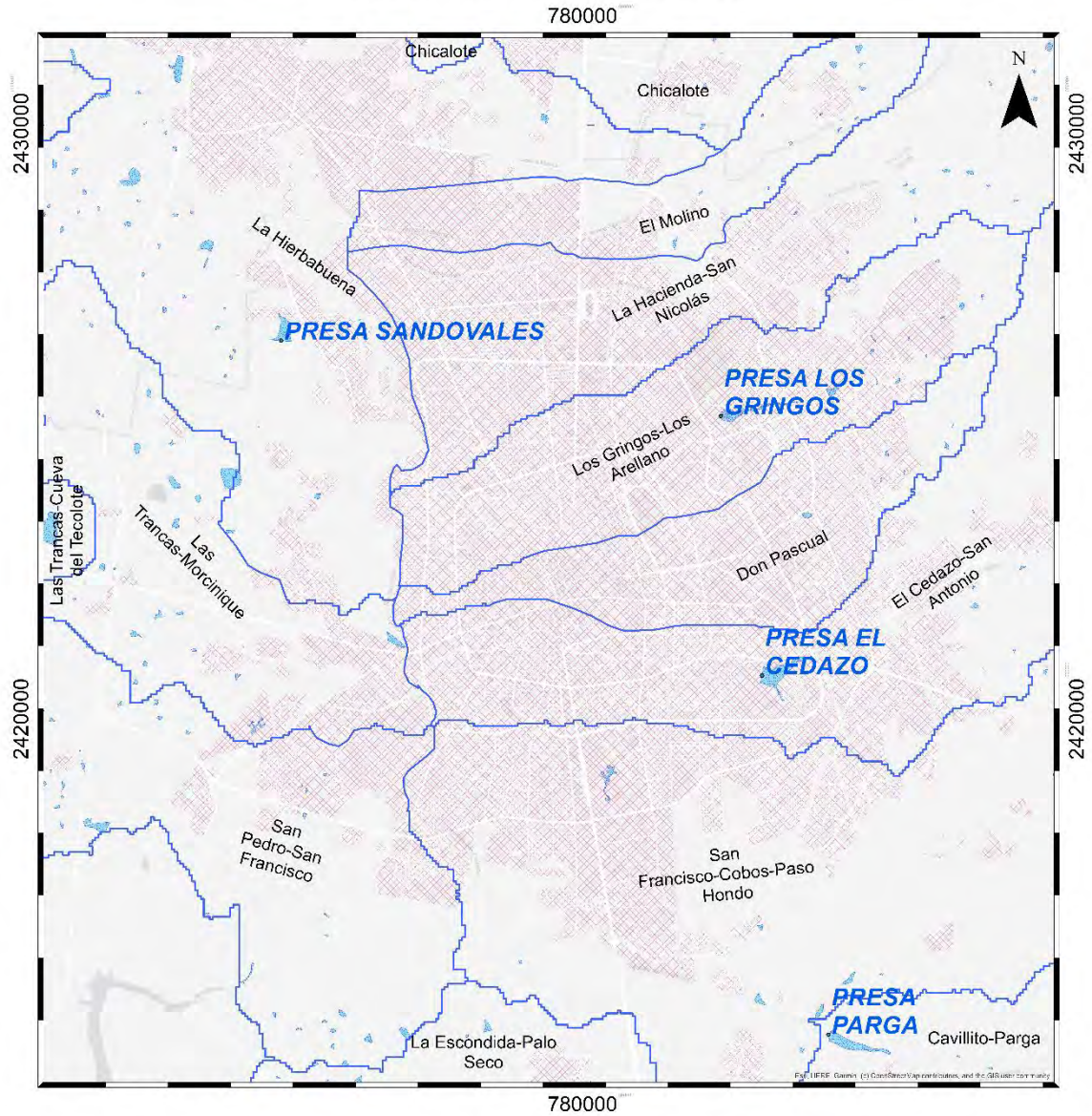
Simbología

- Microcuencas
- Zona urbana
- Cuerpos de agua
- Corrientes de agua

Elaboró: Laura Sofia Cabañas Melo
 Fecha: septiembre de 2019
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N



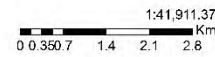
CUERPOS DE ALMACENAMIENTO



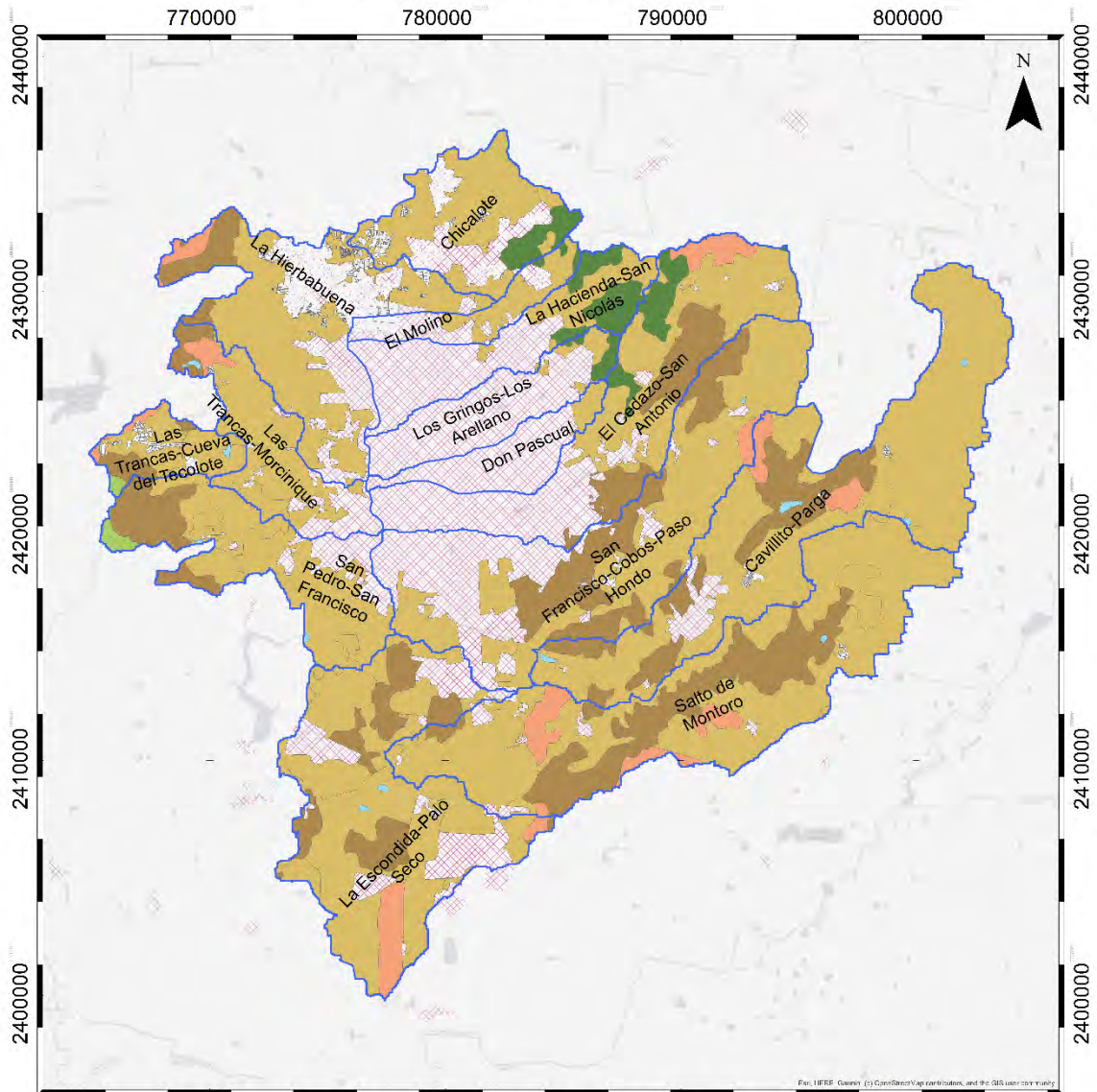
Simbología

- Microcuencas
- Cuerpos de agua

Elaboró: Laura Sofia Cabañas Melo
Fecha: septiembre de 2019
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 13N



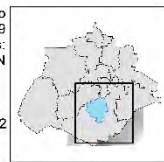
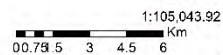
USO DE SUELO Y VEGETACIÓN



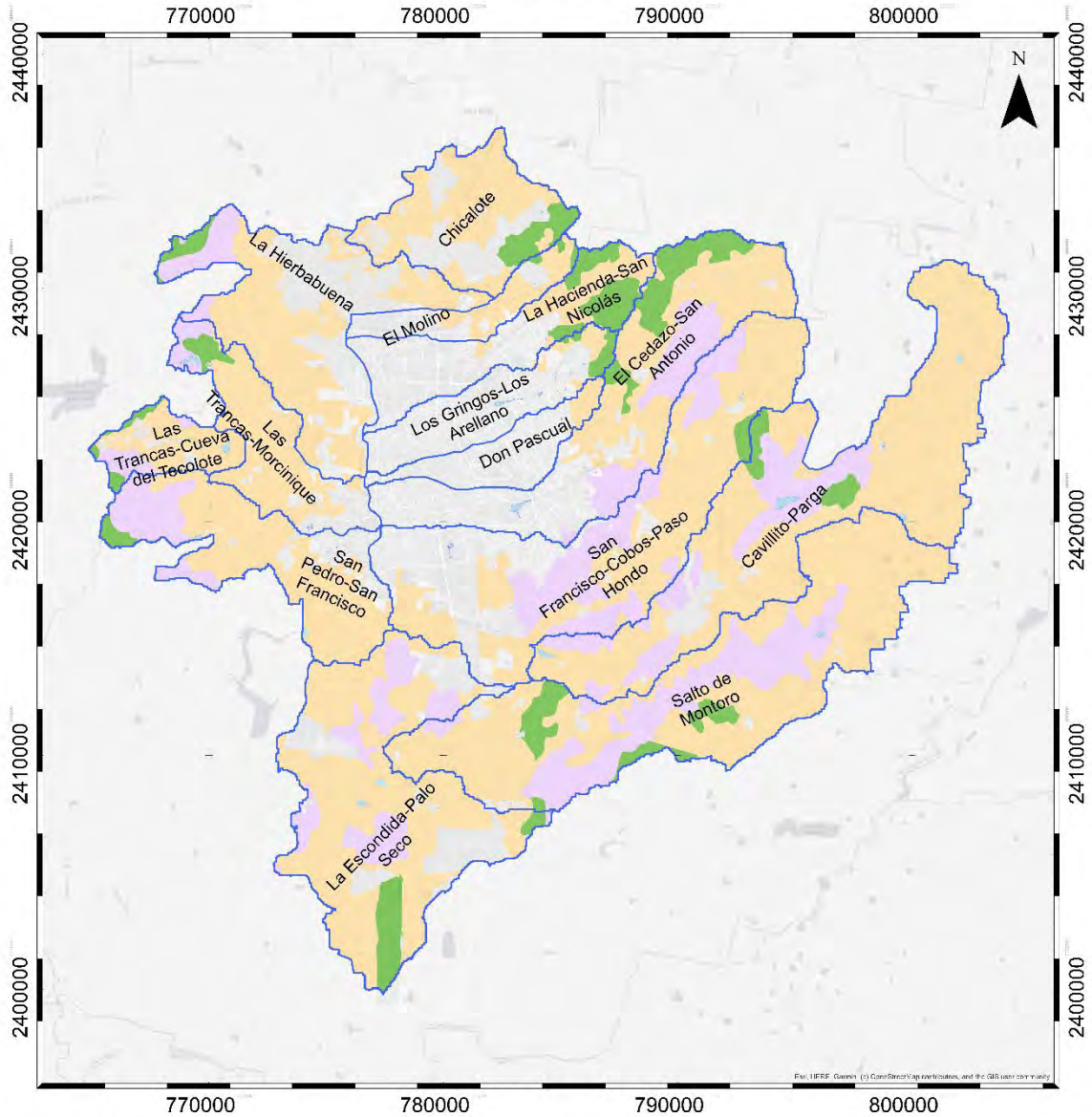
Simbología

- | | | |
|---------------|----------------------------------|-----------------------|
| Microcucencas | Uso de suelo y vegetación | Matorral / Mezquital |
| Zona urbana | Cuerpo de agua | Pastizal |
| | Agrícola | Vegetación secundaria |
| | Bosque | |

Elaboró: Laura Sofía Cabañas Melo
 Fecha: septiembre de 2019
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N



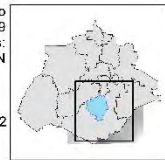
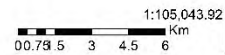
USO DE SUELO



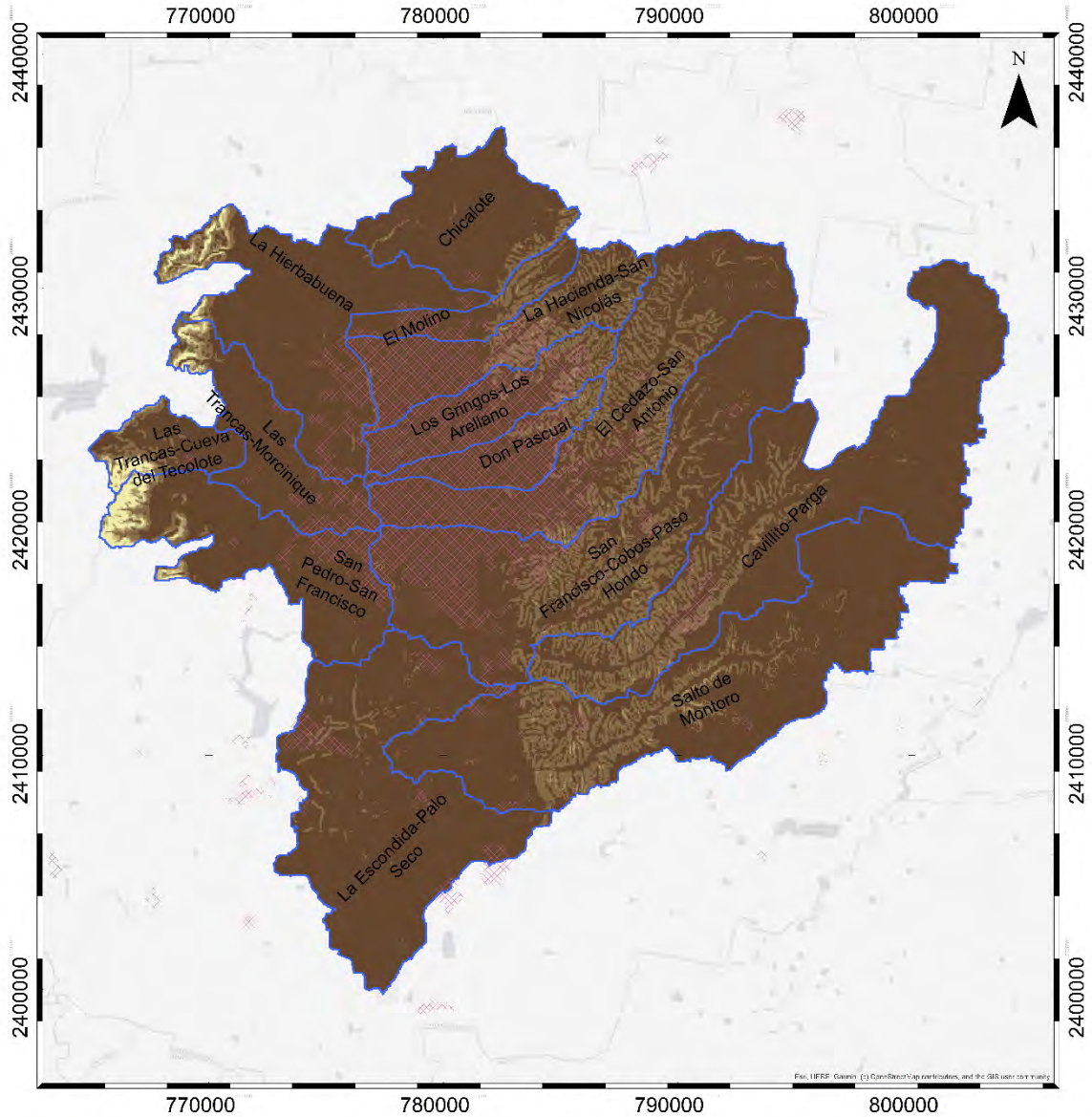
Simbología

- | | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| Microcuencas | Uso de suelo | Otros |
| Agrícola | Urbano | Vegetación natural |
| Cuerpo de agua | | |

Elaboró: Laura Sofía Cabañas Melo
 Fecha: septiembre de 2019
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N



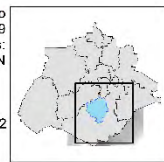
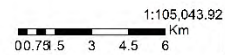
PENDIENTE



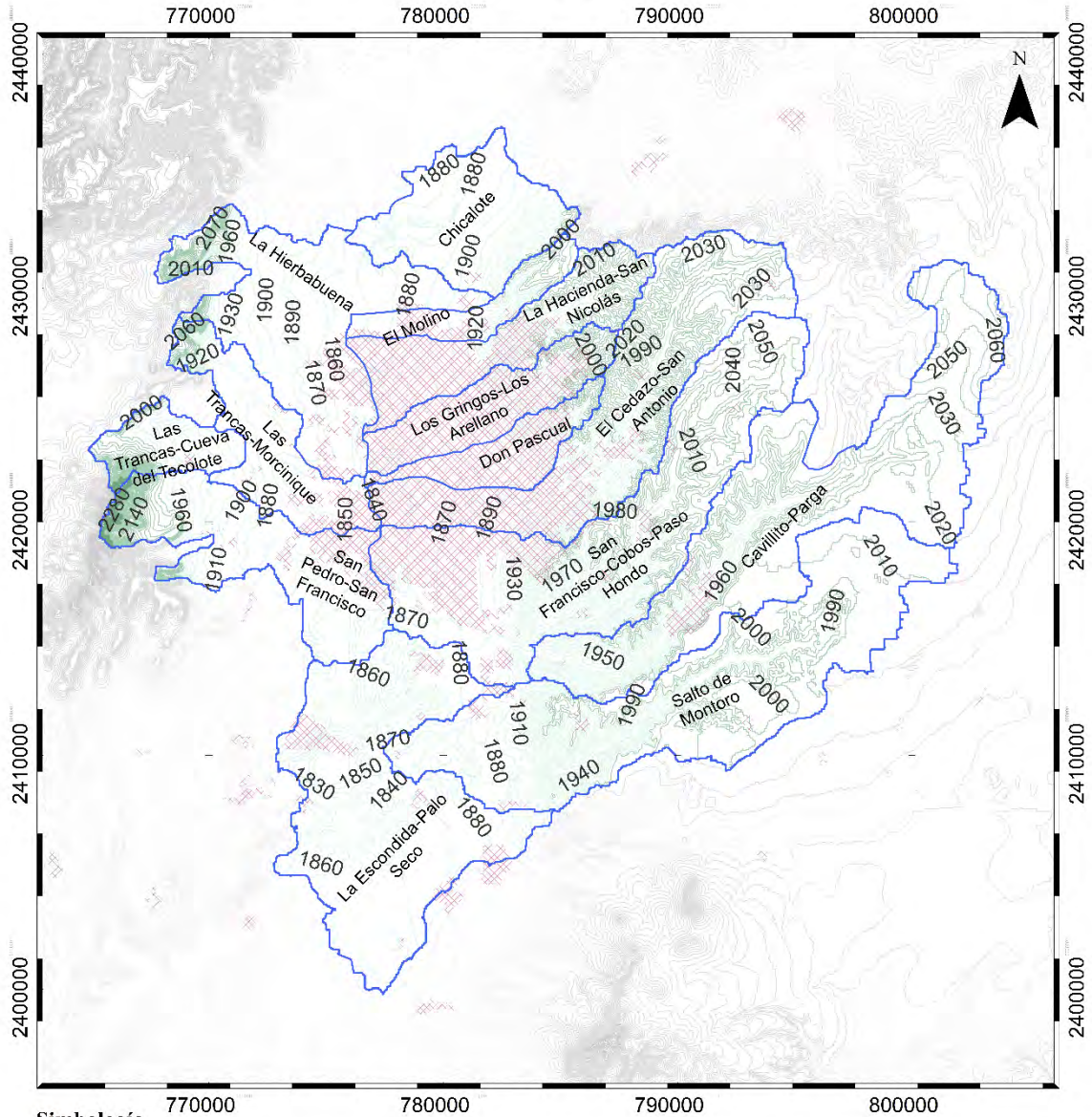
Simbología

- | | | |
|--------------|------------------|-----------|
| Microcuencas | Pendiente | Ondulada |
| Zona urbana | Llana | Escarpada |
| | Moderada | Montañosa |

Elaboró: Laura Sofía Cabañas Melo
 Fecha: septiembre de 2019
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N



RELIEVE



Simbología

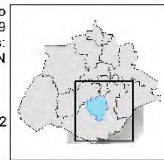
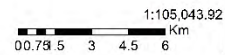
- Microcuencas
- Zona urbana

Relieve

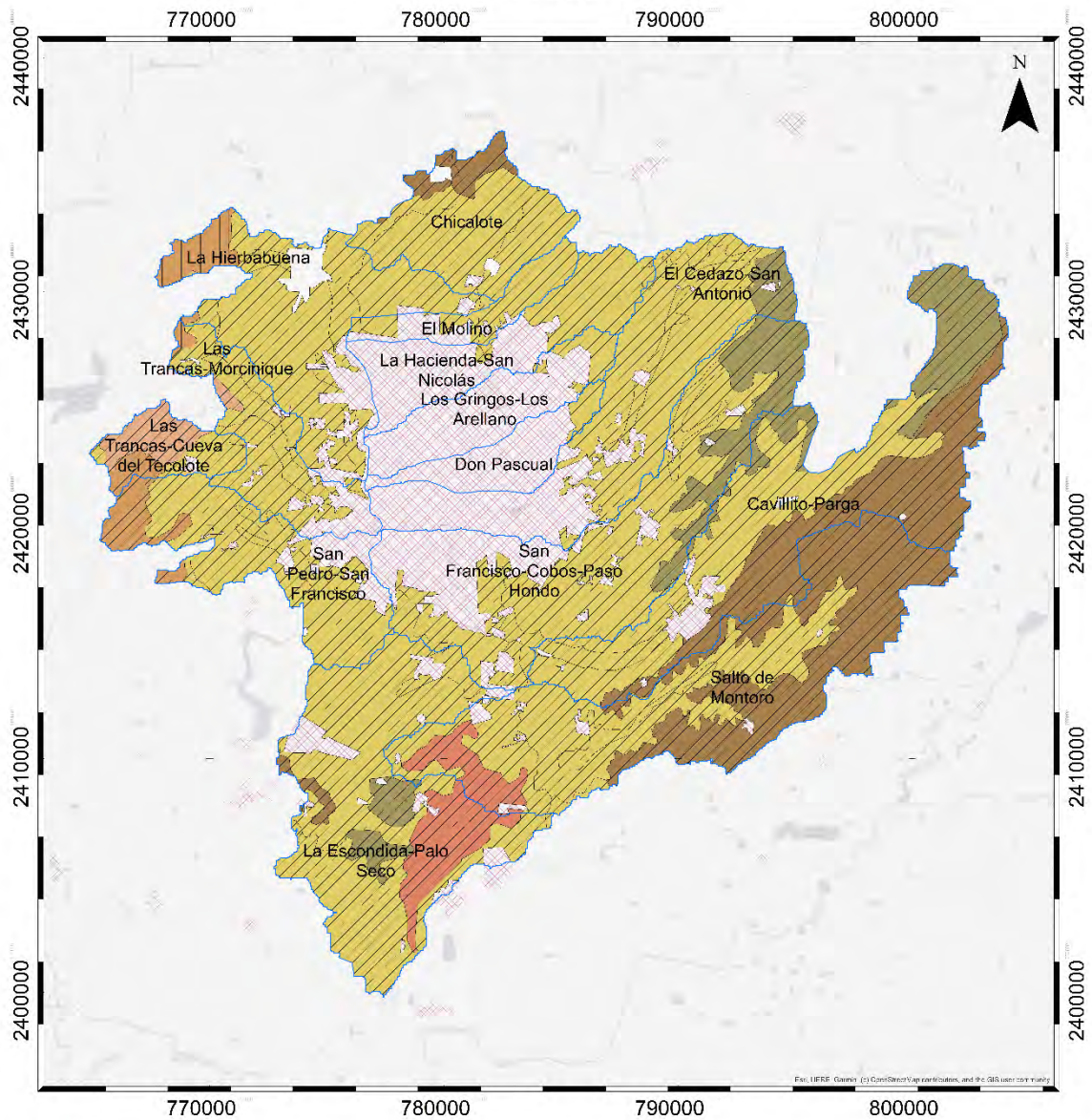
m.s.n.m.

- 1710 - 1974
- 1975 - 2238
- 2239 - 2502

Elaboró: Laura Sofia Cabañas Melo
 Fecha: septiembre de 2019
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N



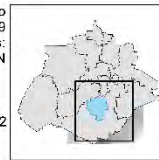
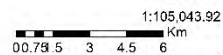
EDAFOLOGÍA



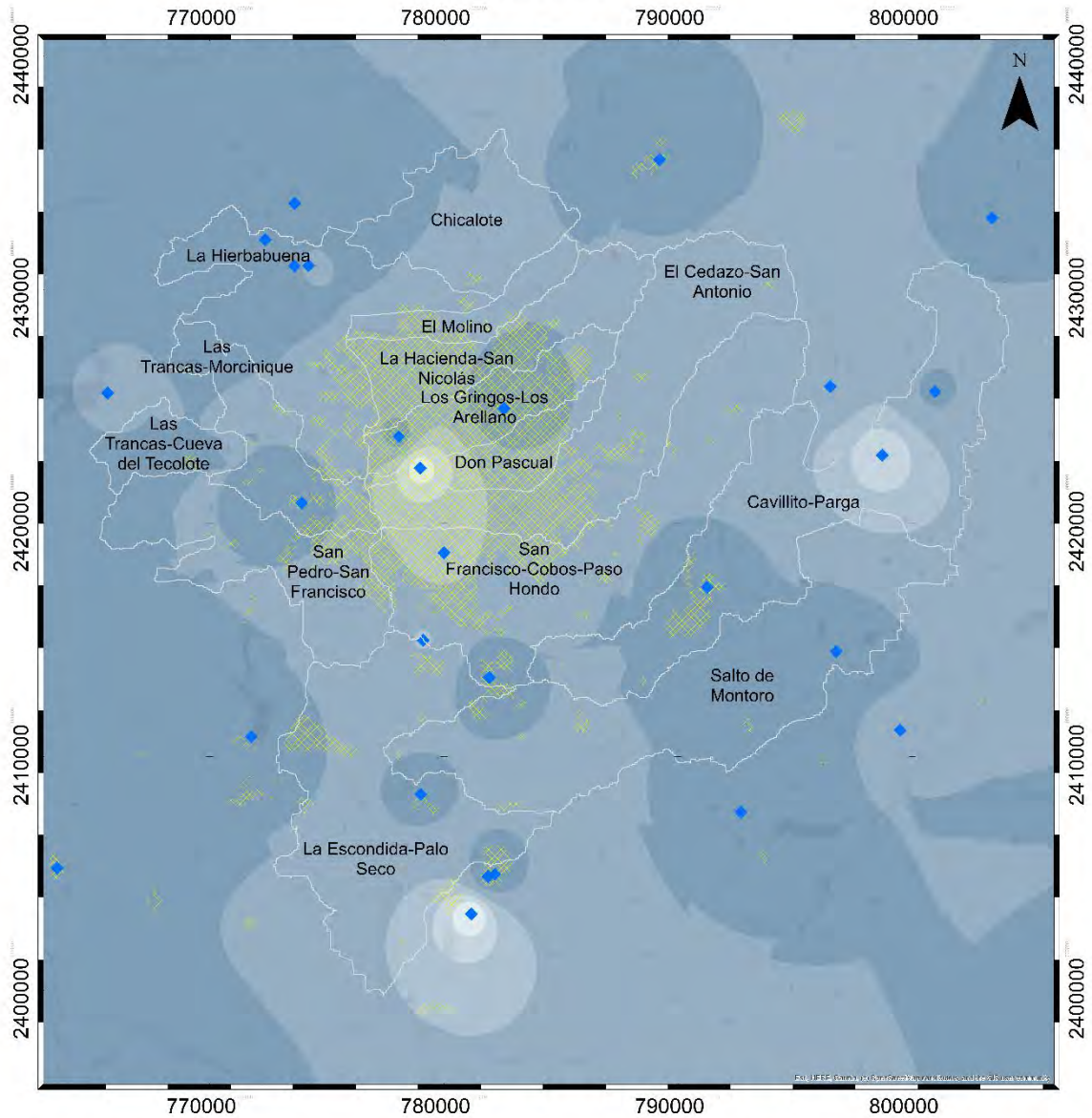
Simbología

Microcuencas	Tipo de suelo	Feozem	Textura
Zona urbana	Cambisol	Planosol	Gruesa
	Durisol	Regosol	Media
	Leptosol		

Elaboró: Laura Sofía Cabañas Melo
 Fecha: septiembre de 2019
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N



PRECIPITACIÓN



Simbología

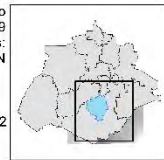
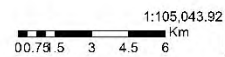
- Microcuencas
- Zona urbana

PMM (mm)	
11.12	20.72
30.31	39.91
49.50	

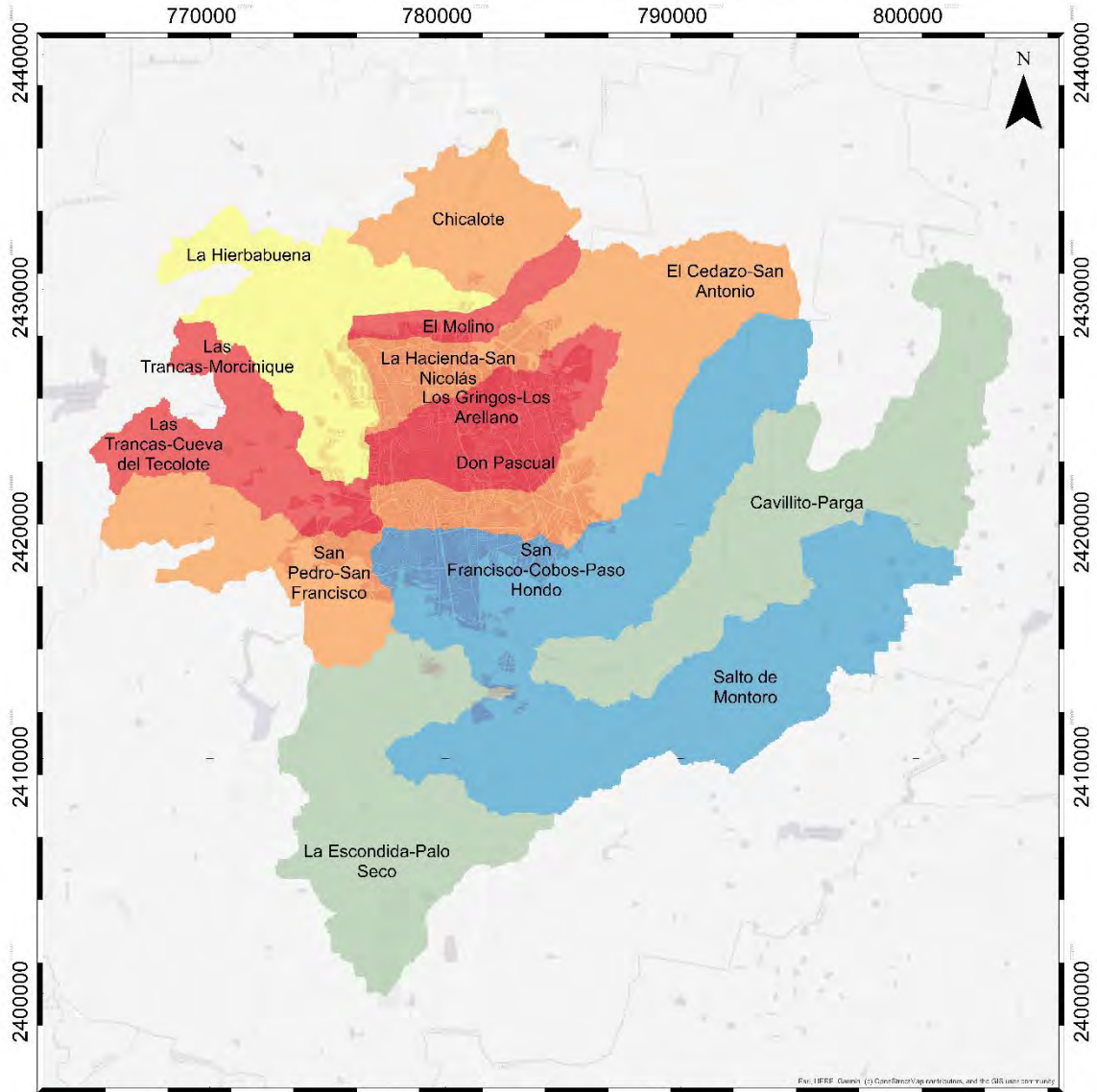
Estaciones climatológicas

- Estaciones climatológicas

Elaboró: Laura Sofia Cabañas Melo
 Fecha: septiembre de 2019
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N



CAUDAL DE ESCURRIMIENTO POR MICROCUENCA



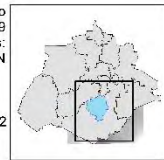
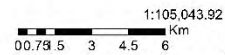
Simbología

Zona urbana

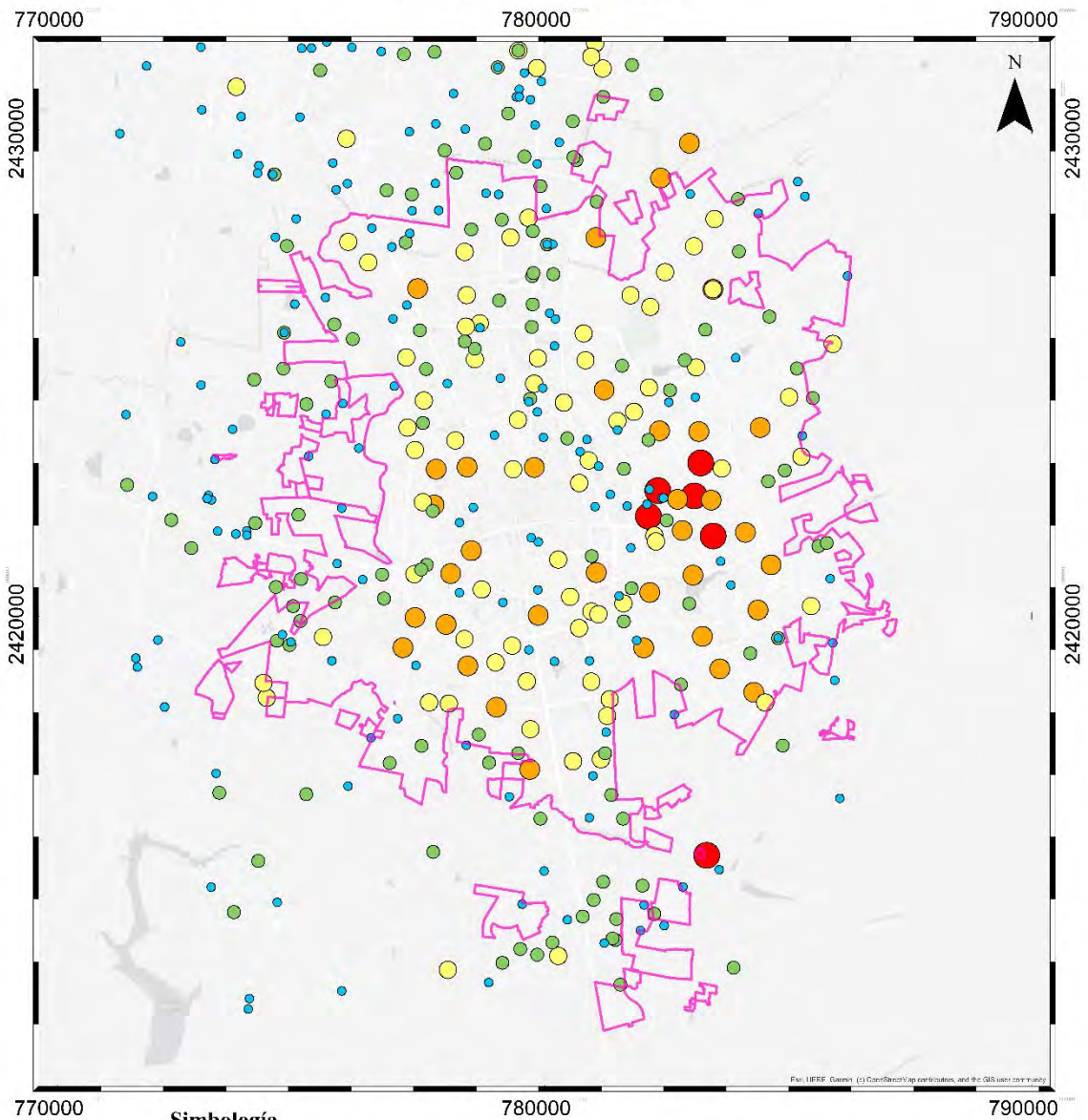
Caudal (m3/s)

- 0.100000 - 0.228000
- 0.228001 - 0.356000
- 0.356001 - 0.484000
- 0.484001 - 0.612000
- 0.612001 - 0.740000

Elaboró: Laura Sofía Cabañas Melo
 Fecha: septiembre de 2019
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N



POZOS DE EXTRACCIÓN



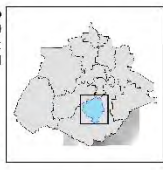
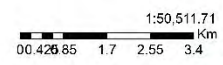
Simbología

Zona urbana

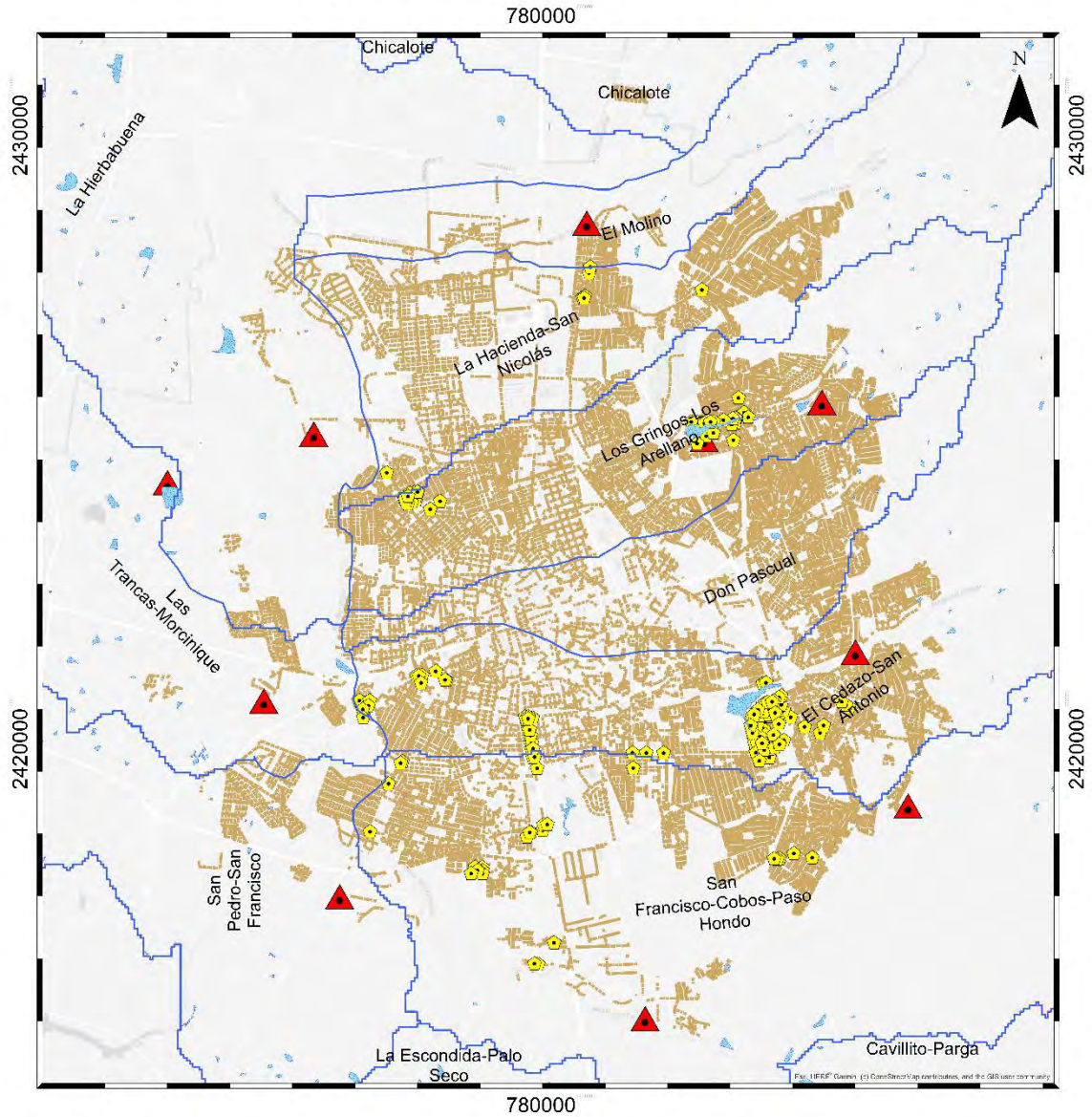
Demanda

- No significativa
- Baja
- Media
- Alta
- Intensiva

Elaboró: Laura Sofia Cabañas Melo
Fecha: septiembre de 2019
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 13N



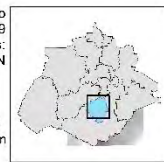
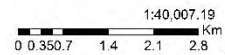
COBERTURA DE LA RED DE DRENAJE



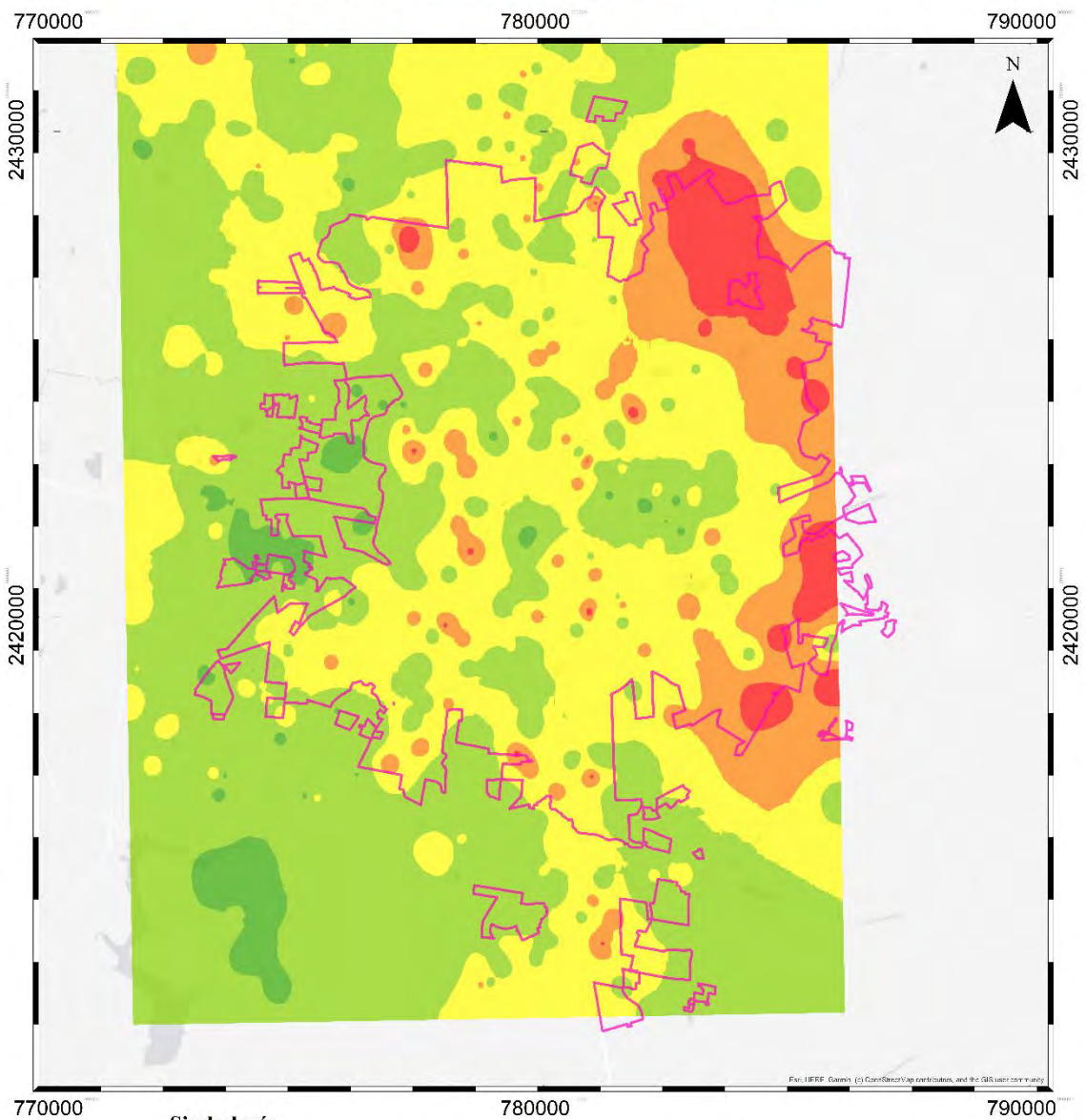
Simbología

- Microcuencas
- Cuerpos de agua
- Red de drenaje
- Estructuras de captación pluvial
- PTAR

Elaboró: Laura Sofia Cabañas Melo
 Fecha: septiembre de 2019
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N



PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN EN POZOS



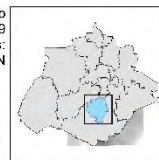
Simbología

Zona urbana

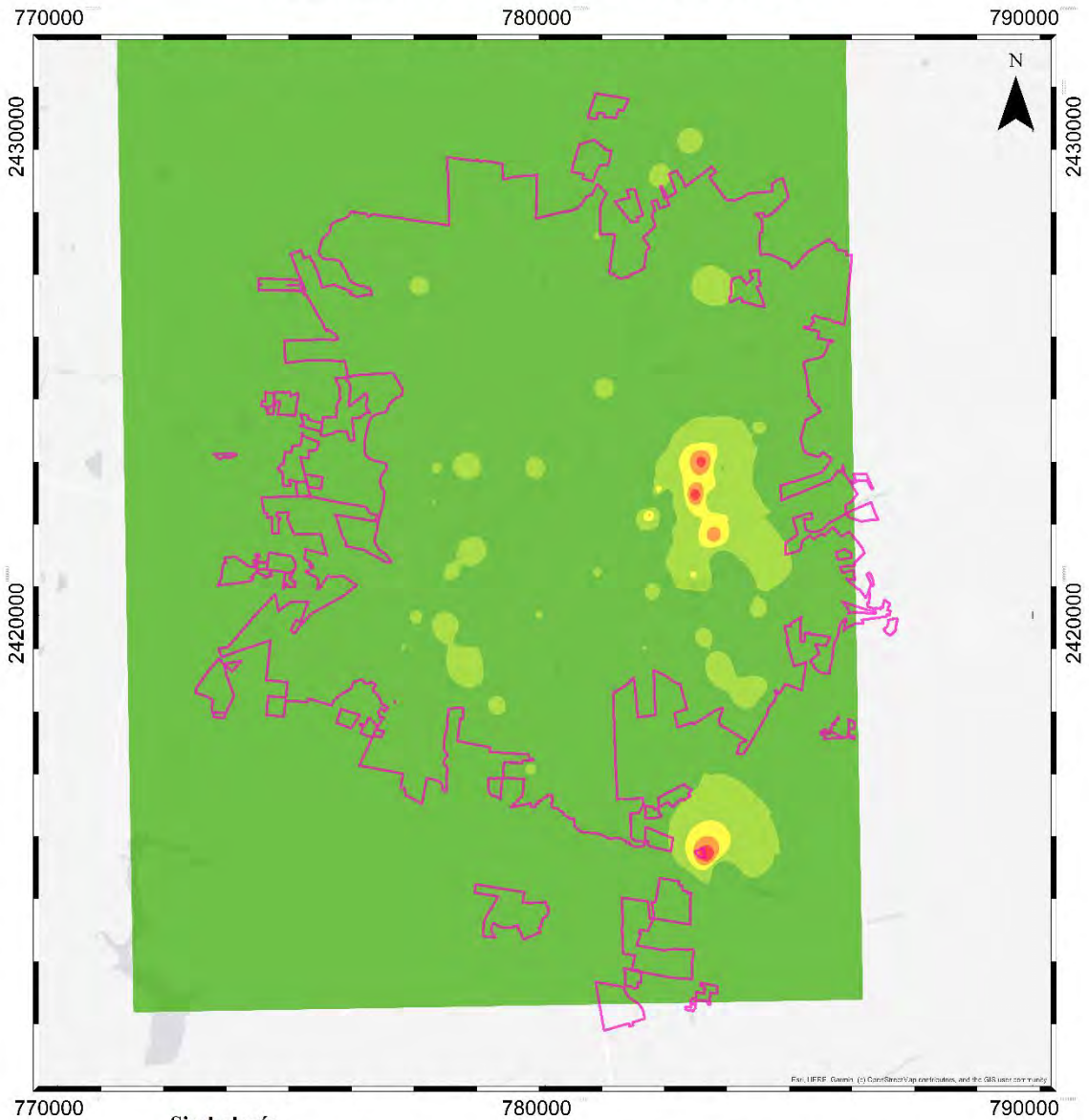
Profundidad de extracción

- 125.17
- 243.85
- 362.54
- 481.23
- 600.00


Elaboró: Laura Sofia Cabañas Melo
Fecha: septiembre de 2019
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 13N








VOLUMEN ANUAL CONCESIONADO DE AGUA



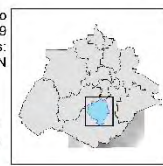
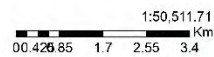
Simbología

 Zona urbana

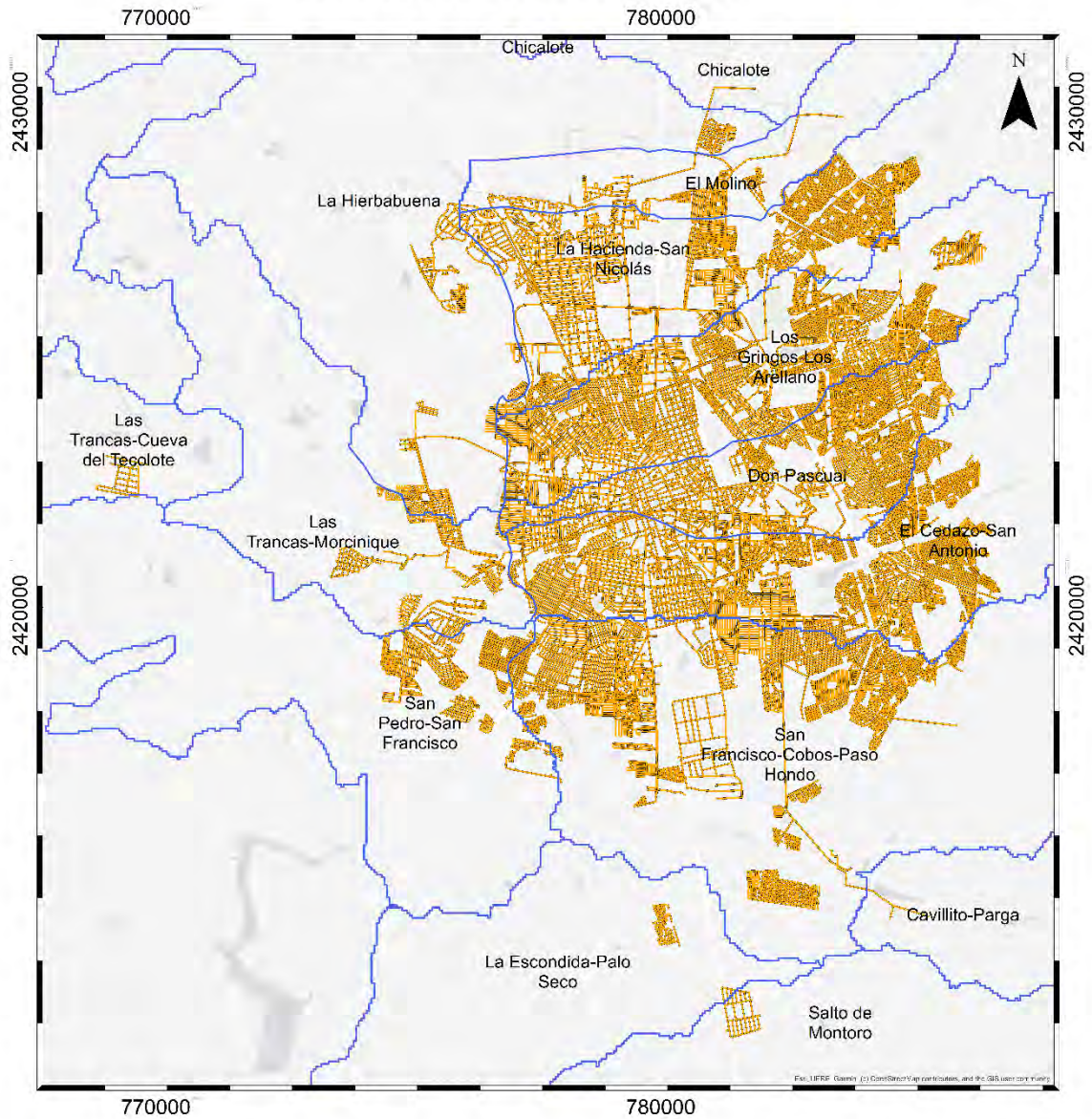
m3/año

-  766,122.84
-  1,528,903.13
-  2,291,683.42
-  3,069,420.18
-  3,817,244

Elaboró: Laura Sofia Cabañas Melo
Fecha: septiembre de 2019
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 13N



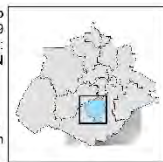
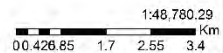
COBERTURA DE LA RED DE AGUA POTABLE



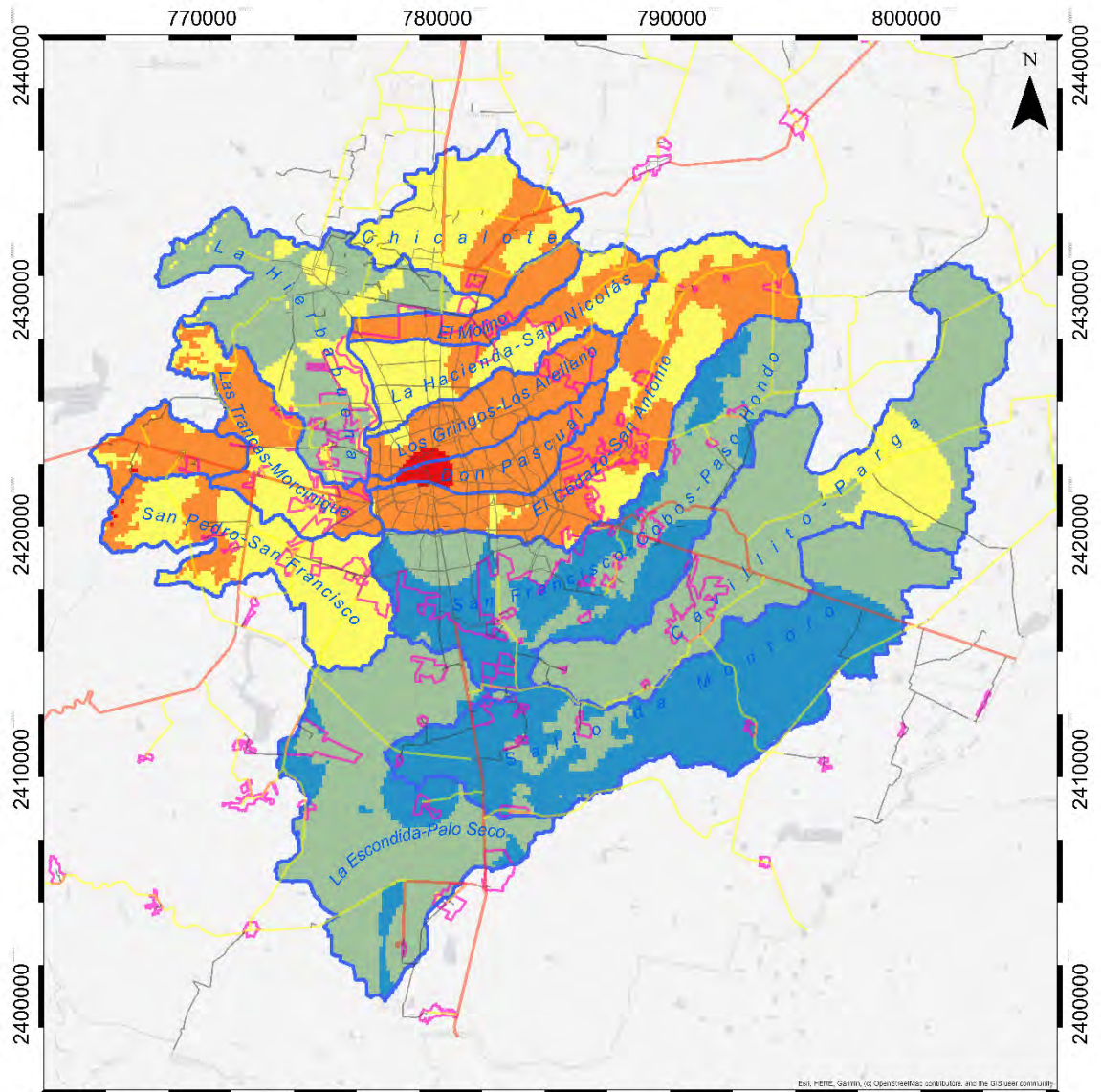
Simbología

- Microcuencas
- Red de agua potable

Elaboró: Laura Sofia Cabañas Melo
Fecha: septiembre de 2019
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 13N



ZONIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE FACTORES AMBIENTALES



Simbología

- Zona urbanizada
- Microcuencas

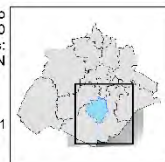
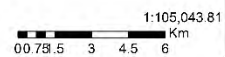
Red vial

- Federal
- Estatal
- Municipal
- Calle

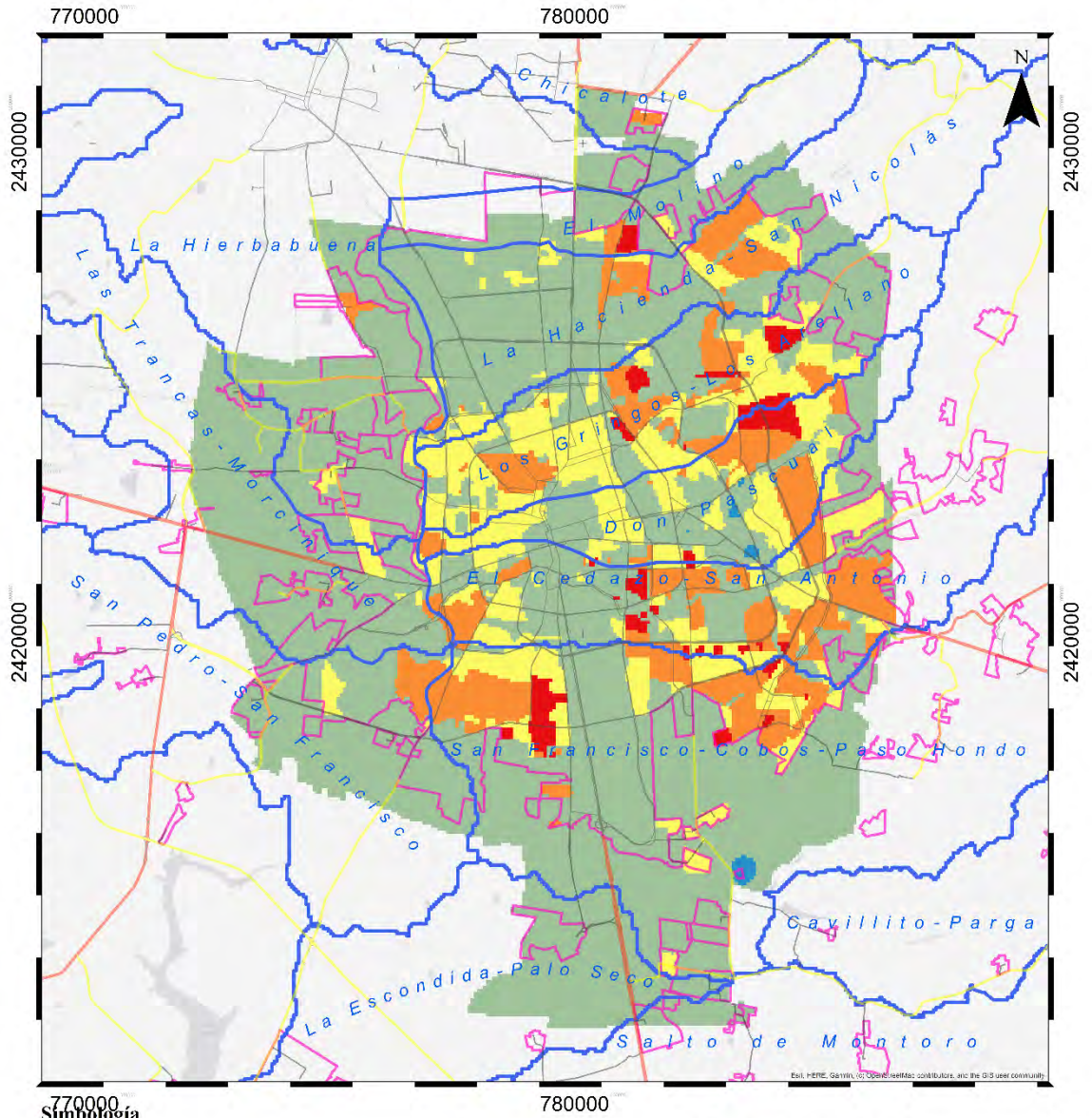
Zonificación ambiental

- Ideal
- Óptimo
- Aceptable
- No óptimo
- No recomendable

Elaboró: Laura Sofía Cabañas Melo
 Fecha: enero de 2020
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N



ZONIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE FACTORES SOCIALES



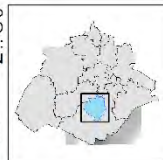
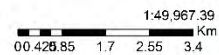
Simbología

- Zona urbanizada
- Microcuencas

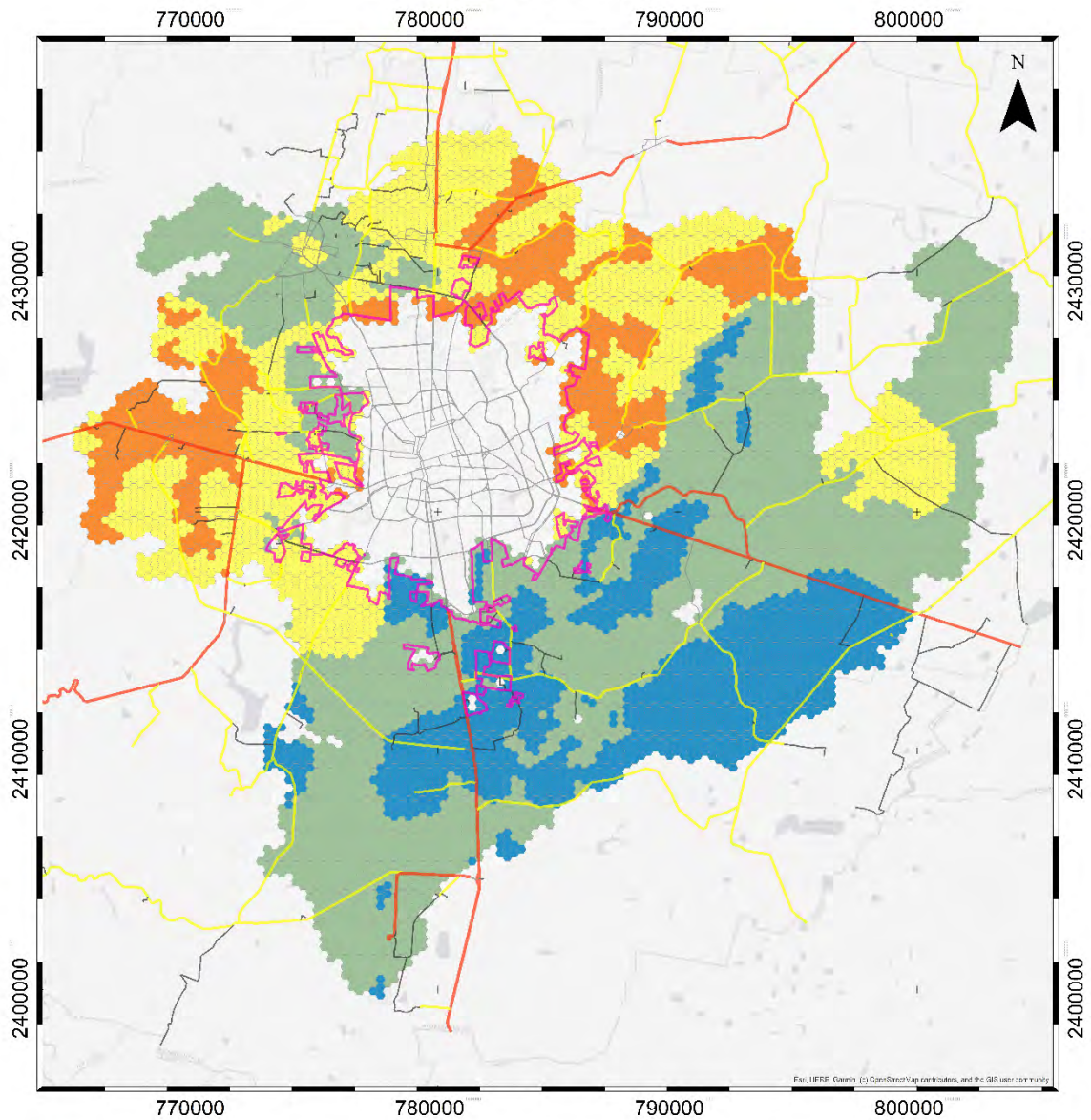
- Red vial**
- Federal
 - Estatal
 - Municipal
 - Calle

- Zonificación social**
- No significativo
 - Atención a largo plazo
 - Atención a mediano plazo
 - Atención a corto plazo
 - Atención prioritaria

Elaboró: Laura Sofía Cabañas Melo
 Fecha: enero de 2020
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N



ZONIFICACIÓN PERIURBANA



Simbología

Zona urbana

Zona urbana

Red vial

Federal

Estatal

Municipal

Calle

Zonificación

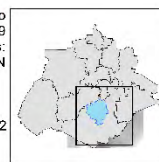
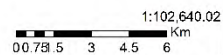
Ideal

Óptimo

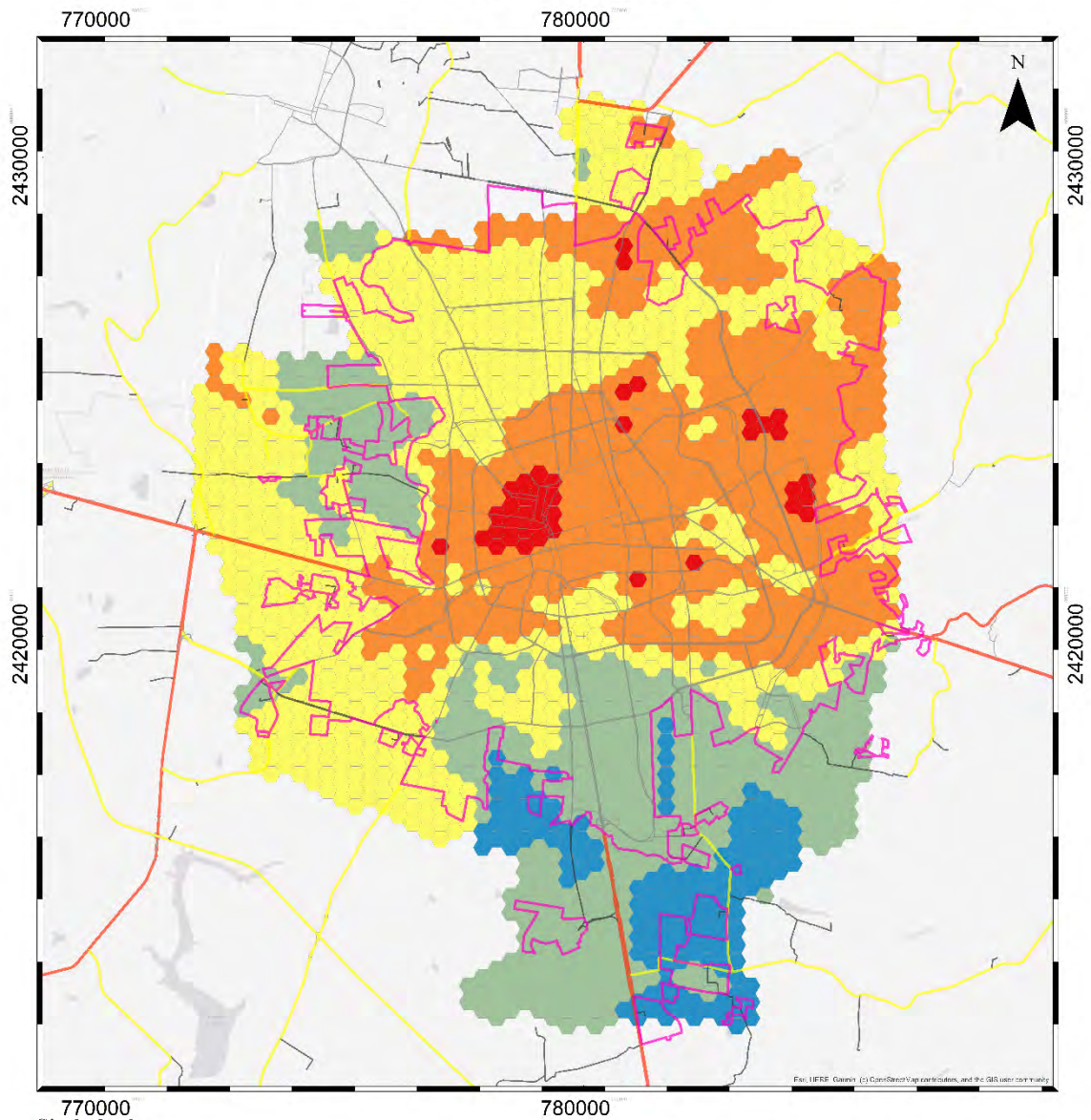
Aceptable

No óptimo

Elaboró: Laura Sofía Cabañas Melo
Fecha: septiembre de 2019
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 13N



ZONIFICACIÓN URBANA



Simbología

Zona urbana

□ Zona urbana

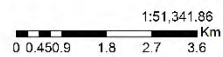
Red vial

- Federal
- Estatal
- Municipal
- Calle

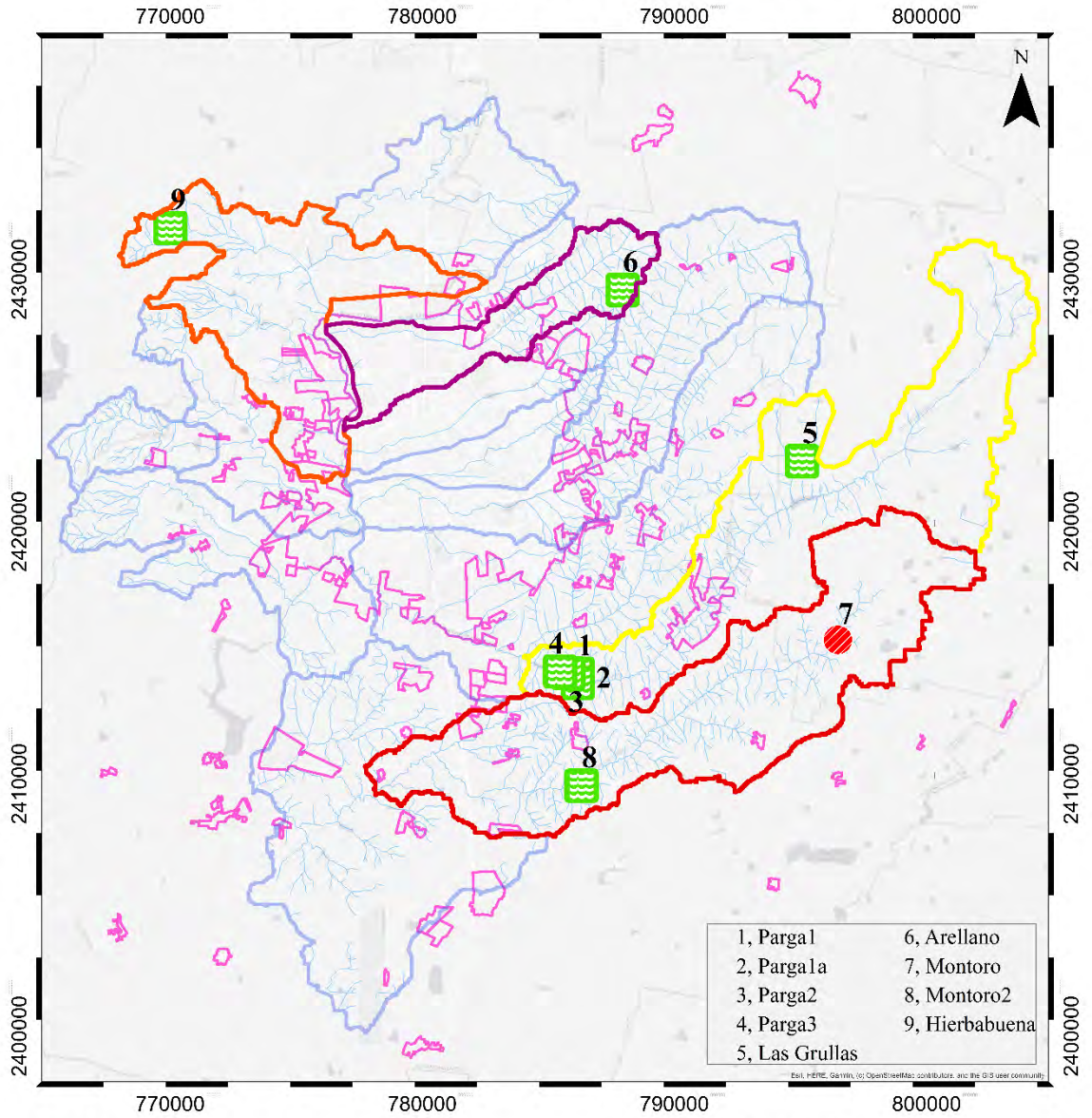
Zonificación

- Ideal
- Óptimo
- Aceptable
- No óptimo
- No recomendable

Elaboró: Laura Sofia Cabañas Melo
 Fecha: septiembre de 2019
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N



LOCALIZACIÓN DE ESTRATEGIAS PERIURBANAS



Simbología

- Zona urbanizada
- Microcuencas
- Rasgos hidrográficos**
- Corrientes de agua

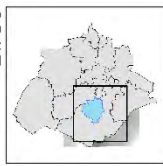
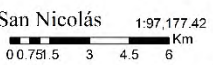
Estrategias periurbanas

- Humedal
- Estanque de retención

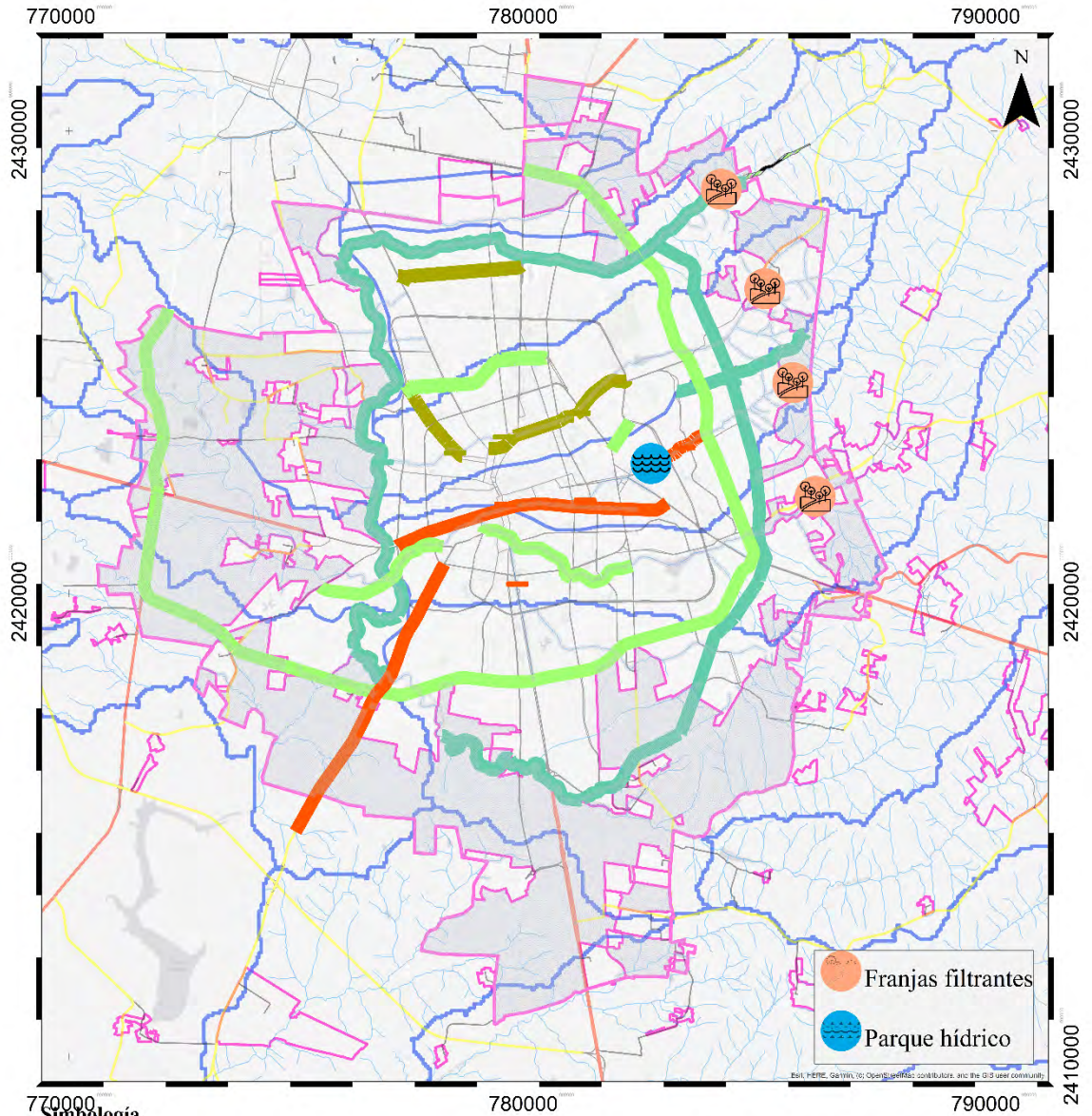
Sistema

- Presa Parga
- La Hacienda-San Nicolás
- Hierbabuena
- Montoro

Elaboró: Laura Sofía Cabañas Melo
 Fecha: enero de 2020
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N



LOCALIZACIÓN DE ESTRATEGIAS URBANAS



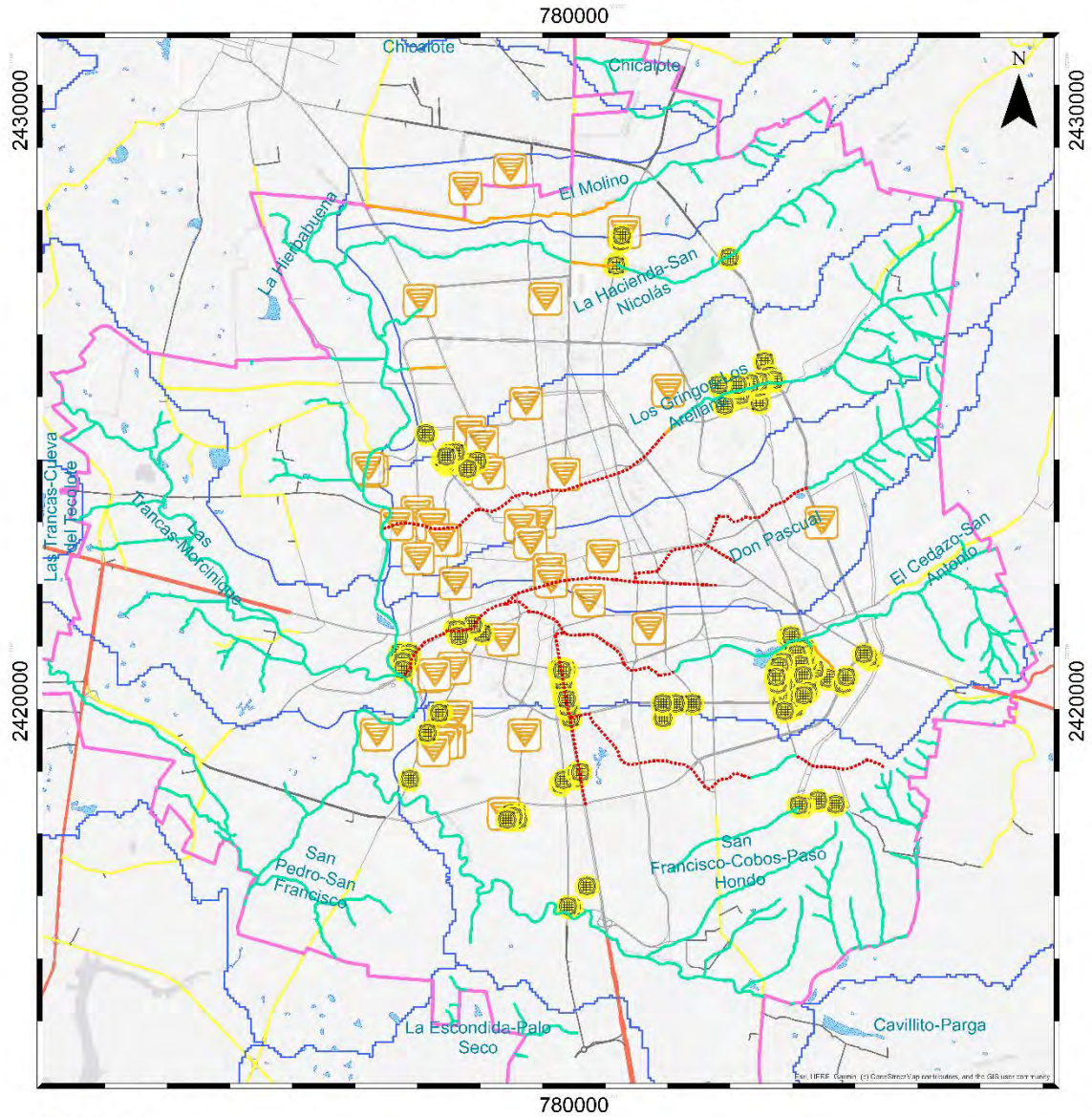
Simbología

- | | | |
|-----------------------------|-----------------|----------------------------|
| Zona urbanizada | Red vial | Estrategias urbanas |
| Microcuencas | Federal | Bioretención |
| Rasgos hidrográficos | Estatal | Cuneta verde |
| Corrientes de agua | Municipal | Drenaje francés |
| | Calle | Jardines de infiltración |
| | | Pavimento permeable |

Elaboró: Laura Sofía Cabañas Melo
Fecha: enero de 2020
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 13N

1:52,956.84 Km

PUNTOS DE CONFLICTO POR INUNDACIÓN



Simbología

Microcuencas

PCU

Cuerpos de agua

Puntos de inundación

Caimanes

Red vial

Federal

Estatad

Municipal

Calle

Cauces urbanos

Cauce natural

Acanalado

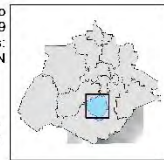
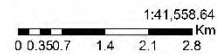
Entubado

Elaboró: Laura Sofia Cabañas Melo

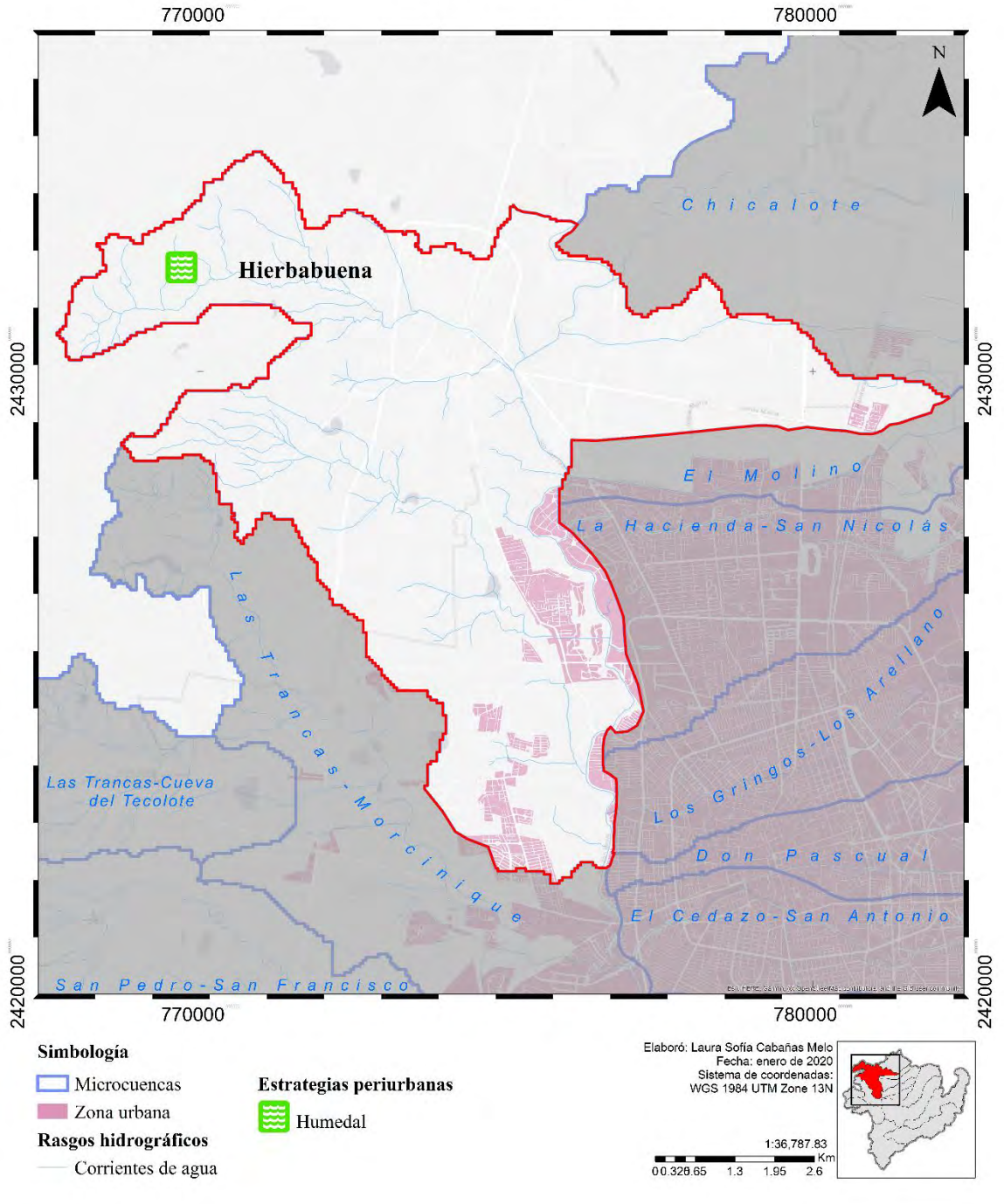
Fecha: octubre de 2019

Sistema de coordenadas:

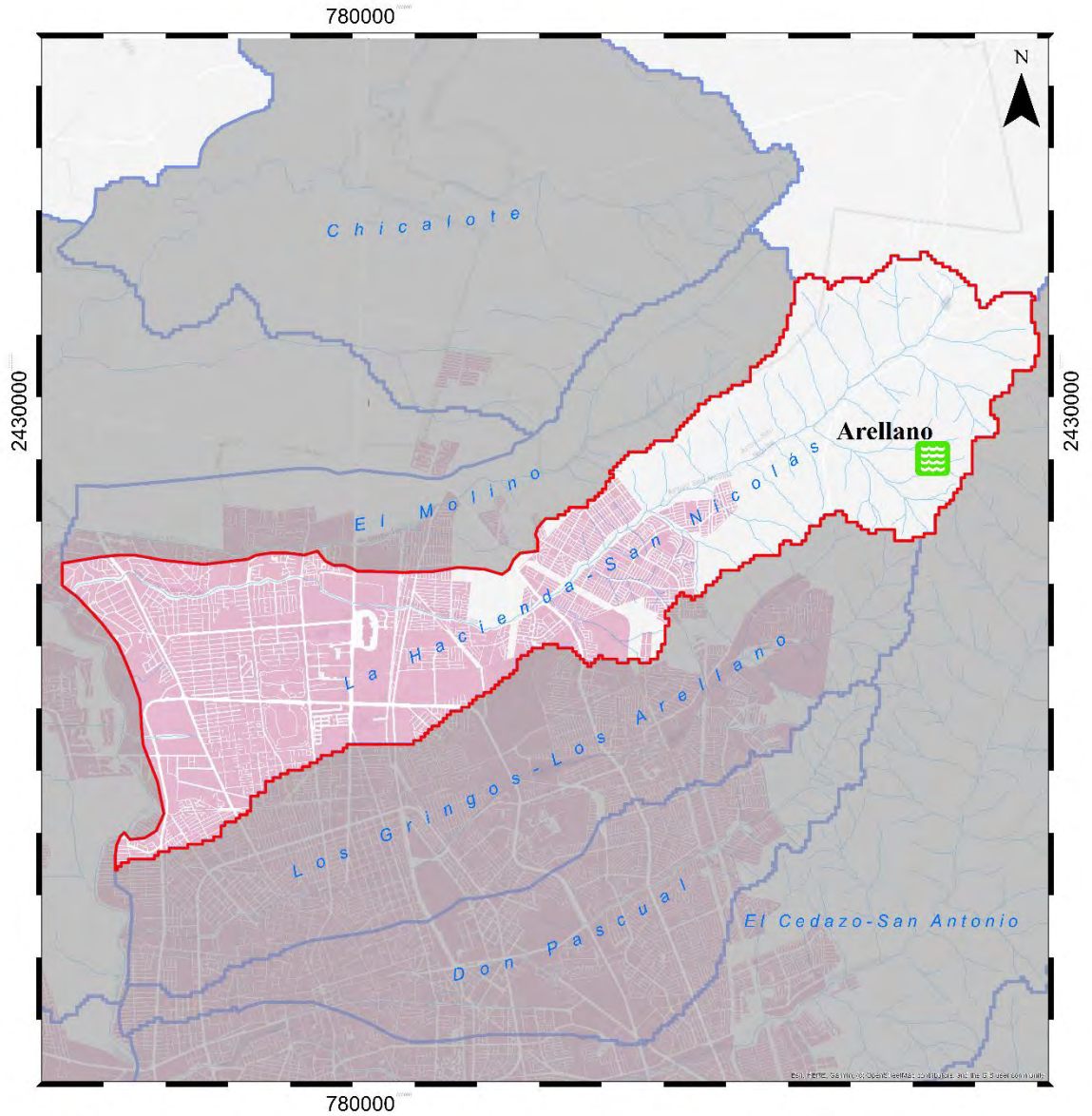
WGS 1984 UTM Zone 13N



SISTEMA HIERBABUENA



SISTEMA LA HACIENDA - SAN NICOLÁS



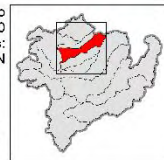
Simbología

- Microcuencas
- Zona urbana
- Rasgos hidrográficos**
- Corrientes de agua

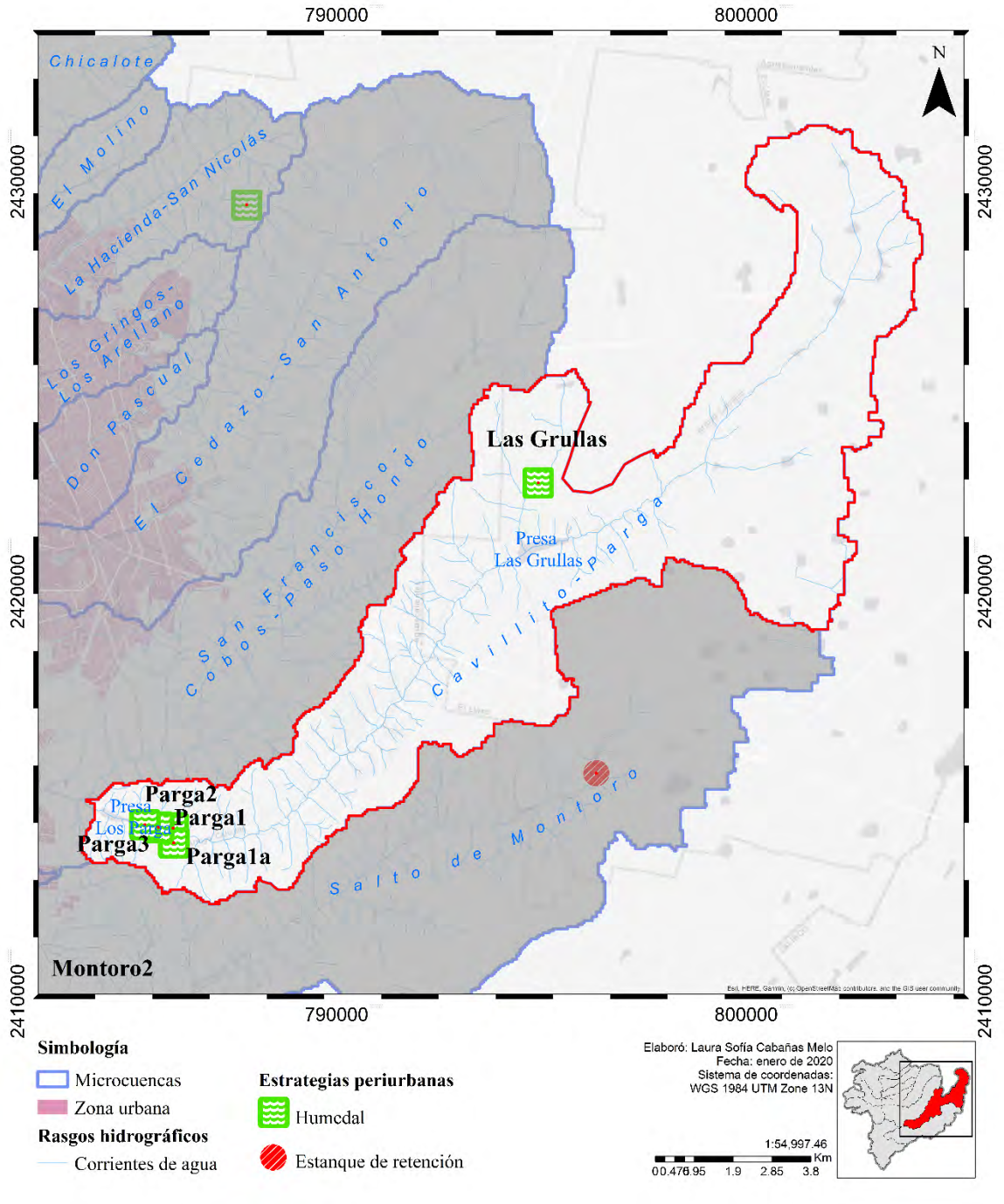
Estrategias periurbanas

- Humedal

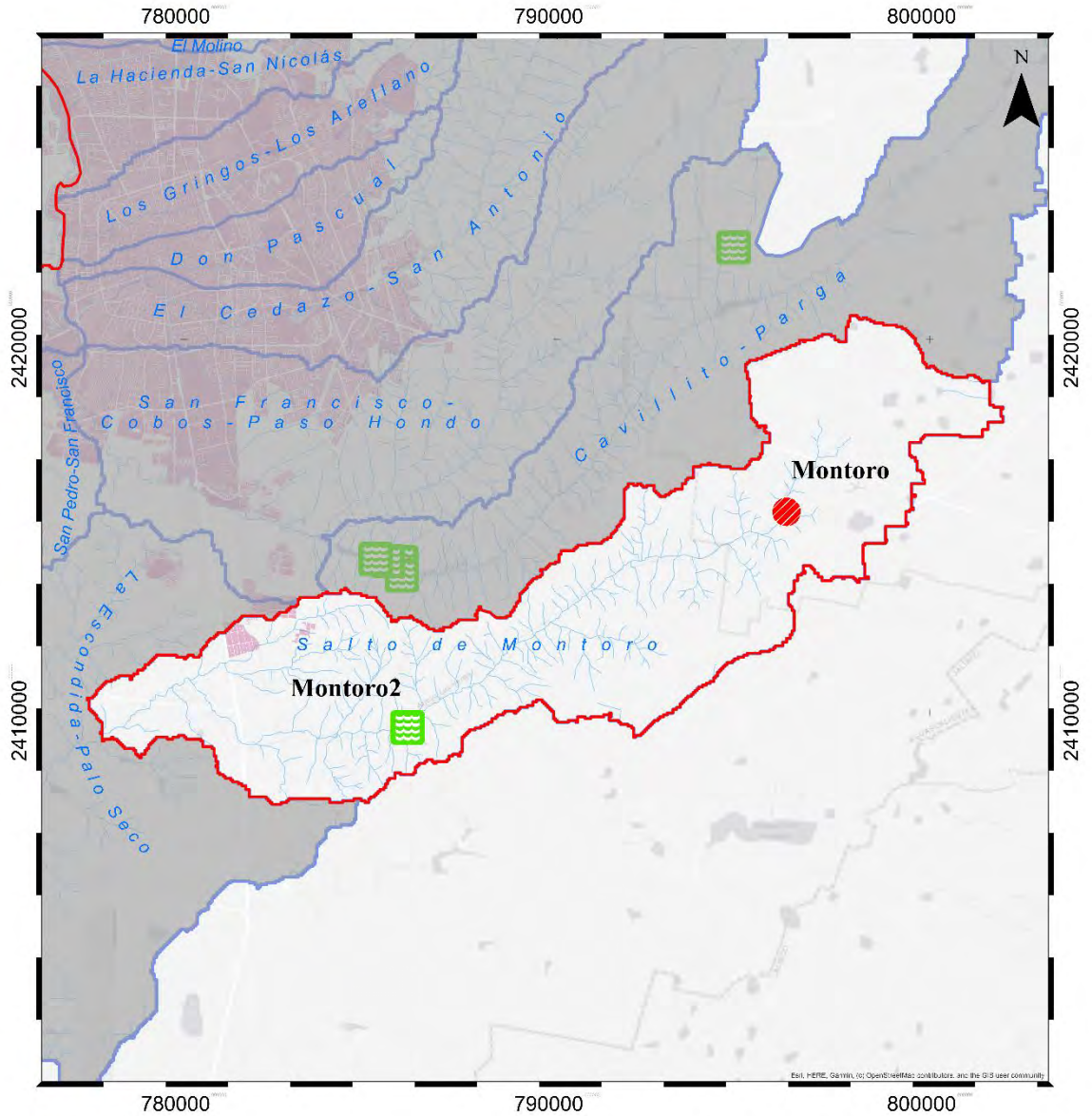
Elaboró: Laura Sofía Cabañas Melo
Fecha: enero de 2020
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 13N



SISTEMA PRESA LOS PARGA



SISTEMA MONTORO



Simbología

Microcuencas

Zona urbana

Rasgos hidrográficos

Corrientes de agua

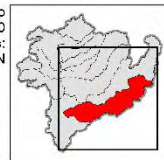
Estrategias periurbanas

Humedal

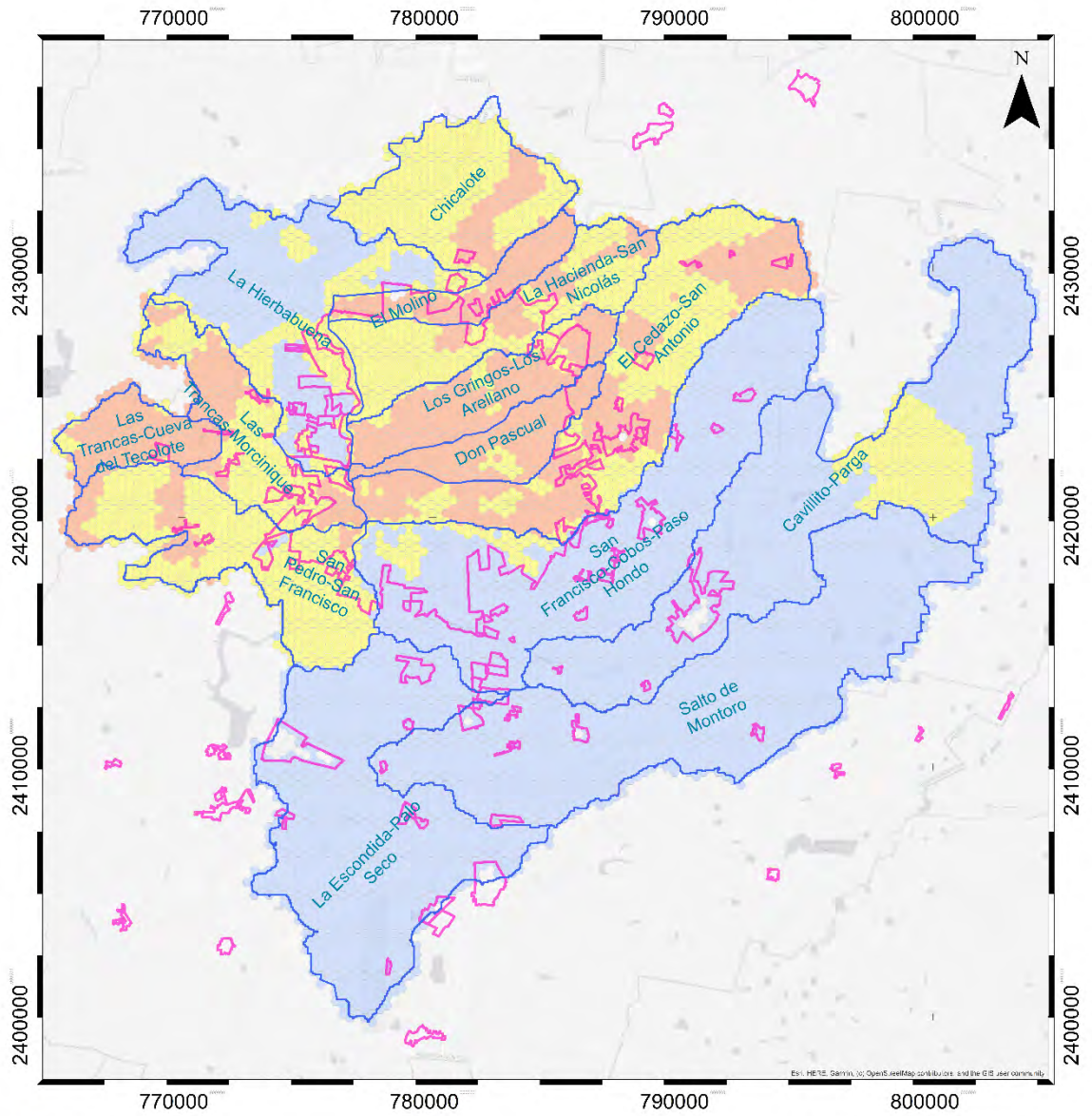
Estanque de retención

Elaboró: Laura Sofía Cabañas Melo
 Fecha: enero de 2020
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N

1:65.702.56
 Km
 0 0.5 1 2 3 4

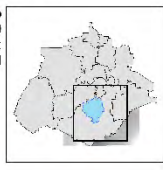
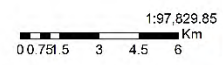


ZONAS PRIORITARIAS DE INTERVENCIÓN

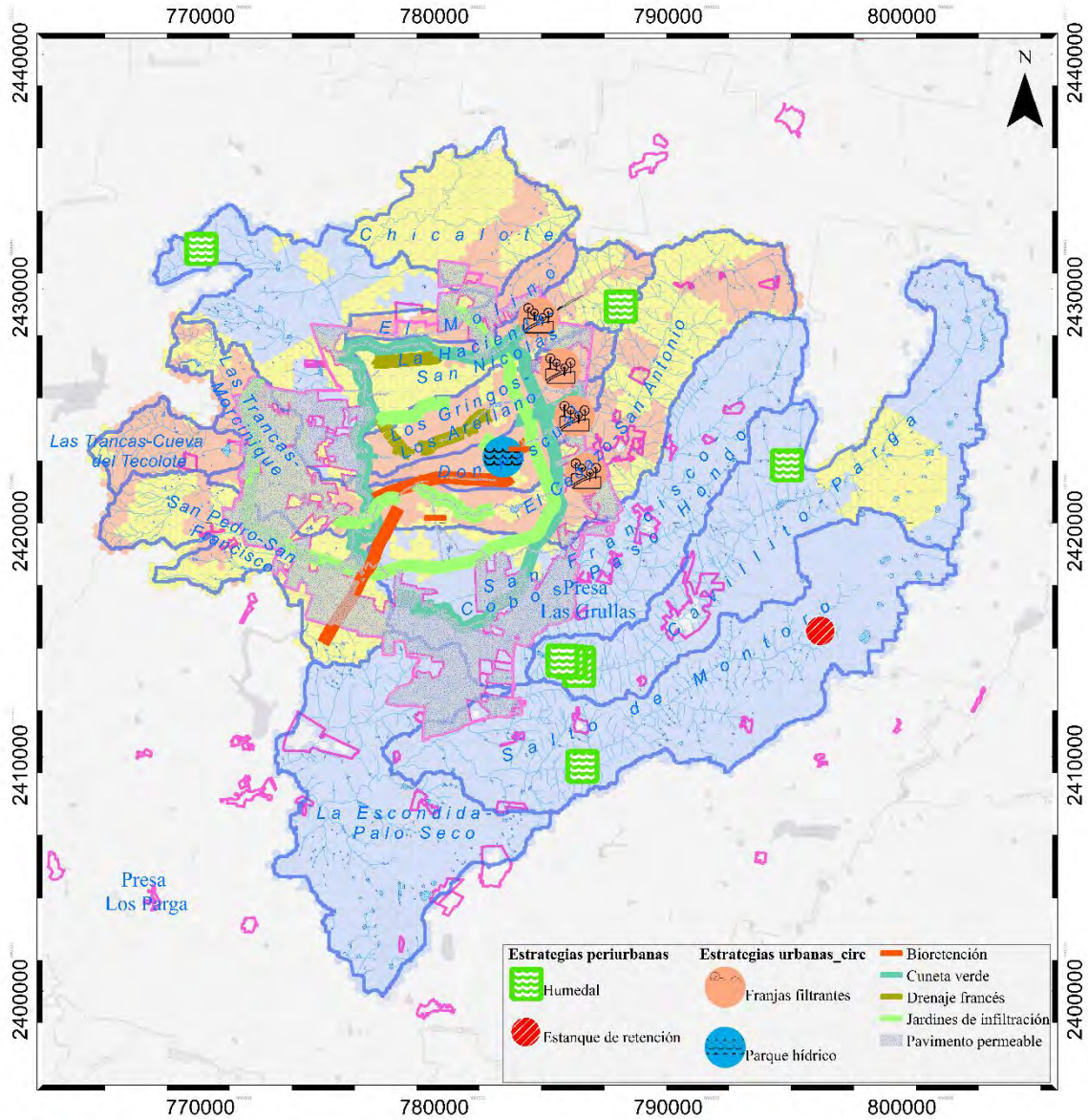


Simbología	
	Microcuencas
	Zona urbanizada
	Prioridad Alta
	Media
	Baja

Elaboró: Laura Sofia Cabañas Melo
 Fecha: noviembre de 2019
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N



LOCALIZACIÓN DE PROPUESTA GENERAL DE ESTRATEGIAS



Simbología

- Zona urbanizada
- Microcuencas

Rasgos hidrográficos

- Corrientes de agua
- Cuerpos de agua

Prioridad

- Alta
- Media
- Baja

- | | | |
|--|--|--|
| Estrategias periurbanas | Estrategias urbanas_circ | Biorretención |
| Humedal | Franjas filtrantes | Cuneta verde |
| Estanque de retención | Parque hídrico | Drenaje francés |
| | | Jardines de infiltración |
| | | Pavimento permeable |

Elaboró: Laura Sofía Cabañas Melo
 Fecha: enero de 2020
 Sistema de coordenadas:
 WGS 1984 UTM Zone 13N

