



## Adaptación metodológica en el diseño y desarrollo urbano de bajo impacto para el manejo de aguas pluviales en Colima, México

### Methodological adaptation in the design and urban development of low impact for stormwater management in Colima, México

Karen Gricela Isabeles Deniz<sup>1</sup>, Ángel Manuel Olavarría Sánchez<sup>2</sup>,  
Ana Luz Quintanilla Montoya<sup>3</sup> y Jesús Ríos Aguilar<sup>4</sup>

**Fecha de recepción:** 22 de mayo de 2019

**Fecha de aceptación:** 23 de agosto de 2019

**Como citar:** Isabeles K.G., Olavarría A.M., Quintanilla-Montoya, A.L. y Ríos, J. (2019). Adecuación metodológica para el manejo de aguas pluviales en la Ciudad de Colima, México. *Tecnura*, 23(62), 55-72. <https://doi.org/10.14483/22487638.15452>

#### Resumen

**Contexto:** Hoy en día, las ciudades requieren la implementación de nuevas experiencias de transformación urbana, debido a que la urbanización es responsable del 70 % de emisiones globales de CO<sub>2</sub>. El reto que confronta en materia urbana es hacer frente al CCG a nivel ciudad, mediante infraestructura multifuncional.

**Método:** El presente estudio se llevó a cabo bajo la perspectiva del diseño y desarrollo urbano de bajo impacto (LIUDD, por su sigla en inglés) contextualizando el marco francés de planeación urbana, en el cual, el manejo de agua es prioritario. La ciudad de Colima presenta un crecimiento horizontal desordenado y, en consecuencia, la extensión de áreas impermeables ha provocado escorrentías, inundaciones y congestión vial.

**Resultados:** La zona norte-poniente presenta un área de oportunidad para tratar dichas problemáticas, como se analizó en esta investigación. La zona

de estudio presenta un alto nivel de ocupación del suelo (COS=0,76-1,00) obteniendo un coeficiente de escorrentía CE=0,96. Además, presenta una baja densidad poblacional (51-100 hab/ha), con un 92 % de motorización. La vialidad ocupa el 91 % de la superficie de espacio público, por lo que representa un área de oportunidad para la infraestructura multifuncional. Se propone que mediante *técnicas de drenaje urbano sostenible* implementadas en vialidades principales, se reduzca el CE a 0,90, y el volumen de inundaciones en un 203 %, priorizando los modos activos de transporte.

**Conclusiones:** Desarrollar e implementar una gestión integral del agua, sustentada en un cuadro reglamentario que priorice el LIUDD, puede paliar el estrés hídrico en esta y otras ciudades con problemáticas comunes, mediante la creación de una coordinación integrada por representantes de diversos sectores. Lo anterior, con el objetivo de poder gestionar el espacio público, y de impulsar proyectos

1 Ingeniera Civil, estudiante de maestría. Especialidad en Transnational Water Management, Universidad de Radboud. Nijmegen, Países Bajos. Contacto: [karendeniz@ucol.mx](mailto:karendeniz@ucol.mx)

2 Ingeniero Civil. Auxiliar de Seguridad Vial en la Secretaría de Movilidad del Estado de Colima. Colima, México. Contacto: [aolavarría@ucol.mx](mailto:aolavarría@ucol.mx)

3 Oceanógrafa. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Colima. Colima, México. Contacto: [analuzqm@ucol.mx](mailto:analuzqm@ucol.mx)

4 Ingeniero Civil, maestro en Ciencias, especialista en Ingeniería de Tránsito. Director general del Instituto de Planeación para el municipio de Colima. Colima, México. Contacto: [jesus.rios@ipco.gob.mx](mailto:jesus.rios@ipco.gob.mx)

multifuncionales para manejo de aguas pluviales, movilidad y desarrollo urbano que puedan ser útiles en la aplicación de nuevas maneras de planificar nuestras ciudades y mitigar los riesgos climáticos.

**Palabras clave:** aguas pluviales, infraestructura multifuncional, LIUDD, SUDS.

### Abstract

**Context:** Cities around the world share similar experiences of urban transformation, due to the urbanization development model that is responsible for around 70% of the global CO<sub>2</sub> emissions. The challenge in urban matters is to work more at a city level, in order to mitigate the GCC and the effects that this produces.

**Method:** This study case, of a very small city in Mexico, represents the perspective of Low Impact Urban Design and Development (LIUDD), contextualizing the French urban planning framework, where the water resources management is a priority as an adaptation strategy. Colima city presents a disorderly horizontal growth; therefore, the extension of impervious areas has caused run-off and road congestion, affecting the population and urban infrastructure.

**Results:** The North-West zone represents an area of opportunity to deal with these problems. Our results

show that the study area presents an important level of soil occupancy (COS = 0.76-1.00) obtaining a runoff coefficient, CE = 0.96. In addition, it has a low population density (51-100 inhabitants / ha), with 92% of motorization. In this way, the road infrastructure occupies 91% of the surface of public space, so it presents an area of opportunity for multifunctional infrastructure. The proposal, through Sustainable Urban Drainage Techniques implemented in main roads, reduces the CE to 0.90, and the volume of floods by 203%, prioritizing the active modes of transport. It is recommended a comprehensive management of water supported by a regulatory framework, which prioritizes the LIUDD.

**Conclusions:** It is also recommended to create a coordinated agency composed by different representatives of the sectors involved, with the aim of generating multifunctional projects for the management of stormwater and mobility in public space. Also, this independent agency can be useful in managing new ways of planning the urban development, in order to mitigate and adapt the city to the climate risks that are happening.

**Keywords:** stormwater, multifunctional infrastructure, LIUDD, SUDS.

## INTRODUCCIÓN

Los impactos a la naturaleza provocados por los seres humanos mantienen hoy en día el mayor reto para la supervivencia de la especie y la del resto de los seres vivos que comparten el planeta, ante el *cambio climático global antropogénico* (CCGA). En este fenómeno, el desarrollo urbano cumple un papel sumamente importante. El modelo actual más común de desarrollo urbano, sobre todo en países en desarrollo, ha creado problemas de sustentabilidad en las zonas urbanas, relacionados con la segregación y las crecientes tensiones sociales, la congestión, la contaminación del aire, los residuos y el consumo de grandes y, a menudo, ineficientes cantidades de energía, agua, alimentos

y bienes materiales. Lo anterior explica por qué las ciudades son los motores principales del CCGA y la degradación del medio ambiente mundial. En este sentido, “la ausencia sistémica en la planificación de la ciudad y el territorio ha originado condiciones hostiles manifiestas en el espacio físico” (De Quevedo, Asprilla y González, 2017, p. 138).

En el presente, “aproximadamente el 70 % del total global de las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con energía están asociadas con lo que ocurre en áreas urbanas y ciudades” (Lena y Kes, 2015). Asimismo, se proyecta que la cobertura de servicios, como energía, transporte y producción de alimentos, llevarán a un aumento de emisiones de CO<sub>2</sub> en un 140 % para el periodo 2000-2025; con un incremento mayor por parte de

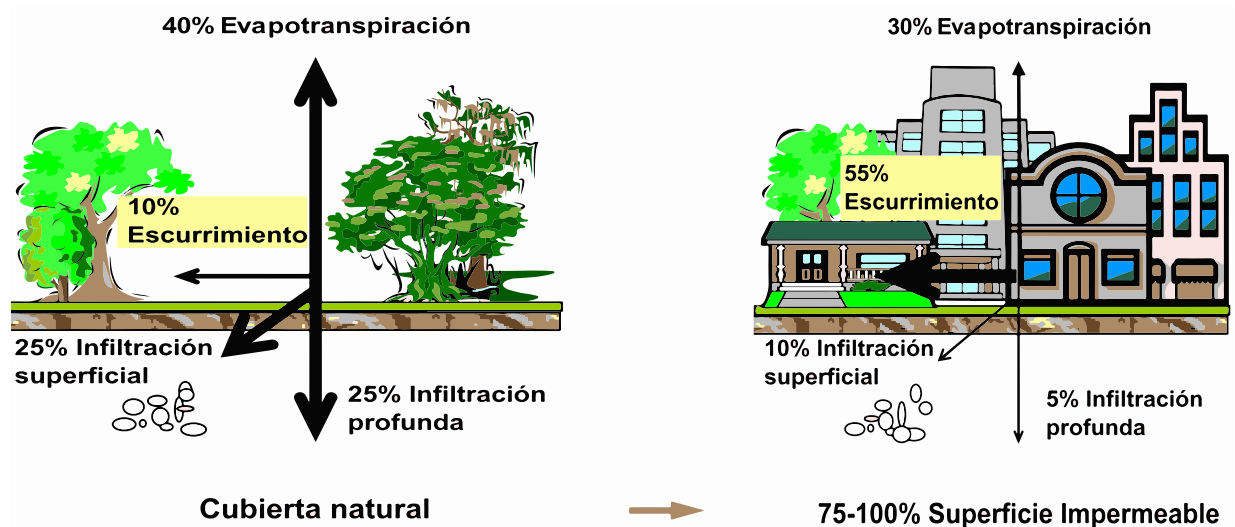
los países en desarrollo (GIZ, 2007). En estos, las ciudades cuya población es inferior a un millón de habitantes son las más vulnerables, pues institucionalmente son débiles e incapaces de implementar acciones efectivas de mitigación y adaptación (Revi et al., 2014).

Con base en la proyección del Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat, 2009) se espera que para el año 2050, más del 70 % de la población humana viva en áreas urbanas. La necesidad de desarrollar más infraestructura urbana para satisfacer las necesidades de una creciente población ha estado poniendo presión sobre las ciudades, de manera que las superficies naturales como la vegetación, el agua y el suelo han sido reemplazados con superficies artificiales como edificios, carreteras y asfalto.

En efecto, el ejercicio de urbanizar el medio rural ha permitido acceder a productos habitacionales (González, 2018, p. 67); sin embargo, este proceso incluye un intercambio de energía alterado que crea islas de calor urbanas (ICU) y cambios en la hidrología, como el aumento de la escorrentía superficial del agua de lluvia. Dichos cambios son el resultado de la cobertura superficial alterada

del área urbana. Por ejemplo, las superficies con menos vegetación conducen a una disminución del enfriamiento por evaporación, mientras que un aumento en el sellado de la superficie da como resultado un mayor escurrimiento superficial. El cambio climático amplificará estas características distintivas (Gill, Handley, Ennos y Pauleit, 2007). Por otra parte, México presenta actualmente una tasa de motorización ubicada en un 9,6 % anual, lo que supera la tasa demográfica de 1,26 % en el país (ITDP y I-CE, 2011).

El sistema actual ignora los altos costos que se pagan de tenencia, junto con las repercusiones en el espacio público, la contaminación y el congestionamiento vial (Efroymsen y Rahman, 2005). Además, la creación de vialidades provoca mayores escurrimientos durante las lluvias y repercute en la calidad del agua. De este modo, se han ido creando cada vez más zonas impermeables en las ciudades, y peor aún, las ciudades han perdido una gran cantidad de sus áreas verdes, lo cual ha afectado a los ecosistemas de flora y fauna local, haciendo que las ciudades sean más vulnerables al cambio climático a nivel local y contribuyan al global. En la figura 1, por ejemplo, se comparan



**Figura 1.** Porcentajes de urbanización y sus escurrimientos

**Fuente:** California Water y Land Use Partnership [CA WALUP] (2006).

los escurrimientos en un medio natural y un medio intervenido por la urbanización.

Actualmente, el manejo de aguas pluviales es uno de los elementos principales que debe ser considerado en el proceso de planeación urbana; los retos globales y locales son la reducción de las inundaciones, la preservación de los recursos hídricos y de los ecosistemas que brindan dichos servicios ambientales. Asimismo, las estrategias proponen la adaptación del espacio público para integrar las soluciones en una infraestructura multifuncional.

Un modelo de desarrollo urbano que permita una multifuncionalidad en los espacios públicos permitirá que los actores de la ciudad obtengan los beneficios de vivir en un entorno vibrante y socialmente activo, en beneficio de la seguridad en las calles y los negocios locales (Sadik-Khan y Solomonow, 2016). Facilitar que exista una infraestructura adecuada a nivel de sus calles, y que sus ciudadanos generen su propio orden público, crea una sociedad sana y conectada a su entorno. “Las calles no pueden seguir siendo barreras para los ciudadanos, sino que deben invitar a conectarse con los demás vecinos y residentes” (Cámara de Comercio de Bogotá, 2014). En suma, “diferentes ciudades de carácter metropolitano supeditadas a la automovilidad han comprometido la sustentabilidad de sus recursos y han ocasionado graves problemas de índole económica, social y ambiental” (Arizaga, González y Asprilla, 2019, p. 14-15).

Con estos fundamentos, se decidió abordar el área de estudio con una perspectiva amplia de lo que significa la infraestructura de una ciudad, así como de las posibilidades que tiene el espacio público, especialmente las calles, para hacer propuestas de intervenciones sostenibles, incluyentes y resilientes. En ese sentido, el objetivo de este estudio es la adaptación metodológica de la teoría de desarrollo urbano de bajo impacto (*low impact urban design and development* – LIUDD) enfocada al manejo de aguas pluviales y movilidad urbana en el espacio público, para la zona norte-poniente (ZNP) de la ciudad de Colima.

Esta investigación utiliza la información de diferentes ecotecnologías, para el manejo sustentable de las aguas pluviales propuestas en *The SuDS manual* elaborado por CIRIA (2007). La modelación hidráulica busca simular el comportamiento del sistema de almacenamiento temporal, a través de una modelación con el *software SWMM 5.0.002* de la EPA. Del mismo modo, el QGIS se utilizó para la consulta de datos georreferenciados dentro de la zona de estudio y se eligió trabajar con *software* de dibujo asistido por computadora para crear el diseño de la sección transversal propuesta. Al sugerir nuevas dimensiones en la vialidad, se verificó que cumpla con las exigencias de tránsito y vialidad local, por lo que dichos análisis se realizaron mediante un *software* comercial que facilita el diseño de las intersecciones, el acceso de vehículos y radios de giro.

Según el informe del Instituto Mexicano para la Competitividad, el modelo de crecimiento urbano de las ciudades mexicanas se caracteriza por ser de forma “3D”, en referencia a las características de su crecimiento “distante, disperso y desconectado” (IMCO, 2013). Particularmente, el estado de Colima es un claro ejemplo de que, aun siendo un estado pequeño –representa solo el 0,3 % del territorio nacional–, durante los últimos veinte años, ha sufrido un periodo de urbanización desordenada. Los cambios en el uso de suelo (CUS), han provocado una gran deforestación en los municipios aledaños y una devastación de la flora urbana. Un ejemplo de ello es que el promedio de deforestación nacional es 0,8 % anual y el estado de Colima tiene una tasa de 1,3 % al año (Universidad de Colima *et al.*, 2014).

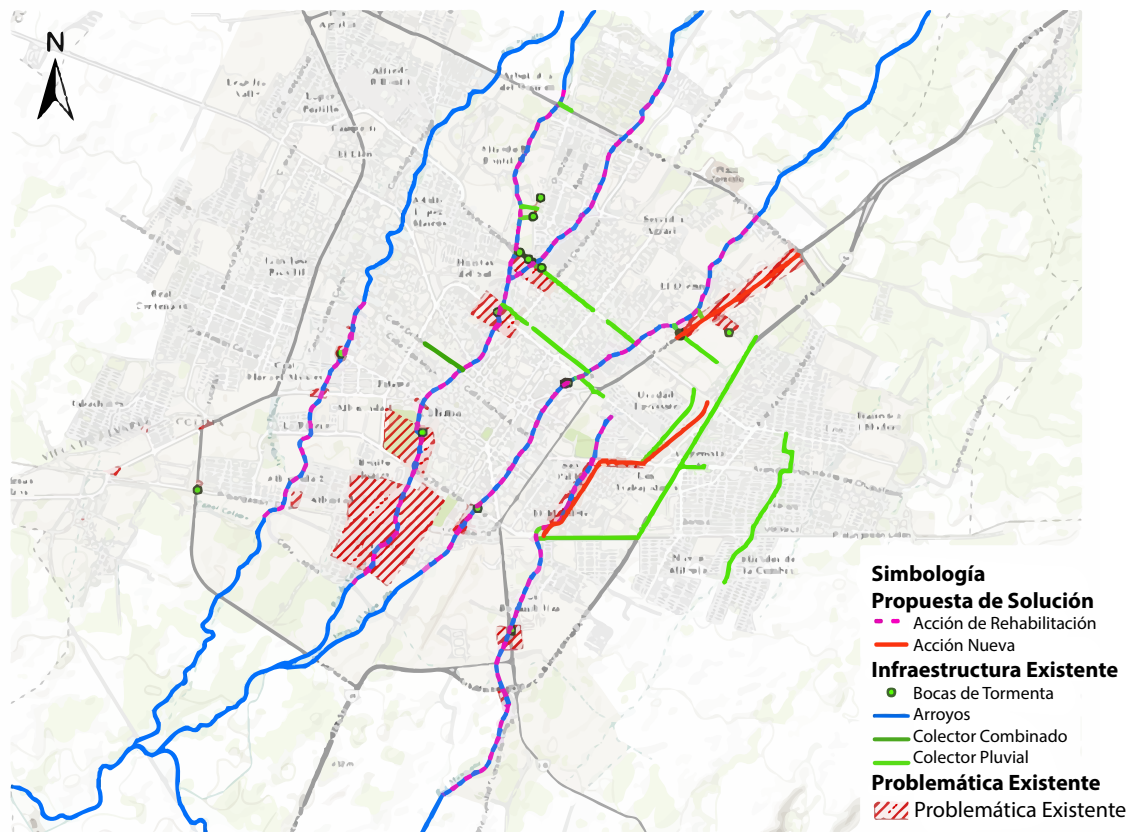
Este fenómeno de crecimiento horizontal e ineficiencia del transporte público ha creado una movilidad insostenible liderada por el vehículo privado. La ciudad no presenta condiciones favorables para el peatón debido a la carencia y condiciones de las banquetas, y no existe una red de infraestructura ciclista. En consecuencia, las necesidades de transporte han sido principalmente por el uso del automóvil, lo que ha generado un

aumento del parque vehicular estatal en los últimos años, con 419 automóviles por cada mil habitantes, ocupando así el quinto lugar en el orden nacional en automóviles por cada mil habitantes (INEGI, 2015).

La expansión urbana de la ciudad de Colima ha generado, cada vez más, superficies impermeables, deteriorando y fragmentando las áreas verdes urbanas. En consecuencia, se han agudizado los escurrimientos dentro de la ciudad, siendo más frecuentes las inundaciones en esta. Tanto los reportes periodísticos de inundaciones en Colima, como las problemáticas identificadas por la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2016), demuestran la ineficiencia del drenaje urbano pluvial basado en un sistema convencional; si a esto se adiciona la deforestación –que es casi el

doble que la media nacional–, el problema es aún mayor (figura 2).

Para delimitar el área de estudio, se identificaron los puntos con mayor incidencia de escurrimientos dentro de la ciudad de Colima y se eligió a la zona norte poniente de la ciudad, específicamente la Avenida Venustiano Carranza mostrada en la figura 3; esta presenta una problemática recurrente de inundaciones y congestión vial. La vialidad se caracteriza por conectar la región norte de la ciudad con el centro de esta, y con el municipio de Villa de Álvarez; la zona tiene usos de suelo comercial y habitacional, así como cuatro instituciones educativas, por lo que presenta un flujo vehicular continuo durante todo el día y una congestión vial durante las horas pico (6:00 a.m., 2:00 p.m., 7:00 p.m.).



**Figura 2.** Infraestructura y problemática de drenaje pluvial en el municipio de Colima

**Fuente:** Conagua (2016).



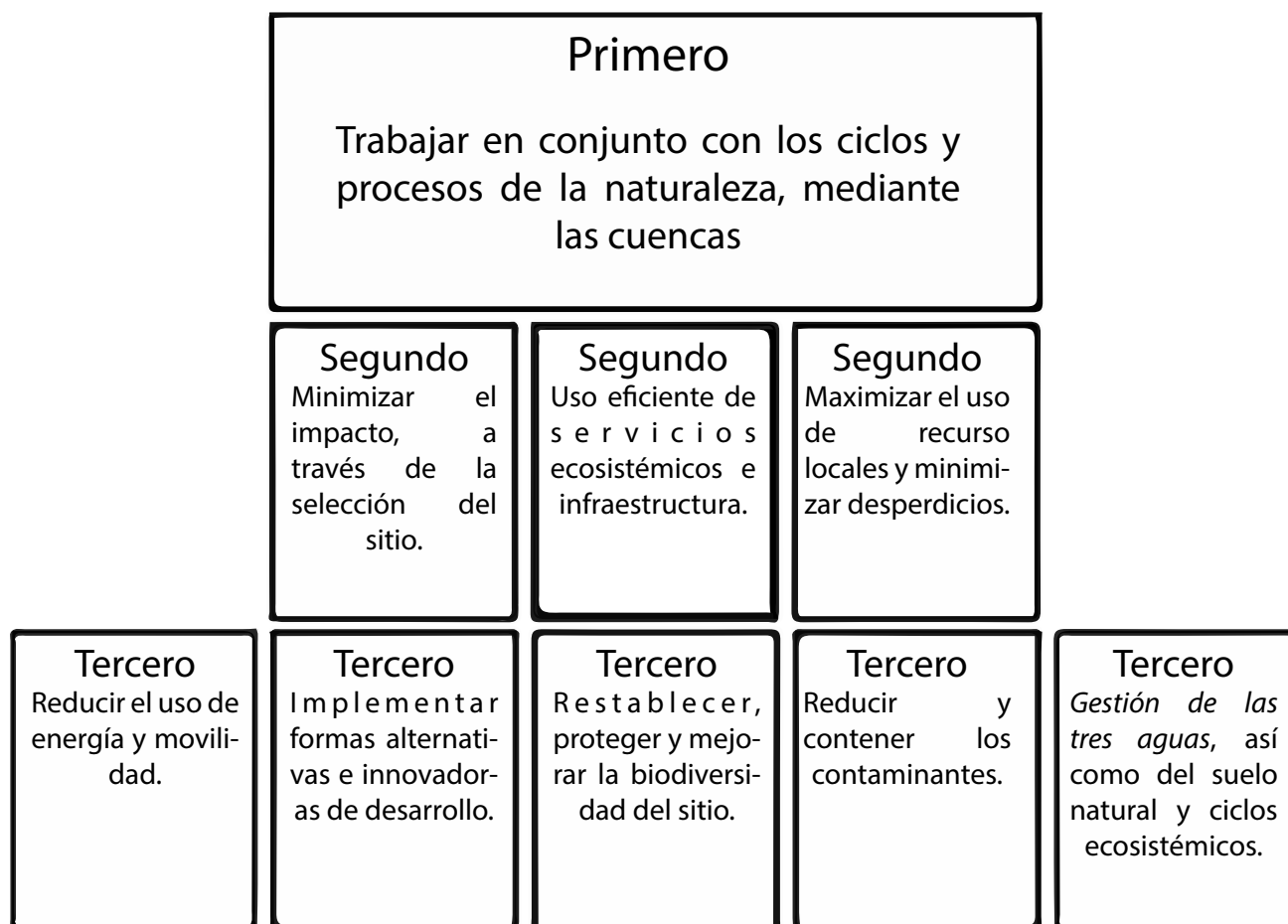
**Figura 3.** Delimitación del área de estudio

**Fuente:** elaboración propia.

## METODOLOGÍA

LIUDD es una teoría de desarrollo urbano de bajo impacto cuyo proceso integrado de diseño y desarrollo urbano utiliza escalas anidadas dentro de las cuencas en entornos urbanos y periurbanos. Tiene como objetivo proteger la integridad ecológica acuática y terrestre, al tiempo que permite la urbanización en todas las densidades

(Roon y Roon, 2009). Los programas se centran en los elementos de las áreas de servicios: corredores verdes, calles para peatones, calles arboleadas y manejo de aguas pluviales. Las actividades humanas pueden ser consideradas dentro de un rango de escalas, desde lotes individuales hasta cuencas de captación, y de escalas regionales a nacionales. La metodología aplicada al presente estudio se enfocó en el orden de prioridades ilustrado en la [figura 4](#).

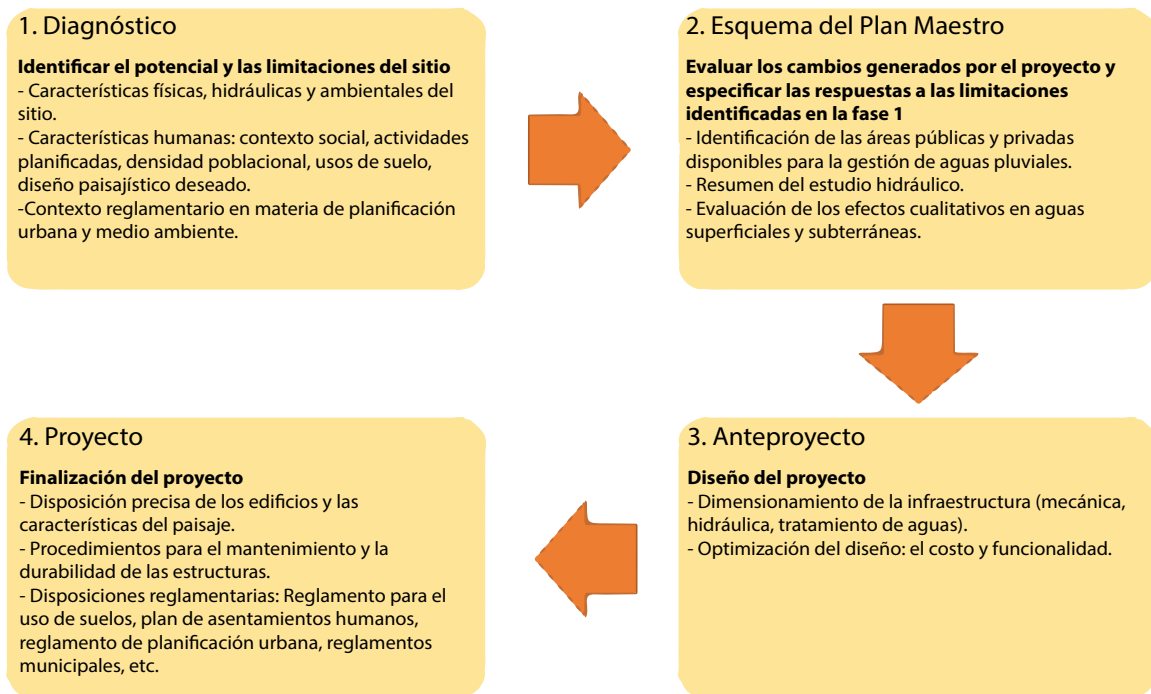


**Figura 4.** Jerarquía simplificada de principios y métodos del LIUDD

**Fuente:** elaboración propia adaptada de Roon y Roon (2009).

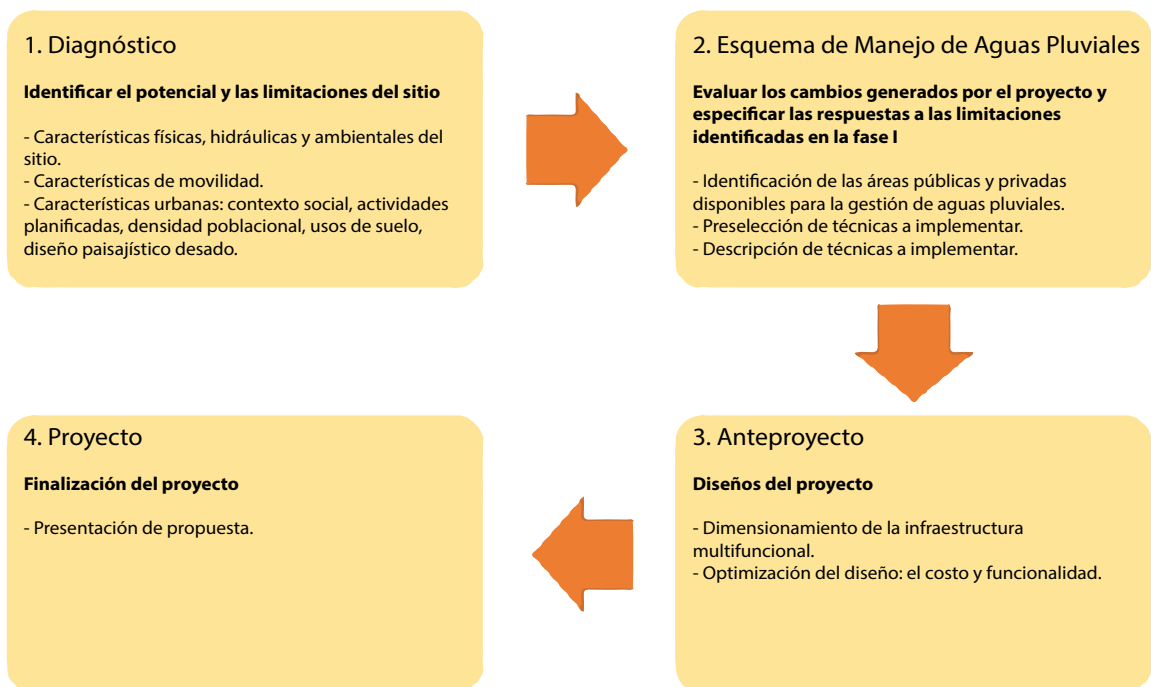
Aunado a lo anterior, es considerada una metodología más, que fue propuesta en Francia para lograr una gestión integral del agua, con base en la guía *La ciudad y el tratamiento* (CERTU, 2013); esta plantea principalmente la gestión integral del agua en zonas urbanas. De acuerdo con el plan Integral de Gestión de Aguas Pluviales en Francia (GRAIE, 2006), la responsabilidad del manejo de las aguas pluviales se debe repartir entre varios actores, desde la planificación urbana hasta el mantenimiento de la obra. Cabe destacar que el

cuadro reglamentario relaciona y articula a los actores, haciendo posible un desarrollo en conjunto entre urbanización y las aguas pluviales; así como la metodología para una implementación de estrategias pertinentes y sostenibles de gestión de aguas pluviales mostrada en la figura 5. La adaptación metodológica para el área de estudio se generó a partir de la contextualización de las teorías del LIUDD y del cuadro francés de planeación urbana, tal y como se indica en la figura 6.



**Figura 5.** Metodología para una planeación urbana exitosa

Fuente: GRAIE (2006).



**Figura 6.** Adaptación metodológica para una planeación urbana compatible con LIUDD

Fuente: elaboración propia.



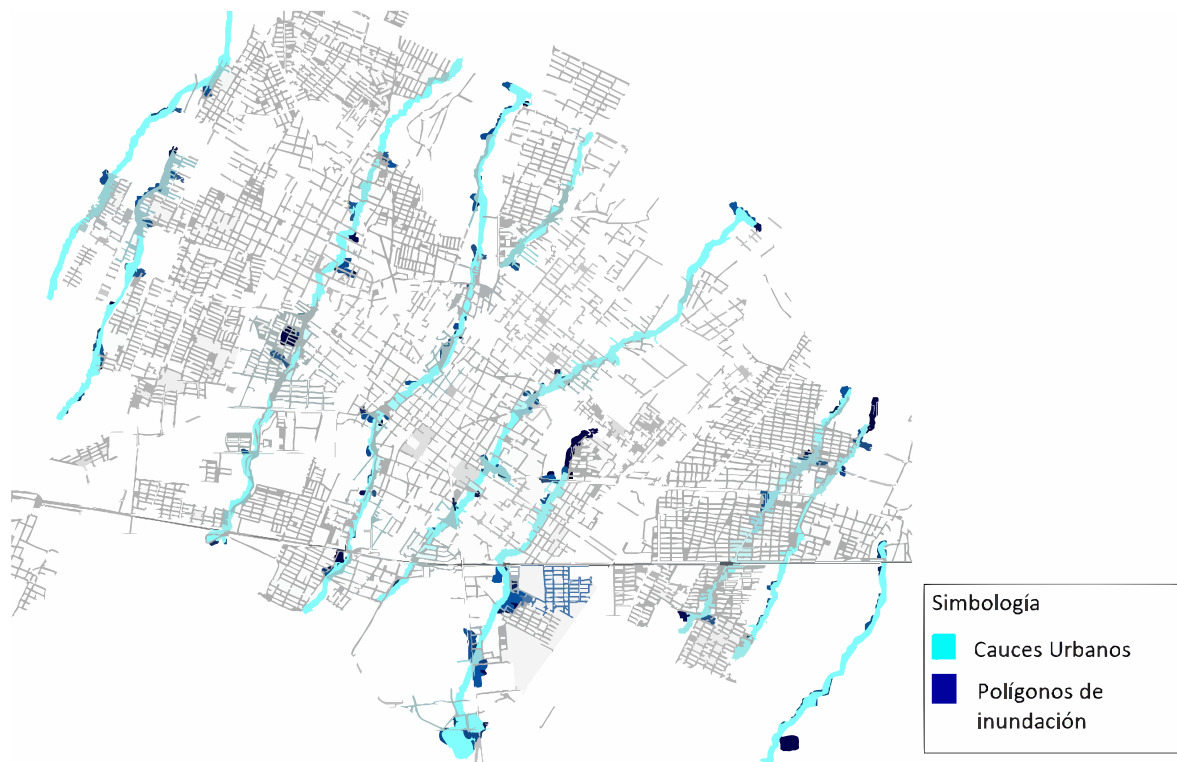
## RESULTADOS

### *Diagnóstico físico-urbano*

Las características de la movilidad urbana se obtuvieron del estudio de factibilidad ciclista, desarrollado para la zona norte-poniente del municipio de Colima (IPCO, 2017). Este estudio muestra que el 92 % de la movilidad en la zona es motorizada, y el 75 % de los viajes se realizan en automóvil privado; dejando solo un 8 % en medios activos de transporte (bicicleta y peatones).

Se pudo identificar que la zona de estudio presenta baja densidad poblacional, ya que se tienen zonas con una densidad de población con un rango que suele ir de 0-50 habitantes por hectárea (hab/ha), hasta 51-100 hab/ha. En contraste, se presenta un coeficiente de ocupación del suelo alto (0,75-1,00). Existe una mayor parte de 0,51-0,75, mientras que existen lotes con 0,00-0,25 (Sedur, 2011).

Con base en la Semarnat (2016), entre 2002 y 2011, los estados con mayor degradación de la cubierta natural primaria fueron, Colima y Aguascalientes con una tasa anual del 2,11-2,46 % y una tasa de deforestación de 1,25 anual, siendo la media nacional de 0,8 %. Esta situación es crítica, pues el estado de Colima se encuentra en una región de alta diversidad biológica endémica, gracias a su compleja topografía, ya que aquí convergen la Sierra Madre Occidental, Sierra Madre del Sur y Eje Neovolcánico Transversal (Pacheco, 2013). La tasa de deforestación en el estado se relaciona directamente con el aumento de zonas con riesgo de inundación. Un ejemplo de ello se muestra en el Plan de Manejo Integral para Cauces Urbanos, para la ZMCVA (IIUNAM, 2011), en el cual se presentan los polígonos de inundación para diferentes periodos de retorno, asociados únicamente al desbordamiento de los cauces, como se muestra en la figura 7.



**Figura 7.** Definición de zonas asociadas a peligro de inundación. Zona conurbada Colima Villa de Álvarez

Fuente: adaptado de IIUNAM (2011).

Se identificaron los actores clave y las instituciones involucradas que fungen como responsables sobre el manejo del espacio público en el municipio de Colima (figura 8). Dichos actores tienen roles definidos en las actividades en torno al espacio público. Sin embargo, aún con responsables públicos en la administración, operación y mantenimiento de los espacios, no hay una jerarquía ni articulación clara entre las dependencias municipales y otros actores que tienen injerencia en el espacio público.

### Esquema de manejo de aguas pluviales

Se realizó una modelación de la zona para identificar los espacios que pueden ser intervenidos y adaptados de acuerdo con los criterios de las técnicas de drenaje urbano sostenible (TDUS) y se encontró que el espacio público de la zona de estudio está constituido principalmente por vialidades y jardines, donde solo el 4 % lo constituyen jardines.

**Tabla 1.** Espacio disponible en la zona de estudio

Espacio	Área (ha2)	Área (%)
Edificaciones	98,78	54,42
Jardines	7,26	4,00
Vialidad	75,48	41,58
	181,52	100,00

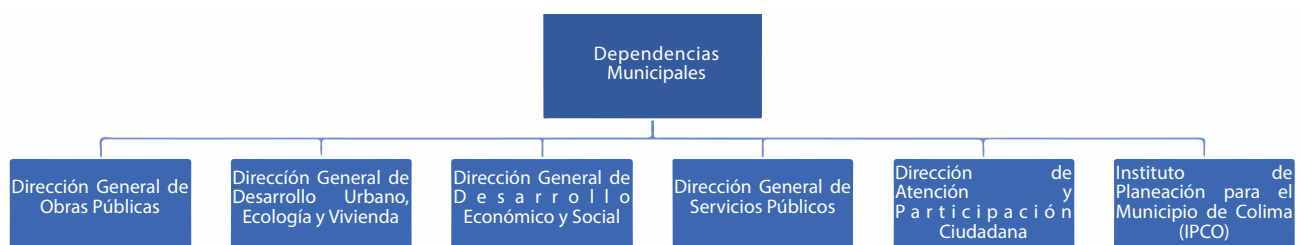
**Fuente:** elaboración propia.

Debido al bajo porcentaje de áreas verdes, los espacios predominantes son áreas impermeables, como calles y edificios. Por esta razón, se decidió una intervención en el espacio público, adecuando las TDUS a las calles Águilas, Palma Areca, y las avenidas De la Paz y Venustiano Carranza, así como en jardines de la zona. El proceso para la selección de las TDUS a implementar se realizó a partir del diagrama de flujo y los criterios de CIRIA (2007).

Con los resultados, se definió que era necesario intervenir más espacio público para la introducción de TDUS, logrando así una mayor mitigación del volumen de inundaciones. Las técnicas que mejor se adaptan a las condiciones del espacio son: cunetas verdes, zanjas de infiltración áreas de biorretención y pavimentos permeables. Asimismo, para el sistema de almacenamiento, se proponen módulos geocelulares (por ejemplo, aquellos conocidos como sistemas Hidrobox –de la empresa Hidrostack–).

### Anteproyecto

Como parte de la metodología, se realizaron dos modelaciones: la primera incluye la situación actual del área en estudio, y la segunda, mostrada en la figura 9, abarca la propuesta de TDUS. El promedio de pendiente para la zona de estudio es de 3,02 %, mientras que el porcentaje de impermeabilidad es de 96,6 %. El tipo de suelo a considerar, de acuerdo con los estudios encontrados para la ciudad de Colima es el tepetate, definida como



**Figura 8.** Sectores involucrados en el manejo del espacio público

**Fuente:** IPCO (2014).

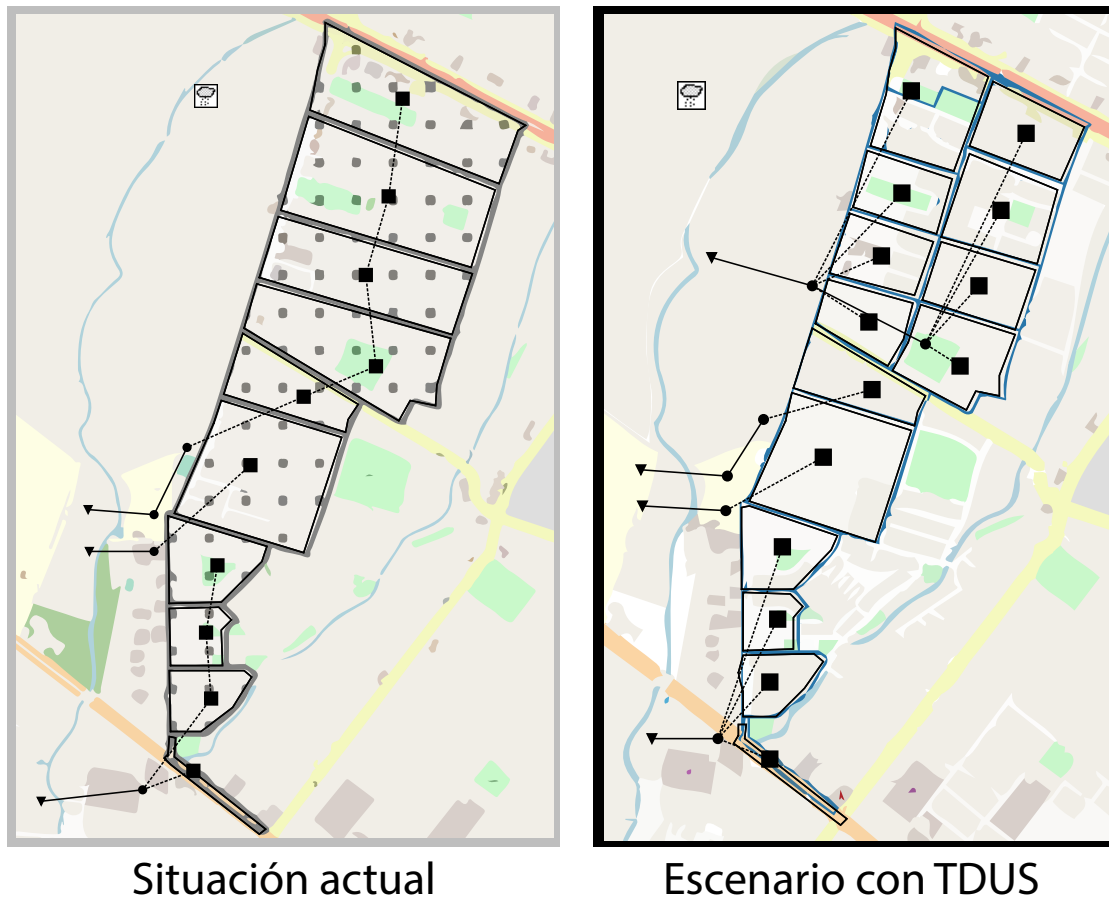
**Tabla 2.** Área total de intervención (ATI) en la zona de estudio

Cuenca	Zanja de infiltración	Pavimento permeable	Zonas de biorretención	Cuneta verde	ATI (m2)
1	83,54	1865,02	143,5	0	2092,06
2	163,89	2900,95	172,5	0	3237,34
3	163,88	2010,9	95	0	2269,78
4	119,32	1961,09	117,5	400	2597,91
7	0	0	20	0	20
8	0	0	30	0	30
	530,63	8737,96	578,5	400	10247,09

**Fuente:** elaboración propia.

marga areno-arcillosa (Rawls, Brakensiek y Miller, 1983). Los datos de pluviometría fueron tomados de IIUNAM (2011), para una lluvia de diseño con periodo de retorno de 10 años, con intensidad de

94 mm en 4 horas. Para ambos casos, los datos iniciales de características de las cuencas, suelo, pluviometría, evaporación, almacenamiento en superficie e infiltración fueron los mismos.

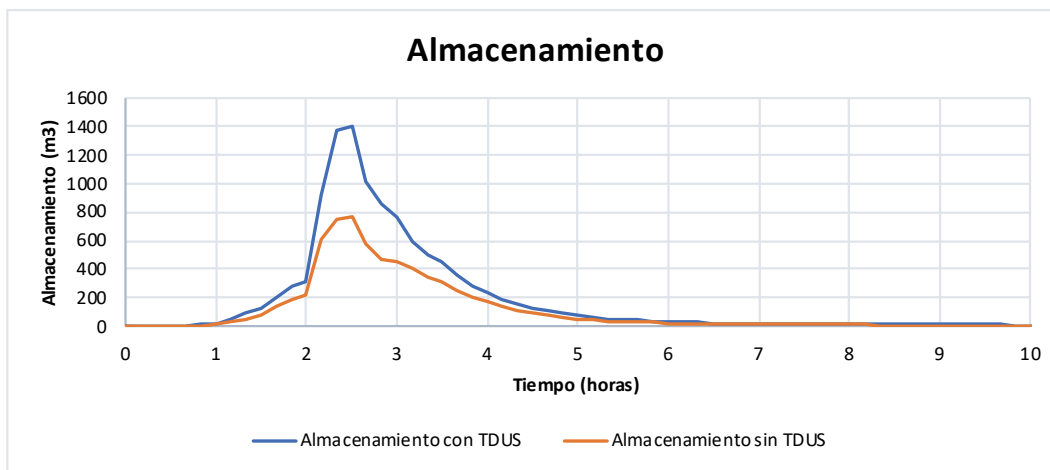


**Figura 9.** Modelo del sistema actual con la infraestructura existente (izq.) y modelo del sistema de propuesta (dcha.)

**Fuente:** elaboración propia.

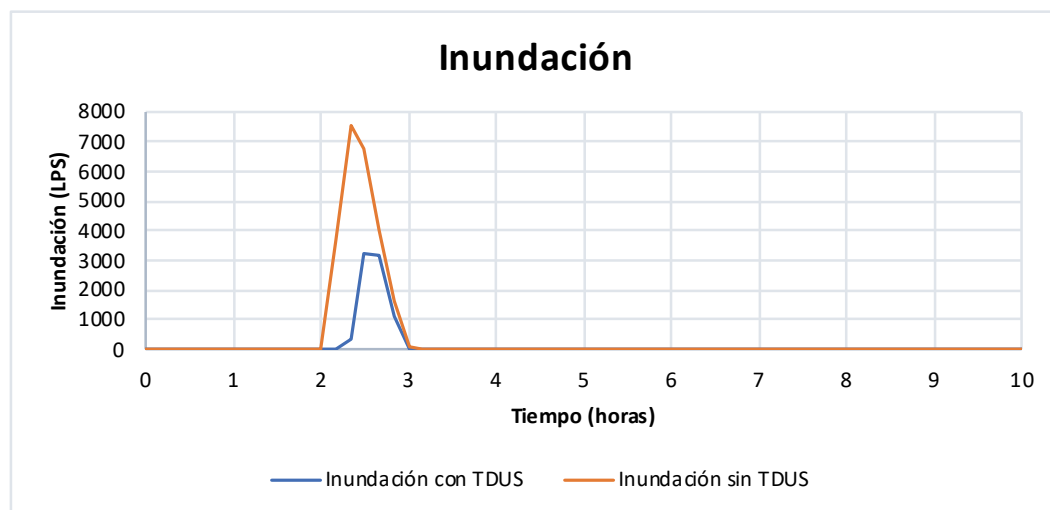
Con la implementación de un sistema urbano de drenaje sostenible, el tipo de suelo que se incluye en cada técnica debe mejorarse para asegurar la infiltración y el tipo de suelo a elegir, debe tener mejores características para infiltración que el actual; para ello se usó la clasificación propuesta por [Rawls, Brakensiek y Miller \(1983\)](#), eligiendo así un suelo de tipo margo arenosa, con una pendiente de conductividad del

2 %. Los resultados de la modelación demuestran el rendimiento de las TDUS ante la mitigación de inundaciones, para la zona de estudio. Se puede observar que el volumen de inundaciones se reduce en un 203 % gracias a la capacidad de almacenamiento y retención, que aporta la implementación de un sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS), tal y como se indica en las [figuras 10 y 11](#), y en la [tabla 3](#).



**Figura 10.** Comparación de almacenamiento entre sistema actual y propuesta

Fuente: elaboración propia.



**Figura 11.** Comparación de inundación entre sistema actual y propuesta

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 3.** Variación de parámetros actual y propuesta

	Infiltración (mm)	Escurrentía (m3)	Caudal pico (m <sup>3</sup> )	Volumen de inundación (m <sup>3</sup> )
Sin TDUS	9,59	269,28	50,88	23,62
Con TDUS	13,39	197,64	38,04	7,80
Variación	28 %	36 %	34 %	203 %

**Fuente:** elaboración propia.

Con base en los costos paramétricos establecidos en Manual de SUDS (CIRIA, 2007), se estimó el costo del sistema para la zona de estudio. Dando como resultado un costo de 24,93 millones de pesos mexicanos (MXN), que incluye costos de diseño, contingencia y planeación. Así como, un costo anual de mantenimiento aproximado de 464.000,00 MXN. Los costos que se proponen en el manual de 2007 han sido actualizados para el año 2017.

### Propuesta para manejo de aguas pluviales

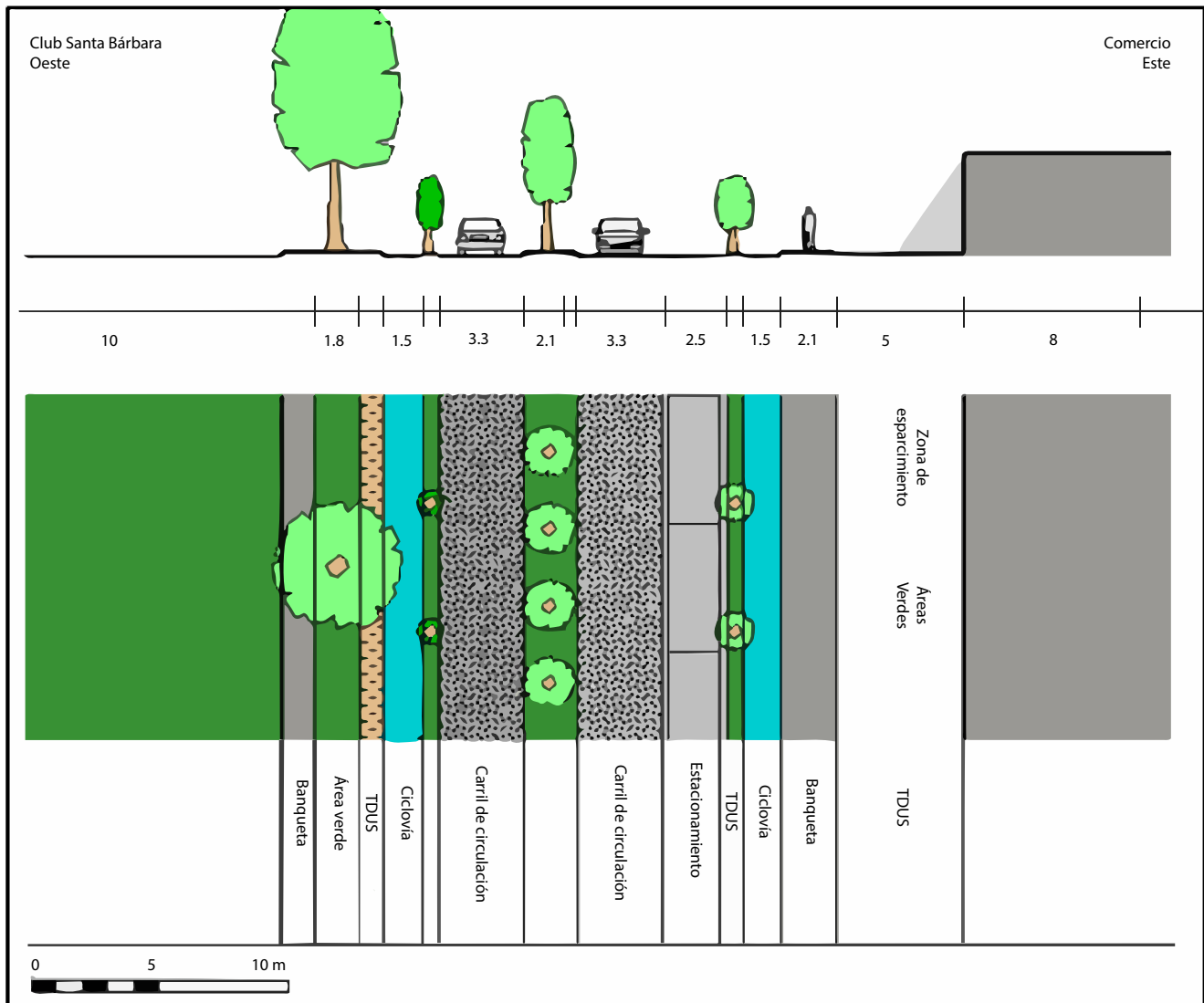
Con el objetivo de integrar elementos de movilidad sostenible y de gestión de aguas pluviales, se propone una reconfiguración de las vialidades

existentes. La propuesta atiende los puntos de conflictos en los cruces, por medio de miniglorietas y cruces seguros mostrados en la figura 12. De esta manera, se lograría proveer de zonas para la retención de las aguas pluviales, logrando así un diseño de calles completas con corredores verdes.

El rediseño para la Avenida Venustiano Carranza se propone que sea realizado en dos partes, debido al cambio de sección sobre la misma. En las figuras 13 y 14 se muestran las secciones transversales y plantas de la propuesta; la primera sección empieza en el cruce de Avenida Venustiano Carranza y Avenida de la Paz, y la segunda, en el cruce de Avenida Venustiano Carranza y calle Pedro Cervantes Vázquez.

**Figura 12.** Diseño de miniglorietas en la Avenida Venustiano Carranza

**Fuente:** elaboración propia.

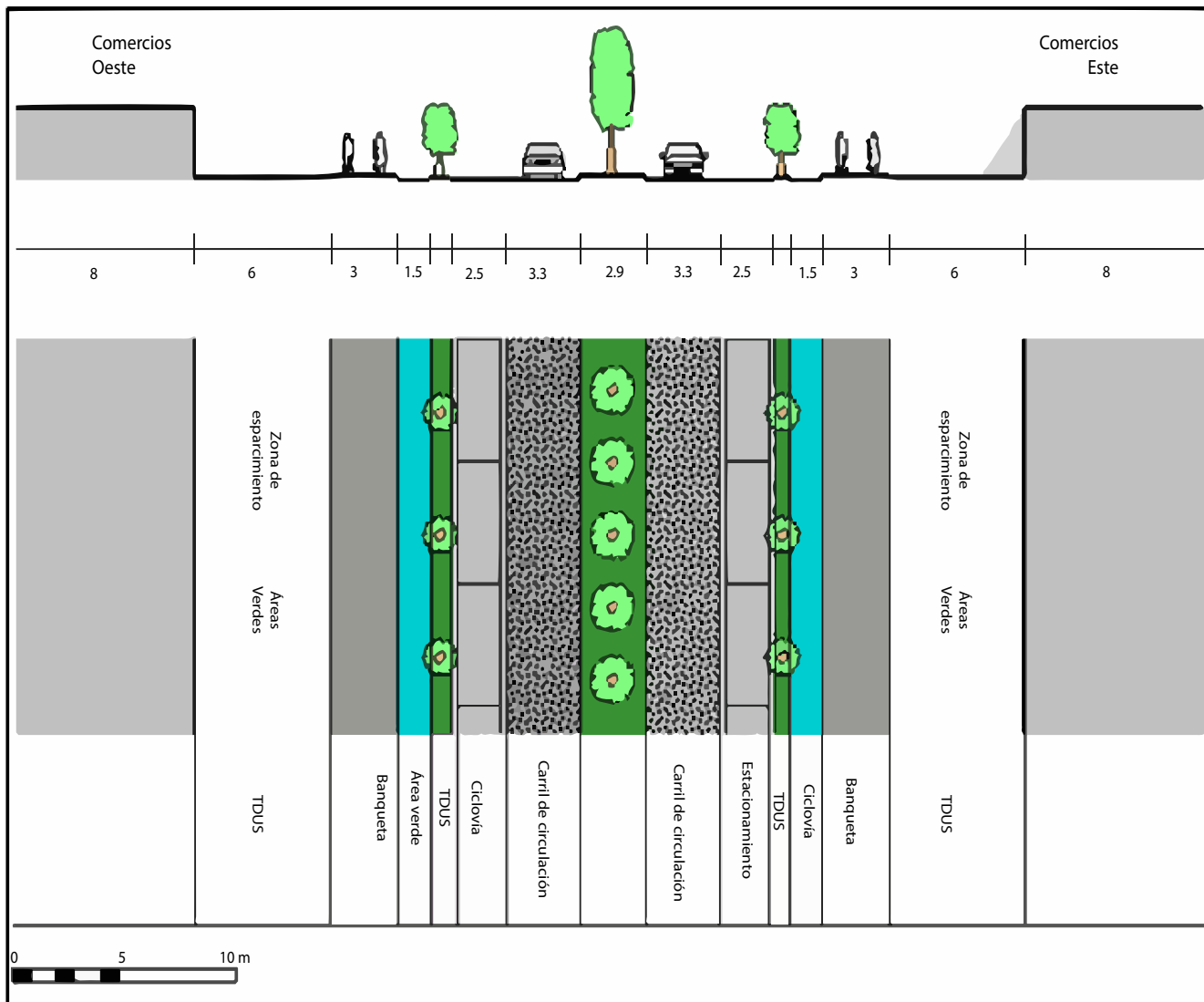


**Figura 13.** Propuesta para Av. Venustiano Carranza, sección 1-2

**Fuente:** elaboración propia.

La presente propuesta consiste en mejorar los cruces peatonales por medio de estrechamientos de calzada, en los cuales se incluyan zonas de biorretención. Asimismo, se proponen superficies permeables para las áreas de estacionamiento y ciclovia delimitadas por zanjas de infiltración, para brindar seguridad a los usuarios. Además, sería posible que el espacio de la ciclovia cuente

con celdas solares para producir electricidad y brindar iluminación por las noches. Sobre todo, porque las energías renovables están tomando el papel principal de generación de energía en todo el mundo, ya que se considera de gran necesidad mundial el ser más eficientes y sustentables como sociedad.



**Figura 14.** Propuesta para Av. Venustiano Carranza, sección 2-3

**Fuente:** elaboración propia.

## DISCUSIÓN

El desarrollo urbano en la ciudad de Colima es planificado sin un orden. La zona de estudio presenta densidad poblacional baja (0-100 hab/ha), con un alto coeficiente de ocupación del suelo (COS= 0,75-1,00). Asimismo, se tiene una tasa de motorización mayor al 90 %, por lo que el espacio

destinado a vialidad es abundante (41,58 %); sin embargo, durante la mayor parte del tiempo es un espacio subutilizado. De la misma manera, esta priorización hacia el automóvil ha generado que las vialidades tengan una sola función: brindar conexión en la ciudad por medio del automóvil, desplazando así a los peatones y ciclistas, e incluso al transporte público. Lo anterior hace de Colima una

ciudad dispersa, distante y desconectada (DDD). Este desarrollo urbano ha generado cada vez más superficies impermeables, provocando una gran pérdida de la cubierta vegetal y creando islas de calor urbanas, cada vez en mayor número. Asimismo, en la zona de estudio, las superficies impermeables ocupan el 96 % del área y Colima es uno de los estados con mayor degradación de la cubierta natural primaria, con una tasa anual del 2,11 % y una tasa de deforestación de 1,25 % anual. Esta problemática se suma a la ineficiencia de infraestructura pluvial, generando peligro de inundación a lo largo de los cauces, pero sobre todo en las zonas bajas de la ciudad (IIUNAM, 2011).

En consecuencia, se requiere de soluciones que estén enfocadas en un diseño adecuado, que se centren en los siguientes aspectos de infraestructura: corredores verdes, calles para peatones, calles arboladas y manejo de aguas pluviales. Asimismo, para el manejo de las aguas pluviales, es imperativo un enfoque integrado para el drenaje urbano sostenible, mediante los criterios de amenidad, ecología, hidráulica y calidad de agua. En nuestro estudio no se llevó a cabo el análisis de calidad del agua, debido a la falta de caracterización de las aguas pluviales, sin embargo, los otros criterios se ven reflejados en esta propuesta.

A través de las TDUS aplicadas, la infiltración aumenta solo el 28 %, debido a que el suelo nativo tiene un bajo coeficiente de permeabilidad. La infiltración no representa un criterio prioritario, como lo es la retención y el almacenamiento. Más aún, se logra una disminución en el caudal pico de 34 %, para la escorrentía del 36 % y volumen de inundación del 203 %; por ende, se puede observar que, aunque se atenúa el volumen de inundación, se resuelve la problemática de manera parcial. Esto ocurre por las pendientes de las calles, el tamaño de las subcuencas y que las calles intervenidas no son suficientes.

De acuerdo con el cuadro reglamentario para un desarrollo urbano exitoso (GRAIE, 2006), para mitigar los efectos medioambientales del desarrollo urbano actual, se requiere transitar hacia un

desarrollo que articule la urbanización y el manejo de aguas pluviales, mediante una jerarquización de los sectores involucrados.

Debido a nuestra delimitación para trabajar en espacio público, la metodología fue adaptada y limitada al contexto local, trabajando solo en el diseño técnico de la propuesta, sin embargo, es importante mencionar la necesidad de una reglamentación y planificación del desarrollo urbano que transite a un modelo más compacto, conectado y comunicado (CCC).

Durante la elaboración del diagnóstico se encontró que el manejo del espacio público se deriva en diversos sectores, pero ninguno tiene completa autoridad sobre él. Al ser un espacio fraccionado, las obras que se realizan sobre este nunca convergen en un desarrollo urbano integral, lo cual genera una problemática de aguas pluviales a causa de un sistema de drenaje desconectado e ineficiente, y al mismo tiempo, una desconexión en el subsistema de infraestructura y equipamiento vial, ignorando al espacio público peatonal y ciclista.

Por tanto, es recomendable la creación de una dependencia integrada por representantes de diversos sectores que coordinen la gestión del espacio público; con el objetivo de generar proyectos multifuncionales para manejo de aguas pluviales, movilidad y desarrollo urbano. Finalmente, es importante incluir las áreas privadas, como escuelas y viviendas, para implementar TDUS de retención o almacenamiento, con el fin de reducir la escorrentía en cuencas con áreas impermeables mayores al 90 %.

Asimismo, para lograr un desarrollo urbano sostenible, que considere los retos actuales ante el CCG, es necesaria la visualización del espacio público como generador de igualdad, sentido de pertenencia e identidad. Las autoridades locales deben planificar y asegurar un espacio público suficiente y bien distribuido en la ciudad, para así impulsar proyectos multifuncionales para el manejo de aguas pluviales, movilidad y desarrollo urbano sostenible.



## CONCLUSIONES

El modelo de urbanización adoptado en la ciudad se caracteriza por ser extensivo y de baja densidad poblacional. Este modelo se ha reproducido cada vez más hacia las zonas suburbanas y ha propiciado el incremento de zonas impermeables e islas de calor urbanas, así como la disminución de las zonas de amortiguamiento contra inundaciones. La zona de estudio muestra áreas con un alto nivel de zonas impermeables (95-100 %). Al mismo tiempo, la alta tasa de motorización (90 %) refleja la falta de infraestructura peatonal y para ciclistas, así como la ineficiencia del transporte público. La desarticulación entre los modos de transporte (activos y motorizados) no permite un modelo eficiente de movilidad urbana sustentable.

En los últimos cincuenta años se ha visto la transformación de las ciudades, desde niveles de espacio público hasta privado, para revertir los daños causados por la priorización de la agenda gris, en deterioro de la agenda verde; la ciudad de Colima es un ejemplo de ello. Para el manejo de aguas pluviales, han surgido técnicas que tratan de replicar el ciclo hidrológico, mediante un mejoramiento del suelo urbano e implementación de vegetación nativa. Estas estrategias han sido implementadas principalmente en espacio público, pues sus beneficios convergen con los criterios de gestión de aguas pluviales y de seguridad vial, favorecen la movilidad activa y dan lugar a una infraestructura multifuncional. En este sentido, se deben evaluar, o en su caso crear, los instrumentos de planificación necesarios para transitar a una ciudad conectada, comunicada y compacta.

Igualmente, son necesarios los ordenamientos legales para que las direcciones locales con incidencia en la gestión de aguas y el espacio público trabajen en conjunto por una ciudad incluyente, sostenible, segura y resiliente. Para ello, esta investigación sugiere la creación de una dependencia integrada por representantes de diversos sectores que coordinen la gestión del espacio público; con el objetivo de generar proyectos multifuncionales

para manejo de aguas pluviales, movilidad y desarrollo urbano sostenible, priorizando la agenda verde sobre la agenda gris.

Finalmente, para hacer frente a los retos del CCG, se requiere visualizar el espacio público como generador de igualdad, sentido de pertenencia e identidad. Las calles, siendo el espacio público más importante e inmediato, son un factor clave en la calidad de vida.

## REFERENCIAS

- Arizaga, A., González, M.G. y Asprilla, Y. (2019). Sistemas piezoeléctricos en el tren urbano de Guadalajara, México: entropía y negentropía. *Tecnura*, 23(61), 13-22. <https://doi.org/10.14483/22487638.14870>
- California Water y Land Use Partnership [CA WALUP] (6 de julio de 2006). *How Urbanization Affects the Water Cycle*. California. Recuperado de <https://www.coastal.ca.gov/nps/watercyclefacts.pdf>
- Cámara de Comercio de Bogotá (2014). *Integración de Transporte No Motorizado y DOTS*. Bogotá.
- Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (CERTU) (2013). *La ville et son assainissement. Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau*. Lyon, Francia.
- Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) (2007). *The SuDS manual*. Londres, Inglaterra.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2016). *Ficha Resumen de la Problemática en Colima*. Colima, México.
- De Quevedo, F., Asprilla, Y. y González, M. (2017). Entropías de la movilidad urbana en el espacio metropolitano de Guadalajara: transporte privado y calidad del aire. *Tecnura*, 21(53), 138-149. <https://doi.org/10.14483/22487638.10725>
- Efroymsen, D. y Rahman, M. (2005). *Transportation Policy for Poverty Reduction and Social Equity*. Dacca, Bangladesh: WBB Trust.
- Gill, S.E., Handley, J., Ennos, A.R. y Pauleit, S. (2007). Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115-133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>

- GIZ (2007). *Transport and Climate Change. Module 5e Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities*. Eschborn.
- González, M. (2018). Movilidad cotidiana y habitar periurbano en el área metropolitana de Guadalajara: entre el costo y el beneficio social. *CONTEXTO. Universidad Autónoma de Nuevo León*, 12(16). Recuperado de <http://contexto.uanl.mx/index.php/contexto/article/view/144>
- Groupe de Recherche Rhône-Alpes Sur les infrastructures et l'eau (GRAIE). (2006). *Pour la gestion des eaux pluviales. stratégie et solutions techniques*. Villeurbanne, Francia. Recuperado de <http://www.graie.org/portail/gestion-eaux-pluviales-strategie-solutions-techniques/>
- Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (IIUNAM) (2011). *Plan de Manejo Integral de los Cauces Urbanos de la Zona Metropolitana de Colima-Villa de Álvarez. Informe final*. Colima, México.
- Instituto de Planeación para el Municipio de Colima (IPCO) (2014). *Manual del proceso participativo para el diseño de espacios públicos*. Colima, México.
- Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) (2013). *Reforma Urbana 100 ideas para las ciudades de México*. México: CTS EMBARQ México; Instituto Mexicano para la Competitividad; Centro Mario Molina.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2015). *Parque vehicular por cada mil habitantes*. Colima, México.
- Instituto de Planeación para el municipio de Colima (IPCO) (2017). *Estudio de factibilidad para la implementación de ciclovías en la Zona Norte-Poniente de la Ciudad de Colima*. Colima, México
- ITDP e I-CE. (2011). *Ciclociudades: manual integral de movilidad ciclista para ciudades mexicanas. Tomo I. La movilidad en bicicleta como política pública*. Distrito Federal, México: Grupo Fogra. Recuperado de <http://ciclociudades.mx/manual-ciclociudades/>
- Lena, N.H. y Kes, M. (2015). *Cities and climate change: The great decarbonisation challenge*. Lund, Suecia: Lund University.
- Pacheco, A. (2013). Deforestación en Colima: situación crítica. *Diario Avanzada*. Recuperado de [http://www.diarioavanzada.com.mx/index.php/especiales/3427-deforestacion-en-colimasituacioncritica?-fb\\_comment\\_id=174988159375975\\_272015#f1d3146a8b6e66](http://www.diarioavanzada.com.mx/index.php/especiales/3427-deforestacion-en-colimasituacioncritica?-fb_comment_id=174988159375975_272015#f1d3146a8b6e66)
- Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) (2009). *Informe mundial sobre asentamientos humanos*. Kenya.
- Rawls, W.J., Brakensiek, D.L. y Miller, N. (1983). Green-Ampt Infiltration Parameters from Soils Data. *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 109(1), 62-69. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1983\)109:1\(62\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1983)109:1(62))
- Revi, A., Satterthwaite, D., Aragón-Durand, F., Corfee-Morlot, J., Kiunsi, R., Pelling, M. y Solecki, W. (2014). Urban areas. En C.V. Field (ed.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 535-612). Cambridge; Nueva York; Reino Unido; EE. UU.: University of Cambridge Press.
- Roon, M.V. y Roon, H.V. (2009). Low Impact Urban Design and Development: The big picture. *Landcare Research Science Series*, (37), 6-70.
- Sadik-Khan, J. y Solomonow, S. (2016). *Streetfight: Handbook for an Urban Revolution*. Nueva York: Penguin Books.
- Secretaría de Desarrollo Urbano (Sedur) (2011). *Estudio de Movilidad y Transporte para la Zona Metropolitana Colima-Villa de Álvarez: Plan Integral de Movilidad Urbana Sustentable (Pimus)*. La Paz Puebla, México.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) (2016). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde*. México.
- Universidad de Colima, Semarnat, Imades, Inecc, Gobierno del Estado de Colima (2014). *Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Colima*. Colima, México.

