



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA



FACULTAD DE BIOLOGÍA

**MAESTRÍA EN
GESTIÓN AMBIENTAL PARA LA SUSTENTABILIDAD**

Propuesta de gestión de drenaje pluvial hacia la
sustentabilidad en colonias de Xalapa, Ver.

PROYECTO INTEGRADOR

Que presenta:

Paulo César Parada Molina

Para obtener el grado académico de
Maestro en Gestión Ambiental para la Sustentabilidad

Co-directores:

Dra. Ana Isabel Suárez Guerrero

Mtro. Joaquín Jiménez Huerta

Xalapa, Ver.

2016

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Jaime y Julia, que sin su apoyo incondicional y educación, no podría haber logrado esta meta tan importante. Por confiar en mí en todo momento. Ambos son mi mayor ejemplo de éxito y de vida.

A mis hermanas Maura, Gabriela, Teresa y Adriana, por su apoyo incondicional en cada momento.

A la Dra. Dra. Ana Isabel Suárez Guerrero y al Mtro. Joaquín Jiménez Huerta. por dirigir este proyecto, por el apoyo, tiempo y conocimiento que me brindaron en la realización de este trabajo.

Al Dr. José Antonio García Pérez y al Mtro. Margarito Páez Rodríguez, integrantes del Comité Tutorial, por sus comentarios y sugerencias, siempre atinadas, y acompañarme en la realización de este proyecto.

Al Dr. Juan Cervantes Pérez y al Mtro. José Antonio Agustín Pérez Sesma, revisores externos, por sus consejos, recomendaciones y sugerencias siempre atinadas.

A mis compañeros y amigos de generación, por su amistad, apoyo, recomendaciones y sugerencias.

A la Mtra. Giselle Zamorano Martínez, por su colaboración, comentarios y sugerencias en la realización de este proyecto.

A MEXMI Ingeniería y Construcciones S. A. de C. V., por su apoyo y asesoría para la elaboración de este trabajo.

RESUMEN

La tendencia actual de gestión sostenible de recursos ha dado lugar a nuevos enfoques de diseño urbano que incluyen el uso de sistemas de drenaje innovadores. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo generar una propuesta de gestión de drenaje pluvial alternativo encaminada a mitigar el impacto del cambio de uso del suelo sobre el ciclo hidrológico, a partir de favorecer la infiltración de agua en el suelo de zonas urbanas en el marco de la sostenibilidad, en el Municipio de Xalapa.

Para ello se determinó la factibilidad de construcción de dispositivos de infiltración como sistemas de drenaje y la creación e inclusión de recomendaciones para el manejo y aprovechamiento del agua de lluvia en el Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía: Zona conurbada Xalapa, con la finalidad de proponer reformas al Reglamento de Desarrollo urbano de Xalapa en el tema de drenaje pluvial, como una medida de gestión ambiental en el marco de ciudades sostenibles.

Obteniendo como resultado que la gestión de sistemas de drenaje pluvial alternativo es una medida viable y aplicable a las viviendas del área urbana de Xalapa, por lo que pueden ser un complemento del sistema de drenaje tradicional, siempre y cuando sean aceptadas socialmente, sean económicamente viables y cumplan con los requerimientos que marca la normatividad vigente.

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES	4
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
IV. OBJETIVOS	11
4.1 Objetivo general	11
4.2 Objetivos particulares	11
V. MARCO TEÓRICO	12
5.1 La factibilidad de proyectos	12
5.2 La gestión ambiental.....	13
5.3 La gestión hídrica	14
5.4 La urbanización y el desarrollo sostenible.	16
5.5 El ciclo hidrológico	19
5.6 Agua de lluvia en las ciudades	21
5.7 Situación Nacional de la Gestión del agua	21
5.8 Xalapa y el agua pluvial	22
5.9 La infiltración y las estrategias técnicas sostenibles de drenaje de agua pluvial	24
5.9.1 El proceso de infiltración.....	24
5.9.2 Pozos de infiltración	25
5.9.3 Depósitos de Infiltración	26
5.9.3 Estanques de Retención	26
5.9.4 Superficies permeables	26
5.10 Los pozos de infiltración como sistemas de drenaje pluvial	26
VI. MARCO CONTEXTUAL.....	28
6.1 Localización.....	28
6.2 Medio físico.....	29
6.2.1 Clima	29
6.2.2 Geología y relieve.....	29
6.2.3 Hidrografía	30
6.2.4 Edafología.....	32
6.2.5 Zonificación Geotécnica.....	33
6.2.6 Biodiversidad y uso del suelo	35
6.3 Medio socioeconómico e infraestructura social	37
6.3.1 Demografía	37
6.3.2 Educación	38
6.3.3 Actividades económicas	38
6.3.4 Vivienda y servicios	39
6.4 Problemática ambiental del municipio de Xalapa	39
6.5 Características de las colonias	40
6.5.1 Colonia Progreso Macuiltépetl	41

6.5.2 Colonia Héroes Ferrocarrileros	42
6.5.3 Colonia Carolino Anaya	42
VII. ESTRATEGIA METODOLÓGICA	43
7.1 Determinación del análisis de la factibilidad.....	43
7.1.1 Diagnóstico social	43
7.1.2 Diagnóstico técnico	44
7.1.3 Diagnóstico económico: determinación de costos	52
7.1.4 Identificación de impactos ambientales.....	52
7.1.5 Ficha técnica para el análisis de la factibilidad	52
7.2 Propuestas al sector público	53
7.4.1 Propuesta al “Programa de Medidas de Prevención y Mitigación contra la Sequía: Zona conurbada Xalapa”	54
7.4.2 Propuesta al Reglamento de Desarrollo Urbano de Xalapa (RDUX)	54
VIII. RESULTADOS	56
8.1 Estudio de la factibilidad	56
8.1.1 Percepción e interés por parte de la sociedad: resultados de la encuesta	56
8.1.2 Estudio técnico para la construcción de pozos de infiltración superficial “prototipo”.....	59
8.1.3 Presupuesto de construcción.....	69
8.1.4 Impactos ambientales	69
8.1.5 Análisis de la factibilidad para la construcción de pozos de infiltración superficial	70
8.2 Propuesta al Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS): Zona conurbada Xalapa.	73
8.3 Propuesta al Reglamento de Desarrollo Urbano de Xalapa (RDUX)	74
IX. DISCUSIÓN.....	77
9.1 Factibilidad	77
9.1.1 Diagnóstico social	77
9.1.2 Diagnóstico técnico	78
9.1.3 Costo de construcción.....	79
9.1.4 Impactos Ambientales	80
9.2 Propuestas al sector público	81
X. CONCLUSIONES.....	83
XI. RECOMENDACIONES	84
XII. BIBLIOGRAFÍA	85
XIII. ANEXOS	94

I. INTRODUCCIÓN

La necesidad de aplicar los principios del desarrollo sustentable o sostenible al diseño urbano se debe al crecimiento de la población y por tanto, de las zonas urbanas en los últimos años (Mulder, 2007).

A medida que las ciudades crecen, aumentan las áreas urbanizadas. Un Ejemplo es el caso de Xalapa, Ver., que en los últimos 40 años ha incrementado 41.5 km² su superficie urbana (Lemoine, 2012). Dicho crecimiento es abrupto y sobrepasa cualquier previsión, diseño y planeación de servicios urbanos, generando un gran aumento de superficies impermeables que impiden la infiltración natural de agua en el suelo, por lo que el ciclo hidrológico se ve alterado drásticamente por estos cambios.

Como consecuencia de este aumento, se incrementan los caudales máximos y los volúmenes de agua superficiales, siendo cada vez más frecuente observar problemas de encharcamientos, inundaciones y sedimentación en zonas urbanas ubicadas aguas abajo; erosión en los sectores más vulnerables; degradación y pérdida de arroyos superficiales y subterráneos (Romero y Vásquez, 2005; Chang *et al.*, 2009; Moguel, 2011).

Una solución consiste en las llamadas “técnicas alternativas de desarrollo urbano sostenible” como lo es el uso de las Buenas Prácticas Ambientales en relación al tema del agua (BPAs) o Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), que a diferencia de las técnicas tradicionales tienen como objetivo minimizar los problemas asociados al ciclo del agua en la ciudad, disminuyendo el impacto del agua pluvial, tratándolas en el lugar donde se generan, almacenando y/o infiltrando el escurrimiento superficial proveniente de las viviendas (Schueler, 1987; Azzout *et al.*, 1994; Woods-Ballard *et al.*, 2007).

Las obras de infiltración de agua pluvial constituyen herramientas cada vez más utilizadas para reducir y controlar los escurrimientos e inundaciones en zonas urbanas, las que han aumentado en forma significativa en los últimos años en ciertas zonas de Xalapa, Ver (Moguel, 2011).

Entre estas obras, una alternativa a nivel tanto en cuencas urbanas como en viviendas particulares, corresponde a los pozos de infiltración de agua pluvial, que permiten la disminución de los flujos superficiales de agua generados por las lluvias y la recarga de los cuerpos de agua subsuperficiales (Herath y Musiake, 1994; Imbe *et al.*, 1995; MINVU y PUC, 1996; Woods-Ballard *et al.*, 2007).

A pesar de no contar con registros acerca del uso de estos pozos en el municipio de Xalapa, en la actualidad el desafío es que la sociedad adopte este tipo de sistemas de manejo de agua pluvial, en específico, para su drenaje, y así se puedan mitigar algunas afectaciones, al ambiente y la población, relacionados este líquido.

Aunado a esto, si bien el Reglamento de Desarrollo Urbano para el Municipio de Xalapa (RDUX) actualmente ya contempla prácticas de aprovechamiento de agua pluvial en viviendas nuevas (GOEV, 2015), es importante que las zonas urbanas las adopten de igual manera ya que la construcción y mantenimiento de desarrollos habitacionales "típicos" tienen un gran impacto en el ciclo hidrológico y el ambiente, provocando afectaciones como inundaciones y contaminación de los cuerpos de agua (Reyes *et al.*, 2007). En cuanto al drenaje de agua pluvial se refiere, dicho reglamento no estipula sistemas sustentables alternativos para su desagüe.

No obstante, la actual administración municipal muestra interés en la identificación, priorización y estructuración de proyectos para mejorar la sostenibilidad ambiental y urbana; ya que estas actividades forman parte de la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES), programa al que fue incluida Xalapa en el año 2013.

Lo anterior justifica, en la realización de este trabajo, la creación y gestión de estrategias técnicas que contribuyan a mitigar el impacto de la urbanización en el ambiente a partir de fomentar la infiltración superficial de agua en el suelo, en viviendas, en zonas urbanas del Mpio. de Xalapa.

Para ello el contenido de este trabajo se presenta en nueve apartados; en el primero, se hace una breve descripción del contenido y la justificación del proyecto; en el segundo apartado se describen algunos trabajos antecedentes referentes al uso de drenaje pluvial alternativo.

En el tercer y cuarto apartado se plantea el problema referente al incremento de los encharcamientos e inundaciones debido a la falta de planeación urbana en el municipio de Xalapa y se presentan los objetivos de este trabajo, enfocados a realizar una propuesta de adoptar un sistema de drenaje pluvial alternativo, respectivamente.

En el quinto apartado, se mencionan conceptos referentes a la factibilidad, a la gestión ambiental, la gestión hídrica y su situación a nivel nacional y municipal y se describen algunas alternativas para el drenaje del agua pluvial, resaltando a los pozos de infiltración superficial en viviendas como los sistemas de drenaje pluvial alternativo a proponer en este trabajo; el sexto se centra en una descripción del medio físico, socioeconómico y las principales

problemáticas ambientales presentes en el municipio de Xalapa, así como las características de las colonias en las que se llevó a cabo este trabajo.

El séptimo apartado presenta la estrategia metodológica que incluye actividades para determinar la factibilidad del uso y adopción que incluyen: diagnóstico social, técnico, económico y ambiental. Sumado a éstas, se presentan las actividades para realizar las propuestas del uso de infraestructura para el manejo y/o aprovechamiento del agua pluvial y ser incluidas, por un lado, en el Programa de Medidas de Prevención y Mitigación contra la Sequía: zona conurbada Xalapa”, y por el otro, en la normatividad de diseño urbano del municipio de Xalapa.

Los apartados ocho y nueve se centran en los resultados obtenidos de los objetivos planteados, realizando el conveniente análisis y la discusión de los mismos, respectivamente.

El décimo apartado recoge las conclusiones de cada objetivo planteado en este trabajo.

Por último, los capítulos once y doce presentan las referencias bibliográficas y normatividad consultadas, y los anexos de los productos generados en este trabajo.

II. ANTECEDENTES

La captación de agua de lluvia de manera artificial es una práctica utilizada desde hace mucho tiempo por algunas civilizaciones; en diversas ciudades del mundo se han desarrollado sistemas de captación de agua de lluvia para favorecer la disponibilidad del recurso hídrico y fomentar la recarga del subsuelo de manera artificial, para lo cual construyen sumideros, zanjas o pozos de infiltración superficial. Estas obras, comparadas con las de captación y almacenaje superficiales (presas, diques y vasos), resultan económicamente más factibles y cumplen con el propósito de recargar los mantos acuíferos aprovechando el agua de lluvia (Gleason, 2005).

La realización de estas obras contempla una estrategia que requiere un enfoque especial en la filosofía de diseño del drenaje urbano. Si bien no corresponde a obras alternativas propiamente como tales, favorece el empleo de ellas y se complementa con algunos elementos menores. Este cambio en la estrategia de diseño dirige el agua de lluvia a las áreas verdes, franjas de pasto y/o fosas cubiertas de vegetación. Con este enfoque se logra disminuir la tasa del escurrimiento, reducir sus volúmenes, atenuar los flujos máximos y fomentar la infiltración del agua de lluvia (Castro *et al.*, 2005).

Los sistemas y elementos de infiltración captan el flujo superficial y permiten o facilitan su infiltración en el suelo. Si funcionan correctamente son muy efectivos en lograr reducir los gastos máximos y el volumen escurrido hacia aguas abajo. Debe considerarse que la infiltración de agua en el suelo no provoque problemas estructurales en él por esponjamiento o exceso de humedad en general. Finalmente es necesario verificar que la calidad del agua infiltrada sea tal que no contamine el acuífero o el agua subterránea del lugar (Padrón y Cantú, 2009).

El uso de pozos de infiltración se ha desarrollado por años en sistemas de drenaje agrícola y en infiltración de agua pluvial en zonas urbanas, sin embargo, no se ha logrado masificar su uso debido al desconocimiento que existe acerca de su funcionamiento hidráulico y a la falta de criterios de diseño (Ulacia, 2014).

Los sistemas de infiltración para el drenaje de agua de lluvia han sido utilizados durante mucho tiempo:

Desde 1940 hasta 1960, en la comuna de Meyzieu, Francia, el drenaje pluvial se realizó principalmente a través de pozos de infiltración superficial localizados en áreas públicas y en jardines y patios de las casas. En la década de los 70's se dejaron de utilizar por la falta de mantenimiento, lo que generó un aumento en la frecuencia de las inundaciones, así como

problemas en las plantas de tratamiento, debido al aumento de los caudales durante las lluvias (Chocat *et al.*, 2001).

En el Reino Unido, durante décadas los sistemas de infiltración se usaron en áreas del país ubicadas lejos de las redes de drenaje urbano. Sin embargo, el diseño de estas obras se basaba en el conocimiento tradicional y no en criterios científicos y técnicos en los que se tomara en cuenta las características del suelo y sus propiedades de infiltración. Debido a esto, se propusieron, en los últimos años, métodos de dimensionamiento de pozos y zanjas de infiltración, lo que permitió la publicación en 1991 de un procedimiento para el diseño de dispositivos de infiltración propuesto por el Building Research Establishment (BRE).

En Japón los sistemas de infiltración de agua pluvial se implementaron desde los inicios de los años 80's. En 1981, en un conjunto habitacional ubicado en los suburbios de Tokio se instalaron zanjas y pozos de infiltración en un conjunto habitacional, lo dividieron en 2 zonas, y en una de ellas construyeron los dispositivos de infiltración (pozos piloto). Después de 7 años, monitorearon el funcionamiento de los pozos encontrando gratos resultados al notar que la eficiencia de los pozos no había disminuido en la mayoría de ellos, y en los que había disminuido, con mantenimiento recuperaban su eficiencia (Imbe *et al.*, 1995; Herath y Musiake, 1995).

En respuesta a las limitaciones espaciales y económicas que dificultan la adopción de diseño urbano sensible al agua, en las zonas urbanas establecidas en Australia, Raja y colaboradores en 2014, exploraron en qué medida se conserva la calidad de las aguas pluviales en los parques existentes en una cuenca urbana presente en el sur. Estas zonas forman parte de las principales áreas para la filtración de aguas. Se encontró que dentro del parque el agua de lluvia que se infiltra al suelo presenta hasta un 62 % menos de contaminantes en comparación con el agua de lluvia que fluye fuera de los parques.

En España, se realizó un estudio de la eficiencia de sistemas alternativos de drenaje pluvial. Los resultados mostraron que el uso de pavimento permeable es una solución eficaz para el tratamiento en origen de las escorrentías aún en terrenos prácticamente impermeables, ya que se tuvo el control de más del 90% de los eventos de lluvia y de los volúmenes de escorrentía generados (García *et al.*, 2011; Perales-Momparler *et al.*, 2014).

En otro trabajo, se analizan y comparan, en una cuenca en proceso de urbanización en China como un caso de estudio, el diseño del sistema de drenaje convencional y los efectos de tres técnicas sostenibles de bajo impacto: zanjas de infiltración, pavimento permeable y techo verde,

en las inundaciones urbanas; los resultados obtenidos indican que los tres escenarios bajo impacto son más eficaces en la reducción de las inundaciones durante las tormentas más intensas y de corta duración (Qin *et al.*, 2013).

En Estados Unidos se ha publicado una gran cantidad de manuales de diseño en diferentes estados de la unión americana y en agencias como la EPA, entre los cuales se encuentran Carolina del norte, Tenessi, New Jersey, Florida, Oregon, Chicago, Michigan, Pennsylvania, por mencionar algunos (ODEQ, 2013; AEC, 2011; Daley, 2011).

Se han publicado experiencias con pozos de infiltración, del comportamiento de jardines infiltrantes, o de retención de agua, en el estado de Madison, obteniendo buenos resultados en lo que respecta a su velocidad de infiltración (Elrick y Reynolds, 1992).

Walsh y colaboradores, en 2014, presentan los resultados de un análisis de simulación hidrológica continua a largo plazo de un programa de cuencas (1948-2011); se analizó el escurrimiento pluvial cuando esta agua es retenida desde cada una de las residencias en pozos y cisternas, en la cuenca Chollas Creek, San Diego, California, EE.UU., encontrando que se puede reducir hasta un 15 % del escurrimiento superficial de agua, mientras que Autixier *et al.*, 2014, encontraron valores de hasta 20 % de reducción con el uso de jardines de lluvia o de bioretención, sin embargo, estos sistemas no están diseñados para eventos de lluvias intensas.

En Chesapeake Bay, el uso de drenes filtrantes ha favorecido a la reducción de flujos superficiales de agua ocasionados por las lluvias intensas; aunado a esto, el uso polivalente de la tierra ha proporcionado un valor estético al incrementarse los espacios verdes en la zona (Loperfidoa *et al.*, 2014).

De las herramientas de gestión del agua pluvial, los techos verdes son una de las más utilizadas en los Estados Unidos.

La aplicación generalizada de techo verde en las viviendas puede reducir significativamente las tasas de esorrentía pico, en particular para las tormentas pequeñas. Carter y Rhett (2007), recomiendan el uso de techos con vegetación como una de las mejores prácticas de gestión de las aguas pluviales en cuencas urbanas para replicar los aspectos de intercepción y evapotranspiración del ciclo del agua que se encuentra en ambientes menos perturbados.

Thurston y colaboradores, en 2010, demostraron que los incentivos financieros relativamente mínimos pueden dar lugar a que los dueños de las viviendas tengan la disposición a aceptar las prácticas de gestión de las aguas pluviales en su propiedad, a través de implementar “jardines de lluvia” y pozos de infiltración.

Shuster y Rhea, (2013) realizaron un estudio piloto en la cuenca suburbana de Pastor Creek ubicada en Cincinnati, Ohio, para evaluar la viabilidad de incentivos voluntarios para la reducción de la cantidad de escorrentía de aguas pluviales en las zonas suburbanas de propiedad privada a partir de jardines de bioretención y pozos de infiltración. Llegaron a la conclusión de que la gestión de las aguas pluviales con la infraestructura “verde” en una pequeña cuenca suburbana puede ser iniciada con éxito con programas de incentivos económicos novedosos, y que con estas medidas se puede ofrecer una disminución significativa en el volumen de escorrentía de otra manera no controlada.

En México, desde el 2009 en la ciudad de Guadalajara, es de carácter obligatorio que las viviendas cuenten con pozos de absorción de agua de lluvia como estrategia para darle un mayor aprovechamiento al agua y favorecer la recarga de los cuerpos de agua de la zona, esto estipulado en el Reglamento de Zonificación Urbana del Municipio de Guadalajara.

En la agenda del agua 2030, creada por la Comisión Nacional del Agua, a partir del compromiso de crear una política de sustentabilidad hídrica, se plantean estrategias de recarga de acuíferos mediante la implementación de pozos de absorción de agua de lluvia y pozos de inyección profunda de agua residual. Estas estrategias se han implementado en diversos estados del país, en los que resaltan los estados de Michoacán, el Estado de México, Jalisco (CONAGUA, 2011).

Un estudio que muestra el impacto sobre la cantidad de agua infiltrada se muestra en el trabajo realizado en la Región Lagunera; en éste se reporta la infiltración natural (por infiltraciones en campos de riego y fugas en sistemas de agua), así como las extracciones por tipo de uso (agrícola, público-urbano y otros). Los resultados mostraron que la disminución considerable de infiltración de agua en el suelo, principal mecanismo de recarga de cuerpos de agua, afecta también en la disponibilidad de las fuentes de abastecimiento del recurso agua, reduciendo considerablemente su cantidad ya que encuentra sobre explotados (Sisto, 2010).

En el municipio de Naucalpan se identificaron 22 sitios susceptibles de inundación, por lo que se recomendó la implementación de pozos de infiltración que permitan inyectar el agua de la lluvia antes de que ésta genere inundaciones o se contamine. Dichos pozos permitirían captar el agua de los escurrimientos provocados por las lluvias en lugares donde las áreas permeables ya no existen (Chavez, 2012). La ventaja radica en que se almacenaría agua en el subsuelo y el costo por recarga del acuífero sería menor que el de vasos de almacenamiento a cielo abierto, funcionando como un sistema natural de distribución con lo que se elimina la necesidad de

canales y tuberías superficiales. Además, en ningún caso, se debe permitir la construcción de pozos de infiltración de aguas negras de cualquier naturaleza (SIAPA, 2014).

El Gobierno Federal, en el 2011, promovió la creación de un Grupo de Promoción y Evaluación de Desarrollos Urbanos Integrales Sustentables (GPEDUIS) en el que participa la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Secretaría de Hacienda (SH), la Secretaría de Energía (SENER), la Secretaría de Economía (SE), la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT), el Fondo de la Vivienda del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (FOVISSTE), el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS), el Fondo Nacional de Infraestructura (FONANDIN), ProMéxico y la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF).

Los Desarrollos Urbanos Integrales Sustentables (DUIS) son áreas de desarrollo integralmente planeadas que contribuyen al ordenamiento territorial de los estados y municipios, al tiempo que promueven un desarrollo urbano más ordenado, justo y sustentable. Forman parte del motor de desarrollo, donde la infraestructura, equipamientos, servicios y vivienda contribuyen como eje en el desarrollo regional facilitando la provisión eficiente de servicios públicos, ayudan a reducir los daños al medio ambiente (Sánchez, 2013).

Actualmente existen 32 DUIS certificados, según cifras del GPEDUIS, algunos por desarrollarse en un periodo de 15 a 20 años. Los estados en los que se han aprobado DUIS hasta julio del año 2013 son: Baja California, Guanajuato, Sonora, Tabasco, Jalisco, Morelos, Sonora, Puebla, Quintana Roo, Durango, Hidalgo, Tamaulipas, Distrito Federal, Estado de México (SHF, 2014).

En la zona conurbada de la ciudad de Xalapa, Ver., diversos trabajos describen que actualmente existen zonas inundables, debido a que las cuencas urbanas en donde se localizan no cuentan con salidas naturales de los escurrimientos pluviales que a ella concurren. En la mayoría de los casos para su mitigación se ha tenido que recurrir a los denominados “resumideros” que son formaciones geológicas de roca principalmente, que permiten la captación del agua de lluvia mediante su canalización a través de conductos cerrados y/o canales a cielo abierto. Sin embargo, estas acciones no han funcionado de la manera más eficiente debido a la colmatación y relleno de esas estructuras por arrastre de basura (Barrón, 2012; Torres *et al.*, 2009a).

En lo que respecta al aprovechamiento del agua pluvial se cuenta con pocos antecedentes en este municipio. Las referencias en este tema en Xalapa son, en 2011, la participación de la administración municipal en el proyecto piloto del Programa de Agua y Saneamiento que desarrollan en conjunto autoridades estatales, y con la ONU-Hábitat, de captura de agua de lluvia en dos escuelas, en las que se pudo reducir el consumo de recurso hídrico, lo que sirvió como punto de partida para fomentar el aprovechamiento del agua en la línea de la sustentabilidad; en esta misma línea, en el 2012 implementó un sistema de captación de agua de lluvia en el palacio municipal (Galván, 2011).

Otro trabajo en este tema presenta que la actitud de las personas de 12 colonias, ubicadas al noreste de la ciudad, en el tema relacionado con la implementación de sistemas de captura de agua de lluvia en las viviendas, fue de gran aceptación y disposición por conocer más de ellos y utilizarlo en sus casas, sin embargo, siempre con la postura de no querer “gastar” mucho en la infraestructura o, si fuera el caso, instalarlas con recurso que recibieran por parte de las autoridades municipales para ello (Parada-Molina, 2013).

Se requiere investigación adicional en la dinámica espacio-temporal de lluvia urbana para el rendimiento de las tecnologías de aguas pluviales en la restauración del equilibrio del agua. A pesar de los avances, muchos retos importantes permanecen; la restauración de un balance hídrico natural beneficia no sólo al medio ambiente, sino que mejora la habitabilidad del paisaje urbano. Una vez considerada sólo como una molestia, las aguas pluviales son ahora consideradas cada vez más como un recurso (Fletcher *et al.*, 2013).

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Xalapa, Veracruz, es una de las ciudades medias con un gran crecimiento urbano en los últimos 40 años, en los que la superficie urbana se ha incrementado 41.5 km² (Lemoine, 2012).

Sin embargo, la escasa planeación en el uso de suelo ha contribuido a que se presenten de manera frecuente problemáticas como los encharcamientos, inundaciones y el decremento del flujo de cuerpos de agua superficial y subterráneo, ya que se ha producido una disminución considerable en la cantidad del agua que puede ser retenida por el suelo.

Las primeras dos problemáticas, los encharcamientos e inundaciones, se deben principalmente, por un lado, a la urbanización acelerada, ya que se cubre una gran cantidad de la superficie del suelo por material impermeable, y por el otro, a la cada vez más frecuente presencia de lluvias intensas.

Las fuertes lluvias y la impermeabilización del terreno generan un creciente escurrimiento de agua derivado por la fuerte pendiente que tiene el municipio, aumentando los caudales máximos y los volúmenes de flujos superficiales en calles y avenidas. Si a esto se le incluye el aumento de asentamientos humanos no planeados, se incrementa el riesgo a posibles inundaciones, encharcamientos y sedimentación en áreas urbanas ubicadas en zonas bajas, así como debido al taponeo del sistema de alcantarillado por el arrastre de basura y demás desechos y, en algunas zonas, por la falta de servicio de alcantarillado (Paredes, 1997; Moguel, 2011; Lemoine, 2012).

La tercera, debido a la impermeabilización del suelo, ya que la infiltración y el escurrimiento pluvial es la principal forma de recarga de los cuerpos de agua que forman parte de las fuentes de abastecimiento de la zona.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Generar una propuesta de gestión para el drenaje pluvial en la zona urbana de Xalapa, Veracruz, a partir de favorecer la infiltración de agua en el suelo en el marco de ciudades sostenibles.

4.2 Objetivos particulares

- Determinar la factibilidad de construcción de pozos de infiltración superficial como sistemas de drenaje pluvial en viviendas de Xalapa.
- Generar acciones y recomendaciones técnicas que favorezcan la infiltración dentro del Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía: Zona conurbada Xalapa.
- Proponer reformas al Reglamento de Desarrollo Urbano del municipio de Xalapa, en el tema de drenaje del agua pluvial doméstica.

V. MARCO TEÓRICO

La captación de agua de lluvia por el suelo y la vegetación da continuidad a los volúmenes de agua de ríos y lagos, fomentando el equilibrio en el ciclo hidrológico (Barradas, 2000). Cuando las poblaciones van creciendo, se desarrollan grandes ciudades rompiéndose dicho equilibrio. Con la urbanización, la disminución de la vegetación y el crecimiento de las ciudades, se generarán diversos problemas que influyen de manera grave en el ciclo hidrológico; el agua de lluvia ya no se infiltra al suelo con la misma facilidad aumentando el escurrimiento superficial, lo que provoca inundaciones y pérdidas a la población (García y Martínez, 2009).

Con la reducción de la infiltración, el acuífero tiende a disminuir el nivel de la capa freática por falta de alimentación (principalmente cuando el área urbana es muy extensa), reduciendo así el escurrimiento subterráneo (Sisto, 2010).

Una forma tradicional para enfrentar estos problemas consiste en evacuar lo más rápido posible el agua pluvial del lugar donde se han producido, diseñando canales de drenaje y sistemas de colectores de agua pluvial, los que se vuelven obsoletos debido a que se saturan de residuos y desechos arrastrados por las corrientes de agua, los que se incrementan con el tiempo por constante crecimiento de las ciudades (Chocat *et al.*, 2001).

Una solución consiste en crear proyectos de construcción factible de drenaje pluvial basado en obras de infiltración.

5.1 La factibilidad de proyectos

Un proyecto se puede definir como un plan que, si se le asigna determinado monto de capital y se le proporcionan insumos de varios tipos, podrá producir un bien o un servicio, útil al ser humano o a la sociedad en general y su evaluación consiste conocer su rentabilidad económica y social, de tal manera que asegure resolver una necesidad humana en forma eficiente, segura y rentable (Baca, 2001), sin olvidar el aspecto ambiental.

Una manera de evaluar los proyectos es a partir de la realización de un estudio de factibilidad que se define como una herramienta de carácter prioritaria, para saber si es conveniente o no llevar a cabo un determinado proyecto. En este caso enfocada en la construcción de infraestructura con el propósito de optimizar los recursos destinados para la misma, con calidad a un costo y administración más eficiente, basándose en estudios particulares (Sapag y Sapag, 2005):

- Viabilidad de mercado: Ayuda a determinar si el mercado es en realidad sensible al servicio ofrecido y el grado de aceptabilidad que tendría en su uso,
- Viabilidad técnica: Estudia las posibilidades físicas o dónde se llevará a cabo el servicio, así como la existencia de las condiciones mínimas para garantizar la viabilidad de la implementación, tanto en lo estructural como en lo funcional.
- Viabilidad económica (costos): ayuda a determinar en gran medida la aprobación o rechazo del proyecto, a partir de los costos de inversión.
- Viabilidad social: Determina el interés de participación de la sociedad, el grado de aceptación y la pertinencia del proyecto.
- Viabilidad Ambiental: Dirigida hacia la calidad de vida presente y futura de toda la comunidad que se pueda ver afectada por el desarrollo del servicio, previniendo los riesgos a los que se pueda ver enfrentado.

5.2 La gestión ambiental

La gestión ambiental ha sido vista de diversas maneras; diversos autores coinciden en el aspecto de protección ambiental; a continuación, se presentan algunos conceptos:

Colby (1990), entiende a la gestión ambiental como el campo que busca equilibrar la demanda de recursos naturales de la Tierra con la capacidad del ambiente, cuyo principal objetivo es conciliar las actividades humanas y el medio ambiente a través de instrumentos que estimulen y hagan viable esa tarea.

Basterrechea *et al.* (1996), mencionan que la gestión ambiental debe entenderse como el conjunto de acciones gerenciales de tipo técnico, administrativo, legal, financiero y económico.

Por otro lado, Rodríguez y Espinoza (2002), definen a la gestión ambiental como un proceso permanente y de aproximaciones sucesivas en el cual diversos actores públicos, privados y de la sociedad civil desarrollan un conjunto de esfuerzos específicos con el propósito de preservar, restaurar, conservar y utilizar de manera sustentable el ambiente.

La gestión ambiental es definida por Albán *et al.* (2003), como el conjunto de políticas, de normas y de acciones que desarrollan las instituciones públicas, pero también las comunidades y los individuos, con relación al manejo de los recursos naturales, sean éstos renovables o no.

La gestión ambiental y, por lo tanto, los problemas ambientales, ha sido abordada desde diversas perspectivas y a diferentes escalas (local y global). Puede ser analizada a distintos niveles de gobierno (federal, estatal, municipal, etc.) o en diversos ámbitos territoriales (global,

regional, subregional, nivel metropolitano, ciudades, barrios, poblados, cuencas hidrográficas, etc.).

Los factores críticos que se deben considerar en la gestión ambiental son el marco legal, los actores, las políticas, los instrumentos de política y los planes, la descentralización, la participación y los recursos económicos (Rodríguez y Espinoza, 2002).

Leff (2000), sostiene que el análisis de lo ambiental reclama una visión sistémica y la complejidad de la problemática ambiental demanda, para ser resuelta, la integración de muy diversos campos del conocimiento.

De ahí surge la necesidad de vinculación entre la gestión hídrica y la gestión territorial, como casos particulares de la gestión ambiental, en el que la urbanización esté basada en prácticas de construcción sostenibles en todas las actividades que se desarrollen en las cuencas hidrológicas.

5.3 La gestión hídrica

La Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH), se considera aquí como un caso particular de la gestión ambiental, se relaciona con: explotación, uso, aprovechamiento, manejo y control del agua, calidad y saneamiento; es considerada en todo el mundo como la gran solución para las problemáticas referentes a estos temas (CONAGUA, 2011a).

En teoría, la GIRH es la respuesta a las inquietudes en materia de conservación y uso del agua, además de brindar una solución a toda la problemática existente, abordando aspectos políticos, legales, administrativos, económicos, ambientales, sociales y culturales.

La definición sobre GIRH elaborada por el Comité de Asesoramiento Técnico de la Global Water Partnership (GWP, 2008) es:

“La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos se puede definir como un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales”.

Dentro de los principios considerados en un plan o estrategia de gestión de los recursos hídricos se encuentran (GWP, 2007; Eriksson *et al.*, 2007; Pochat, 2008; Chavez, 2012):

- Las demandas de agua para el consumo humano básico y la sustentabilidad ambiental son prioritarias sobre otro uso.

- La necesidad de vinculación entre la gestión hídrica y la gestión territorial, recurriendo a prácticas sostenibles en todas las actividades que se desarrollen en las cuencas hidrológicas, en la que la gestión territorial debe respetar las restricciones que el medio natural impone.

- Es importante que se tomen decisiones sobre el uso del territorio, para imponer medidas de mitigación y restricciones al uso del suelo cuando pudiera conducir a impactos inaceptables sobre la población y los recursos naturales.

- El logro de los objetivos de la planificación hídrica se alcanza mediante la adecuada combinación de acciones estructurales (construcción de infraestructura) y de medidas no-estructurales (medidas de gestión y tecnológicas, y disposiciones legales y reglamentarias que complementen o sustituyan a las obras físicas).

Pero la GIRH no se limita a la gestión de recursos físicos, también se involucra en la reforma de los sistemas sociales, con el fin de habilitar a la población para que los beneficios derivados de dichos recursos reviertan equitativamente en ella. Entre las acciones estructurales se encuentran las llamadas técnicas de construcción alternativas o sostenibles, que a diferencia de las técnicas tradicionales, tienen como objetivo, en relación a agua pluvial, disminuir el impacto de ésta, tratándola en el lugar donde se genera, almacenando y/o infiltrando el escurrimiento superficial proveniente de las viviendas (Azzout *et al.*, 1994; Woods-Ballard *et al.*, 2007; Daley, 2011).

Las técnicas alternativas de drenaje de agua pluvial depuran naturalmente el escurrimiento superficial; Por tanto, estos sistemas no sirven sólo para solucionar los problemas asociados a la cantidad y a la calidad del escurrimiento superficial, sino que además ofrecen un servicio añadido a la sociedad, creando entornos naturales y mejorando la calidad estética de una zona urbana (EPA, 2002; Woods-Ballard *et al.*, 2007; ODEQ, 2013).

A continuación, se mencionan algunas ventajas particulares al implementar estrategias alternativas para el manejo del agua de lluvia (MINVU Y PUC, 1996; EPA, 2002; Woods-Ballard *et al.*, 2007; AEC, 2011):

- Permite la infiltración de agua en el suelo,
- Mantiene o restaura el flujo normal en corrientes urbanas.
- Protege las propiedades y las personas de las inundaciones, ahora y en el futuro.

Si bien estas estrategias prometen una serie de beneficios que deben ser probados con la práctica, su gestión y construcción se enfrenta con inconvenientes, entre los que resaltan:

- El desconocimiento por parte de los diseñadores que limita su aplicación de partida.

- La desconfianza que genera frente al drenaje convencional.
- La inexperiencia en el sector de la construcción en su adecuada ejecución.

Estos inconvenientes deben ser tratados como puntos importantes en los proyectos de gestión referentes a este tema, por lo que los trabajos deben estar enfocados en (Niemczynowicz, 1999; Wenger *et al.*, 2003; Pochat, 2008).

- Monitorización y análisis.
- Estudio de costos, viabilidad y factibilidad.

De aquí que el manejo de recursos hídricos sigue siendo considerado como un problema de orden técnico, que solamente tiene consecuencias económicas, ignorando por lo general sus aspectos socioculturales y medioambientales (Wenger, 2003).

5.4 La urbanización y el desarrollo sostenible.

La urbanización es el proceso por el cual, en un ambiente que hasta el momento ha sido rural, se planifica, diseña y transforma el paisaje, mediante la construcción principalmente de viviendas que en su conjunto se encuentran cerca o junto a otras zonas urbanizadas o poblaciones. Esto conlleva a cambios no sólo demográficos, sino también económicos, culturales, haciendo parte de las políticas de Estado (Borja y Castelles, 2000).

Sin embargo, las prácticas de construcción tradicionales de vivienda generalmente no consideran las interrelaciones entre un edificio, sus componentes y sus alrededores, presentándose afectaciones en la conservación de los recursos naturales y el equilibrio de procesos naturales como el ciclo hidrológico (Reyes *et al.*, 2007).

Un claro ejemplo es que debido al crecimiento urbano acelerado se ha generado un aumento de las superficies impermeables en el entorno de las urbes, lo cual genera y acrecienta los problemas relacionados con la gestión del agua pluvial (Momparler y Doménech 2008).

Una solución a estos problemas es el uso de las llamadas estrategias técnicas alternativas de manejo del agua de lluvias denominadas, normalmente, de control en la fuente o “Source Control”, que a diferencia de las técnicas tradicionales, tienen como objetivo disminuir el impacto del agua pluvial, tratándolas en el lugar donde se generan: en lotes, estacionamientos, parques y paseos públicos (Schueler, 1987; Tucci, 2007); para el caso de este trabajo, almacenando y/o infiltrando el escurrimiento superficial proveniente de las viviendas.

Las principales medidas son las siguientes (GWP, 2007):

- el aumento de áreas de infiltración y percolación;

- el almacenamiento temporal en reservorios residenciales o tejados.

Estas estrategias alternativas se sustentan en la sinergia de las bases de los sistemas de construcción y el desarrollo sostenible, dando lugar a la “construcción sostenible o sustentable” definido en 1994, por el consejo internacional de edificación (CIB o Conseil International du Bâtiment) como:

“... la creación y operación de un ambiente urbano sano basado en el uso eficiente de los recursos y en principios ecológicos”.

Este tipo de construcción incluye una serie de soluciones novedosas para mitigar los impactos de la urbanización sobre el ciclo del agua a través de la gestión del agua pluvial (Schueler, 1987; Field *et al.*, 2006).

El concepto de desarrollo sostenible o sustentable se plasmó por primera vez en 1987 en el documento Nuestro Futuro Común, conocido como Informe Brundtland, como resultado de los trabajos realizados por la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas creada en 1983 definido como (Mulder, 2007):

“Desarrollo que satisface las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

En 1991, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Fondo Mundial para la Naturaleza lo define como:

“Desarrollo que mejora las condiciones de vida, respetando la capacidad de carga de la Tierra”.

Con el tiempo, la aplicación de este concepto se asumiría en el tercer principio de la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo (1992):

“El derecho al desarrollo debe ejercerse en forma tal que responda equitativamente a las necesidades de desarrollo y ambientales de las generaciones presentes y futuras”.

De aquí que el desarrollo sostenible supone un fuerte cambio en la forma de actuación de los distintos sectores de la población, y así poder adoptar soluciones de compromiso que asocien avance económico con conservación medioambiental, pensando en el futuro a la hora de mejorar las condiciones actuales, con la intención de obtener beneficios a largo plazo (Castro *et al.*, 2005).

En relación a la gestión del agua pluvial estas soluciones están englobadas en distintas corrientes de pensamiento como el Desarrollo de Bajo Impacto, (traducción de Low Impact Development, LID); el Diseño Urbano Sensible al Agua, (traducción de Water Sensitive Urban Design, WSUD); recibiendo diversos nombres como (Urbonas y Stahre, 1993; Azzout *et al.*, 1994; EPA, 2002; Woods-Ballard *et al.*, 2007; Daley, 2011; Mailhot *et al.*, 2012):

- Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), traducción de Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS).
- Buenas Prácticas Ambientales (BPAs) referidas al agua de lluvia, traducción del Best Management Practices (BMPs).
- Mejores Prácticas de Control (MPC) del escurrimiento superficial.
- Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible (TEDUS).
- Técnicas alternativas de drenaje.

Estas teorías representan una alternativa interesante y de uso cada vez más extendido, ya que permiten controlar tanto la cantidad como la calidad del escurrimiento generado, a la vez que lo combinan con una adecuada integración paisajística.

La corriente más amplia y general es el Desarrollo Urbano de Drenaje Sostenible, dado que engloba un conjunto de técnicas específicas referidas al drenaje urbano y, además, contempla un conjunto de prácticas de planeamiento urbanístico más amplias que consideran desde un primer momento soluciones a la problemática asociada al drenaje urbano a partir de estrategias que favorecen la infiltración de agua en el suelo (EPA, 2000; Field *et al.*, 2006; Woods-Ballard *et al.*, 2007; ODEQ, 2013).

En esta misma línea las Buenas Prácticas Ambientales (BPAs), originarias de Estados Unidos, cubren todo tipo de técnicas de construcción respetuosas con el medioambiente, incluidas las específicas del drenaje de aguas pluviales. Por ejemplo, la implementación de estrategias técnicas e infraestructura encaminada favorecer la infiltración de agua en el suelo, y así, reducir los impactos de la urbanización en el ciclo hidrológico (Reyes *et al.*, 2007; Momparler y Andrés-Doménech, 2008).

La filosofía de estos sistemas es reproducir, de la manera más adecuada, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana. Su objetivo es minimizar los impactos del desarrollo urbanístico en cuanto a la cantidad y la calidad del escurrimiento (en origen, durante su transporte y en destino), así como maximizar la integración paisajística y el valor social y ambiental de la actuación (Woods-Ballard *et al.*, 2007; ODEQ, 2013).

En ellos se presenta una amplia gama de soluciones que permiten realizar actividades enfocadas a la planeación, diseño y gestión de las aguas pluviales dando tanta importancia a los aspectos medioambientales y sociales como a los hidrológicos e hidráulicos; pueden utilizarse como alternativa a los sistemas de drenaje convencional o en combinación con ellos (Field *et al.*, 2006).

Los objetivos de los SUDS y las BPAs se podrían resumir en los siguientes aspectos (Woods-Ballard *et al.*, 2007; Daley, 2011; Mailhot *et al.*, 2012):

- Proteger y mejorar el ciclo del agua en entornos urbanos a través de estrategias de infiltración.
- Fomentar el manejo del agua de lluvia en el tema de drenaje.
- Proteger la calidad del agua pluvial
- Reducir volúmenes de escurrimiento procedentes de zonas urbanizadas mediante elementos de retención y minimizando áreas impermeables.

5.5 El ciclo hidrológico

Debido al rápido desarrollo urbano, y por consecuencia, el incremento de zonas urbanas impermeables, la cantidad de agua que puede ser retenida por el suelo a partir del proceso de infiltración, disminuye considerablemente, generando que los volúmenes de agua que fluyen en estas zonas se incrementen a tal grado de sobrepasar la capacidad de los colectores, tanques de tormenta y depuradoras existentes. Así, los problemas económicos más importantes causados por el agua de lluvia en las ciudades, están asociados a su cantidad y a los daños que producen, por ejemplo: inundaciones, desbordamientos, etc., (Butler y Davis, 2000).

En el ciclo natural del agua, parte de la precipitación es interceptada por las plantas y edificaciones antes de tocar el suelo, el resto, una vez en el terreno, se infiltra y aumenta la humedad del mismo hasta alcanzar el máximo, produciéndose a partir de entonces acumulaciones superficiales y flujos de escurrimiento superficial y subsuperficial. El agua acumulada superficialmente puede formar lagos naturales o artificiales, o bien infiltrarse recargando los acuíferos; el escurrimiento superficial tiene un tiempo de concentración que depende de la topografía, el tipo de suelo y la vegetación (Mikkelson, 1997).

Una vez concentrada en cauces, el agua corre hacia el mar oxigenándose en el trayecto, siendo parte de ella infiltrada o almacenada en superficie. Destaca en el ciclo natural la presencia constante del proceso de transpiración de la vegetación, que junto con la evaporación

por acción del Sol, cierra el ciclo en cualquier punto devolviendo el agua a la atmósfera en forma de vapor (Butler y Davies, 2000).

Por el contrario, el ciclo del agua en las ciudades es completamente distinto. En la ciudad existe escasa cobertura vegetal para interceptar la lluvia en comparación con la cantidad de techos y suelos impermeables. Por lo tanto, la precipitación se transforma en su mayor parte en escurrimiento superficial originando grandes caudales. Esta gran cantidad de agua es drenada a través de sumideros y alcantarillas pasando al sistema de saneamiento y evitando las acumulaciones de grandes volúmenes en los puntos más bajos de la ciudad (Butler y Davies, 2000; Fletcher *et al.*, 2013)

En comparación con las zonas naturales no urbanizadas, en las ciudades apenas se produce infiltración, almacenamiento superficial o subterráneo, evapotranspiración o evaporación. De aquí que la gestión del agua pluvial sea un recurso importante para mitigar los impactos que se generaran con la urbanización. (Gómez *et al.*, 2004; Manson, 2007).

El balance hídrico puede dar una idea del comportamiento de cada una de estas etapas. Este se puede determinar a partir cantidad de precipitación de agua que se redistribuye en escurrimiento, evaporación y la infiltración o almacenamiento de agua en el suelo. En áreas urbanas, la cantidad de ésta última es poca debido a que las áreas de vegetación, donde produce de manera natural, son escasas (Campos-Aranda, 2010; Gómez *et al.*, 2004).

Para el caso de Xalapa, tomando los valores de precipitación y de evaporación anual de 1490.5 mm de 982.9 mm, respectivamente (CONAGUA, 2013), y del área de vegetación urbana de 4.4 Km² (Lemoine, 2012); se pudo estimar que anualmente escurren superficialmente aproximadamente 20.5 millones de m³ de agua.

Dentro de las actividades de gestión para atenuar estas carencias del ciclo del agua en las ciudades y los problemas asociados, las mejoras en los sistemas de drenaje urbano convencional son continuas: construcción de mayores tanques de tormenta, control en tiempo real, etc. No obstante, la mayoría de las zonas de nuevo desarrollo de las ciudades siguen siendo impermeables y su red de drenaje se conecta al colector más cercano, sumando volúmenes de agua una y otra vez hasta llegar a sobrepasar las capacidades de colectores generales y tanques de tormenta. Así, a pesar de las importantes inversiones para mejorar los sistemas de drenaje urbano, los problemas relacionados con la cantidad de escurrimiento superficial siguen produciendo importantes pérdidas económicas (Marsalek y Chocat, 2002).

5.6 Agua de lluvia en las ciudades

El agua de lluvia aporta diversos beneficios en las ciudades ya que purifica el aire, refresca el ambiente, limpia tejados y pavimentos, ayuda a mantener la vegetación, entre otras. Sin embargo, la carencia o el exceso de agua en las ciudades, como en el caso de cualquier otro recurso, causan problemas (Ulacia, 2014).

Actualmente la gestión del agua de lluvia en las zonas urbanizadas se limita a su drenaje. Si bien la lluvia es primordial para recargar los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, los cuales son las principales fuentes de abastecimientos de agua potable de las ciudades, esa misma lluvia es tratada como un residuo indeseable dentro de esas mismas urbes. Así, toda el agua de lluvia que precipita en áreas urbanas es drenada rápidamente y vertida directamente a las calles o al sistema de saneamiento, donde se mezcla con las aguas residuales y pierde toda su calidad forzando su paso por las instalaciones de depuración (Serrano, 2014).

El agua pluvial en las ciudades es vista, hasta cierto punto, como una fuente de problemas, en los que resaltan: las inundaciones, la contaminación y como consecuencias de estas dos, mayores gastos económicos dirigidos a indemnizaciones y construcción de infraestructura (García *et al.*, 2011).

Todos estos inconvenientes repercuten a nivel medioambiental, económico y social, por lo que es necesario tomar medidas innovadoras para paliar los problemas asociados a la gestión del agua de lluvia en las ciudades.

5.7 Situación Nacional de la Gestión del agua

La gestión integral del agua consiste en lograr el uso, aprovechamiento y administración, manejo de las cuencas hidrográficas considerando las relaciones existentes entre los recursos y los objetivos económicos y sociales de tal manera que se realice de manera tal que se mantenga un equilibrio. Los procesos de gestión de agua en México incluyen trabajos relacionados con: explotación, uso, aprovechamiento, manejo y control del agua, calidad y saneamiento (CONAGUA, 2011).

Es importante señalar que el derecho a un medio ambiente sano y el derecho humano al agua (acceso, disposición y saneamiento) ya es reconocido en el marco internacional y en el artículo 4º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos a partir de 2012, abriendo así la posibilidad de reclamar el acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible.

El uso y manejo del agua en México está regido por el artículo 27 de la Constitución, en el artículo 9 indica que la CONAGUA tiene la competencia de establecer las normas oficiales mexicanas, NOM-CNA, que se refirieren a los aspectos técnicos e infraestructura, así como su conservación en el ambiente y es la encargada de la gestión integrada de los recursos hídricos, que incluye la administración, regulación, control y protección del dominio público hídrico. También de fomentar y apoyar los servicios públicos urbanos y rurales de agua potable, alcantarillado, saneamiento, recirculación y reutilización en el territorio nacional, para lo cual se coordinará con los gobiernos estatales y éstos, a su vez, con los municipales.

La Ley de Aguas Nacionales de los Estados Unidos Mexicanos en 2008 declara de utilidad pública “la gestión integrada de los recursos hídricos, superficiales y del subsuelo, a partir de las cuencas hidrológicas en el territorio nacional, como prioridad y asunto de seguridad nacional” (artículo 7). Puntualiza que la cuenca hidrológica y la GIRH constituyen la base de la política del agua que convocan a la participación social en México.

La estrategia de largo plazo está constituida en la llamada “Agenda del Agua 2030”, en ella se plantean interrogantes respecto a cómo aprovechar con eficiencia, equidad y justicia los recursos hídricos finitos, muy sensibles a la contaminación y desigualmente distribuidos en el espacio y el tiempo y, además, incorporar efectivamente la sustentabilidad hídrica a la cultura nacional. Este conjunto de retos se sitúa en la esfera de lo sociopolítico. No basta con la construcción de infraestructuras si no se atiende debidamente la participación efectiva de la sociedad (CONAGUA, 2007).

Sin embargo, debido a una incipiente política pública en nuestro país, todavía no ha alcanzado un desarrollo más amplio. Un caso particular lo representan la Guía CONAFOVI (Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda) de uso eficiente del agua en desarrollos habitacionales, en la cual se recomienda como área de oportunidad al agua pluvial (Ochoa y Bürkner, 2012). No obstante, no detalla qué acciones o estrategias que podrían ser las adecuadas desde la perspectiva de la política pública, ni desde los aspectos tecnológicos, de acuerdo a la problemática de gestión del agua de lluvia a nivel nacional y regional.

5.8 Xalapa y el agua pluvial

El crecimiento urbano de Xalapa, ha ocasionado que los cuerpos de agua de la ciudad se encuentran con ciertos niveles de contaminación debido a las descargas de aguas residuales y por el arrastre de contaminantes generados por los escurrimientos superficiales (Paredes, 1997; Bonilla, 2013).

El agua de lluvia en la ciudad, a pesar de ofrecer una calidad adecuada para diversos usos, se utiliza principalmente como medio de dilución de aguas residuales, incrementando el volumen de agua a depurar y por tanto las dimensiones de las instalaciones.

En diversas partes de la ciudad las acumulaciones superficiales de agua en aceras y calles causan problemas de comodidad y seguridad para el tráfico, tanto de peatones como de vehículos: resbalones, disminución del coeficiente de resistencia al deslizamiento, salpicaduras, pérdidas de visibilidad, etc. Por otra parte, el incremento de los escurrimientos urbanos trae consigo afectaciones en zonas bajas de la ciudad, inundándolas o azolvándolas, producto de la disminución de la capacidad de retención de agua por el suelo (Moguel, 2011).

De esto dan cuenta los medios de comunicación que ofrecen información a la sociedad sobre las afectaciones producto de una excesiva cantidad de agua de lluvia sin una adecuada gestión en zonas urbanizadas: inundaciones, azolvamiento, entre otras (García *et al.*, 2011).

Para reducir estas afectaciones, en algunos casos, se ha tenido que recurrir a la construcción de infraestructura, la cual conduce dichas aguas a un punto topográficamente más bajo como puede ser un colector pluvial, o los denominados “resumideros” los cuales descargan en el subsuelo.

Es importante mencionar que la vida útil de los resumideros es incierta, depende en gran parte de su capacidad de absorción, esto es, de la geología de la zona. De ahí que su diseño debería considerar estructuras que impidan el azolvamiento de material grueso en la zona de captación y de material fino en la entrada o “boca” del resumidero. Lo anterior, implica que de manera periódica se realice la limpieza con equipo de hidrosucción así como manualmente con cuadrillas de trabajo. Al no ser así, el tiempo, la eficiencia y tiempo de vida de esta infraestructura es muy poca (Barrón, 2012).

Por esta razón, en este trabajo se plantea que la captación de lluvia a través de pozos de infiltración represente una estrategia con alto potencial, y menos costo, además, la infiltración de los escurrimientos pluviales, en el lugar donde se producen, ayuda a evitar que se generen inundaciones al servir como un sistema de regulación; que es uno de los objetivos que incluyen las BPAs y los SUDS. De esta forma la infiltración del agua de lluvia, como parte de estrategias técnicas sostenibles de drenaje de agua pluvial, permitirá reducir el escurrimiento superficial de agua en temporada de lluvia que es uno de los grandes problemas hídricos de los últimos años en Xalapa.

5.9 La infiltración y las estrategias técnicas sostenibles de drenaje de agua pluvial

5.9.1 El proceso de infiltración

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. Para lograr un sistema de infiltración eficiente es necesario que el subsuelo esté compuesto por material permeable (arenas, gravas, roca fracturada) con una zona vadosa sin capas o estratos impermeables que limiten la infiltración y que permitan la suficiente permeabilidad horizontal de manera de permitir el flujo lateral. Adicionalmente el manto freático o la superficie libre del agua subterránea deben estar lo suficientemente profundas de manera de no interferir con el proceso de infiltración (Campos-Aranda, 2010).

Para realizar su cálculo, se requieren mediciones directas para estimar la velocidad de infiltración del suelo, a partir de medidas directas en intervalos de tiempo relativamente cortos (Campos-Aranda, 2010).

Los factores que afectan a la medida de la infiltración tienen carácter eminentemente local, es por ello que los métodos de campo para su determinación, tiene un valor relativo, y representan las características del lugar donde se han realizados las mediciones. Por ello es clave al realizar ensayos de determinaciones de capacidades de infiltración seleccionando lugares representativos del área en estudio (Martínez *et al.*, 2012).

Existen diversas formas para realizar las mediciones de la capacidad de infiltración, que pueden ser clasificadas en tres métodos (Gómez *et al.*, 2004):

- Infiltrómetros
- Lisímetros
- Análisis de histogramas de escurrimiento

Como parte de este proyecto y con la finalidad de medir la infiltración, se emplea un método de infiltrómetro conocido como “método del pozo de nivel variable” mejor conocido como método de Porchet (MINVU y PUC, 1996).

Entre las estrategias para controlar el agua a partir de la infiltración, se incluyen sistemas de bioretención y concretos permeables, entre otros. Estas medidas constituyen elementos importantes para reducir la velocidad de flujo de agua y para la recarga de cuerpos de agua subsuperficiales; algunos de estos sistemas se describen a continuación (Azzout *et al.*, 1994; MINVU y PUC, 1996; EPA, 2002; Woods-Ballard *et al.*, 2007):

5.9.2 Pozos de infiltración

Un pozo de infiltración se define como un agujero excavado en tierra, generalmente cilíndrico, de radio y profundidad fijos, que se utiliza para drenar agua a través de sus paredes y del fondo hacia las napas subterráneas. Se conciben como estructuras de infiltración capaces de absorber total o parcialmente la escorrentía generada por los eventos de lluvia (Woods-Ballard *et al.*, 2007).

Los pozos de infiltración superficial de agua pluvial para viviendas pueden ser de varios tipos (Figura 1), estar rellenos de arena, grava y/o ripio para que las superficies puedan funcionar como jardines de bioretención, o estar completamente huecos en su interior que permiten almacenar temporalmente el agua de lluvia e infiltrarla posteriormente a través de sus paredes y del fondo directamente hacia el suelo.

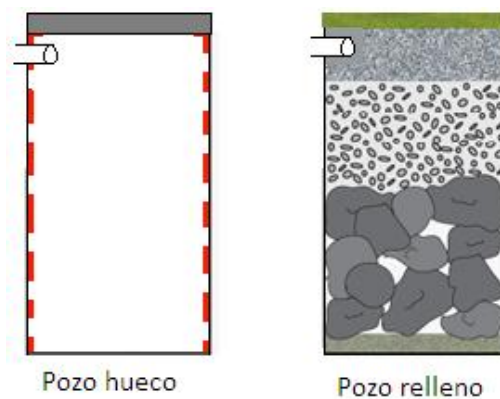


Figura 1. Esquema de pozos de infiltración
(Fuente: elaboración propia)

Los pozos de infiltración superficial son usados para drenar superficies pequeñas que no reciben grandes cantidades de contaminantes, como es el caso de la azotea de una casa. Las lluvias que caen en el techo se dirigen al pozo a través de una tubería de entrega. Luego el agua es almacenada temporalmente en su estructura y en los espacios vacíos del relleno, desde donde se infiltra hacia el suelo. Por su diseño, los pozos con relleno poroso se pueden adaptar en su superficie como jardines, mejor conocidos como jardines de bioretención (Autixier *et al.*, 2014).

Estos jardines son estructuras que cuentan con suelo formado de material permeable cubierto con plantas. Este tipo de jardín captura los escurrimientos de agua pluvial provenientes de superficies impermeables tales como azoteas, permitiendo que se infiltre en el suelo en lugar de drenarla en alcantarillas o en la calle (Katsifarakis *et al.*, 2015).

El uso de estos dispositivos de infiltración es conveniente en zonas donde no hay mucho espacio disponible para obras de mayor tamaño, pero existe una capacidad importante de infiltración dentro de los estratos más profundos (Woods-Ballard *et al.*, 2007).

5.9.3 Depósitos de Infiltración

Depresiones del terreno vegetadas diseñadas para almacenar e infiltrar gradualmente el escurrimiento generado en superficies contiguas. Se promueve así la transformación de un flujo superficial en subterráneo, consiguiendo adicionalmente la eliminación de contaminantes mediante filtración, adsorción y transformaciones biológicas (Urbonas, B. y Stahre, P. 1993).

5.9.3 Estanques de Retención

Lagunas artificiales con lámina permanente de agua (de profundidad entre 1 y 2 m) con vegetación acuática, tanto emergente como sumergida. Están diseñadas para garantizar largos periodos de retención del escurrimiento (2-3 semanas), originando la sedimentación y la absorción de nutrientes por parte de la vegetación (AEC, 2011).

5.9.4 Superficies permeables

Pavimentos que permiten el paso del agua a través de su superficie, abriendo la posibilidad a que ésta se infiltre en el terreno o bien sea captada y retenida en capas sub-superficiales para su posterior reutilización o evacuación. Existen diversas tipologías, entre ellas: césped o gravas (con o sin refuerzo), bloques impermeables con juntas permeables, bloques y baldosas porosas, pavimentos continuos porosos (asfalto, hormigón, resinas, etc.) (Woods-Ballard *et al.*, 2007).

Los pozos y depósitos de infiltración, estanques de retención y las superficies permeables, son medidas que permiten la retención de agua favoreciendo la infiltración de éste en el suelo, por lo que a continuación se describe este proceso (Castro *et al.*, 2005)

5.10 Los pozos de infiltración como sistemas de drenaje pluvial

Complementario al estudio de infiltración, es necesario conocer el comportamiento, en cantidad y temporalidad, de los eventos de lluvia, ya que los diseños de estas estrategias están enfocados en funcionar como medidas de drenaje pluvial alternativo, por lo que se requiere que estén diseñados conforme al Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la Comisión Nacional del Agua (2011).

Estos sistemas se diseñan para desalojar los escurrimientos provocados por un evento de precipitación determinado, con un periodo de retorno que varía en función del tipo de vialidad

o zona donde se encuentran. El periodo de retorno se define como el lapso promedio entre la ocurrencia de un evento igual o mayor a una magnitud dada (Campos-Aranda, 1998).

En el manual se proponen distintos intervalos de años en función del tipo de infraestructura donde se ubiquen los sistemas para el desalojo del agua pluvial.

En la Tabla 1 se presentan los periodos de retorno para diversos usos de suelo; están en intervalos de 1 a 10 años para distintos tipos de asentamientos y vialidades, ya que para estos eventos se tiene un funcionamiento adecuado de los sistemas durante lluvias ordinarias, aunque se tengan encharcamientos e inundaciones que provoquen daños ligeros y molestias a la población durante lluvias extraordinarias.

Tabla 1: Periodos de retorno para diseño de sistemas de Alcantarillado Pluvial.
Fuente: Manual de Alcantarillado Pluvial. Fuente: CONAGUA, 2011.

Tipo de uso de suelo	Periodo de retorno [años]
Especial – Acceso a instalaciones de seguridad nacional	10
Servicios públicos vitales	5
Zona industrial	5
Edificios públicos	5
Zona residencial multifamiliar de alta densidad (>100 hab/Ha)	3
Zona residencial unifamiliar y multifamiliar de baja densidad	1.5
Zona recreativa de alto valor e intenso uso por el público	1.5
Vialidad Local – Avenidas y calles cuya importancia no traspasa la zona servida	1.5
Otras áreas recreativas	1

De la información mostrada se deberá elegir un periodo de retorno adecuado para el diseño de las obras de infiltración; debe estar en función de la infraestructura aledaña a la que brindará servicio ya que estas deberán retener la mayor cantidad de agua generada por el evento de lluvia para ese intervalo de tiempo (CONAGUA, 2011).

VI. MARCO CONTEXTUAL

6.1 Localización

El municipio de Xalapa, Veracruz (Figura 2); se ubica en la vertiente norte del macizo montañoso conocido como Cofre de Perote, del paralelo 19°30' al paralelo 19°36' de latitud norte y del meridiano 96°49' al meridiano 96°59' de longitud oeste. Tiene una superficie de 124.38 km² que representa el 0.16 % de la superficie del Estado, a una altitud de 1300 a 1500 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2000).

Colinda al norte con Banderilla, Jilotepec y Naolinco, al sur con Coatepec y Emiliano Zapata, al este con Emiliano Zapata y Naolinco y al oeste con Banderilla y San Andrés Tlanelhuayocan (INEGI, 2000).

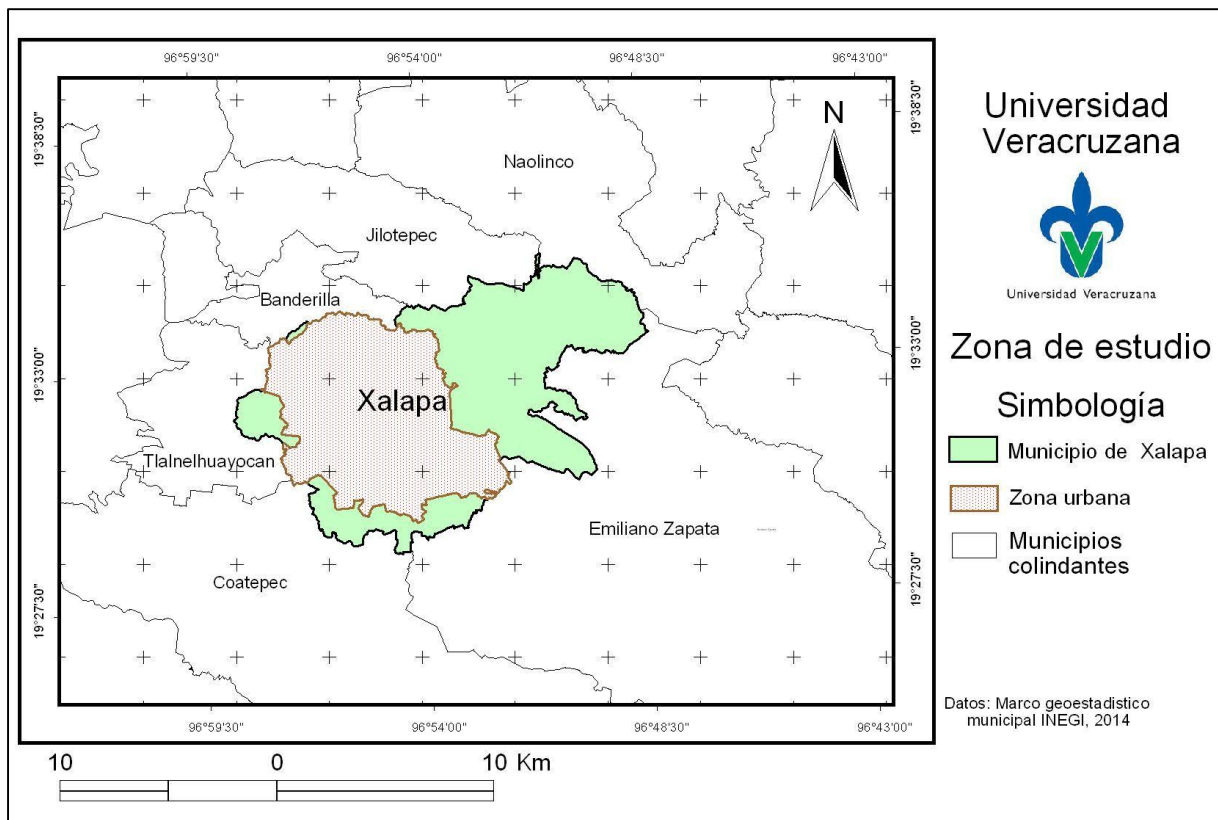


Figura 2. Localización del Municipio de Xalapa, Ver. y municipios colindantes (Con base al marco geoestadístico municipal INEGI, 2014).

En el centro y noreste de esta ciudad, se encuentra el área de estudio; en la zona centro las colonias Progreso Macuiltépetl y Héroes Ferrocarrileros y en la zona noreste la colonia Carolino Anaya.

6.2 Medio físico

6.2.1 Clima

Xalapa registra un clima templado húmedo con lluvias distribuidas repartidas a través de todo el año, la temperatura mínima es de 10.4° C (enero) y máxima de 27.7° C (mayo) y un promedio anual de 19.2°C. La precipitación mínima es de 41.2 mm (enero), máxima de 288.1 mm (junio) y un promedio anual de 1435.8 mm. En lo que respecta a la evaporación, se registra una mínima de 56.5 mm (enero), y máxima de 113 mm (mayo) y un promedio anual de 1063.8 mm (Normales Climatológicas, 1951-2010) (CONAGUA, 2013).

Las lluvias son abundantes en verano y principios de otoño, siendo más ligeras en lo que resta del año, y lloviznas con niebla en invierno, esto debido a la afluencia de los vientos del norte, que provocan grandes descensos de temperatura con heladas esporádicas (MDGIF, Gobierno del Estado de Veracruz. 2011).

6.2.2 Geología y relieve

El terreno que presenta Xalapa es irregular con accidentes de poca elevación, debido a que está enclavada en la vertiente oriental del Cofre de Perote, el cual forma parte del Eje Neovolcánico de la Sierra Madre Oriental. Como principales elevaciones en la región se encuentran: el cerro de Macuiltépetl en la ciudad de Xalapa, cerro de la Culebra en la ciudad de Coatepec, cerro de la Orduña en las inmediaciones del mismo nombre y los volcancillos del poblado de Roma, los cuales se ubican en las inmediaciones de este municipio (Castillo-Campos, 1991; MDGIF y Gobierno del Estado de Veracruz, 2011).

En la tabla 2 y figura 3, se muestra una descripción de los tipos de roca presentes en el municipio y su zona de ubicación.

Tabla 2. Características Geológicas de Xalapa. Tipos de roca y la zona en donde se encuentran en el municipio de Xalapa. Fuente: MDGIF y Gobierno del Estado de Veracruz (2011).

Período Geológico	Tipo de roca	Ubicación
Cuaternario Holoceno (reciente)	Cenizas Volcánicas	Centro-oeste de Banderilla y Suroeste de Tlalnahuayocan, Oeste de Xalapa
	Andesita y andesita basáltica	Centro-norte, Centro-sur y Suroeste de Xalapa
	Andesita y andesita basáltica recubierta por cenizas volcánicas	Suroeste de Banderilla, Norte y Este de Tlalnahuayocan. Noroeste de Xalapa

Terciario Eoceno	Flujo piroclástico pumítico arenoso poco consolidado, recubierto por cenizas volcánicas	Norte y Este de Banderilla, Noroeste y Sur de Xalapa, Centro y Sur de Tlalnahuayocan
	Flujo piroclástico consolidado	Este de Xalapa
	Brecha volcánica muy alterada	Noreste de Tlalnahuayocan, Noroeste de Xalapa, Centro-Sur de Banderilla
	Basalto caótico de malpaís	Noroeste y Este de Banderilla, Norte de Xalapa
	Basalto caótico de malpaís recubierto por cenizas volcánicas	Noroeste y Centro de Banderilla, Norte, Noroeste y Sureste de Xalapa
	Material piroclástico poco consolidado	Norte de Banderilla, Este de Xalapa
	Travertino	Norte de Banderilla, Este y Noreste de Xalapa

6.2.3 Hidrografía

El nombre del municipio de origen náhuatl XALLA-A-PAN significa "En el agua del arenal" en alusión a tres manantiales: Xallapam, Xallitic y Techacapan, se ubica en el parteaguas de dos importantes cuencas hidrológicas del centro del estado de Veracruz, la del río Actopan y la del río La Antigua (MDGIF y Gobierno del Estado de Veracruz, 2011).

De acuerdo a la CONAGUA (2013), el sistema hidrológico de Xalapa presenta dos particularidades; la primera es la existencia de corrientes temporales y perenes que provienen del cofre de Perote y se localizan entre las cuencas hidrológicas de los ríos de Actopan y la Antigua (Bonilla, 2013); la segunda es atribuible a las características geológicas del terreno, por las vetas de arena blanquecina y de basalto poroso donde circula una gran cantidad de agua delgada, producto de la filtración del suelo, y sirven de depósitos acuíferos subterráneos (González de Cossío, 1957; Nelly, 2009).

Las principales corrientes son los ríos Sedeño y Sordo, así como los arroyos Carneros y Santiago que atraviesan por la ciudad. El río Sedeño nace en las faldas del Cofre de Perote y sirve como límite físico entre los municipios de Xalapa y Banderilla; el río Sordo separa los municipios de Xalapa y Coatepec en la porción que se localiza en el extremo suroeste de la mancha urbana; cabe destacar que existen cerca de 45 manantiales en el municipio; también cuenta con un lago natural ubicado en la colonia Seis de enero (figura 4) (Pereyra *et al.*, 2000; Moguel, 2011).

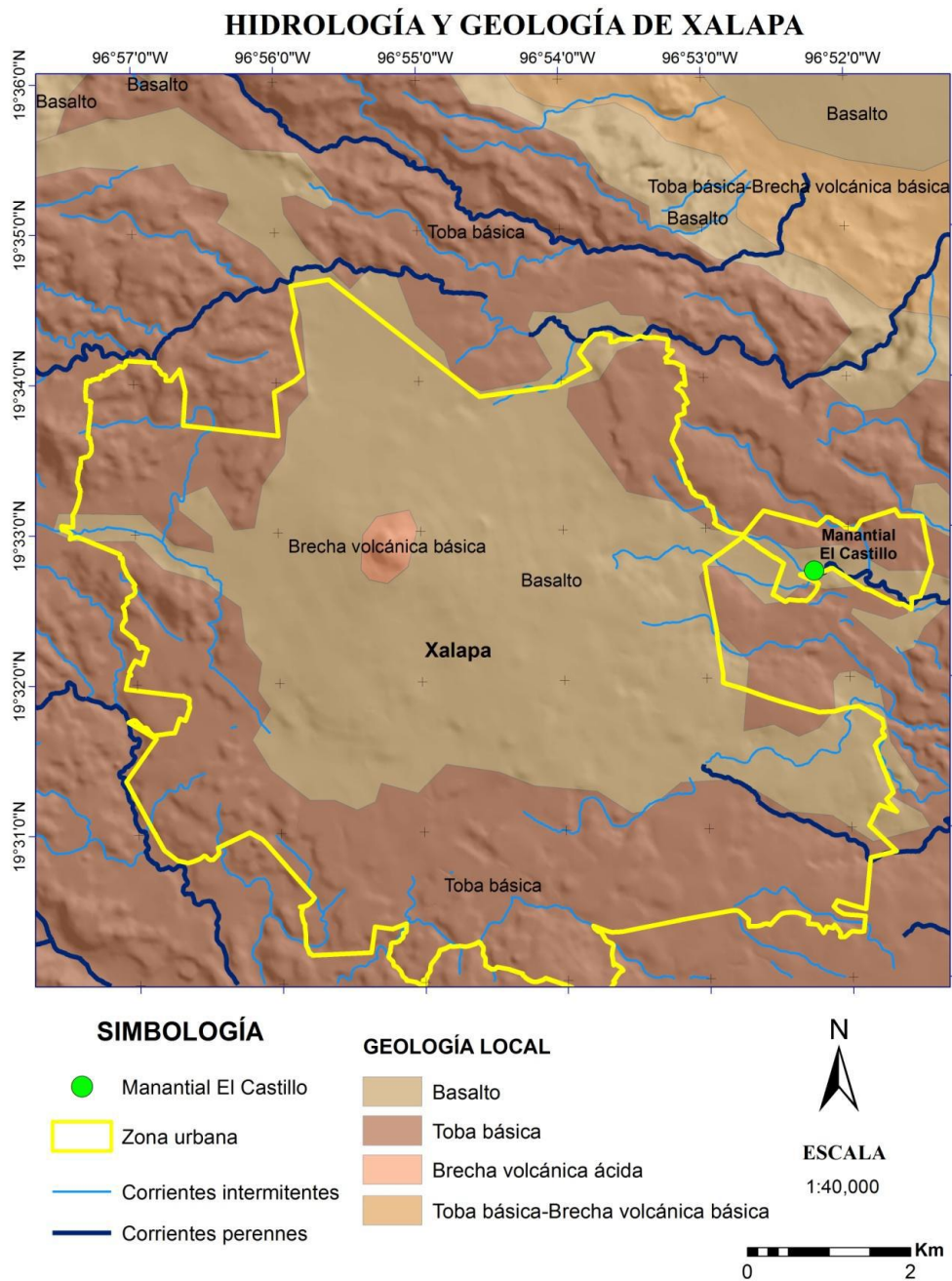


Figura 3. Hidrología y geología del municipio de Xalapa sobre carta de datos geológicos vectoriales E1403 Escala 1:250,000 INEGI (S/F) y carta topográfica E14B27 Escala 1:250,000 de INEGI.

Dentro del municipio se localizan 14 subcuencas urbanas, en las cuales confluyen escurrimientos superficiales en varias direcciones que llegan a unirse hacia las partes bajas de la ciudad o hacia los cuerpos de agua como el río Sordo, Sedeño, arroyo Carneros y Papas (Capitanachi *et al.*, 2001).

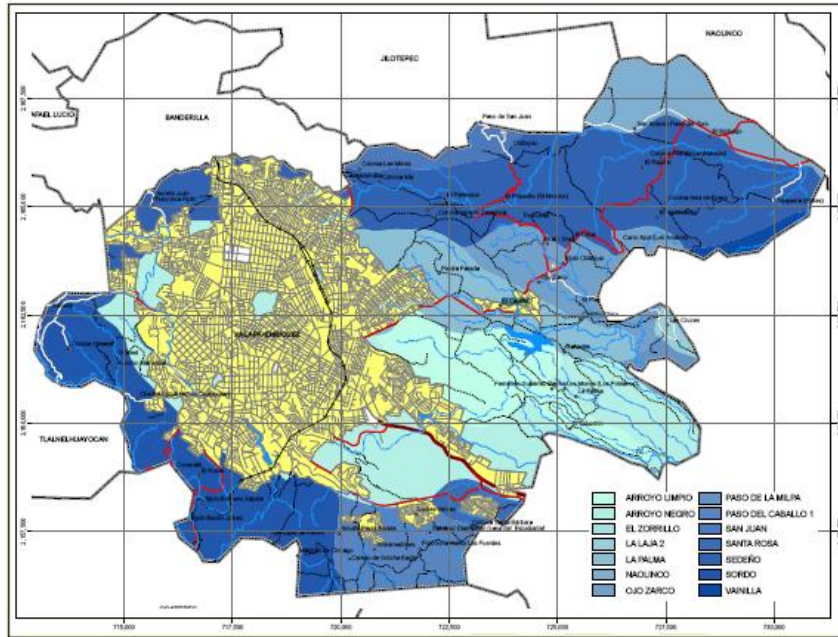


Figura 4. Subcuencas urbanas del Mpio. de Xalapa, Ver (Capitanachi *et al.*, 2001).

6.2.4 Edafología

El territorio está formado principalmente por suelos de tipo andosol, regosol, luvisol y fhaeozem (Figura 5), los primeros dos tipos, con características fértiles, permeables y son sumamente aptos para proyectos de recarga a través de lagunas o pozos de infiltración con aguas pluviales o tratadas (FMCN, 2013)

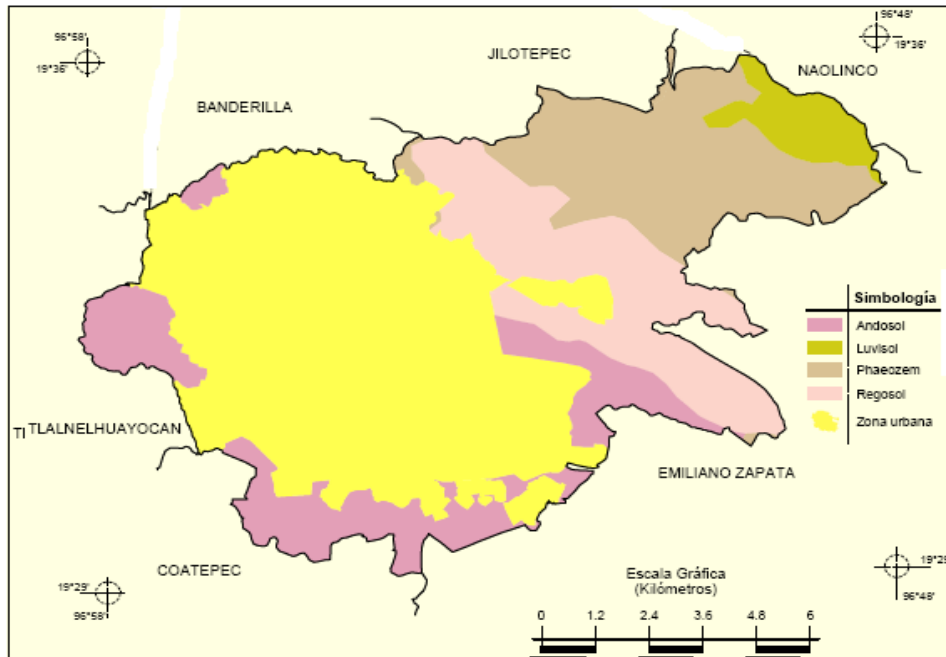


Figura 5. Edafología en el Mpio. De Xalapa, Ver., (FNCN, 2013).

Su tasa de infiltración llega a ser hasta de 5 cm por hora y pueden llegar a infiltrar hasta 200 metros de agua al año. El impacto de la recarga en los niveles freáticos locales es inmediato (FNCN, 2013)

6.2.5 Zonificación Geotécnica

El área de estudio está delimitada en 4 zonas (Figura 6), éstas en función de la estructura del suelo y de su estabilidad; la delimitación se formuló de acuerdo al análisis de mecánica de suelos así como de las características de las unidades geológicas realizados en Xalapa (González-Mercado, 2005; Hernández, 2007; Torres *et al.*, 2009b).

Las características generales de cada zona se mencionan a continuación:

Zona I: Esta zona es la más estable de la zona conurbada Xalapa, se encuentra a los alrededores del cerro Macuiltépetl, es la zona más compacta debido a su proximidad a las faldas de este volcán se encuentran derrames basálticos de origen reciente del pleistoceno superior. Estos materiales están constituidos por una roca vesicular de color gris oscuro, recubierta parcialmente por una delgada capa de tobas limo-arcilloso-arenosas de tono rojizo.

Estratigráficamente esta zona se caracteriza en general por presentar en puntos alrededor del cerro gravas de basalto mezclado con material de relleno, empacadas en un limo arenoso de color café oscuro ligeramente orgánico de plasticidad media a la profundidad de 1 m. Hacia abajo sigue un estrato de basalto vesicular muy fracturado, intemperizado con grietas rellenas de limo arcilloso color café claro de espesor muy variable, que se encontraron hasta los 8m de profundidad. Subyaciendo estos depósitos se encuentra otro basalto vesicular color gris oscuro a negro, fracturado el cual presenta intemperismo en algunas grietas y juntas.

Su profundidad varía entre 1 y 6 m. A continuación se tiene un estrato de material granular de compacidad media formado por escoria volcánica, descansando sobre derrames de basalto que se localizan a profundidades variables.

Zona II: Esta zona de mediana estabilidad, se encuentra conformada por limos-arcillo arenoso compactos de media a alta estabilidad que representan posiblemente el producto de las últimas emisiones volcánicas que recubren a las rocas basálticas de la parte norte de la zona. Estratigráficamente presenta relleno superficial a base de fragmentos de roca, grava y arena hasta 2.30 m de profundidad seguido por depósitos limo arcillo-arenoso (de espesor muy variable, que se encontraron hasta 15 m de profundidad). Subyaciendo estos depósitos derrames basálticos, entre 3 y 11 m de profundidad. Al mismo tiempo en la parte este de la zona encontramos lomas de flujos piroclásticos y brecha volcánica lo cual se trata de coladas no

clasificadas, de color muy claro, algunas pumíticas, otras con bloques de lava basáltica, a menudo cementadas y endurecidas, y en otras ocasiones deleznable. Algunas de ellas presentan pómez lenticular y se asemejan a las ignimbritas; su composición se parece a la de las riodacitas.

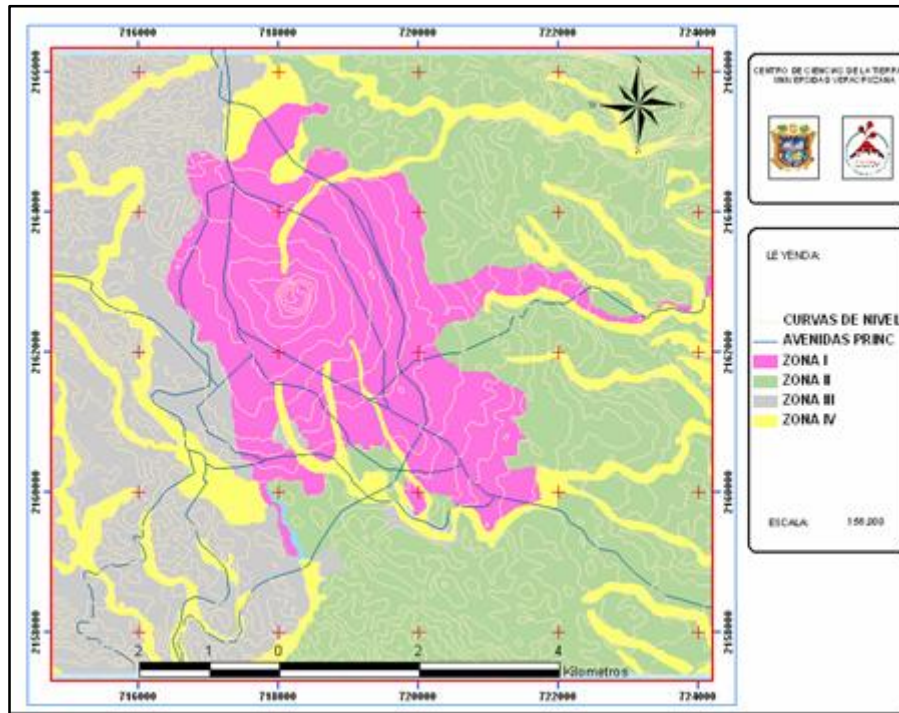


Figura 6. Mapa Geotécnico de la Zona Conurbada Xalapa (Hernández, 2007).

Zona III: Es el área más inestable, se encuentra básicamente en la parte oeste de la ciudad, a la profundidad de 0.50 m. se encuentra material de despalme constituido por limos orgánicos de plasticidad media seguidos por limos de alta plasticidad, color café claro a café rojizo con tonos amarillentos con algunos lunares formados de arena limosa a profundidades variables derivadas del producto de los derrames de lava basáltica muy alterada del cerro colorado hasta la profundidad de 10 m. Sus depósitos se encuentran sobre las colonias Cerro Colorado y parte de Coapexpan y el Haya, configurando una topografía de lomeríos suaves. En sitios próximos a la fuente de emisión estos depósitos están constituidos por derrames de lava en bloques con un alto grado de intemperismo y exfoliación concéntrica. Además de lava de composición volcánica muy alterada de color gris a gris oscuro del Cerro del Estropajo. En sitios más alejados estos derrames de lava están cubiertos por flujos piroclástico y material regolítico que constituyen lomas con pendientes pronunciadas.

Zona IV: Está formada por depósitos de aluvión. El aluvión es material detrítico transportado y depositado transitoria o permanentemente por una corriente de agua. Dicho material puede estar compuesto por arena, grava, arcilla o limo. Se acumula en los canales de las corrientes, en

las planicies inundables y en los deltas. Algunos autores también incluyen bajo este término los materiales que se sedimentan en lagos o estuarios.

A partir del tipo del suelo y la geotecnia del suelo, Huesca (2009) y Lenz (2014), clasifican el suelo de la zona de Xalapa en 4 tipos: tipo 1: suelo estable, tipo 2: suelo medianamente estable, tipo 3: suelo blando y tipo 4: suelo muy blando (Figura 7).

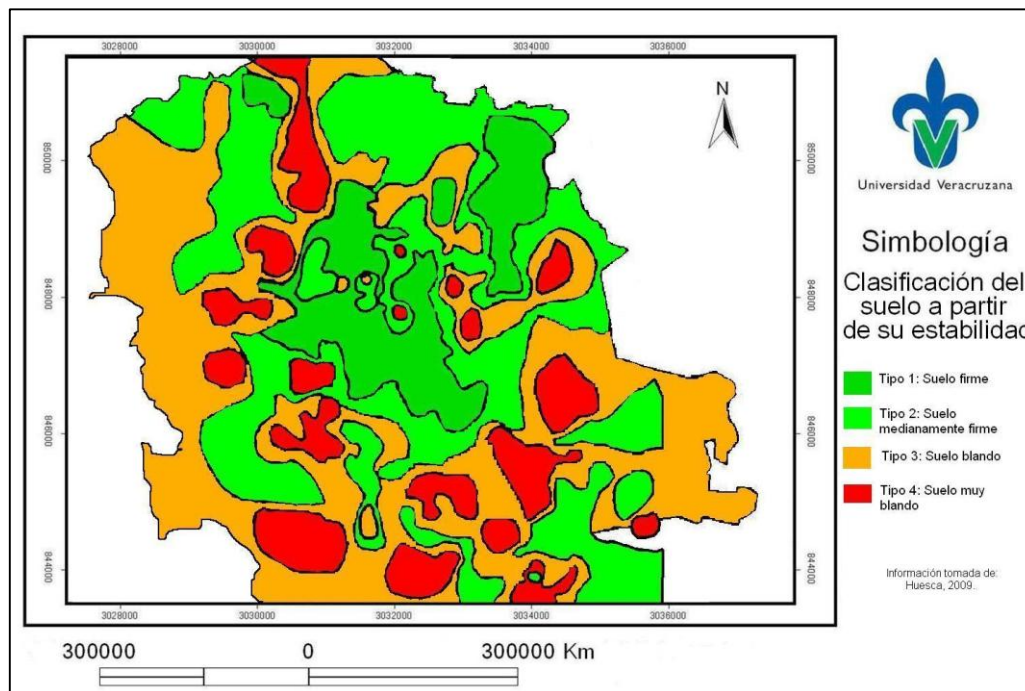


Figura 7. Tipo del suelo en función de su estabilidad, para la zona de Xalapa, Ver. (Huesca, 2009).

6.2.6 Biodiversidad y uso del suelo

La vegetación original del área consistía de fragmentos de bosque mesófilo de montaña, bosque de encino, bosque de pino, bosque tropical caducifolio y bosque de galería (Castillo-Campos, 1991), siendo el bosque mesófilo de montaña el tipo de vegetación representativo de la región (Rzedowski, 1978).

Como resultado del proceso de urbanización, dicha vegetación original ha sido en su mayoría reemplazada; la vegetación que permanece se encuentra fragmentada y predominan las comunidades vegetales secundarias (Castillo-Campos, 1991). La vegetación actual está distribuida en sus áreas verdes, constituidas por jardines privados, camellones, parques urbanos, parques ecológicos, áreas verdes reglamentarias y manchones de bosque, con neblinas frecuentes, fragmentos de selva y pastizal, en la periferia del municipio (Capitanachi y Amante, 1995: SEDESMA, 2013) (Figura 8).

De acuerdo a Vázquez y colaboradores (2010), existe una amplia variedad de poblaciones de árboles y fauna entre las que resaltan, en vegetación: liquidámbar (*Liquidambar macrophylla*), encinos (*Quercus spp.*), haya (*Platanus mexicana*), marangola (*Clethra mexicana*), pepinque (*Carpinus carolineana*, *Ostrya virginiana*). En fauna: los zorrillos (*Memphitis macrura*), tlacuaches (*Dipelphis marsupialis*), conejos (*Sylvalanus floridanus* y *S. cunicularis*), ardillas (*Sciurus vulgaris*), tuzas (*Geomys bursarius*), armadillo (*Dasypusno vemcinctus*), tejones (*Nasuanarica*) y mapaches (*Procyonlotor*), que abunda en las zonas no urbanizadas y en las periferias de la ciudad.

Gracias a la presencia de islas de vegetación a lo largo del territorio de Xalapa se establecen rutas migratorias para 121 especies de aves aunadas a las que residen en los bosques, parques y demás áreas verdes locales (González, 1993).

El uso urbano lo determina la estructura que resulta del trazado de calles y predios sobre un territorio accidentado. Porciones de suelo se añaden sucesivamente a la mancha urbana, que en el caso de Xalapa ha crecido de manera arbitraria, sin que medien zonas de transición ni se sigan, en el mayor de los casos, criterios de diseño urbano. De manera simplificada, se presentan en tres tipos de usos del suelo: comercial, industrial y habitacional; este último categorizado por su infraestructura en vivienda: residencial, media, interés social, popular y precaria (Moguel, 2011).

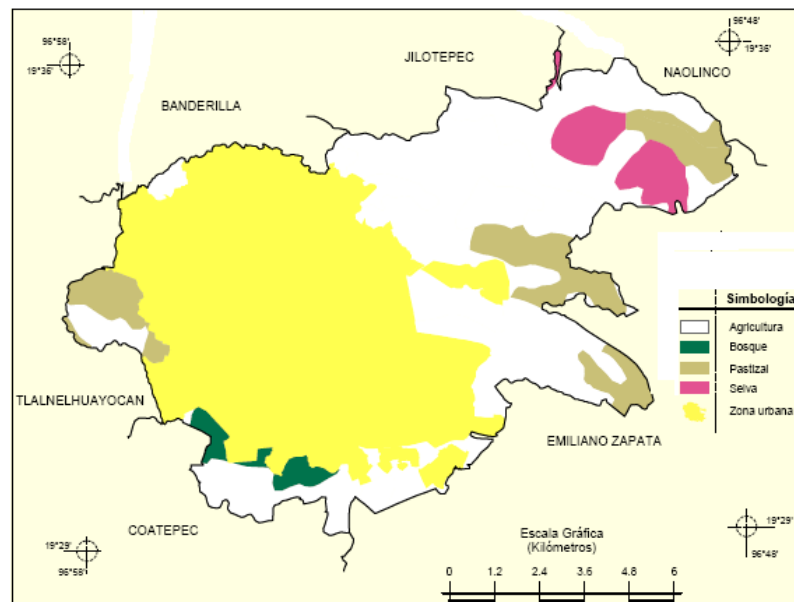


Figura 8. Uso del suelo en el Mpio. De Xalapa, Ver (SEDESMA, 2013).

6.3 Medio socioeconómico e infraestructura social

6.3.1 Demografía

En Xalapa, el aumento poblacional se ha dado de manera abrupta en los últimos 40 años (Figura 9) y con ello el aumento de la urbanización y demanda de servicios.

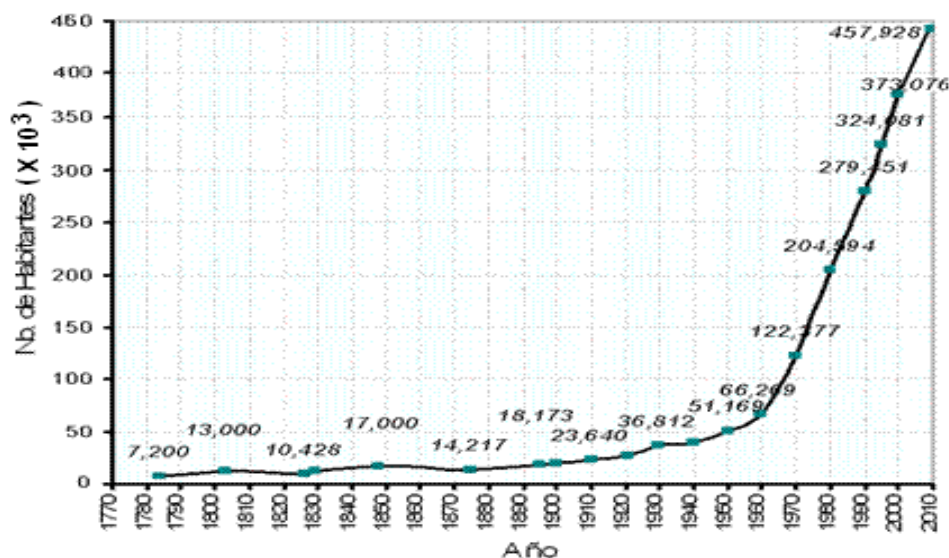


Figura 9. Evaluación del número de habitantes de 1770 a 2010 (INEGI, 2014).

Según datos del Censo de Población y Vivienda 2010 realizado por INEGI, el municipio de Xalapa cuenta con una población de 457,928 habitantes de los cuales 213,571 son hombres (46.6 %) y 244,357 (53.4 %) son mujeres; el 98 % de la población está distribuida en 5 localidades urbanas y el resto en 50 localidades rurales. Es el segundo municipio más poblado después de Veracruz; los censos reflejan una tasa de crecimiento de 1.6 % (INEGI, 2014; Plan Municipal de Desarrollo Xalapa 2014-2017).

A continuación se muestra la distribución de la población por intervalos de edad (tabla 3), con lo que se puede mencionar que, en unos años, la población de Xalapa será en mayor cantidad de la tercera edad.

Tabla 3. Distribución de la población por intervalos de edad. Fuente: INEGI, 2010.

Grupo de edad	Habitantes
Infantil (0-14 años)	107942
Joven y adulta (15-64 años)	301266
Tercera edad (65 años y más)	28928
No especifico edad	19792

6.3.2 Educación

En lo concerniente a la educación, de acuerdo a datos del censo de población y vivienda de INEGI en el año 2010, el municipio contaba con 14.7% de población con rezago educativo y el grado promedio de un estudiante era de 10.3 años de escolaridad, siendo el máximo grado de estudio la educación primaria. Mientras que la tasa de alfabetización de las personas de 15 a 24 años es de 99.2% por lo que la gran mayoría de la población del municipio cuenta con una formación educativa estable.

Es importante mencionar que Xalapa es un municipio que cuenta con un gran número de instituciones educativas para todos los niveles; alberga la institución pública más importante a nivel estatal, la Universidad Veracruzana (UV), misma que ofrece diversas licenciaturas, ingenierías, posgrados, maestrías y doctorados, y que es casa de estudio para miles de estudiantes veracruzanos provocando una gran entrada de estudiantes foráneos y una derrama económica para el comercio, y en especial para el sector servicios (Plan Municipal de Desarrollo Xalapa 2014-2017) .

6.3.3 Actividades económicas

Para hablar de las actividades económicas en el municipio, es de gran ayuda utilizar indicadores como el de la Población Económicamente Activa (PEA), que hace referencia a la población productiva de entre 12 y 65 años de edad; excluyendo a estudiantes, amas de casa, pensionados e incapacitados. La PEA es la que realiza actividades en algún sector económico (INEGI, 2005).

En Xalapa, hasta el 2010, la población económicamente activa es de 198,773 habitantes de los cuales, están en actividad laboral 192,193 hab., de estos últimos, el 79.4 % realizan actividades enfocadas al comercio, turismo y servicios, el 16.9 % en actividades industriales, y el 2.5 % en actividades primarias relacionadas con el cultivo de café, caña de azúcar, producción de ganado porcino, ovino y aviar, principalmente (tabla 4).

Tabla 4. Población económicamente activa por sector productivo. Fuente: INEGI, 2010

Mpio.	PEA Total	PEA ocupada Total	Sector Primario		Sector Secundario		Sector Terciario		No especificado	
			Población	%	Población	%	Población	%	Población	%
Xalapa	198,673	192,193	4804.825	2.5	32480.617	16.9	152601.24	79.4	2306.316	1.2

6.3.4 Vivienda y servicios

El número de viviendas particulares en Xalapa hasta el año 2010 (INEGI) fue de 129,184 con un promedio de aproximado de 4 habitantes por vivienda. En la tabla 5 podemos observar las características de las viviendas en el municipio:

Tabla 5. Características de la vivienda en Xalapa, 2010. Fuente: INEGI, 2010.

Xalapa	Piso diferente de tierra	Energía eléctrica	Agua de la red pública	Drenaje	Cuentan con excusado o sanitario	Total de viviendas particulares
No. de viviendas	118996	121755	118813	121156	121601	129184
%	92.1	94.2	92	93.8	94.1	100%

Si bien las características de las viviendas en Xalapa, Ver., presentan características homogéneas según los datos recabados en el censo de población y vivienda 2010, es importante señalar que en lo que respecta al sistema de drenaje, no se especifica su tipo, ya que, como se muestra en la tabla 5 existe una diferencia entre las viviendas con drenaje y las que cuentan con excusado siendo estas últimas las de mayor número, resaltando que pudiera deberse al uso de drenajes naturales a través de fosas o pozos en ciertas zonas del municipio.

En cuanto a las obras de infraestructura pluvial existentes en la ciudad, éstas han quedado rebasadas por las tormentas puntuales presentadas en los últimos años y que se han caracterizado por su alta variación espacial y por su intensidad, lo cual complica que esta infraestructura opere eficientemente en época de lluvias principalmente (Torres *et al.*, 2009a).

6.4 Problemática ambiental del municipio de Xalapa

De acuerdo con lo señalado en el Plan municipal de desarrollo Xalapa 2014-2017, los principales problemas ambientales con los que se enfrenta la población del municipio son, la calidad del agua, ya que tanto las fuentes de abastecimiento de este líquido como los tanques de almacenamiento y distribución rebasan los límites permitidos por la NOM-127-SSA1-1994 con respecto a coliformes fecales, turbiedad, nitratos y PH.

Por otro lado, la calidad del aire en Xalapa se ha visto disminuida debido principalmente a la gran cantidad de vehículos automotores que transitan por las zonas urbanas del municipio.

Un tercer problema contemplado es el manejo de los residuos sólidos ya que, con el crecimiento abrupto de la población, se generan cada vez en mayor cantidad, rebasando la capacidad de recolección y disposición por parte de las autoridades.

Otro problema cada vez más presente es el relacionado con la precipitación ya que las fuertes lluvias generan un creciente escurrimiento de agua producido por la fuerte pendiente que tiene el municipio, la impermeabilización del terreno y el aumento de asentamientos humanos no planeados propician el incremento del riesgo a posibles inundaciones, así como debido al taponeo del sistema de alcantarillado por el arrastre de basura y demás desechos y la falta de este servicio.

De aquí que el objetivo de este trabajo sea el de generar una propuesta de gestión de drenaje pluvial alternativo enfocado en infiltrar el agua de lluvia al suelo desde el lugar donde se recibe, las viviendas, y con ello reducir los escurrimientos superficiales en las calles y avenidas de Xalapa.

5.4.1 Programas en los que participa Xalapa

Entre las medidas tomadas por las autoridades del municipio para reducir o mitigar algunas problemáticas ambientales que tienen impacto directo en las actividades humanas, es la creación de políticas públicas o participación en programas federales o internacionales.

Actualmente, Xalapa participa:

- en el ámbito internacional, en la Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES), auspiciado por el Banco Interamericano de Desarrollo, que consiste en brindar asistencia técnica a ciudades intermedias de América Latina y el Caribe en la identificación, priorización y estructuración para mejorar su sostenibilidad ambiental, urbana y fiscal (BID, 2015);
- en el ámbito Federal, en el Programa Nacional contra la Sequía (PRONACOSE) que consiste en elaborar los programas de medidas para prevenir y enfrentar la sequía y la ejecución de acciones para mitigar sequías existentes (CONAGUA, 2015).

En ambos programas, participan organismos de gobierno, instituciones, que incluye a universidades públicas (incluidas la Universidad Veracruzana), centros de investigación y, además de especialistas nacionales e internacionales en la materia.

6.5 Características de las colonias

Las colonias de estudio se encuentran ubicadas, en la zona centro de la ciudad: la colonia Progreso Macuiltépetl y la colonia Héroe Ferrocarileros y en la zona noreste la colonia Carolino Anaya (Figura 10).

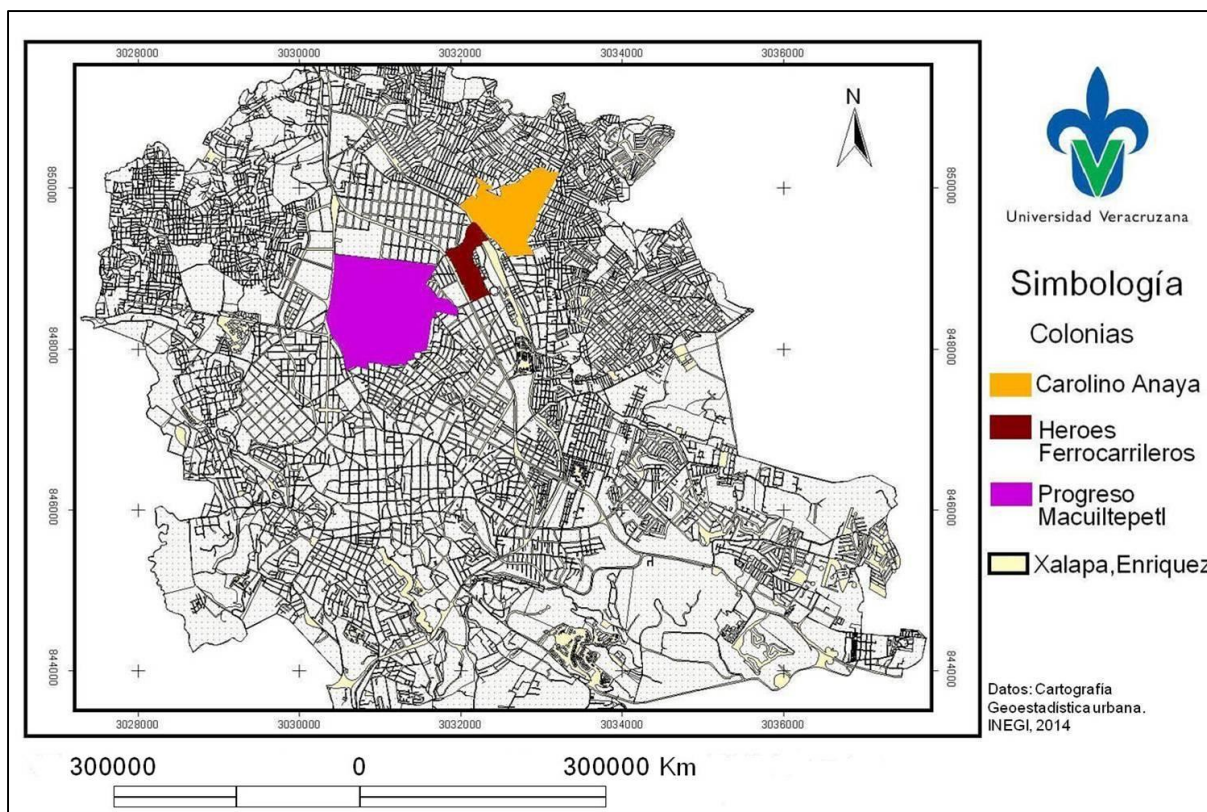


Figura 10. Ubicación del área de estudio: Colonias Carolino A., H. Ferrocarrileros y Progreso Macuiltépetl.

6.5.1 Colonia Progreso Macuiltépetl

Esta colonia cuenta con 11,665 viviendas habitadas en promedio por 3.5 personas; en la Tabla 6 se presenta alguna información de esta colonia.

Tabla 6. Número de población y viviendas en la colonia Progreso Macuiltépetl. Fuente: INEGI, 2014a.

Indicador	Habitantes
Población total	39,137
Población masculina	17,703
Población femenina	21,434
Total viviendas habitadas	11,665
Habitantes por vivienda	3.4

En cuanto a demás infraestructura, esta colonia cuenta con un parque ecológico, centros educativos de los niveles de kínder, primaria y secundaria; en la Tabla 7 se presenta la infraestructura observada durante los recorridos de identificación y conocimiento del área de estudio.

Tabla 7. Infraestructura presente por colonias.

Col. Carolino A.	Col. Héroes F.	Col. Progreso M.
1 secundaria		1 secundaria
2 primarias	2 primaria	1 primaria
1 kínder	2 kínder	2 kínder
Zonas residenciales	Zonas residenciales	Zonas residenciales
Área verde	2 áreas recreativas	1 parque ecológico
4 iglesias	3 iglesias	5 iglesias

6.5.2 Colonia Héroes Ferrocarrileros

Cuenta con características urbanas, con presencia de una unidad habitacional; se observaron algunas calles sin pavimentar (engravadas) así como una mayor presencia de calles pavimentadas con guarniciones y banquetas y servicios públicos básicos. En lo que concierne a población y vivienda, en la tabla 8 se muestran los indicadores.

Tabla 8. Número de población y viviendas en la colonia Héroes Ferrocarrileros. Fuente: INEGI, 201a.

Variable	Habitantes
Población total	28,021
Población masculina	13,037
Población femenina	14,984
Total viviendas habitadas	7,645
Habitantes por vivienda	3.6

6.5.3 Colonia Carolino Anaya

Presenta características suburbanas, con la presencia de calles pavimentadas, guarniciones y banquetas y una gran cantidad de calles de terracería. La zona cuenta con centros educativos de los niveles de kínder, primaria y secundaria, áreas verdes fraccionadas en los linderos con la estación ferrocarrilera.

Esta colonia cuenta con una población total de 31,596 habitantes (Tabla 9).

Tabla 9. Número de población y viviendas en la colonia Carolino Anaya. Fuente: INEGI, 2014a.

Variable	Habitantes
Población total	31,596
Población masculina	15,084
Población femenina	16,512
Total viviendas habitadas	8,064
Habitantes por vivienda	3.9

VII. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

Para llevar a cabo la realización de la propuesta de gestión de incluir el uso de sistemas que permitan optimizar el aprovechamiento y manejo del agua de lluvia dentro del marco de la sustentabilidad, se requiere en gran medida de realizar diagnósticos en temas de conocimiento, interés y participación social; evaluaciones técnicas que permitan determinar las estrategias a utilizar, evaluar su funcionamiento y realizar la gestión para implementar las estrategias.

Es importante mencionar que, por la naturaleza de este trabajo, no se realizó el estudio de mercado.

En los anexos 1 y 2 se presentan los diagramas de flujo del proceso de gestión para la determinación de la factibilidad de construcción de pozos de infiltración superficial en viviendas y para la presentación de propuestas en el sector público en relación a la inclusión de pozos de infiltración superficial en viviendas como sistemas de drenaje pluvial.

7.1 Determinación del análisis de la factibilidad

Para la determinación de la factibilidad se realizó un análisis de los aspectos sociales, técnicos, económicos, y ambientales.

7.1.1 Diagnóstico social

Con la finalidad de obtener un diagnóstico sobre la percepción y el interés social en temas relacionados al manejo del agua pluvial se llevó a cabo una encuesta; para ello se elaboró un cuestionario a partir del cual está basada dicha encuesta; éste sirvió como instrumento con el que se recolectó información, sobre la disposición de implementar estrategias alternativas para el manejo del agua pluvial, de una muestra de la población (Sampieri *et al.*, 2008). La finalidad de lo anterior fue identificar una tendencia en los conocimientos, actitudes y prácticas de la población sobre problemáticas del agua, así como el interés de inversión en este tipo de infraestructura.

La encuesta se basó en siete preguntas inquiriendo aspectos como caracterización social (colonia, edad, sexo, escolaridad), identificación de problemáticas del agua (inundaciones, desabasto, contaminación), presencia de servicio de drenaje municipal y hábitos de aprovechamiento del agua pluvial, así como del conocimiento de sistemas de aprovechamiento y/o manejo del agua pluvial e interés de invertir para implementarlos en sus viviendas; se planteó una pregunta sobre el tamaño aproximado del área de las azoteas de la viviendas con la

finalidad de tener una estimación de ésta, ya que es importante en el diseño de los pozos de infiltración superficial (Anexo 3).

Este cuestionario se aplicó en 3 colonias de Xalapa, ubicadas dentro de la zona geotécnica I con características de suelo firme, conformados por rocas y gravas arenosas duras (Hernández, 2007). Las colonias fueron: Carolino Anaya, Progreso Macuiltépetl y Héroes Ferrocarrileros.

La población objetivo fue la que contaba entre 25 y 55 años de edad, por considerarse una población con capacidad de decisión y adquisitiva en cuanto a economía del hogar se refiere.

La fórmula para calcular el tamaño de muestra, ya que se desconoce la población total de entre 25 y 55 años, es la siguiente (ec. 1) (Murray y Larry, 2005):

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q}{d^2} \quad \text{ec. 1}$$

en donde,

Z = nivel de confianza,

p = probabilidad de éxito, o proporción esperada

q = probabilidad de fracaso

d = precisión (error máximo admisible en términos de proporción)

Considerando un nivel de confianza del 95%, p= 50%; q = 1-p, y una precisión d= 5%, se obtuvo el número de encuestados que fue de 384 repartidos equitativamente en las 3 colonias y se realizó de manera aleatoria (Murray y Larry, 2005).

Después de obtener los datos, se utilizó el software MS Excel 2010 para llevar a cabo el vaciado y análisis de la información, donde primeramente se construyó una base de datos de las preguntas y respuestas, para obtener porcentajes y gráficos de los siguientes rubros:

Caracterización social.

Identificación de problemas en relación con el agua.

Conocimiento e interés de los sistemas de aprovechamiento del agua de lluvia.

7.1.2 Diagnóstico técnico

Especificaciones técnicas

Las obras de infiltración de agua, en este caso los pozos de infiltración superficial, deben ser parte de un régimen sustentable de drenaje pluvial, con las que se pretenden reducir los encharcamientos e inundaciones.

En México, los criterios normativos en materia de infiltración de agua establecidos por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) son:

- Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2007, Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada.
- Norma Oficial Mexicana NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos. Características y especificaciones de las obras y del agua.

Para efecto de este proyecto, la norma aplicable es la NOM-015-CONAGUA-2007, en la que se describen las características de los proyectos que estarán sujetos a dicha norma:

Es aplicable en todo el territorio nacional a las personas que ejecuten obras o actividades para la infiltración mediante disposición de aguas pluviales y escurrimientos superficiales al suelo y subsuelo en obras o conjunto de obras que tengan una capacidad mayor a 60 litros por segundo.

Cabe destacar que las obras con capacidad de infiltración menor a 60 litros por segundo no estarán sujetas a dicha norma, sin embargo, se recomienda seguir recomendaciones de ubicación, diseño, operación y mantenimiento.

En cuanto a la ubicación, se recomiendan las características:

- Tipo de suelo andosol y regosol con características permeables ya que son sumamente aptos para proyectos de recarga a través de lagunas o pozos de infiltración;
- Características geotécnicas de suelo estable o firme, con poca variabilidad en su estructura.

Para el caso de Xalapa, con base a los estudios realizados por Hernández (2007) y Torres y colaboradores (2009), estas características se encuentran en los alrededores del Cerro de Macuiltépetl.

- La calidad del agua de lluvia a infiltrar, Contreras y Solano (2011), realizaron la caracterización del agua de lluvia en la ciudad de Xalapa, Ver., definiendo que el agua pluvial es apta para su uso doméstico ya que cumple satisfactoriamente con lo planteado por la NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", por lo que se considera dentro de los límites establecidos en la NOM-015-CONAGUA-2007.

Pese a esto, se debe considerar tomar medidas para que no experimente cambios considerables en su calidad como mantener el área de captación pluvial limpia de residuos o líquidos y la zona por donde transite el escurrimiento superficial.

Los pozos de infiltración superficial para viviendas suelen ser de tamaños variados; ya que suelen estar en función de la velocidad de infiltración de agua en el suelo, el flujo o gasto generado por un evento de lluvia en particular y, de la superficie de captación que influye en la cantidad del flujo.

En función de esto, las actividades realizadas para la construcción de prototipos fueron:

- Evaluación de la infiltración de agua.
- Determinación de la lluvia de diseño y el gasto máximo.
- Obtención del dimensionamiento de los pozos.
- Diseño e instalación de prototipos.

A continuación se describe con mayor detalle cómo se determinó cada uno de estas variables.

Evaluación de la infiltración de agua

Con el propósito de definir las características de las zonas aptas para la construcción de los pozos de infiltración superficial se realizaron muestreos de la velocidad de infiltración de agua en el suelo en cada una de las colonias mencionadas anteriormente.

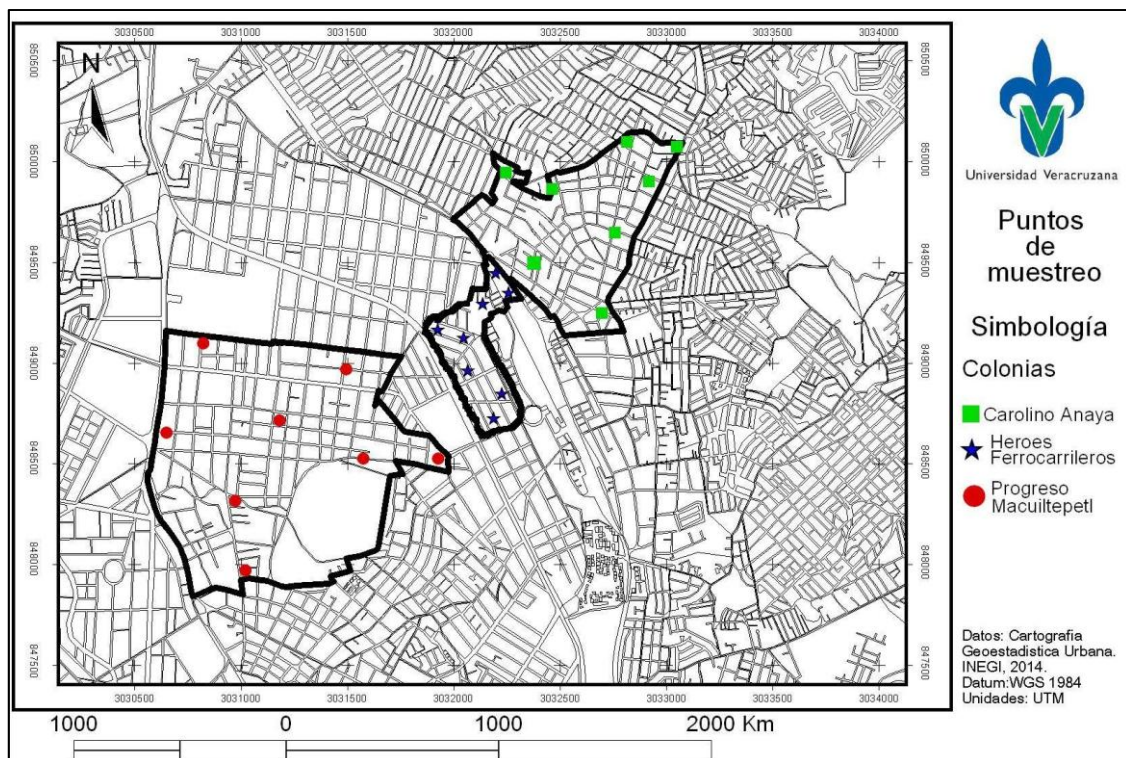


Figura 10. Ubicación de puntos de muestreo de infiltración.

Como estrategia para diferenciar unidades o áreas relativamente homogéneas en función de las rocas y el suelo se tomaron como base las características geotécnicas del suelo (Tricart y Killian, 1982; Tricart y KiewietdeJonge, 1992; Hernández, 2007); para la identificación de zonas homogéneas a partir de la velocidad de infiltración del suelo, se realizaron 8 muestreos por colonia, distribuidos al azar; los puntos de muestreo se presentan en la Figura 10.

La velocidad de infiltración en el suelo se determinó empleando el método Porchet o pozo de nivel variable; consiste en un agujero cilíndrico, excavado en tierra, de radio 15 a 20 cm y profundidad constante de 30 cm, en el cual se mide el descenso del nivel del agua dentro del pozo a través del tiempo.

Una vez alcanzada la saturación del terreno adyacente al pozo, la velocidad de infiltración será casi constante. Bajo estas condiciones, suponiendo la conductividad hidráulica constante y aplicando la ley de Darcy, la infiltración total (Q) será igual a (Imbe *et al.*, 1995; MINVU Y PUC, 1996):

$$Q = A \cdot K_{if} \frac{dE}{dz} \quad \text{ec. 2}$$

si se considera que el flujo que ingresa al suelo por el fondo y las paredes escurre con gradiente hidráulico unitario, la expresión queda reducida a:

$$Q = A \cdot K_{if} \quad \text{ec. 3}$$

Como el agua se infiltra tanto por las paredes como por el fondo del pozo, el área total de infiltración en un instante cualquiera t_i es:

$$A(t_i) = 2 \pi R H(t_i) + \pi R^2 \quad \text{ec. 4}$$

donde A es la superficie sobre la cual se infiltra el agua en el suelo en el tiempo t_i , R es el radio del pozo y H es el nivel del agua en el pozo en el tiempo t_i y el caudal se expresa entonces por:

$$Q(t_i) = 2 K_{if} \pi R \left[H(t_i) + \frac{R}{2} \right] \quad \text{ec. 5}$$

Por otro lado, si durante el intervalo de tiempo dt el nivel de agua desciende una altura dH , la cantidad de agua infiltrada en el suelo es igual a:

$$Q(t_i) = -\pi R^2 \frac{dH}{dt} \quad \text{ec. 6}$$

que integrando entre los límites H_1 y H_2 , igualando con la ec. 4 y despejando la velocidad de infiltración K_{if} se obtiene:

$$K_{if} = \frac{R}{2(t_1 - t_2)} \operatorname{Ln} \left(\frac{2H_1 + R}{2H_2 + R} \right) \quad \text{ec. 7}$$

donde R es el radio del pozo (mm), H_1 y H_2 son las alturas (mm) de agua medidos en los instantes t_1 y t_2 (hr) respectivamente.

El periodo de retorno, la intensidad de la lluvia de diseño y el gasto máximo

En lo que respecta al periodo de retorno, este se tomó del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, en el que se asignan valores en función del uso del suelo del área donde se implementara los pozos (CONAGUA, 2011).

Considerando las características de las colonias en las que se realizó este trabajo, se tomó el periodo de retorno de 1.5 años, por tratarse de Vialidad local – avenidas y calles cuya importancia no traspasa la zona servida (Tabla 1).

Pereyra-Díaz y colaboradores (2005), adaptaron la ecuación general, propuesta por Chen en 1983, al comportamiento de la precipitación de Xalapa, Ver. (ec. 8), por lo que para determinar la intensidad de un evento de lluvia (R) en cualquier periodo de retorno está dada por la siguiente ecuación:

$$R_t^T = \frac{2257.5 \log(10^{(0.72)T^{(0.28)}})}{(t + 9.9)^{0.82}} \quad \text{ec. 8}$$

Don de R_t^T es la intensidad promedio de la lluvia para cualquier duración t (minutos) y período de retorno T (años).

Para obtener la intensidad de la precipitación se utilizaron los registros de precipitación correspondientes al periodo 1930-2011 del observatorio meteorológico de la ciudad de Xalapa, Veracruz del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Se seleccionaron las precipitaciones máximas diarias de este periodo, ya que estas son las que generan fuertes escurrimientos en las calles, e inundaciones en algunas partes bajas de la ciudad.

Una vez obtenida la intensidad, con el área de captación promedio, que es el de las azoteas de las viviendas y el coeficiente de escurrimiento de éstas, por lo general están construidas de

concreto (Tabla 10) se calculó el gasto máximo de agua que fluirá a través de la azotea hacia el pozo (ec. 9):

$$Q_M = 0.2778 C_e I A_c \quad \text{ec. 9}$$

Donde Q_M es el gasto máximo (m^3/s), C_e es el coeficiente de escurrimiento y A_c es el área de captación (área de la azotea) en km^2 (CIDECALLI, 2007).

Tabla 10. Coeficientes de escurrimiento (C_e) de los diferentes materiales en el área de captación (CIDECALLI, 2007)

Tipo de Captación	C_e
Cubiertas superficiales	
Concreto	0.6 - 0.8
Pavimento	0.5 - 0.6
Geomembrana de PVC	0.85 - 0.90
Azotea	
Azulejos, teja	0.8-0.9
Hojas de metal acanaladas	0.7-0.9
Orgánicos (hojas con barro)	< 0.2
Captación en tierra	
Suelo con pendientes menores al 10%	0.0-0.3
Superficies naturales rocosas	0.2-0.5

El coeficiente de escurrimiento del concreto y azoteas para un periodo de retorno de 1.5 años, es de 0.75 (Campos-Aranda, 2010).

Volumen de pozos de infiltración superficial

Las dimensiones de los pozos fueron calculadas con la ecuación de continuidad (ec. 10), donde la velocidad de infiltración corresponde a la velocidad de paso del agua por el fondo del pozo y la sección de las paredes (Martínez *et al.*, 2012).

$$Q_M = K_{if} A \quad \text{ec. 10}$$

Donde Q_M es el gasto máximo (m^3/s), K_{if} es la velocidad de infiltración (m/d) y A es el área en planta de la obra de infiltración (m^2).

El área en planta de la obra está dada por:

$$A = Q_M / K_{if} \quad \text{ec. 11}$$

Este dato permitió calcular las dimensiones mínimas de los pozos a diseñar para implementarlos en las viviendas; representa el área de contacto que tendrá el agua (paredes y el fondo).

Si se consideró que el pozo en forma de cubo de arista L (m), el área A está dada por:

$$A= 5L^2 \quad \text{ec. 12}$$

Donde la longitud L se calculó como:

$$L= (A/5)^{1/2} \quad \text{ec. 13}$$

Y el volumen V (m³) mínimo del pozo se obtuvo:

$$V= L^3 \quad \text{ec. 14}$$

Otra ecuación para calcular el volumen en función de la velocidad de infiltración (K_{if}) tomando como referencia las ecuaciones 11-14 es:

$$V= (720,000 Q_M/K_{if})^{3/2} \quad \text{ec. 15}$$

Diseño e instalación de prototipos: participación del sector privado y el sector social

Como parte de las actividades de gestión, en el sector privado, con la constructora “MEXMI” se llevaron a cabo:

- Una reunión informativa, en la que se presentó el proyecto con la finalidad de contar con su colaboración.
- Dos reuniones informativas y de difusión de estrategias para minimizar el impacto de la urbanización en la capacidad de infiltración del suelo, a nivel vivienda.
- Una reunión con la finalidad de establecer acuerdos para crear el diseño de los pozos de infiltración superficial.

En lo que respecta al sector social, para estimular el interés a participar en la instalación de prototipos en las colonias, se llevaron a cabo 4 pláticas informativas y de divulgación a los habitantes de 8 manzanas de cada colonia (donde se realizaron los muestreos de infiltración):

- Una plática informativa, en la que se presentó el proyecto con la intención de darlo a conocer y se informó sobre la importancia del manejo y uso del agua pluvial.
- Dos pláticas de divulgación, en temas de estrategias manejo de agua de lluvia y los beneficios de utilizar pozos de infiltración superficial a nivel vivienda como sistemas de drenaje alternativos.

- Una plática sobre “pozos de infiltración”, su diseño, materiales y de presentación del presupuesto de inversión considerando costos de materiales y de construcción.

Seguimiento del funcionamiento de los prototipos

Una vez instalados los prototipos en las viviendas se dio seguimiento, durante un año, al funcionamiento y mantenimiento de los pozos de infiltración, a través de la participación de las personas de las viviendas. Para ello se les hizo entrega de un formato (Anexo 4) donde anotaron las observaciones de las condiciones de los pozos de infiltración durante eventos de lluvia:

- Húmedo
- Muy húmedo
- Brota agua
- Escurre agua con tierra

Esta información se comparó con los datos diarios de lluvia emitidos por la CONAGUA y se relacionó con el funcionamiento de los pozos de infiltración.

También, se realizaron anotaciones de las condiciones de limpieza de su azotea, tubería de desagüe y comentarios generales.

La información anotada por las personas se recabó realizando visitas periódicas a las viviendas distribuidas de la manera siguiente:

Se realizó una visita cada mes durante los primeros 7 meses de instalados los prototipos, con la finalidad de obtener la información anotada por las personas y realizar observaciones y recomendaciones de las condiciones de limpieza de la azotea, de las rejillas de la tubería y del césped y dar seguimiento a estas actividades.

Se abandonaron las visitas de manera fortuita los siguientes 2 meses, con la intención de que las personas continuaran realizando las actividades de mantenimiento de los pozos de infiltración para preservar su funcionamiento.

Finalmente se retomaron las visitas los 3 meses restantes, con el propósito de recabar la información y verificar que las personas continúan realizando las actividades recomendadas.

Con la información obtenida se llevó a cabo la evaluación de los pozos de infiltración, la cual consistió en verificar el funcionamiento de los pozos prototipo durante la época de lluvias, realizar las adaptaciones y correcciones necesarias durante la sequía y volver a verificar su funcionamiento durante el restablecimiento de las lluvias.

7.1.3 Diagnóstico económico: determinación de costos

Para establecer el costo unitario de la construcción de los pozos de infiltración, se llevó a cabo una reunión con personal de la constructora “MEXMI” con la finalidad acordar la realización del presupuesto basado en:

- Salario de trabajadores
- Herramientas
- Materiales

7.1.4 Identificación de impactos ambientales

Para realizar la identificación de los impactos ambientales que se pueden generar o mitigar a partir de la construcción de los pozos de infiltración superficial en viviendas como sistema de drenaje pluvial alternativo, se analizó la información recabada de los formatos de seguimiento de las observaciones realizadas durante las visitas sobre el estado y actividades de manteniendo de los pozos de infiltración.

7.1.5 Ficha técnica para el análisis de la factibilidad

Una vez realizados los diagnósticos de las componentes social, técnica, económica y ambiental, se elaboró una ficha técnica para elaborar un análisis de dichos diagnósticos e identificar factores considerados prioritarios en cada una de las componentes diagnosticadas (social, técnica, económica y ambiental), para determinar si el proyecto es viable en cada una de ellas (Anexo).

A cada factor considerado prioritario se le asignó un valor de 0 a 4, tomando como referencia la metodología propuesta por Pacheco y colaboradores (2011), de acuerdo con la tabla 11, y se realizó la suma para obtener el puntaje total de cada componente.

Tabla 11. Valoración de los Factores. Fuente: Elaboración propia.

DESCRIPCIÓN	Valor
Si el factor no se cumple	0
Si el factor se cumple escasamente	1
Si el factor se cumple medianamente	3
Si el factor se cumple	4

Los puntajes totales obtenidos en cada componente diagnosticada, se relacionaron con los puntajes óptimos para determinar la ponderación total del proyecto tomando como base la ponderación óptima con las ecuaciones el porcentaje de viabilidad con las ecuaciones 16 y 17 (Pacheco *et al.*, 2011).

$$\text{Ponderación óptima} = 100 * \frac{\text{Puntaje óptimo de cada componente}}{\text{Puntaje total óptimo}} \quad \text{ec. 16}$$

$$\text{Ponderación obtenida} = 100 * \frac{\text{Puntaje obtenida de cada componente}}{\text{Puntaje total óptimo}} \quad \text{ec. 17}$$

Para obtener la viabilidad social, técnica, económica y ambiental se empleó la ecuación 18:

$$\text{Porcentaje de viabilidad} = 100 * \frac{\text{Porcentaje obtenido}}{\text{Porcentaje óptimo}} \quad \text{ec. 18}$$

Para la interpretación de la factibilidad de este proyecto se utilizaron los siguientes criterios, propuestos por Pacheco y colaboradores (2011) (Tabla 12):

Viable: el proyecto cumple con las características de factibilidad, se puede ejecutar y obtener el impacto previsto, es decir cuando sus 4 componentes y la ponderación total presentan porcentajes mayores al valor 66 %.

Medianamente viable: se debe tomar ciertas medidas correctivas para que el proyecto pueda ser ejecutado en un futuro, es decir está evaluado con una ponderación total entre el 34% al 66% o sólo tres de sus componentes cuentan con porcentajes de viabilidad por arriba de 66%.

No viable: el proyecto no cuenta con las características necesarias para ser factible, es decir que está evaluado con una ponderación total menor al 34%.

Tabla 12. Factibilidad de los proyectos (Fuente: elaboración propia)

FACTIBILIDAD	%
Viable	67 – 100%
Medianamente viable	34 – 66%
No viable	0 – 33%

7.2 Propuestas al sector público

Los pozos de infiltración superficial como estrategias de drenaje de agua pluvial permiten, por un lado, incrementar la cantidad de agua infiltrada en el suelo favoreciendo la recarga de cuerpos de agua subterráneos; y por otro, que ayuden a mitigar los impactos producidos por el incremento de flujos de agua superficiales en zonas urbanas como encharcamientos, inundaciones o asolvamiento en zonas bajas.

Con base en lo anterior, se realizó la propuesta para que sean incluidos como recomendaciones de acciones a realizar dentro del Programa Federal de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS): Zona conurbada Xalapa, del Programa Nacional contra

la Sequía (PRONACOSE) y de la actualización del Reglamento de Desarrollo Urbano de Xalapa, en el tema de aprovechamiento del agua pluvial en viviendas.

7.4.1 Propuesta al “Programa de Medidas de Prevención y Mitigación contra la Sequía: Zona conurbada Xalapa”

Para presentar la propuesta de inclusión de estrategias de manejo de agua pluvial en el PMPMS Zona conurbada Xalapa” se realizaron las siguientes actividades:

Se estableció contacto y se acordó una reunión con el Gerente Operativo de Fomento a los Consejos de Cuenca de la Región Golfo Centro, A. C., y se obtuvo información sobre la elaboración de los PMPMS y las propuestas de acciones a realizar.

Una reunión con el Coordinador de Análisis y Elaboración de los PMPMS con la finalidad de dar a conocer las propuestas y el interés de ser incluidas en el documento “PMPMS: Zona conurbada Xalapa”.

Se estableció un acuerdo de colaboración para la creación de estrategias encaminadas a incrementar el manejo y aprovechamiento del agua pluvial.

Se llevaron a cabo reuniones con el grupo de trabajo a cargo de la elaboración del PMPMS: Zona conurbada Xalapa para la elaboración de propuestas y avances del documento.

La presentación de propuestas de manejo de agua pluvial en la Sesión del Consejo de Cuenca de los Ríos Tuxpan al Jamapa para ser avaladas e incluidas en el documento “Programa de Medidas de Prevención y Mitigación contra la Sequía: Zona conurbada Xalapa”.

7.4.2 Propuesta al Reglamento de Desarrollo Urbano de Xalapa (RDUX)

La actualización del RDUX, llevada a cabo en el marco de la Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles, en la que participa Xalapa, en el tema de sustentabilidad se realiza bajo la coordinación de la Subdirección de Medio Ambiente del H. Ayuntamiento de Xalapa.

Por ello, las actividades realizadas, para la presentación de la “Propuesta de reforma y adición al reglamento de desarrollo urbano del municipio de Xalapa, Ver. que propone a considerar el uso de pozos de infiltración como sistema de drenaje natural a nivel vivienda”, estuvieron dirigidas a las autoridades de esta dependencia; entre esas actividades se realizaron:

Establecer contacto con personal de la Subdirección de Medio Ambiente del H. Ayuntamiento de Xalapa.

Dos reuniones con la Jefa de la Unidad de Desarrollo Sustentable de la Subdirección de Medio Ambiente del H. Ayuntamiento de Xalapa, donde se dio a conocer el proyecto y sus intenciones, y se recibió asesoramiento para la elaboración de la propuesta de reforma y adición al Reglamento de Desarrollo Urbano de Xalapa, en el tema de drenaje de agua pluvial.

Se revisó el de RDUX y normatividad vigente en relación al manejo del agua pluvial (federal, estatal y municipal).

Se presentó, ante la Subdirección de Medio Ambiente del H. Ayuntamiento de Xalapa, la propuesta de reforma y adición al Reglamento de Desarrollo Urbano de Xalapa y las estrategias técnicas para el drenaje de agua pluvial y el interés de que sean incluidas en el RDUX.

VIII. RESULTADOS

La construcción de pozos de infiltración en viviendas es una medida factible para su uso como sistemas de drenaje pluvial alternativo, por lo que las propuestas de gestión enfocadas en la inclusión de normativa de este tipo de infraestructura son prioritarias en la integración de la sustentabilidad en el diseño urbano.

8.1 Estudio de la factibilidad

En cuanto a la factibilidad, ésta se determinó analizando aspectos económico (costos) y técnico (funcionamiento), sin dejar de lado el aspecto social, ya que el interés de la población en invertir económicamente en la instalación de estos sistemas de drenaje pluvial alternativo en sus viviendas es primordial.

8.1.1 Percepción e interés por parte de la sociedad: resultados de la encuesta

De la población encuestada en las tres colonias, el 62 % de ella fueron del sexo femenino. A continuación se presenta el análisis de la información obtenida de la entrevista realizada en cada una de las colonias.

En relación a las problemáticas del agua, el desabasto es un problema que identifican y que padece la población de las tres colonias (Figura 11). A pesar de ello, un 15.9 % de la población encuestada mencionó no tener problemas de desabasto; el 84.1 % restante, mencionó ser afectado por este problema. Siendo las personas de las colonias Carolino Anaya y la Progreso Macuiltépetl las más afectadas.

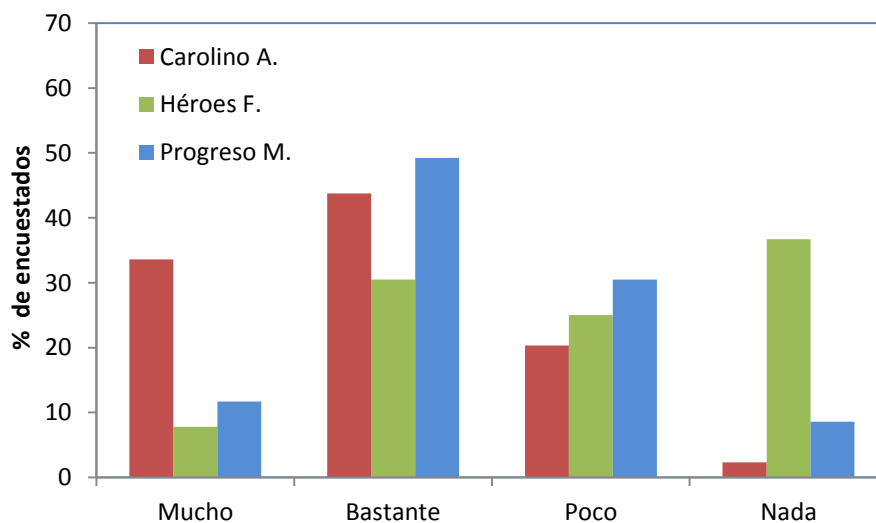


Figura 11. Nivel de afectación del desabasto de agua por colonia.

En relación a las inundaciones, este problema si bien es identificado por toda la población encuestada, el 60.1 % de las personas dicen haber sido afectados por este fenómeno y el 39.9 % restante, mencionó no haber padecido por dicho problema. Las afectaciones por este fenómeno son muy reducidas en las colonias Héroes Ferrocarrileros y Progreso Macuiltépetl; mientras que en la colonia Carolino Anaya afecta en gran medida a la población, donde se presenta de manera frecuente en la época de lluvias (Figura 12).

En lo que respecta a la contaminación del agua, la población encuestada de las tres colonias, no percibe ser afectada por este problema, no obstante, la población relaciona las inundaciones con la contaminación, esto por los comentarios realizados al respecto durante las entrevistas, donde la gran cantidad de basura en las calles que en épocas de lluvia son arrastrados y depositados de manera natural por los escurrimientos de agua, ocasionan taponeos en las alcantarillas reduciendo la eficiencia de los sistemas de desagüe de agua pluvial, y por lo tanto, generando inundaciones de calles en ciertas zonas de sus colonias.

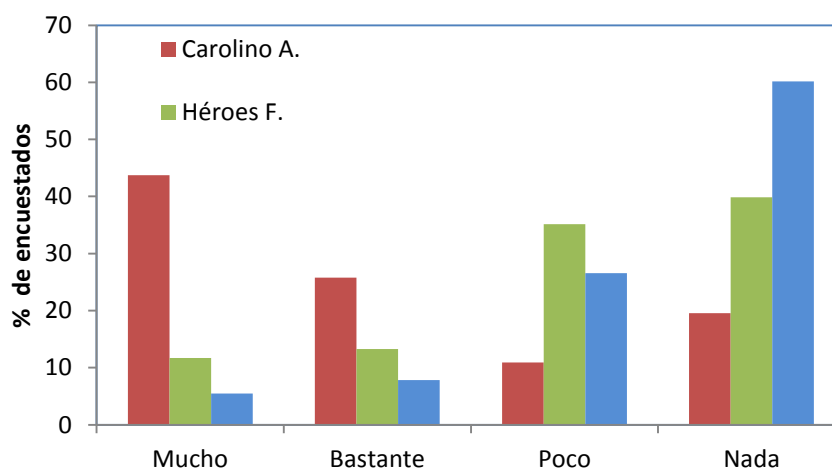


Figura 12. Nivel de afectación de inundaciones de agua por colonia.

El 94 % de la población entrevistada, mencionó contar con sistema de drenaje; el 4 % restante, de las colonias Progreso M., y Carolino A., comentaron sobre el uso de fosas sépticas como sistemas de desagüe; algunos encuestados, de los que mencionaron contar con drenaje puntualizaron que este servicio lo tienen desde hace no más de 5 o 6 años en la colonia Carolino Anaya, y no más de 10 años en algunas zonas de la Col. Progreso M., en ambas colonias, con la ventaja de la presencia de “resumideros” que eran utilizados como sistemas de drenaje.

Referente al manejo del agua pluvial (Figura 13), 59.9 % de las personas encuestadas comentaron que desechan el agua directamente a las calles; el 29.7 % a través del drenaje; el

10.4 % de las personas realizan actividades de almacenamiento u otro uso como lavar los patios cuando se presenta el evento de lluvia.

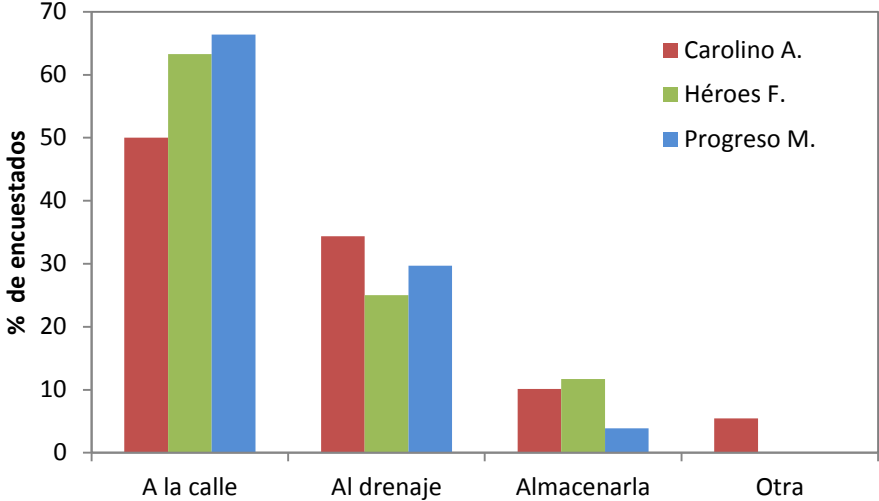


Figura 13. Manejo del agua de lluvia en las viviendas por colonia.

En este sentido, se les mencionó sobre las ventajas de implementar infraestructura para aprovechar y manejar el agua pluvial, a las que el 100 % de los encuestados presentaron interés; y a pesar de estar dispuestos a invertir en la infraestructura, el 73.7 % está dispuesto a que la inversión sea menor o igual a \$1000 y el 26.3 % restante, a que sea mayor de dicha cantidad. Por tal motivo se puede pensar que entre menor sea la cantidad es más atractivo para la población (Figura 14), por lo que es importante crear y proponer estrategias económicas y atractivas que puedan ser implementadas para el beneficio de la población.

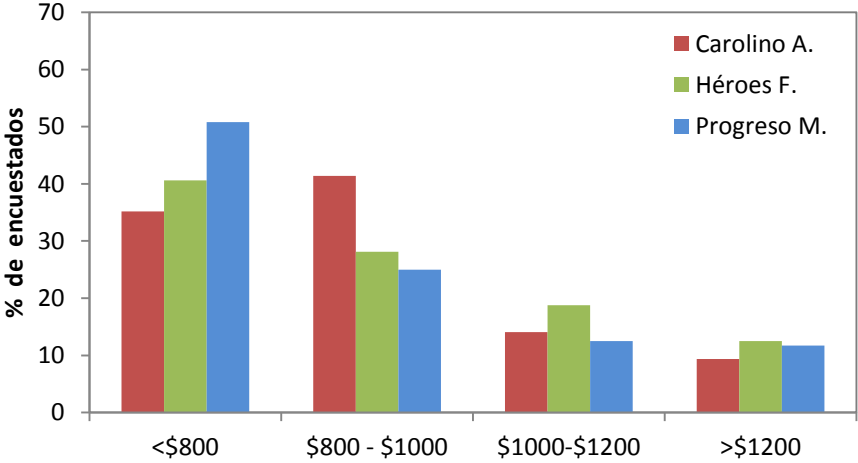


Figura 14. Cantidad a invertir en una estrategia de manejo de agua pluvial.

En cuanto al tamaño del área de las azoteas, en las tres colonias, las dimensiones oscilaron entre 30 y 120 m², sin embargo se hizo mención que, a pesar de contar con un área de azotea

grande, esta está seccionada en superficies de entre 30-35 m². Este dato sirvió como un estimado para determinar las dimensiones de los pozos de infiltración.

8.1.2 Estudio técnico para la construcción de pozos de infiltración superficial “prototipo”

Evaluación de la infiltración en colonias

La capacidad de infiltración se determinó a partir de la realización de 8 muestreos de velocidad de infiltración (K_{if}) en cada colonia mediante el método de Porchet (Figuras 15-17) descrito anteriormente (Imbe *et al.*, 1995; MINVU Y PUC, 1996).

Los muestreos se realizaron en el mes de mayo del 2014 en dos etapas: del día 17 al 19 y del día 21 al 23.

Con las mediciones se pudo ver que el comportamiento de la infiltración fue similar para cada colonia en todos los muestreos; sin embargo, los valores de la velocidad de infiltración variaron considerablemente en las tres colonias.



Figura 15. Medición de infiltración en la colonia Carolino Anaya.



Figura 16. Medición de infiltración en la colonia Héroes Ferrocarrileros.



Figura 17. Medición de infiltración en la colonia Progreso Macuiltépetl.

En el siguiente gráfico se presenta el comportamiento de la velocidad de infiltración máxima para cada una de las colonias (Figura 18).

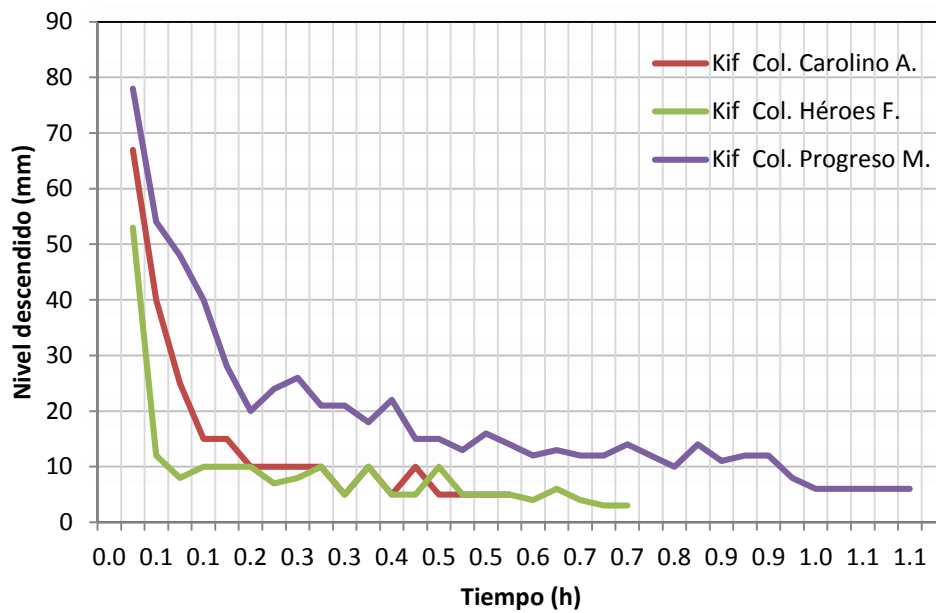


Figura 18. Comparación de la velocidad de infiltración (K_{if}) máxima en el suelo en las colonias de estudio.

En lo que respecta a los valores máximos presentados, estos fueron de 238.6 mm/h en la colonia Progreso Macuiltépetl, de 147.5 mm/h en la colonia Carolino Anaya y de 76.7 mm/h en la colonia Héroes Ferrocarrileros.

En cuanto a los valores mínimos, estos fueron de 137.3 mm/h, 63.1 mm/h y 204.5 mm/h, en las colonias Carolino Anaya, Héroes Ferrocarrileros y Progreso Macuiltépetl, respectivamente.

Con lo que se puede mencionar, en una primera aproximación, que las colonias Carolino A. y Progreso M. cuentan con la propiedad de infiltración en el suelo para la construcción de infraestructura con esos fines.

A continuación se presenta el comportamiento de la velocidad de infiltración mínima estimada en cada una de las colonias (Figura 19).

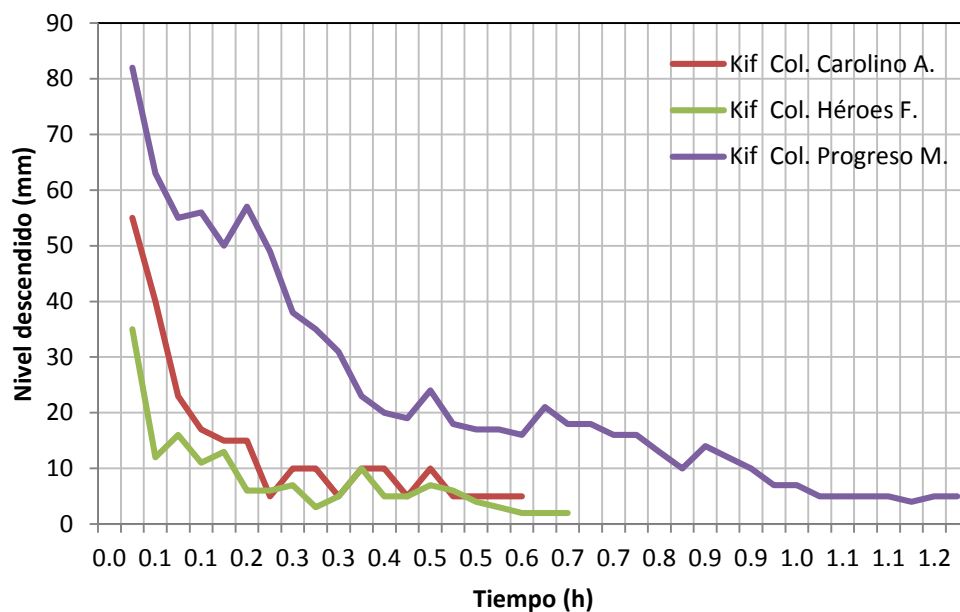


Figura 19. Comparación de la velocidad de infiltración (K_{if}) mínima en el suelo en las colonias de estudio.

La intensidad de la lluvia de diseño y el gasto máximo

Se determinó la intensidad de las lluvias para distintos periodos de retorno (Anexo 5) con la finalidad de identificar la precipitación máxima para el periodo de retorno de 1.5 años.

La lluvia máxima diaria calculada para este periodo de retorno es de 74.1 mm.

Para la estimación del gasto máximo sobre el cual se diseñarán los pozos de infiltración para viviendas se tienen los siguientes datos (Tabla 13):

Tabla 13. Valores de referencia para el estimar el gasto máximo.

Variables	Valor de referencia
Área de la captación (azoteas)	(A) = 0.000030 km ²
Coefficiente de escurrimiento	(C) = 0.75
Intensidad de lluvia	(I) = 71.4 mm/hr
Periodo de Retorno	(T) = 1.5 años

Sustituyendo los datos en la ec. 9 para el cálculo del gasto (Q_M) se tiene que:

$$Q_M = 0.2778 (0.75) (71.4 \text{ mm/hr}) (0.00003 \text{ km}^2)$$

$$Q_M = 0.00044 \text{ m}^3/\text{s}$$

Volumen de pozos por colonia

Con base en la ec. 15, se realizaron los cálculos para determinar el volumen de los pozos en función de la velocidad de infiltración (K_{if}) y las áreas de captación (A_C) de 30, 40 y 50 m²; esto se presenta en la Tabla 14:

Tabla 14. Dimensiones mínimas requeridas para los pozos de infiltración.

K_{if} (mm/hr)	Volumen (m ³) (Ac= 30 m ²)	Volumen (m ³) (Ac= 40 m ²)	Volumen (m ³) (Ac= 50 m ²)
60	11.085	19.081	26.462
70	8.732	15.142	20.999
80	7.098	12.393	17.187
90	5.911	10.386	14.404
100	5.016	8.868	12.298
110	4.322	7.687	10.660
120	3.772	6.746	9.356
130	3.328	5.983	8.297
140	2.962	5.353	7.424
145	2.803	5.079	7.044
150	2.658	4.827	6.694
160	2.401	4.382	6.077
170	2.182	4.001	5.548
180	1.993	3.672	5.093
190	1.830	3.386	4.696
200	1.687	3.135	4.348
210	1.561	2.914	4.041
220	1.450	2.718	3.769
230	1.351	2.542	3.526
240	1.263	2.385	3.308
250	1.183	2.243	3.111

En lo que concierne al análisis realizado sobre la velocidad de infiltración de agua en las 3 colonias de Xalapa, Ver., se ha encontrado que cada una de las colonias cuenta con características particulares, por lo que las obras deberán adaptarse a dichas condiciones.

En la Tabla 15 se muestran los valores medios de la velocidad de infiltración obtenidos para cada una de las colonias.

Tabla 15. Valores de velocidad de infiltración.

Colonia	K_{if} (X10⁻⁵ m/s)	K_{if} (mm/h)
Carolino Anaya	4.036	145.3
Héroes Ferrocarrileros	1.905	68.8
Progreso Macuiltépetl	6.405	230.6

En la Tabla 16 se presenta los valores del volumen V (ec. 11 y 14) para cada una de las colonias.

Tabla 16. Dimensiones mínimas requeridas para los pozos de infiltración.

Colonia	Volumen (m³)
Carolino Anaya	2.744
Héroes Ferrocarrileros	9.261
Progreso Macuiltépetl	1.331

Diseño y establecimiento de “prototipos”

A través de las pláticas realizadas con el personal de la constructora MEXMI como parte del proyecto de gestión, para la construcción de pozos de infiltración prototipo, se estableció un acuerdo de colaboración en el que la constructora se compromete a apoyar con la creación del diseño de los pozos de infiltración, dar recomendaciones de materiales y diseños con la finalidad de maximizar su funcionamiento, así como dar asesoramiento durante la evaluación del funcionamiento de los prototipos (Anexo 6).

Los pozos estarán diseñados con base al manual de los sistemas urbanos de drenaje sostenible y del manual de agua pluvial, mejores prácticas de manejo y control (Urbonas y Stahre, 1993; Woods-Ballard *et al.*, 2007), considerando las características de las colonias, los materiales disponibles en la zona y los costos de obtención.

Con ello se logró concretar el diseño de los pozos cuya estructura consistió en un pozo relleno de material poroso y en la superficie será cubierta por arenilla o pasto, dependiendo la ubicación y la elección de los propietarios de las viviendas con la intención que no se afecte de manera negativa el diseño visual de las viviendas.

Estos pozos pueden variar en tamaño, pero no en forma. Se concertó que deben medir como mínimo 0.80 m de profundidad y alejados de las paredes una distancia mínima de 20 cm, para que la estructura de cimentación de las viviendas, que es de entre 0.60 y 0.80 m generalmente, no se vean afectadas por la humedad (mencionado por los ingenieros de la constructora); el ancho y largo dependerá de la colonia donde se instalará (en función de la velocidad de

infiltración), así como de las características de las viviendas (área de la azotea). A partir de esta información se realizó el diseño para las colonias; a continuación se presenta el diseño del pozo para la colonia Carolino Anaya.

El diseño (Figura 20) se trata de un pozo relleno con material poroso cuya infraestructura incluye:

- Bajante de tubo de PVC de 4",
- Rejilla para bajante,
- Salida alterna de agua para desechar el exceso, de 2",
- Rejilla para salida alterna,

y el relleno del pozo estará compuesto por capas, del fondo a la superficie, de:

- Arena, 2 cm,
- Rocas medianas, 50 cm.
- Grava, 25 a 30 cm.
- Arenilla.
- Recubrimiento con polietileno
- Capa delgada de tierra.
- Césped.

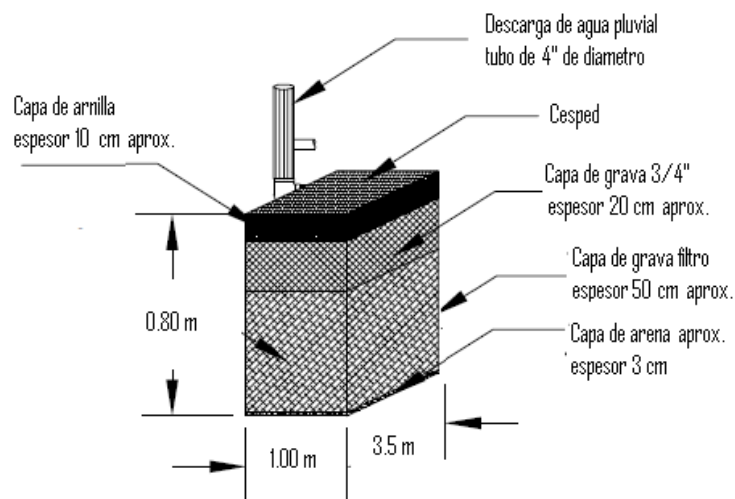


Figura 20. Diseño del pozo de infiltración relleno de material poroso para la Col. Carolino Anaya.

La implementación de los pozos prototipo se realizó del 25 julio al 15 de agosto; para lo cual se realizaron pláticas informativas con las personas que permitieron realizar las pruebas de velocidad de infiltración en patios.

Las pláticas incluyeron temas como:

- Importancia del manejo y uso del agua pluvial
- Divulgación de estrategias para su manejo y uso
- Pozos de infiltración, su diseño, funcionamiento materiales y costos de construcción.

Debido a que el tamaño del pozo en la colonia H. Ferrocarrileros es de una dimensión considerable, no se ha encontrado ninguna persona interesada en invertir en estos sistemas de drenaje de agua pluvial.

Con base a esto se incluyó en las pláticas el tema de los materiales que podrían ser reutilizados para la construcción de los pozos (piedras, grava, arena, padecería de blocks, tabique, sobrantes de alguna construcción) con la finalidad de reducir considerablemente los costos por materiales y, si el tamaño de la excavación no es de gran dimensión, se les hizo mención que podrían realizarlo ellos mismos.

En las otras dos colonias se han instalado 8 prototipos: 4 en la colonia Carolino Anaya y 4 en la colonia Progreso Macuiltépetl.

En la Col. Carolino Anaya el pozo de infiltración se construyó en el frente de la vivienda, con la finalidad de que su diseño final diera una imagen de “jardín”; se realizó la excavación del pozo con dimensiones de 1 m x 3.50 m de largo y ancho, y 0.80 m de profundidad (Figura 21).



Figura 21. Excavación de pozo, Col. Carolino Anaya.

Una vez terminada la excavación, del material extraído, se escogieron las rocas que podrían ser reutilizadas para rellenar el pozo, como parte de las actividades recomendadas por la constructora, para reducir su costo (Figura 22).



Figura 22. Pozo y material extraído, Col. Carolino Anaya.

El relleno del pozo se realizó conforme al diseño (Figura 20) usando material extraído de la excavación y material sobrante que se tenía en la vivienda, se colocó el tubo de descarga de agua y se protegió la pared del pozo y la superficie porosa con polietileno para evitar que la humedad llegue directamente a los cimientos de la construcción e impedir la entrada de agua a través del pozo, y se cubrió completamente con una capa de tierra (Figura 23).



Figura 23. Relleno del pozo con material reutilizado, Col. Carolino Anaya.

Ya cubierto completamente el pozo con una capa de tierra, se determinó el área total del frente de la vivienda para calcular la cantidad de pasto necesario para colocar el “jardín”. Como parte de la colaboración del sector privado en la gestión del proyecto, el pasto fue conseguido y proporcionado por la constructora MEXMI (Figura 24).



Figura 24. Superficie del pozo de infiltración y pasto para el jardín, Col. Carolino Anaya.

Posteriormente, fueron colocados 8 m² de pasto en el frente de la vivienda como cubierta final del pozo de infiltración. Y se colocó un pequeño cerco para evitar que los perros maltrataran el pasto (Figura 24 y 25). Terminado el pozo de infiltración y realizada la entrega a las personas de la vivienda (Figura 26), se hicieron 2 recomendaciones: barrer la azotea para evitar que el bajante de agua se tape, y en eventos de lluvia observar si el agua brota a la superficie del pasto, esta última recomendación para monitorear y llevar un registro del funcionamiento del pozo de infiltración, ya que si el agua emerge de manera excesiva a través del pasto, el funcionamiento del pozo no es adecuado ya que no estaría absorbiendo la cantidad de agua para la que fue diseñado.



Figura 25. Colocación del pasto para jardinera, Col. Carolino Anaya.



Figura 26. Entrega del pozo de infiltración, Col. Carolino Anaya.

Funcionamiento de prototipos

En una primera etapa del seguimiento, se realizaron visitas a las viviendas, una cada mes durante el periodo agosto 2014-marzo 2015, con la finalidad de conocer su funcionamiento en cada una de las viviendas a partir de las observaciones de las personas.

En general, de acuerdo al formato de registro de observaciones realizado por las personas participantes se obtuvo información (Anexo 4), se pudo notar que, durante este periodo, de los 8 prototipos instalados (cuatro en cada colonia), uno ubicado en la colonia Progreso M. emplazado en una jardinera presentó excesivo afloramiento de agua a tal grado de quedar inundado hasta el nivel de las paredes debido a que, por el tamaño de la jardinera, no se pudo hacer el pozo con las dimensiones correspondientes al área de captación (la azotea).

En cuanto a los 7 prototipos restantes, su funcionamiento fue adecuado para lluvias menores a 74 mm, esto tomado de la información anotada por las personas.

Por otro lado, se observaron anotaciones, al igual que se recibieron comentarios de las personas, de que hubo ocasiones en las que el agua escurría o afloraba en exceso de los pozos instalados ya que durante esos días las lluvias fueron muy intensas en toda la ciudad.

Ya que los pozos de infiltración instalados están diseñados para contener e infiltrar cierta cantidad de agua de los eventos de lluvia, se hizo hincapié en la importancia de colocar la salida alterna de agua o desagüe para desechar el exceso y con ello evitar la erosión del suelo, la sobresaturación del suelo y que el césped se pudriera por la gran cantidad de agua. De lo contrario, se tendría que diseñar pozos con mayor dimensión para lluvias más intensas.

En la segunda etapa, periodo abril-mayo 2015, sin aviso alguno a las personas de las viviendas, no se realizaron las visitas programadas.

Por último, se retomaron las visitas mensuales en el periodo junio-agosto 2015 con lo que se recabó la información restante para el análisis del funcionamiento.

Se logró apreciar que las personas continuaron realizando las anotaciones de las características de los pozos de infiltración durante eventos de lluvias, sin embargo disminuyeron las actividades referentes a la limpieza de la azotea y anotación de comentarios generales.

Con base a la información recabada en la tercera etapa se pudo notar que los pozos de infiltración continuaron funcionando de manera adecuada para intensidades de lluvia para la cual fueron diseñados (≤ 74 mm).

8.1.3 Presupuesto de construcción

Para determinar el costo de construcción incluyendo materiales y mano de obra, el personal de la constructora empleó el software OPUS, que es utilizado para la elaboración de presupuestos de obra, en el área de la construcción, basándose en el costo de los materiales, la cantidad del material requerido y el costo de mano de obra en la zona.

El presupuesto de construcción incluyendo materiales y mano de obra es de \$1, 153.38 antes de IVA (Anexo 7).

8.1.4 Impactos ambientales

Por el buen funcionamiento de los pozos de infiltración se podría elucidar sobre posibles impactos ambientales positivos como la reducción de los escurrimientos superficiales en zonas urbanas de Xalapa, disminución de inundaciones y encharcamientos, ya que su uso generalizado reduciría alrededor del 25 % del agua que escurre por las calles de Xalapa (5.7 millones de m³ al año aproximadamente).

La recuperación de áreas verdes urbanas, ya que de las 8 viviendas donde se instalaron los prototipos, sólo dos contaban con jardines. Por lo que de implementarse, de manera generalizada, se incrementarían la vegetación en la ciudad.

En cuanto a impactos negativos se identificó la posible contaminación del suelo y del agua subterránea si el agua vertida en el pozo de absorción contiene residuos sólidos o impurezas, debido a la falta de limpieza de la azotea y la presencia de basura sobre el césped del pozo.

Ya que las personas de las viviendas mencionaron observar un incremento de excretas de perros en el césped (superficie del pozo de infiltración) durante los meses de agosto a noviembre del 2014.

En las primeras visitas también se pudo notar que la superficie de dos pozos de infiltración era utilizada para el almacenamiento de basura entre la que resaltaba la presencia de:

- Ramas de plantas y pasto cortado.
- Bolsas y botellas plásticas.
- Desechos sanitarios.
- Residuos de comida (cascaras de frutas, verduras, grasas, y varios más).
- Latas de alimentos procesados.

Se platicó con las personas al respecto y se les hizo mención de que la finalidad de dichos sistemas es, no sólo ser de drenaje, sino de crear y preservar las áreas verdes en las viviendas.

También se expuso la importancia de mantener limpia tanto su azotea y las rejillas de la tubería de salida de agua, ya que eso pudiera ocasionar que el agua se al mezclarse con una gran cantidad de materia orgánica, aceites y grasas domésticas, heces fecales, y al ingresar al pozo pudiera contaminar el agua subsuperficial y el suelo. Una acción fue colocar una cerca más grande para proteger el área de estos animales, con la cual se pudo reducir considerablemente su presencia.

En el segundo periodo de visitas, se corroboró la aceptación de las actividades recomendadas para el manteniendo de los pozos de infiltración. Sin embargo, dejaron de realizar anotaciones para el seguimiento de estas actividades.

8.1.5 Análisis de la factibilidad para la construcción de pozos de infiltración superficial

Para determinar la factibilidad para la construcción de los pozos de infiltración de agua pluvial se elaboró una ficha técnica donde se analizaron los puntos de cada uno de los diagnósticos realizados y se identificaron los factores sociales, económicos considerados prioritarios para la implementación de pozos de infiltración como sistemas de drenaje pluvial (Anexo 8).

Con base a lo descrito anteriormente se pudieron identificar los siguientes factores, considerados prioritarios, para la viabilidad de implementación de este proyecto, en cada componente analizada (Tabla 17).

Se eligieron 6 factores sociales y técnicos, así como 3 relacionados al costo de inversión y de factores ambientales, con la finalidad de darle mayor peso a la parte técnica y social, por considerarse componentes de mayor importancia para la realización de este proyecto.

Tabla 17. Factores sociales, técnicos, económicos y ambientales para la construcción de pozos de infiltración superficial.

Factores Sociales	Factores técnicos	Factores económicos	Factores ambientales
Personas afectadas por encharcamientos o inundaciones	Tipo de suelo andosol	Monto dispuesto a invertir	Reducción de encharcamientos o inundaciones
Prácticas de manejo de agua pluvial	Característica geotécnica estable		
Nivel de conocimiento de infraestructura de manejo de agua pluvial	Capacidad de infiltración	Costo de construcción	Incremento de áreas verdes urbanas
Participación social	Adaptabilidad		
Interés en el manejo de agua pluvial	Funcionabilidad	Reducción de costos por reutilización de materiales	Grado de reducción de la contaminación de suelo y agua subterránea
Interés de inversión en infraestructura para drenaje pluvial	Reutilización de materiales		

A cada uno de los factores se le asignó un valor de 0 a 4, de acuerdo con la tabla 11. A continuación se presentan los puntajes obtenidos para cada componente diagnosticado (Tablas 18-21):

Tabla 18. Factores de la componente social y su valor.

Componente	Factores	Puntos
Social	Personas afectadas por encharcamientos o inundaciones	3
	Prácticas de manejo de agua pluvial	0
	Nivel de conocimiento de infraestructura de manejo de agua pluvial	1
	Participación social	4
	Interés en el manejo de agua pluvial	4
	Interés de inversión en infraestructura para drenaje pluvial	4
	Total	16

Tabla 19. Factores de la componente Técnica y su valor.

Componente	Factores	Puntos
Técnica	Tipo de suelo	4
	Características geotécnicas	4
	Capacidad de infiltración	3
	Adaptabilidad	3
	Funcionabilidad	3
	Reutilización de materiales	3
	Total	20

Tabla 20. Factores de la componente económica y su valor.

Componente	Factores	Puntos
Económica	Monto dispuesto a invertir	1
	Costo de construcción	4
	Reducción de costos por reutilización de materiales	4
Total		9

Tabla 21. Factores de la componente ambiental y su valor.

Componente	Factores	Puntos
Ambientales	Reducción de encharcamientos o inundaciones	4
	Incremento de áreas verdes urbanas	4
	Grado de reducción de la contaminación de suelo y agua subterránea	3
Total		11

La ponderación óptima se determinó con la ecuación 16; la ponderación obtenida para el proyecto se estableció con la ecuación 17 y el porcentaje de viabilidad para cada componente se obtuvo con la ecuación 18.

A continuación se presentan, en la tabla 22, dichos valores de ponderación y viabilidad.

Tabla 22. Puntaje y ponderación óptima, puntaje y ponderación obtenida y porcentaje de viabilidad para las componentes social, técnica, económica y ambiental.

Componente	Puntaje óptimo	Ponderación Óptima (%)	Puntaje obtenido	Ponderación Obtenida (%)	% de Viabilidad
Social	24	33.33	16	22.22	66.67
Técnica	24	33.33	20	27.78	83.33
Económica	12	16.67	9	12.50	75.00
Ambiental	12	16.67	11	15.28	91.67
Total	72	100	56	77.78	

Los porcentajes de viabilidad obtenidos para cada diagnóstico realizado muestran que el proyecto cuenta con viabilidad social, técnica, económica y ambiental, al presentar valores por arriba del 66 %, tomando como referencia los valores de la tabla 12.

En lo que concierne a la ponderación total obtenida para el proyecto, esta tuvo un valor de 77.78 %, por lo que se puede considerar que el proyecto es viable en todo su conjunto, para áreas con las características técnicas similares a las colonias Carolino Anaya y Progreso Macuiltépetl.

Por otro lado, se determinó la factibilidad en zonas donde el suelo presenta características medianamente estables, tomando como referencia los mismos valores obtenidos en las componentes social, económica y ambiental, y asignando valores más bajos a la componente técnica (Anexo 9).

Con ello se observó que la factibilidad en esa zona es de medianamente viable, ya que la parte técnica presenta un porcentaje de viabilidad por debajo del 66% (58.33%).

En cuanto a la factibilidad de este proyecto en zonas donde el suelo presenta características blandas y muy blandas se considera como no viable.

Por otra parte, es importante mencionar que actualmente las autoridades municipales y federales cuentan con el interés de fomentar, elaborar y ejecutar acciones para el uso y manejo racional y sustentable del agua.

8.2 Propuesta al Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS): Zona conurbada Xalapa.

En la reunión con el Gerente Operativo de Fomento a los Consejos de Cuenca de la Región Golfo Centro, A. C., se platicó del proyecto en el que se está trabajando y se expresó el interés por participar en la definición de acciones o estrategias que permitieran, por un lado mitigar los eventos de sequía, y por otro, reducir las afectaciones por el incremento de flujos superficiales, encharcamientos e inundaciones en zonas urbanas, y que estas fueran incluidas en el Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS): Zona conurbada Xalapa.

Entre los comentarios sobre las problemáticas planeadas, en relación al incremento de los flujos de agua superficiales debido a las lluvias y a la impermeabilización del suelo (construcción de casas, pavimento), el Gerente Operativo comentó que esa problemática, muy marcada en zonas urbanas, se está presentando ya en las zonas rurales con el incremento de la construcción de viviendas, la disminución de la cobertura arbórea y la ampliación de caminos.

Remarcó de la importancia de darle un manejo al agua de lluvia y recomendó contactar al coordinador del análisis y elaboración de los PMPMS a nivel de consejos de cuenca:

- Ríos Tuxpan al Jamapa
- Río Papaloapan
- Río Coatzacoalcos

Y a nivel urbano:

- Zona conurbada Veracruz

- Zona conurbada Xalapa

En la plática con el coordinador en la elaboración del PMPMS: Zona conurbada Xalapa, se dio a conocer las propuestas de manejo del agua pluvial y el interés de ser incluidas en el documento “PMPMS: Zona conurbada Xalapa” como acciones o estrategias de mitigación.

Por otro lado, se acordó la colaboración en la elaboración del “PMPMS: Zona conurbada Xalapa” durante el periodo noviembre-diciembre 2014 y la presentación de sus avances en la sesión del Consejo de Cuenca de los Ríos Tuxpan al Jamapa (Anexo 10).

Para ello, se participó en 4 reuniones con el grupo de trabajo a cargo de la elaboración del PMPMS: Zona conurbada Xalapa, la primera para conocer los objetivos de los programas y sus generalidades.

En las tres restantes se trabajó en el contexto de la zona conurbada, la identificación de problemas referentes al agua y las estrategias para reducir las problemáticas a mediano y largo plazo.

Los avances del programa fueron presentados, en el mes de noviembre, en la sesión del Consejo de Cuenca Ríos Tuxpan al Jamapa para ser avalados e incluidos en el documento “Programa de Medidas de Prevención y Mitigación contra la Sequía: Zona conurbada Xalapa” (Anexo11).

8.3 Propuesta al Reglamento de Desarrollo Urbano de Xalapa (RDUX)

En un primer acercamiento con autoridades de la Subdirección de Medio Ambiente del H. Ayuntamiento de Xalapa, particularmente con la jefa de la Unidad de Desarrollo Sustentable, se platicó sobre el proyecto “Propuesta de gestión de drenaje pluvial hacia la sustentabilidad en colonias de Xalapa, Ver.”, realizado en el marco de las actividades de la Maestría en Gestión Ambiental para la Sustentabilidad de la Universidad Veracruzana y sobre el interés de presentar ante su dependencia una propuesta al Reglamento de Desarrollo Urbano del Municipio de Xalapa, Ver., con la que se pretende se incluya el manejo del agua pluvial a partir de la construcción de pozos de infiltración de agua de lluvia, como dispositivos de drenaje natural, en los diseños de las viviendas, ya que en el artículo 144, fracción II de dicho reglamento se contempla el drenar el agua pluvial directamente a la calle sin darle ningún manejo o aprovechamiento.

Mostrando interés en la propuesta, la jefa de la Unidad de Desarrollo Sustentable (UDS) convino en apoyar con asesoría en la elaboración de la propuesta, apuntando que actualmente

en el RDUX no se contempla un sistema de drenaje pluvial alternativo para las viviendas, si se estipula la captura y reutilización del agua pluvial (Artículos 248 y 249).

En una reunión posterior con la jefa de la UDS se recibió asesoría para la elaboración del documento de la propuesta. La asesoría estuvo enfocada en temas de estructura, contenido, sustento legal y sustento técnico para darle respaldo a la propuesta.

El documento se elaboró incluyendo los siguientes apartados:

Exposición de motivos, en la que se indique la problemática presente y las ventajas de utilizar los dispositivos de infiltración.

Marco legal o normativo, que sustente desde el nivel federal hasta el local, la propuesta presentada.

Propuesta de reforma y adición puntual a los artículos y fracciones, presentando de manera comparativa el contenido actual y la reforma o adición.

Anexo con especificaciones técnicas y de diseño, en el que se describan las características requeridas para realizar su construcción e implementación.

Construida la propuesta de reforma y adición al Reglamento de Desarrollo Urbano de Xalapa, se envió a la jefa de la UDS para su revisión y realización comentarios; a partir de éstos se reelaboró el documento final.

La propuesta de reforma y adición pretende incidir por un lado en la inclusión de la fracción I, en el artículo 93 de dicho reglamento, de la preservación de áreas verdes y que estos incluyan dispositivos para infiltrar el agua pluvial; y por el otro en la reforma de la fracción II del artículo 144, de voladizos y salientes, para que se estipule que deben drenarse de manera directa a los sistemas de drenaje o a dispositivos de infiltración de agua pluvial, según sea el caso (Tabla 23).

La propuesta fue presentada para su recepción ante la Subdirección de Medio Ambiente del H. Ayto. de Xalapa, con la intención de que sea tomada en cuenta en actualizaciones posteriores del Reglamento de Desarrollo Urbano de Xalapa (Anexo12).

Tabla 23. Artículos del Reglamento de Desarrollo Urbano de Xalapa actual y propuesta de reforma y adición.

Reglamento Vigente	Propuesta
<p align="center">Reglamento de Desarrollo Urbano del Municipio de Xalapa.</p> <p align="center">(última actualización: 24 de junio del 2015)</p> <p>Artículo 93. En el interior de los edificios y predios se procurará, hasta donde sea posible, restituir los espacios libres destinados a patios, jardines o huertos.</p>	<p>Artículo 93...</p> <p align="center">I.- En lo que concierne a jardines, estos deberán contar con dispositivos de infiltración de agua pluvial en el suelo.</p>
<p>Artículo 144. Voladizos y Salientes.-</p>	<p>Artículo 144...</p>
<p>II.- Los techos, balcones, voladizos y en general cualquier saliente, deberán drenarse de manera que eviten absolutamente la caída y escurrimiento de agua sobre la acera.</p>	<p align="center">II.- Los techos, balcones, voladizos y en general cualquier saliente, deberán drenarse de manera directa al sistema de drenaje o alcantarillado pluvial o a dispositivos de infiltración de agua pluvial en el suelo, según sea el caso.</p>

IX. DISCUSIÓN

9.1 Factibilidad

Concerniente a la factibilidad para la construcción de las estrategias técnicas que favorezcan la infiltración, es importante realizar un análisis tomando en cuenta la percepción e interés social para adoptarlas, el tipo de infraestructura a construir, su funcionamiento, costos económicos, y los impactos ambientales.

Estos puntos son determinantes para su ejecución; sin dejar de lado la importancia de contar con normatividad de diseño urbano en el que se considere su adopción.

En este trabajo se propusieron los pozos de infiltración superficial como la infraestructura a construir para el desagüe del agua pluvial. Con relación a esto, Joksimovic y Alam (2014), mencionan que las zanjas y pozos de infiltración son las soluciones más rentables para la reducción del escurrimiento.

9.1.1 Diagnóstico social

De los resultados obtenidos, en cuanto al diagnóstico social los habitantes de Xalapa identifican diversas problemáticas en torno al agua, entre las que resaltan las inundaciones, los encharcamientos, la falta de servicio de drenaje y alcantarillado o su mal funcionamiento y el desabasto de agua, tanto a escala municipal como a escala de colonias. Estas problemáticas fueron igualmente identificadas a partir del “Estudio Cuantitativo de la Iniciativa de Monitoreo Ciudadano de Agua y Saneamiento de Xalapa (IMCAS)”, en el año 2010 (UV, 2010).

El manejo y aprovechamiento del agua de lluvia, como se pudo identificar, son acciones que se llevaban a cabo y, con el paso del tiempo, se han ido quedando en el olvido.

En la actualidad, dichas actividades se han estado fomentando debido a la importancia de contar con una fuente de agua alternativa a la convencional (agua entubada y potable). En relación a este tema, los resultados, en cuanto al aprovechamiento del agua de lluvia mediante el almacenamiento para su uso, son contrastantes, en el 2010 un 62.2 % de la población encuestada dijo realizar esta actividad (UV) mientras que en el 2014 sólo un 26 % de la población encuestada la realizan.

A pesar de esto, es importante remarcar que la permanencia del uso de sistemas de drenaje natural en viviendas. En el 2010 (UV), y en el 2014, el 5 % y 4 % de los encuestados, respectivamente, mencionaron que los sistemas de drenaje en sus viviendas están contruidos con base en resumideros naturales (fosas sépticas).

Por otra parte, el interés de adoptar algún sistema o infraestructura para aprovechar o manejar el agua de lluvia es alto, sin embargo, en acuerdo con Papafotiou y Katsifarakis (2015), el poco o nulo conocimiento de estos sistemas y la poca difusión de sus ventajas de estos, ha influido en el desarrollo de construcciones tradicionales donde los servicios de drenaje y agua potable o entubada son provistos por dependencias municipales. De lo que Alucia (2014), hace mención de la importancia de la comunicación y difusión de la infraestructura sustentable como sistemas de mejoramiento ambiental.

Agregado a lo anterior, el aspecto económico es un factor importante en la disposición de las personas en adoptar infraestructura para el manejo o el aprovechamiento del agua pluvial, ya que es más visto como un gasto innecesario debido a que ya cuentan con los servicios básicos que brinda el Estado.

9.1.2 Diagnóstico técnico

Entre los sistemas de manejo del agua pluvial para su drenaje se encuentran los pozos de infiltración superficial, que si bien son de fácil construcción y se adaptan al diseño de las viviendas, para su implementación se requieren de ciertas características físicas como lo son: el tipo de suelo, preferentemente andosol o regosol, ya que por sus características permeables son aptos para proyectos de infiltración de agua; características geotécnicas estables o firmes, para evitar reblandecimientos del suelo y con ello afectaciones a la infraestructura urbana ya construida; otro característica importante es la velocidad de infiltración, ya que de ella depende la rapidez con la que el pozo drenará, hacia niveles más bajos del suelo, en agua vertida en él. De acuerdo con Davis y colaboradores (2009), es importante, en la adopción de estas estrategias de manejo del agua pluvial, la caracterización del lugar para lograr un diseño basado en las características locales; Martínez y colaboradores (2012), remarcan la importancia del análisis que debe realizarse en cada punto donde se pretenda construir obras de infiltración.

Las tres colonias seleccionadas para este trabajo, la Progreso Macuiltepetl, Carolino y Anaya y Héroe Ferrocarrileros, cumplían con dos de las 3 características necesarias para la implementación de pozos de infiltración superficial mencionadas anteriormente (tipo de suelo y características geotécnicas), sin embargo, el valor bajo de la velocidad de infiltración fue el factor limitante para que en la colonia Héroe Ferrocarrileros no se pudiera efectuar la instalación de prototipos, ya que con las características de diseño, el volumen de los pozos de infiltración superficial en esa colonia es considerablemente alto. Katsifarakis y colaboradores (2015), mencionan que el suelo que generalmente exhibe altas tasas de infiltración es adecuado para la construcción de sistemas de infiltración de agua pluvial;

Por ello, en esta colonia no se logró concretar la participación de las personas para la construcción de un prototipo para su evaluación. La construcción de pozos de infiltración en zonas donde el suelo tiene una capacidad de infiltración baja se puede llevar a cabo siempre y cuando se ubiquen alejados de construcciones a una distancia de por lo menos la profundidad del pozo. Con esto se evitará que la infraestructura se vea afectada por el exceso de humedad (SIAPA, 2014). De esto, la implementación de este proyecto en la zona con en el tipo de suelo 2, presente en Xalapa, al ser medianamente viable, requiere también tomar en cuenta en el diseño, el tamaño del pozo y el área de captación para su funcionamiento.

El funcionamiento de los prototipos en las colonias Progreso Macuiltepetl, Carolino y Anaya su funcionamiento durante el periodo de evaluación fue bueno. Papafotiou y Katsifarakis (2015), mencionan que el buen funcionamiento de la infraestructura de drenaje pluvial sostenible depende de la velocidad de infiltración de agua en el suelo donde se pretenden implementar. Y de acuerdo con Autixier y colaboradores (2014), la infraestructura diseñada sólo puede contener la cantidad de agua para la que fue diseñada y que la disminución de los flujos superficiales dependerá del porcentaje de área impermeable que es drenada hacia los dispositivos de infiltración.

Con base en esto, los pozos de infiltración instalados funcionaron de manera correcta sólo durante eventos de lluvia iguales o por debajo 70 mm/h.

De acuerdo con la clasificación de suelos realizada por Huesca (2009), estos pozos se podrían implementar sin ningún inconveniente, aproximadamente, en el 18 % del área urbana de Xalapa (en suelo estable); mientras que se podrían implementar en un 25 % más del área (suelo medianamente firme), considerando las características particulares de cada lugar donde se deseen construir (velocidad de infiltración, dimensiones del pozo y la infraestructura presente).

9.1.3 Costo de construcción

El costo de estos pozos de infiltración para viviendas diseñados para estas colonias fue bajo, lo que puede ser un punto importante para la adopción de este tipo de sistemas de infiltración para el drenaje de agua pluvial, ya que si bien las personas mostraron interés en su adopción, lo hicieron con la reserva de que la infraestructura a implementar tenía que ser barata. Elrick y Reynolds (1992); Papafotiou y Katsifarakis (2015), mencionan que la infraestructura de drenaje pluvial sostenible es de bajo costo, y al determinar costos de diversas prácticas de manejo de

agua pluvial, Joksimovic y Alam (2014), declararon que los pozos de infiltración como sistemas de drenaje pluvial son de los más económicos.

9.1.4 Impactos Ambientales

En lo que concierne a los impactos ambientales como disminución de flujos superficiales, encharcamientos e inundaciones, dependerán del porcentaje de área impermeable que es drenada hacia los dispositivos de infiltración. Serrano en 2014, menciona que estos problemas se deben a una gestión inadecuada del agua pluvial, ocasionando inundaciones y generando problemas en las partes bajas de las ciudades. Para reducir estos problemas, Ulacia (2014), menciona que este tipo de infraestructura nos ofrece una opción inteligente y sustentable rediseñar el entorno construido y crear ambientes urbanos más saludables.

Referente a la recarga de cuerpos de agua subsuperficiales con este tipo de infraestructura, de acuerdo con Martínez y colaboradores (2012), es preciso contar con información de las características geohidrológicas de la zona.

La recuperación de áreas verdes urbanas es otro impacto positivo, ya que este tipo de infraestructura cuenta con una ventaja que es su adaptabilidad al diseño urbano y por ello, se pudieron construir como jardines o áreas verdes no sólo en viviendas que no contaban con ellas, sino se pudieron construir en las áreas verdes ya existentes. Papafotiou y Katsifarakis (2015), mencionan que la infraestructura de drenaje pluvial sostenible incrementa el diseño estético de las zonas urbanas; mejora la calidad del espacio urbano y permite manejar el agua pluvial que cae en el entorno a partir de promover la infiltración y retención de agua en el medio ambiente (Suarez, 2011).

Para evitar la contaminación del agua y del suelo, es importante que las personas al adoptar un pozo de infiltración como sistema de drenaje pluvial, adquieran el compromiso de darle mantenimiento de limpieza al área de captación, en este caso, las azoteas, así como a las tuberías. Esto para evitar la basura y sedimentos que en ellas se acumulan, ingresen a los pozos. Otro compromiso es de mantener la superficie del pozo (el césped) libre de basura, ya que los residuos de comida, latas, plásticos, heces fecales, detergentes, entre otros, generan lixiviados que podrían ingresar al pozo y contaminar el agua e inclusive el suelo.

Serrano (2014), hace mención de que la sociedad juega un papel importante en esta problemática y que la calidad del agua de lluvia depende de las superficies por las que escurre, ya que la basura producida termina siendo arrastrada por el agua de lluvia. Por lo que al evitar que escurra por superficies contaminadas y que arrastre la basura que se encuentra en las zonas

impermeables, se previene el deterioro de cauces naturales y también cuida de las reservas de agua subterránea.

9.2 Propuestas al sector público

En lo que concierne a las actividades realizadas con el objetivo de proponer que la normatividad de diseño urbano del municipio de Xalapa contemple incluir estrategias de manejo del agua pluvial, por un lado, se presentaron recomendaciones de acciones a realizar a mediano y largo plazo al “Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS): Zona conurbada Xalapa” y por la otra, se presentó una propuesta con la finalidad de ser incluida como parte de la normatividad en actualizaciones posteriores al “Reglamento de Desarrollo Urbano de Xalapa”. Ambas propuestas fueron bien vista por las autoridades responsables de la elaboración de dichos documentos.

Qin y colaboradores (2013), mencionan que las propuestas realizadas con la finalidad de contar con normatividad de diseño urbano en el que se considere la implementación generalizada de infraestructura sustentable para el manejo del agua pluvial permiten maximizar su funcionamiento.

En lo que respecta a las propuestas al PMPMS: zona conurbada Xalapa, éstas fueron revisadas y apoyadas por el coordinador de análisis y elaboración de dicho documento. Posteriormente fueron presentadas ante grupos de interés y tomadores de decisiones para su aceptación y poder ser incluidas en dicho documento, que de acuerdo con Benzerra y colaboradores (2012), estas actividades son trascendentales en el proceso de gestión.

La finalidad de realizar estas recomendaciones es que sean adoptadas y permitan ser el punto de partida en la realización de acciones para el manejo y aprovechamiento racional y sustentable del agua.

En relación a la propuesta de reforma y adición al RDUX, Ellis y colaboradores (2004), resaltan la importancia de gestionar estrategias sostenibles de manejo de agua pluvial basadas en el drenaje natural como una medida auxiliar a las diversas dificultades que se presentan en las dependencias encargadas de la gestión de infraestructura convencional para el drenaje de agua pluvial. Ya que, aplicados de forma masiva mediante el diseño y la ejecución de normativas, pueden ayudar a reducir la cantidad de agua que normalmente es llevada por el drenaje o alcantarillado público, y reducir el consumo de la red pública (Ulacia, 2014).

Un punto no considerado en el proceso de gestión de este trabajo fue la posible asignación de incentivos financieros por la adopción de sistemas de manejo o aprovechamiento de agua

pluvial, que de acuerdo con Thurston y colaboradores (2010), pueden dar lugar a que los dueños de las viviendas tengan la disposición a aceptar estos sistemas o infraestructura en su propiedad si se ven beneficiados con la reducción de pago de servicios de alcantarillado público o con la disminución de impuestos.

Por último, es primordial considerar que la decisión de aceptar la propuesta para adoptar los pozos de infiltración superficial como sistemas de drenaje pluvial en viviendas de Xalapa, así como su inserción en la normatividad municipal compete plenamente a las autoridades correspondientes.

X. CONCLUSIONES

Desde el punto de vista técnico, las características de estabilidad del suelo en la zona urbana de Xalapa determinan que la construcción de pozos de infiltración es viable en un 18%, medianamente viable en un 25% y no viable en el 57% del área.

Desde el punto de vista social es viable, ya que existe la disposición por parte de los habitantes de construir sus pozos de infiltración en virtud de los beneficios y su bajo costo.

Desde el punto de vista económico es viable la aplicación de estas medidas ya que son de bajo costo (\$1, 153.38).

Desde el punto de vista ambiental es viable ya que reduce el escurrimiento del agua pluvial en un 25% en el área urbana de Xalapa, disminuyendo encharcamientos e inundaciones.

Las recomendaciones para el manejo y aprovechamiento de agua pluvial presentadas en el “PMPMS: Zona conurbada Xalapa” por no ser de carácter obligatorio, pueden no ser adoptadas.

La propuesta de reforma y adición al Reglamento de Desarrollo Urbano del Municipio de Xalapa, Ver., emanada de este trabajo tiene mayor posibilidad de éxito por el interés de las autoridades municipales.

La gestión de sistemas de drenaje pluvial alternativo es una medida viable y aplicable a las viviendas del área urbana de Xalapa.

XI. RECOMENDACIONES

De acuerdo a las conclusiones de este proyecto, es imprescindible que:

Por un lado, autoridades municipales aprueben la inclusión del uso de sistemas de drenaje pluvial sustentable en el Reglamento de Desarrollo Urbano y,

Se promuevan campañas de difusión para su adopción, por parte de la sociedad, de los sistemas de drenaje pluvial alternativo.

Y por el otro, que el sector privado de construcción adopte sistemas sustentables en sus prácticas de construcción, ya que son un atractivo si se presentan como proyectos amigables con el medio ambiente.

XII. BIBLIOGRAFÍA

- Albán, J., Carbajal, M., Domínguez, J. y Jumbo, C. 2003. Gestión pública de los recursos naturales. Instituto de estudios Ecuatorianos-Fraga Impresores. Quito, Ecuador. 131 p.
- Architecture, Engineering and Construction (AEC). 2011. Stormwater best management practices. University of Michigan. 10 p.
- Autixier L., Mailhot A., Bolduc S., Madoux-Humery A. Galarneau M., Prévost M. y Dorner S. 2014. Evaluating rain gardens as a method to reduce the impact of sewer overflows in sources of drinking water. *Science of The Total Environment*, 499. 238-247.
- Azzout, T., Barraud, S., Alfakih, E. y Cres, F. N. 1994. Techniques alternatives in assainissement pluvial. Ed. Tec et Doc, Lavoisier. Paris. 371 p.
- Baca, U. G. 2001. Evaluación de proyectos. Mc Graw Hill 4ta edición. México, D.F. 404 p.
- Barradas, V. L. 2000. La importancia de la niebla como fuente natural y artificial de agua, en la región de las grandes montañas del Estado de Veracruz, *Foresta Veracruzana* 2(2); 43-48.
- Barrón M., J. 2012. Microzonificación por inundación de la Zona Conurbada Xalapa. Universidad Veracruzana. Facultad de Ingeniería Civil, Zona Xalapa. Tesis de licenciatura. Xalapa, Ver. 126 p.
- Benzerra, A., Cherrared, M., Chocat, B., Cherqui, F. y Zekiouk, T. 2012. Decision support for sustainable urban drainage system management: A case study of Jijel, Algeria. *Journal of environmental management*, 101. 46-53.
- BID (Banco Interamericano de desarrollo). 2015. Iniciativa de ciudades emergentes y sostenibles. Visto en: <http://www.iadb.org/es/temas/ciudades-emergentes-y-sostenibles/iniciativa-ciudades-emergentes-y-sostenibles,6656.html> consultada en enero 2015.
- Bonilla, P., F. 2013. Caracterización hidrogeoquímica del manantial El Castillo. Trabajo Recepcional. Especialización en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Coord. de Posg. de la Fac. de I. Q. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 126 p.
- Borja, J. y Castelles, M. 2000. Local y global. La gestión de las ciudades en la era de la información. Editorial Taurus. México. 395 p.
- Butler D. y Davies J.W. 2000. Urban Drainage. London and New York: E & FN Spon, 489 p.
- Campos-Aranda, D. F. 2010. Introducción a la Hidrología Urbana. San Luis Potosí, México; 270 p.
- Campos-Aranda, D. F. 1998. Conceptos y selección del periodo de retorno. Procesos del Ciclo Hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P. México. 172 p.
- Carter T. y Rhett J. C. 2007. Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales. *Landscape and Urban Planning*, 80 (1-2). 84-94.
- Castillo-Campos, G. 1991. Vegetación y flora del Municipio de Xalapa, Ver. Programa del hombre y la biosfera (MAB, UNESCO). Instituto de Ecología, A. C., H. Ayuntamiento de Xalapa, Ver. México. 148 p.

- Capitanachi, M. C. y Amante. H. S. 1995. Las áreas verdes urbanas en Xalapa, Veracruz. Catálogo de flora urbana. Universidad Veracruzana-Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz, México. 524 p.
- Castro, D., Bayón J.R., Rodríguez, J. y Ballester, F. 2005. Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). *Interciencia*. 30 (5). 255-260.
- Chang, H., Franczyk, J., y Kim, C. 2009. What is responsible for increasing flood risk? The case of Gangwon Province, Korea. *Natural Hazards*, 48, 339-354.
- Chavez, M. M. 2012. Aspectos ambientales de la gestión integral de los recursos hídricos para el municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México. *Multidisciplina*, 13. 128-145.
- Chocat, B., Bardin, J. P. y Alfakih, E. 2001. Development of BMPs: Recent progress in France and other countries of Western Europe. ASCE/WEF. Snowmass, U.S.A. 336-353
- CIDECALLI. 2007. Manual sobre sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano. Colegio de Posgraduados. México. 50-101.
- Colby, M. E. 1991. Environmental management in development: the evolution of paradigms. *Ecological Economics*, 3(3), 193-213.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2007. Agenda del agua 2030. SEMARNAT. México. 66 p.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2011. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado pluvial. SEMARNAT. México. 295 p.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2011a. Marco conceptual de referencia. Visto en: <http://www.conagua.gob.mx/ocavm/Espaniol/TmpContenido.aspx?id=510b0111-d204-4734-957aa14f8064598c%7CConsejos%20de%20Cuenca%7C0%7C5%7C0%7C0%7C0> consultada en octubre 2014
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2013. Normales climatológicas de Xalapa. Visto en: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=164&tmpl=component consultada en noviembre 2013
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2015. Programa nacional contra la sequía. Visto en: <http://www.pronacose.gob.mx/> consultada en enero 2015.
- Contreras, T. C. y Solano, C. F. 2010. Caracterización del agua pluvial en el periodo de verano para su uso doméstico en Xalapa, Veracruz. Trabajo Recepcional de Especialización en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Facultad Ingeniería Química de la Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 44 pp.
- Daley, M. R. 2011. A guide to Stormwater Best Management practices. Chicago's Water Agenda. 29 p.
- Davis, A. P., Hunt, W. F., Traver, R. G., y Clar, M. (2009). Bioretention Technology: Overview of Current Practice and Future Needs. *Environmental Engineering*, 135(3), 109-117.
- Diario Oficial de la Federación. 1917. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Tomado de: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_07jul14.pdf última reforma publicada el 07-07-2014, consultada en: abril del 2015.
- Diario Oficial de la Federación. 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Tomado de: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_090115.pdf última reforma publicada el 09-01-2015, consultada en: marzo 2015.

- Diario Oficial de la Federación. 1992. Ley de Aguas Nacionales. Tomado de: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_110814.pdf última reforma publicada el 11-08-2014, consultada en: marzo del 2015.
- Diario Oficial de la Federación. 1994. Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales. Tomado de: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LAN_250814.pdf última reforma publicada el 25-08-2014, consultado en: marzo del 2015.
- Ellis, J. B., Deutsch, J. C., Mouchel, J. M., Scholes, L. y Revitt, M. D. 2004. Multicriteria decision approaches to support sustainable drainage options for the treatment of highway and urban runoff. *Science of the total Environment*, 334. 251-260.
- Elrick, W. D. y Reynolds, W. D. 1992. Methods for analyzing constant head well permeameter data. *Soil Science Society of America Journal*, 56: 320-323.
- EPA (Environmental Protection Agency). 2002. Urban stormwater BMP performance monitoring. A guidance manual for meeting the national stormwater BMP Database Requirements. Office of Water, EPA 821-B-02-001. 248 p.
- Eriksson E., Baun A., Scholes L., Ledin A., Ahlman S., Revitt M. y Mikkelsen, P. 2007. Selected stormwater priority pollutants — a European perspective. *Science Total Environment*, 383, 41–51.
- Field, R., Struck S.D., Tafuri A.N., Ports M.A., Clar M., Clark S. y Rushton B. 2006. BMP Technology in urban watersheds. Current and future directions. Virginia: American Society of Civil Engineers (ASCE) ISBN: 0-7844-0872-6
- FMCN (Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza). Repensar la cuenca. Visto en: http://fmcn.org/wp-content/uploads/2012/02/RepensarlaCuenca_intro.pdf, consultado en noviembre 2013
- Fletcher T.D., Andrieu H. y Hamel P. 2013. Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in Water Resources*, 51, 261-279.
- Gaceta Oficial del Estado de Veracruz. 1917. Constitución Política del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Tomado de: <http://www.legisver.gob.mx/leyes/ConstitucionPDF/CONSTITUCION%20POLITICA%200904-15.pdf> última reforma publicada el 09-04-2015, consultada en: marzo del 2015.
- Gaceta Oficial del Estado de Veracruz. 2000. Ley Estatal de Protección Ambiental. Tomado de: <http://www.legisver.gob.mx/leyes/LeyesPDF/AMBIENTAL160714.pdf> última reforma publicada el 16-07-2014, consultada en: marzo del 2015.
- Gaceta Oficial del Estado de Veracruz. 2001. Ley de Aguas del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Tomado de http://www.legisver.gob.mx/leyes/LeyesPDF/AGUAS_280111.pdf última reforma publicada el 28-01-2011, consultada en: marzo del 2015.
- Gaceta Oficial del Estado de Veracruz. 2002. Reglamento de la Ley de Aguas del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Tomado de: <http://nueva.sas.gob.mx/wp-content/uploads/2014/03/2-7.-Reglamento-de-la-LeyN%C3%BAmero-21-de-Aguas-del-Estado-de-Veracruz-%E2%80%93-Llave.pdf> última reforma publicada el 04-06-2010, consultada en: mayo del 2015.
- Gaceta Oficial del Estado de Veracruz. 2010. Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático. Tomado de: <http://www.legisver.gob.mx/leyes/LeyesPDF/CLIMATICO020713.pdf> última reforma publicada el 02-07-2013, consultada en: marzo del 2015.

- Gaceta Oficial del Estado de Veracruz. 2011. Ley de Desarrollo Urbano, Ordenamiento Territorial y Vivienda para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Tomado de: <http://www.legisver.gob.mx/leyes/LeyesPDF/LDUROTV280415.pdf> última reforma publicada el 28-04-2015, consultada en: mayo del 2015.
- Gaceta Oficial del Estado de Veracruz. 2010. Ley que Regula las Construcciones Públicas y Privadas del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Tomado de: <http://www.legisver.gob.mx/leyes/LeyesPDF/REGCONS120410.pdf> última reforma publicada el 31-03-2010, consultada en: mayo del 2015.
- Gaceta Oficial del Estado de Veracruz. 2010. Reglamento de la Ley que Regula las Construcciones Públicas y Privadas del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Tomado de: <http://www.veracruz.gob.mx/comunicaciones/files/2011/08/24.-REGLAME NTO-DE-LA-LEY-QUE-REGULA-LAS-CONSTRUCCIONES-PUBLICAS-Y-PRIVADAS-DEL-ESTADO.pdf> última reforma publicada el 18-11-2010, consultada en: mayo del 2015.
- Gaceta Oficial del Estado de Veracruz. 2015. Reglamento de Desarrollo Urbano para el Municipio de Xalapa. Tomado de: <http://xalapa.gob.mx/transparencia/reglamento-de-desarrollo-urbano/> consultado en: julio del 2015.
- Gaceta Oficial del Estado de Veracruz. 2014. Reglamento de participación Ciudadana del Municipio de Xalapa. Tomado de: <http://legislacion.scjn.gob.mx/LE/wfAbrirDocReforma.aspx?idEdo=29&idLey=101167&idRef=1&IdPdf=010116700001.pdf> consultado en: mayo del 2015.
- Galván, R. 2011, junio 01, Aperturan sistemas de captura de agua de lluvias en dos escuelas de Xalapa. Diario de Xalapa.
- García, G. M., y Martínez, P. C. C. 2009. Escenario del agua en México. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 30. 31-40.
- García, H. E., Perales, M. S., y Doménech, I. A. 2011. Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: aplicación en climas mediterráneos. II Jornadas de Ingeniería del Agua. Modelos numéricos en dinámica fluvial. ISBN 978-84-267-2071-9. 131-138.
- Gleason, A. 2005. Manual de aprovechamiento de aguas pluviales en centros urbanos. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño. México. 20 p.
- Global Water Partnership (GWP). 2007. Hacia una gestión integrada de aguas urbanas. GWP. 11 p.
- Gómez M, Sánchez H, Dolz J, López R., Nanía L., Cabrera E., Espert V., García-Serra J., Malgrat P., Puertas J. 2004. Curso de hidrología urbana. 5ª Edición. Barcelona: Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental. Universidad Politécnica de Catalunya. 389 p.
- González de Cossío, F. 1957. Xalapa, breve reseña histórica. México: Talleres Gráficos de la Nación. 488 pp.
- González, G. 1993. Las aves de la ciudad de Xalapa 105-116. En: López-Moreno, I. R. 1993. Ecología urbana aplicada a la ciudad de Xalapa. Instituto de Ecología A. C., H. Ayuntamiento de Xalapa y Programa MAB-UNESCO. Xalapa, Veracruz, México. 258.
- González-Mercado, E. 2005. El vulcanismo monogenético de la región de Xalapa, Veracruz, Geomorfología, petrología y génesis y su relación con los límites orientales de la Faja Volcánica Trans-Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Maestría, Postgrado en Ciencias de la Tierra.

- Herath, S. y Musiak, K. 1994. Simulation of basin scale runoff reduction by infiltration systems. *Water Science and Technology*, 29 (1); 267-275.
- Hernández, J. 2007. Integración de sondeos de mecánica de suelos en la zona urbana de Xalapa, Veracruz, como base para elaborar un mapa geotécnico. Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Civil, Zona Xalapa. Tesis de Licenciatura. Xalapa, Ver.
- Huesca, H. D. 2009. Evaluación comparativa de la respuesta de sitio en las distintas unidades geológicas-geotécnicas en la zona conurbada Xalapa. Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Civil, Zona Xalapa, Tesis de Licenciatura. Xalapa, Ver.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2000. Ciudades capitales: Una visión histórico-urbana. Xalapa-Enríquez. Volumen 4. Disponible en CD.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2005. Indicadores de empleo y desempleo. Estadísticas Económicas. 123 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2010. Censo de población y vivienda 2010.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). Prontuario del estado de Veracruz. Visto en: <http://mapserver.inegi.gob.mx/webdocs/prontuario/30087.pdf>. Consultado en noviembre 2013.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2014. México en cifras. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2014a. Mapa digital. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía:
- Imbe, M., Takano, N. y Nakashima, N. 1995. Proposal for the standardized design of infiltration techniques of rainstorm water in Japan. Proceeding of 2nd International Conference on Innovative Technologies in Urban Storm Drainage. Lyon, France. *NOVATECH*. 95; 645-648.
- Joksimovic, D., y Alam, Z. 2014. Cost Efficiency of Low Impact Development (LID) Stormwater Management Practices. *Procedia Engineering*, 89, 734-741.
- Katsifarakis, K. L., Vafeiadis, M. y Theodossiou, N. 2015. Sustainable Drainage and Urban Landscape Upgrading Using Rain Gardens. Site Selection in Thessaloniki, Greece. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4. 338-347.
- Leff, E. 2000. Ambiente y articulación de las ciencias. En Leff, E. Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo. Siglo XXI Editores. México. 27-88
- Lemoine, R. R. 2012. Cambios en la cobertura vegetal de la ciudad de Xalapa-Enríquez, Veracruz y zonas circundantes entre 1950 y 2010. Universidad Veracruzana. Fac. de Biología. Tesis de Licenciatura en Biología, Zona Xalapa. Xalapa, Ver. 44 p.
- Lenz, H. O. 2014. Caracterización geotécnica de los suelos de la ciudad de Xalapa, Veracruz. XXVII Reunión nacional de ingeniería geotécnica. Puerto Vallarta, Jalisco. 10 p.
- Loperfido J.V., Noeb G. B., Jarnagin S. T. y Hogana M. D. 2014. Effects of distributed and centralized stormwater best management practices and land cover on urban stream hydrology at the catchment scale. *Journal Hydrology*, 519, 2584-2595.

- Mailhot A., Beaugard I., Talbot G., Caya, Biner S. 2012. Future changes in intense precipitation over Canada assessed from multi D. -model NARCCAP ensemble simulations. *International Journal Climatology*, 32(8), 1151–1163.
- Manson, H. 2007. Efectos del uso del suelo sobre la provisión de servicios ambientales hidrológicos: monitoreo del impacto del PSAH. Xalapa, Ver., Reporte, 19 Pp.
- Marsalek J. y Chocat B. 2002. International Report: Stormwater management. *Water Science and Technology, Environment Canada*, 6, 1-17.
- Martínez, R. J., Cortés A., y Lozano E. E. 2012. Siembra de agua de lluvia en las zonas serrana y urbana del municipio de León, Guanajuato, Reporte técnico. UNAM-SAPAL. 130 p.
- Masterrechea, M., Dourojeanni, A., García, L., Novara, J. y Rodríguez R. 1996. Lineamientos para la preparación de proyectos de manejo de cuencas hidrográficas para eventual financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo. Washington. D.C. 49 p.
- MDGIF, Gobierno del Estado de Veracruz. 2011. Resultados obtenidos en materia de gestión de riesgos y adaptación al cambio climático en el sector hídrico en la ciudad de Xalapa, Veracruz. 98 pp.
- Mikkelsen, P., Haeflinger M., Ochs M., Jacobsen, P., Tjell J. C. y Bpller, M. 1997. Soil and groundwater from infiltration of highly contaminated stromwater- A case study”. *Water Science and Technology*, 36 (8-9), 325-330.
- MINVU y PUC. 1996. Técnicas alternativas para soluciones de agua de lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño. Ministerio de Vivienda y Urbanismo y Pontifica Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 663 p.
- Moguel, F. A. 2011. Riesgos por inundaciones en la Ciudad de Xalapa, Ver. Universidad Veracruzana. Fac. de Instrumentación Electrónica. Tesis de Licenciatura en Ciencias Atmosféricas. Xalapa, Ver. 49 p.
- Momparler, S. P., y Andrés-Doménech, I. 2008. Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia”. *Revista Técnica de Medio Ambiente*. CyM Publicaciones, 124, 92-104.
- Mulder, K. 2007. Desarrollo Sostenible para Ingenieros. Barcelona: Ediciones UPC. 240 p.
- Murray R. S. y Larry J. S. 2009. Estadística. 4ta edición. McGraw-Hill. México, D.F. 601 p.
- Nelly, L. F. 2009. Los debates y las batallas por el agua en Xalapa (1838-1882). México: Universidad Veracruzana. 300 p.
- Ochoa G. H. y Bürkner, H. J. 2012. Gobernanza y gestión del agua en el Occidente de México: la metrópoli de Guadalajara. Guadalajara, México. ITESO, 438 p.
- Oregon Department of Environmental Quality (ODEQ). 2013. Construction stormwater best management practices manual. Water Quality Division. 51 p.
- Pacheco, T. V, Carrera, B. P y Almeida, F. K. 2011. Propuesta metodológica para la evaluación de la factibilidad de proyectos de turismo comunitario. *Gestión turística*, 15. 25-46.
- Padrón C. A. y Cantú M. P. 2009. El recurso agua en el entorno de las ciudades sustentables. *Culcyt: Sustentabilidad*, 3. 115-25.
- Papafotiou, E., y Katsifarakis, K. L. 2015. Ecological Rainwater Management in Urban Areas. Preliminary Considerations for the City of Corinth, Greece. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4. 383-391.

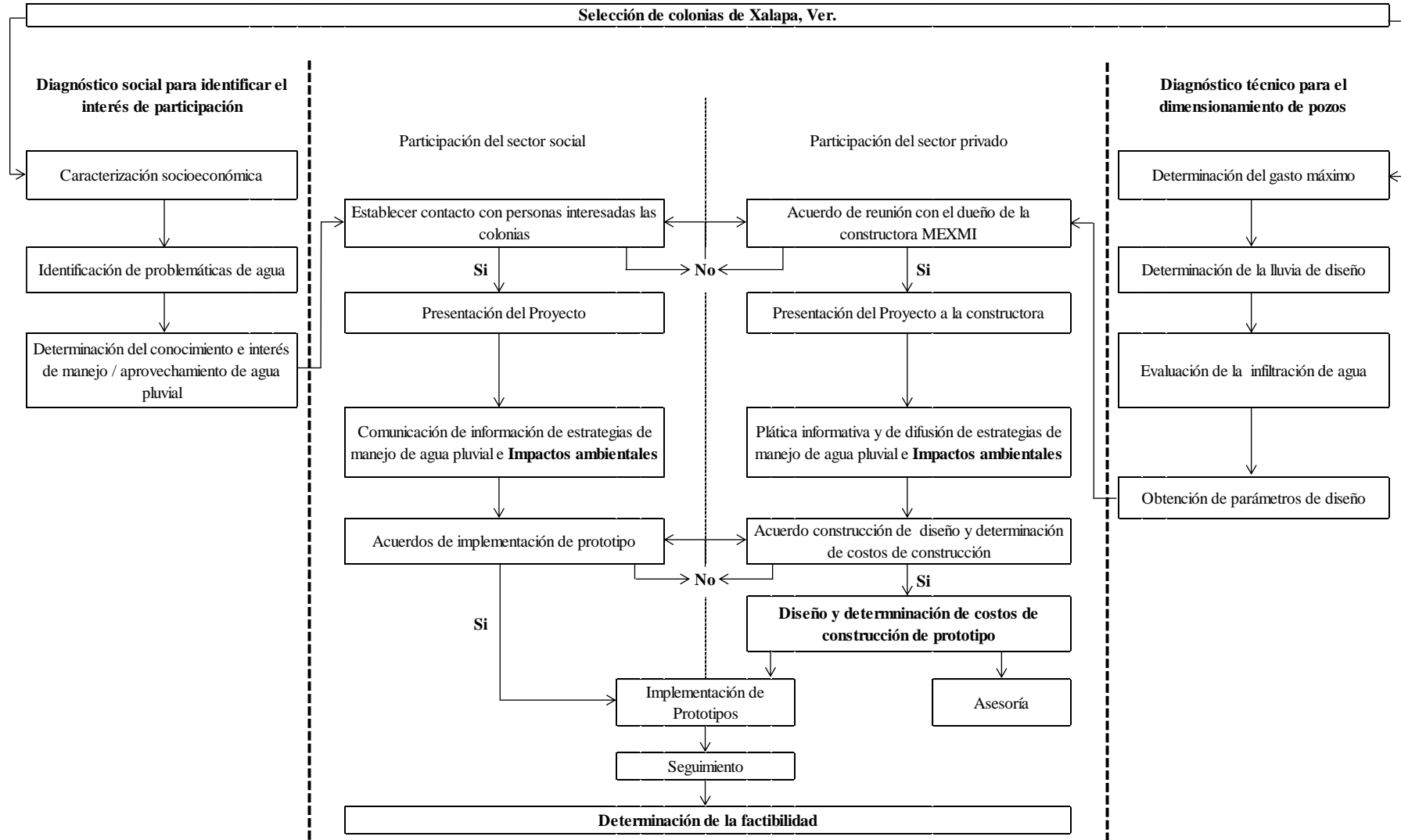
- Paredes, C. 1997. Calidad de los manantiales de la Ciudad de Xalapa, Ver. Universidad Veracruzana. Fac. de Ingeniería Química. Tesis de Licenciatura en I.Q. Xalapa, Ver. 75 p.
- Perales-Momparler, S., Hernández-Crespo, C., Vallés-Morán, F., Martín, F., Ignacio Andrés-Doménech, I., Álvarez, J. A. y Jefferies, J. 2014. SUDS efficiency during the Start-Up period under mediterranean climatic conditions. *Clean – Soil, Air, Water*, 42 (2), 178–186.
- Pereyra-Díaz, D., Ochoa-Martínez, C. A. y José Antonio A. Pérez-Sesma J. A. 2005. Ecuaciones de lluvia intensa generalizada para obtener precipitaciones máximas de corta duración. *GEOS*, 25 (2), 340-351.
- Plan Municipal de Desarrollo Xalapa 2014-2017. H. Ayuntamiento de Xalapa. 186 p.
- Plan de acción “Xalapa Sostenible: La visión para un futuro con servicios eficientes, un territorio resiliente y cuentas transparentes. 2015. H. Ayuntamiento de Xalapa. Tomado de: http://xalapa.gob.mx/plandeaccion/wpcontent/uploads/sites/22/2015/01/Xalapa_plandeaccion.pdf consultado en: mayo del 2015.
- Pochat V. 2008. Principios de gestión integrada de los recursos hídricos, Bases para el desarrollo de planes nacionales. Global Water Partnership. 12 p.
- Qin H., Li Z. y Fu G. 2013. The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics. *Journal of Environmental Management*, 129. 577-585
- Raja R. S., Lewis M. y Ostendorf B. 2014. Stormwater quality improvement potential of an urbanised catchment using water sensitive retrofits into public parks. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13 (2). 315-324
- Reglamento de Desarrollo Urbano del Municipio de Xalapa.
- Reyes C., Baraona, P. E., Pirilla C. 2007. Arquitectura sostenible. Valencia. Editorial Pencil S. l. ISBN: 978-84-935145-3-2. 357 p.
- Rodríguez, C. y Espinoza, G. 2003. Gestión ambiental en América Latina y el Caribe Evolución, tendencias y principales prácticas. Banco Interamericano de Desarrollo. Washington. D.C. 277 p.
- Romero, H., y Vásquez, A. (2005). Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. *EURE (Santiago)*, 31(94), 97-117.
- Rzedowski, 1978. La vegetación de México. Editorial Limusa. México, D.F. 478 p.
- Sánchez, J. 2013. La vivienda “social” en México. Pasado, presente y futuro. Ciudad de México: JSa. 327 p.
- Sampieri, H. R., Fernández, C. C. y Baptista, L. P. 2008. Metodología de la investigación. México. Mc. Graw Hill. 850 p.
- Sapag, C. N. y Sapag, C. R. 2005. Preparación y evaluación de proyectos. Mc Graw Hill. 4ta edición. México. 445 p.
- Schueler, T. 1987. Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMPs. Department of Environmental Programs, Metropolitan Washington Council of Governments, Washington D.C., USA.
- SEDESMA (Secretaría de Medio Ambiente). Actualización del programa de ordenamiento urbano de Xalapa-Banderilla-Emiliano Zapata- Tlalnehuayocan. Visto en: http://informacion.sedesmaver.gob.mx/transparencia/FraccionVII/Regionales/009_ActualProgOrdUrbXalBanEmZapTlal.pdf, consultado en octubre 2013.

- Serrano, S. 2014. Aprovechar el agua de lluvia. Doble solución. Impluvium, UNAM, 1. 23-27.
- SHCP (Secretaría de Hacienda y Crédito Público), 2014. Desarrollos certificados: migración de un modelo cuantitativo a uno cualitativo de vivienda en México. Visto en: <http://www.shf.gob.mx/prensa/Documents/Bolet%C3%ADn%20Desarrollos%20Certificados.pdf> consultado en octubre 2014
- Shuster W. y Rhea L. 2013. Catchment-scale hydrologic implications of parcel-level stormwater management (Ohio USA). *Journal of Hydrology*, 485. 177-187
- SIAPA (Sistema Intermunicipal de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Jalisco. Sección de Factibilidades). 2014. Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades en la Z.M.G: Infiltración Pluvial. 10 p.
- Sisto P. N. 2010. Manejo sustentable del uso de agua y crecimiento urbano. *Ensayos*, 29(1). 23-38.
- Suárez, A., Camarena, P., Lot, A. y Herrera. I. 2008. Infraestructura verde y corredores ecológicos de los pedregales: ecología urbana del sur de la Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México. 87 p.
- Thurston H. W., Taylor M. A., Shuster W. D., Roy A. H. y Morrison M. A. 2010. Using a reverse auction to promote household level stormwater control. *Environmental Science & Policy*, 13 (5). 405-414
- Torres, G., Álvarez, J., Mora, I., Dávalos, R., Leonardo, M. y Del Moral, A. 2009a. Microzonificación de peligros por inundaciones en la zona conurbada de la ciudad de Xalapa, Ver. Memorias Reunión Anual 2009, Unión Geofísica Mexicana (UGM). Puerto Vallarta, Jalisco, México.
- Torres, G., Aguirre, J., Dávalos, R., Mora, I., Hernández, J. y Leonardo, M. 2009b. Microzonificación de peligros geológicos para la zona conurbada de Xalapa, Memorias reunión anual 2009. Unión Geofísica Mexicana (UGM). Puerto Vallarta, Jalisco, México.
- Tricart, J. y Killian, J. 1982. La ecogeografía y la ordenación del medio, Anagrama, Barcelona. 287 p.
- Tricart, J. y KiewietdeJonge, C. 1992. Ecogeography and rural management. Longman/JohnWiley and Sons, Nueva York. 267 p.
- Tucci, M. C. 2007. Gestión de inundaciones urbanas. OMM. Porto Alegre, Brasil. 315 p.
- Ulacia, B. R. 2014. La infraestructura verde como sistema de captación de agua de lluvia. Impluvium, UNAM, 1. 17-23.
- UV (Universidad Veracruzana). 2010. Estudio Cuantitativo. Iniciativa de Monitoreo Ciudadano de Agua y Saneamiento de Xalapa (IMCAS). Red Universitaria de Estudios de Opinión. 146 p.
- Urbanas, B. y Stahre, P. 1993. Stormwater: best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs. New Jersey, USA.
- Vázquez, T. S. M., Carvajal, H. C. y Aquino, Z. A. 2010. Áreas naturales protegidas. En: Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz. México: Gobierno del Estado de Veracruz. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana, Universidad Veracruzana. 249-274 pp.

- Walsh, T. C., Pomeroy, C. A. y Burian, S. J. 2014. Hydrologic modeling analysis of a passive, residential rainwater harvesting program in an urbanized, semi-arid watershed. *Journal of Hydrology*, 508. 240-253.
- Wenger, R, Rogger, C. y Wyman, D. 2003. Manejo integrado de los Recursos Hídricos (IWRM): Un camino hacia la sustentabilidad. *InfoResources Focus*, 1. 16 p.
- Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R. y Shaffer P. 2007. The SUDS Manual. CIRIA C697, London. 606 pp.

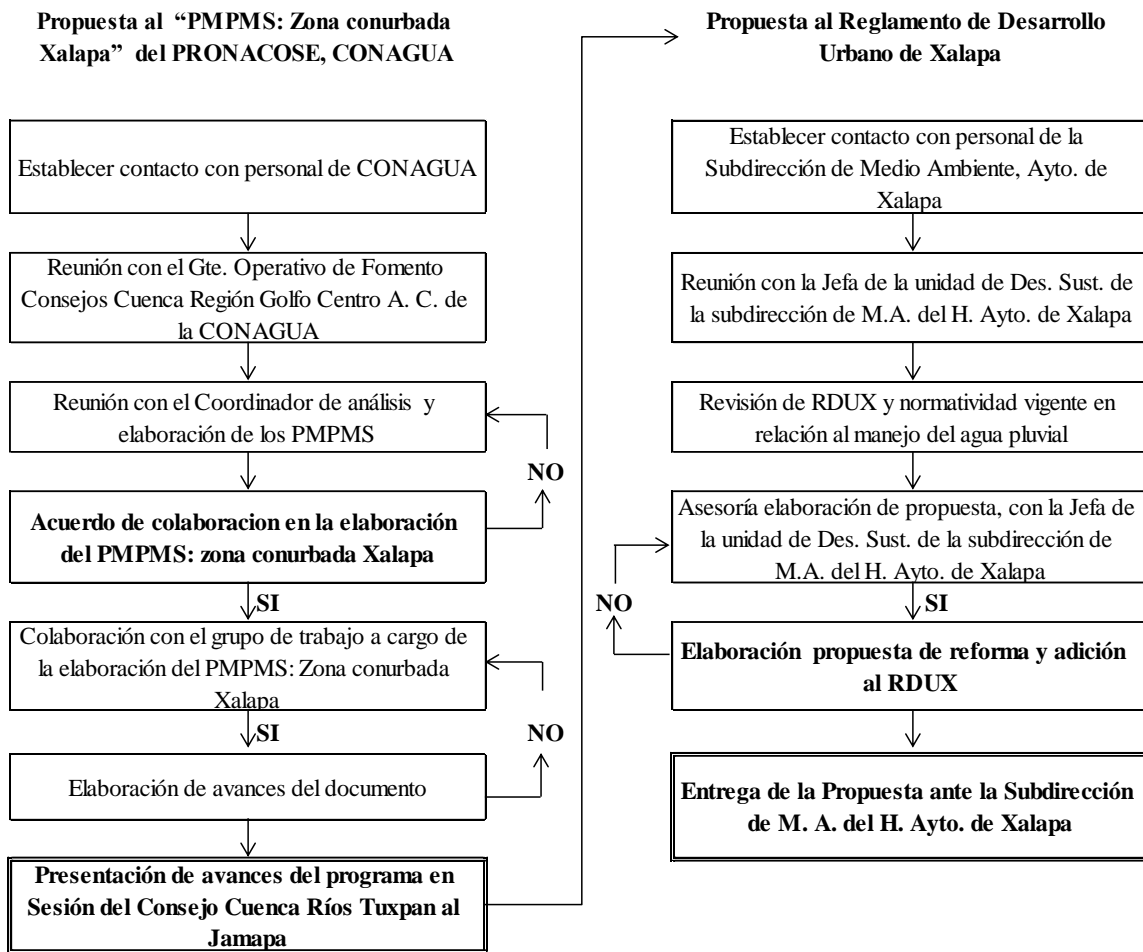
XIII. ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de flujo del proceso de gestión para la determinación de la factibilidad de construcción de pozos de infiltración superficial en viviendas.



Anexo 2. Diagrama de flujo del proceso de gestión para la presentación de propuestas en el sector público.

Propuestas al Sector público



Anexo 3. Encuesta para la implementación de pozos de infiltración superficial en viviendas en el Mpio. De Xalapa.

Colonia: _____ Edad: _____ Sexo: F M

1. De los siguientes problemas referentes al agua, señale en qué escala lo afecta cada uno.

PROBLEMA	MUCHO	BASTANTE	POCO	NADA
Desabasto				
Inundaciones				
Contaminación				

2. ¿Cuenta con servicio de drenaje municipal?

Si

No

3. ¿Qué le hace al agua de la lluvia que cae en su azotea?

Tirarla a la calle

Almacenarla

Tirarla al drenaje

Otra: _____

4. ¿Aproximadamente cuál es el área de su azotea?

30 a 40 m²

50 a 60 m²

40 a 50 m²

más: _____

5. ¿Tiene alguna sugerencia de cómo poder aprovechar el agua de lluvia?

Si, ¿cuál? _____ No

6. ¿Estaría dispuesto a implementar una estrategia para aprovechar y/o manejar el agua pluvial en su vivienda?

Si No ¿Por qué? _____

7. ¿Cuánto estaría dispuesto a invertir?

Menos de \$800

\$800-\$1000

\$1000- \$1200

Más de \$1200

Anexo 5. Precipitación máxima anual en 24 horas en el periodo 1930 y 2011, ordenadas de mayor a menor, con su respectivo período de retorno (T).

N	T	Precipitación Máxima en 1 hrs (mm)	N	T	Precipitación Máxima en 1 hrs (mm)	N	T	Precipitación Máxima en 1 hrs (mm)	N	T	Precipitación Máxima en 1 hrs (mm)
1	82	241.1	22	3.72	103.1	43	1.9	81.9	64	1.28	67.5
2	41	211.2	23	3.56	102.9	44	1.86	81.5	65	1.26	67.1
3	27.3	194.4	24	3.41	101.8	45	1.82	80.8	66	1.24	66.2
4	20.5	183.8	25	3.28	98.7	46	1.78	79.3	67	1.22	66
5	16.4	175	26	3.15	95.5	47	1.74	78.7	68	1.2	65.2
6	13.6	158	27	3.03	95.5	48	1.7	77.4	69	1.18	65.2
7	11.7	153.2	28	2.92	94.1	49	1.67	76.8	70	1.17	64
8	10.2	152.7	29	2.82	94	50	1.64	75.9	71	1.15	63.3
9	9.1	149.2	30	2.73	93.3	51	1.6	74.2	72	1.13	63.3
10	8.2	120.6	31	2.64	90	52	1.57	73	73	1.12	62
11	7.4	120	32	2.56	89.7	53	1.54	72.3	74	1.1	61.2
12	6.8	111.6	33	2.48	89.4	54	1.51	71.4	75	1.09	57.1
13	6.3	111.5	34	2.41	89.3	55	1.49	71.1	76	1.07	57
14	5.8	109.8	35	2.34	87.4	56	1.46	70.5	77	1.06	54.5
15	5.4	109	36	2.27	86.6	57	1.43	69.9	78	1.05	53.1
16	5.1	109	37	2.21	85	58	1.41	69.5	79	1.03	50.6
17	4.8	108.3	38	2.15	83.4	59	1.38	69.3	80	1.02	47.8
18	4.55	107.5	39	2.1	83.3	60	1.36	69	81	1.01	32
19	4.31	107.5	40	2.05	83.2	61	1.34	68.8			
20	4.1	106.4	41	2	82.3	62	1.32	68.4			
21	3.9	105.6	42	1.95	82.2	63	1.3	67.9			

Anexo 6. Acuerdo para creación de diseño y determinación de costos de los pozos de infiltración superficial y/o jardines de bioretención.



Acuerdo para creación de diseño y determinación de costos de los pozos de infiltración y/o jardines de bioretención

Xalapa, Ver., a 12 de mayo del 2014

REUNIDOS

De una parte, Ing. Jorge Miranda Duran, Representante de la Constructora MEXMI Ingeniería y Construcciones S.A. de C. V., en adelante LA CONSTRUCTORA

Y de la otra, LCA. Paulo César Parada Molina, Estudiante de la Maestría en Gestión Ambiental para la Sustentabilidad de la Universidad Veracruzana; en adelante EL ESTUDIANTE.

EXPONEN

Que en función de la solicitud realizada por el Estudiante, y con fines de la elaboración de su Proyecto Integrador de la maestría en cuestión, LA CONSTRUCTORA se encuentran interesada en colaborar con las actividades solicitadas, por lo que

ACUERDAN

Primero. El principal objetivo de esta colaboración, por parte de LA CONSTRUCTORA, es la creación de diseño y determinación de costos de los pozos de infiltración y/o jardines de bioretención.

Segundo. Para el cumplimiento de tal objetivo, EL ESTUDIANTE proporcionará la información necesaria para la elaboración de dichos diseños.

Paulo C. Parada Molina

Poniente 4 No. 194 Col. Ferrocarrilera
C.P. 91120 Xalapa, Ver.
Tel/Fax (228) 8 40 47 03
mdjorge@hotmail.com



Tercero. LA CONSTRUCTORA aportará recomendaciones de materiales y diseños con la finalidad de maximizar el funcionamiento de los pozos diseñados y minimizar costos económicos para su construcción.

Cuarto. LA CONSTRUCTORA dará asesoría al ESTUDIANTE durante la evaluación del funcionamiento de los prototipos instalados.

El presente acuerdo de colaboración entrará en vigor a partir de la firma del mismo y tendrá una duración de 6 meses. El presente convenio podrá ser modificado de mutuo acuerdo a solicitud de cualquiera de las partes.

De conformidad con todo lo expuesto y acordado, las partes firman el acuerdo por duplicado ejemplar en la fecha y lugar arriba indicados.

LA CONSTRUCTORA

Ing. Jorge Miranda Durán

EL ESTUDIANTE

Paulo C. Parada M.
LCA. Paulo César Parada Molina

Poniente 4 No. 194 Col. Ferrocarrilera
C.P. 91120 Xalapa, Ver.
Tel/Fax (228) 8 40 47 03
mdjorge@hotmail.com

Anexo 7. Presupuesto de pozo de infiltración.

PRE SUPUESTO					
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio U.	Total
	POZO DE INFILTRACION				
	POZO DE INFILTRACION				
EZB002B	EXCAVACION A MANO EN ZANJAS DE 0.00M Y HASTA 2.00 MTS. DE PROFUNDIDAD, EN MATERIAL TIPO "B" INCLUYE AFINE DE TALUDES, FONDO Y ACARREOS INTERNOS	M3	1.00	89.53	179.06
	Precio U: ** OCHENTA Y NUEVE PESOS 53/100 M.N. **				
	Total: **CIENTOSETENTA Y NUEVE PESOS 06/100 M.N. **				
POZ100X350R	CAPAS INTERIORES DE POZO: ARENA DE 3.00 CM, FILTRO DE 50CM DE DIAMETRO CON ESPESOR DE 60 CM, GRAVA 3/4" DE 20CM DE ESPESOR, ARENILLA DE 10CM DE ESPESOR Y UNA CAPA FINAL DE PASTO ALFOMBRA, CON DESCARGA A REGISTRO DE PVC DE 4" INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPO.	PZA	1.00	974.32	974.32
	Precio U: ** NOVECIENTOS SETENTA Y CUATRO PESOS 32/100 M.N.**				
	Total: ** NOVECIENTOS SETENTA Y CUATRO PESOS 32/100 M.N. **				
	Total de POZO DE INFILTRACION				1153.38
	UN MIL CIENTO CINCUENTA Y TRES PESOS 38/100 M.N.				
	Subtotal de Presupuesto				1153.38
	UN MIL CIENTO CINCUENTA Y TRES PESOS 38/100 M.N.				
				Impuesto	184.54
	UN MIL TRESCIENTO TREINTA Y SIETE PESOS 92/100 M.N.			Total	1337.92

Anexo 8. Ficha técnica de factibilidad.

Pozos de infiltración superficial para agua pluvial en viviendas del municipio de Xalapa.

1. Análisis técnico

a) Diseño:

- Es un sistema de drenaje alternativo muy sencillo.
- Se adaptan al diseño de las viviendas.
- Ocupa poco espacio.
- El tamaño depende de la velocidad de infiltración, el área de captación y cantidad de lluvia que se quiere manejar (volumen menor a 3 m³ para velocidades mayores a 130 mm/h, área de captación de 30 m² y lluvia de diseño de 70 mm/h).
- Se debe considerar la colocación de salidas alternas de agua para eventos de lluvia superiores a las de diseño.

b) Construcción:

- Fácil de construir.
- Su ubicación requiere suelo con características permeables.
- Características geotécnicas "estables o firmes".

c) Operación:

- Permiten desconectar el agua pluvial de la red de alcantarillado, disminuyendo así el caudal que circula por él.
- Funcionan correctamente bajo los parámetros de diseño.

d) Mantenimiento: debido a que las acumulaciones de sedimentos y basura dentro del pozo son difíciles observar, para conservar la eficiencia su eficiencia se requiere:

- Mantener área de captación (azoteas) limpia.
- Retirar de manera periódica la basura de las rejillas de la tubería.
- Limpiar el material de relleno del pozo en un intervalo aproximado de 5 a 6 años (Imbe *et al.*, 1995; Herath y Musiake, 1995).

2. Análisis económico

a) Costos

- Excavación de zanja de hasta 2 m de profundidad: \$179.06.
- Capas interiores del pozo con capa final de pasto alfombra, tubería de descarga, incluyendo material y mano de obra: \$974.32.
- Son de bajo costo.
- Materiales para su construcción son accesibles.

- Su costo puede ser reducido si se reutilizan materiales y/o se construye de manera propia.

b) Financiamiento

- Por su bajo costo la inversión para la construcción será de los propietarios de las viviendas.

3. Análisis social

a) Pertinencia

- Contribuye al ahorro de inversión de obras de alcantarillado y equipamiento urbano por parte del ayuntamiento.
- Actualmente las autoridades municipales de Xalapa, con la Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES), buscan mejorar su sostenibilidad ambiental y urbana.
- Por otra parte, con el programa de medidas preventivas y de mitigación contra la sequía se pretende elaborar y ejecutar acciones para el uso y manejo racional y sustentable del agua.
- El promover el uso de pozos de infiltración como sistemas de drenaje pluvial alternativa contribuirá a fomentar una cultura de manejo del agua.
- A largo plazo, el uso generalizado de estos dispositivos incrementará captación de agua en cuerpos subterráneos que abastecen a comunidades aledañas del municipio de Xalapa.

b) Aceptabilidad:

- Las personas muestran interés por el manejo y aprovechamiento del agua pluvial.
- El desconocimiento de sistemas de manejo y aprovechamiento de agua pluvial ha sido un factor limitante para su utilización.
- Las personas están dispuestas a invertir en sistemas de manejo y/o aprovechamiento del agua pluvial si son de bajo costo.

c) Beneficios:

- Atenúan de forma significativa el volumen de agua de escorrentía y el caudal pico.
- Se integran fácilmente en el paisaje.
- Puede ser una buena solución cuando se quiere evitar el vertido de aguas susceptibles de estancarse en la naturaleza y por lo tanto de favorecer la proliferación de mosquitos (vectores de enfermedades).

4. Análisis ambiental

a) Impactos

Positivos (si se utilizan de manera generalizada):

- Reducción de los escurrimientos superficiales en zonas urbanas de Xalapa.
- Disminución de inundaciones y encharcamientos.
- Recuperación de cuerpos de agua aledaños.
- Disminución de la contaminación de cuerpos de agua por arrastre de desechos y contaminantes.
- Recuperación de áreas verdes urbanas.

Negativos

- Se puede producir contaminación del suelo y del agua subterránea si el agua vertida en el pozo de absorción contiene residuos sólidos o impurezas, debido a la falta de limpieza de la azotea.

b) Mitigación

- Construir por lo menos a 1.2 m sobre el nivel freático.
- Colocar de filtros de agua en la tubería o construir un pozo de decantación antes de verter el agua en el pozo de infiltración.

5. Análisis de la factibilidad

Desde el punto de vista técnico, los pozos de infiltración superficial son estructuras pequeñas, adaptables al diseño de las viviendas; para su realización como un sistema de drenaje de agua pluvial son necesarias algunas características específicas en cuanto a las características del suelo, ya que este debe ser de tipo andosol, regosol, por ser de características permeables, características geotécnicas estables o de suelo firme, para evitar ablandamientos y deslizamientos por la humedad en el suelo. Funcionan de manera correcta excepto para lluvias por arriba del límite de diseño.

En cuanto al mantenimiento, es difícil de determinar el tiempo en que se necesitará darle limpieza al material de relleno, sin embargo, la limpieza del área de captación (azoteas) y la tubería permitirán alargar el tiempo de eficiencia.

En lo que concierne la parte económica y a la participación social, el interés de las personas por implementar cierta infraestructura como estrategias para aprovechar y manejar el agua pluvial es alto, sin embargo, la infraestructura debe ser de bajo costo para que puedan ser adoptadas por la población. En relación a lo anterior, los materiales para la construcción de estos pozos de infiltración son económicos, de fácil acceso, y su costo puede ser reducido al reutilizar materiales o al ser construido por los mismos habitantes de la vivienda.

Por otra parte, actualmente las autoridades municipales y federales cuentan con el interés de fomentar, elaborar y ejecutar acciones para el uso y manejo racional y sustentable del agua.

Relacionado a la parte ambiental, es importante remarcar que los beneficios se podrán obtener si se utilizan de manera extendida. Estos dispositivos permiten reducir los escurrimientos superficiales en zonas urbanas con lo que se podrán disminuir encharcamientos e inundaciones. Permiten recargar cuerpos de agua aledaños, disminuir su contaminación por arrastre de desechos y contaminantes así como recuperar áreas verdes urbanas.

Si bien, el uso de este tipo de infraestructura puede ocasionar contaminación del suelo o del agua subsuperficial, el tomar en cuenta las características de diseño permitirá evitar esta problemática.

Anexo 9. Análisis de la factibilidad para la zona 2: suelo medianamente estable, de Xalapa.

Factores de la componente social y su valor.

Componente	Factores	Puntos	
Social	Afectación por encharcamientos o inundaciones	3	4
	Manejo de agua pluvial	0	4
	Conocimiento de infraestructura de manejo de agua pluvial	1	4
	Participación social	4	4
	Interés en el manejo de agua pluvial	4	4
	Interés de inversión en infraestructura para drenaje pluvial	4	4
Total		16	24

Factores de la componente técnica y su valor.

Componente	Factores	Puntos	
Técnica	Tipo de suelo	2	4
	Características geotécnicas	2	4
	Capacidad de infiltración	2	4
	Adaptabilidad	3	4
	funcionabilidad	2	4
	Reutilización de materiales	3	4
Total		14	24

Factores de la componente económica y su valor.

Componente	Factores	Puntos	
Económica	Monto dispuesto a invertir	1	4
	Costo de construcción	4	4
	Reducción de costos por reutilización de materiales	4	4
Total		9	12

Factores de la componente ambiental y su valor.

Componente	Factores	Puntos	
Ambiental	Reducción de encharcamientos o inundaciones	4	4
	Incremento de áreas verdes urbanas	4	4
	Evita la contaminación de suelo y agua subterránea	3	4
Total		11	12

Puntaje y ponderación óptima, puntaje y ponderación obtenida y porcentaje de viabilidad para las componentes social, técnica, económica y ambiental.

Componente	Puntaje óptimo	% óptimo	Puntaje total	% obtenido	% de Viabilidad
Social	24	33.33	16	22.22	66.67
Técnica	24	33.33	14	19.44	58.33
Económica	12	16.67	9	12.50	75.00
Ambiental	12	16.67	11	15.28	91.67
Total	72	100	50	69.44	

Anexo 10. Acuerdo de colaboración para la elaboración de propuestas de medidas de mitigación del PMPMS: zona conurbada Xalapa.



Acuerdo de colaboración para la elaboración de propuestas de medidas de mitigación del PMPMS: zona conurbada Xalapa

REUNIDOS

De una parte, Dr. Juan Cervantes Pérez, Coordinador de Análisis y Elaboración del Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS): Zona conurbada Xalapa; en adelante **“EL COORDINADOR”**, y por la otra, LCA. Paulo César Parada Molina, estudiante de la Maestría en Gestión Ambiental para la Sustentabilidad de la Universidad Veracruzana; en adelante **“EL ESTUDIANTE”**

Francisco J. Moreno No.
207
Col. Emiliano Zapata
C.P. 91090
Xalapa
Veracruz, México

Teléfono
+52 (228) 8 19 50 19
+52 (228) 8 12 06 88

Correo Electrónico
jcervantes@uv.mx

EXPONEN

Que en función de las actividades y objetivos para la realización de propuestas de medidas de mitigación del “PMPMS: zona conurbada Xalapa” realizado por parte de **“EL COORDINADOR”**, y del Proyecto Integrador para obtener el grado de Maestro en Gestión Ambiental para la Sustentabilidad de la Universidad Veracruzana realizado por **“EL ESTUDIANTE”**, ambas partes se encuentran interesadas en colaborar, con intercambio de experiencias y cooperación, para lo cual

ACUERDAN

Primero. El principal objetivo de esta colaboración es la elaboración y presentación de avances del documento PMPMS: zona conurbada Xalapa.

Segundo. Para el cumplimiento de tal objetivo se promoverá el intercambio y la colaboración con el equipo de trabajo a cargo de **“EL COORDINADOR”**, a fin de realizar y consensar conjuntamente cualquier tipo de actividades, como por



Paulo C. Parada Molina



Centro de Ciencias de la Tierra



Universidad Veracruzana

ejemplo: reuniones de trabajo, elaboración y presentación de propuestas, etcétera.

Tercero. **“EL ESTUDIANTE”** aportará, al documento *Estrategias encaminadas a incrementar el manejo y aprovechamiento del agua*, las cuales presentará en la Sesión de Consejo de Cuenca de los Ríos Tuxpan al Jamapa.

Cuarto. Para el cumplimiento de lo establecido en el presente acuerdo, ambas partes se comprometen a cooperar mutuamente en las actividades encaminadas a lograr sus objetivos.

El presente acuerdo de colaboración entrará en vigor a partir de la firma del mismo y tendrá una duración de 3 meses. El presente acuerdo podrá ser modificado de mutuo acuerdo a solicitud de cualquiera de las partes.

De conformidad con todo lo expuesto y acordado, las partes firman el acuerdo por duplicado ejemplar en la ciudad de Xala, Veracruz a los seis días del mes de octubre del dos mil catorce.

Francisco J. Moreno No.
207
Col. Emiliano Zapata
C.P. 91090
Xalapa
Veracruz, México

Teléfono
+52 (228) 8 18 50 19
+52 (228) 8 12 06 88

Correo Electrónico
jcervantes@uv.mx



“EL COORDINADOR”

Dr. Juan Cervantes Pérez

“EL ESTUDIANTE”

LCA. Paulo César Parada Molina

Anexo 11. Oficio de comisión para presentar avances del PMPMS.



Centro de Ciencias de la Tierra



Universidad Veracruzana

LCA PAULO CÉSAR PARADA MOLINA
PROYECTO SEQUÍA CONSEJOS CUENCA OCGC E2
PRESENTE.

Francisco J. Moreno No.
207
Col. Emiliano Zapata
C.P. 91090
Xalapa
Veracruz, México

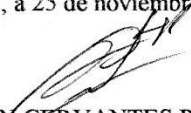
Teléfono
+52 (228) 8 18 50 19
+52 (228) 8 12 06 88

Correo Electrónico
jcervantes@uv.mx

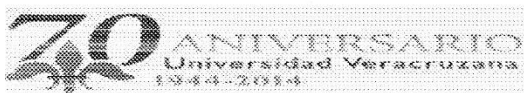
Por medio del presente comunico a usted que ha sido comisionado el día 26 de noviembre del presente, a Boca del Río, Ver., para asistir a la 6ª. Sesión de Consejo de Cuenca y 7ª. Reunión de la Asamblea General de Usuarios en Boca del Río, Ver.

Agradezco a usted su colaboración y apoyo para este importante proyecto de investigación.

Atentamente.
"LIS DE VERACRUZ: ARTE, CIENCIA, LUZ"
Xalapa, Ver., a 25 de noviembre de 2014


DR. JUAN CERVANTES PÉREZ
COORDINADOR DEL CCTUV

c.c. Archivo



Anexo 12. Propuesta de reforma y adición al reglamento de desarrollo urbano del municipio de Xalapa, Ver. que propone a considerar el uso de pozos de infiltración superficial como sistema de drenaje natural a nivel vivienda.

Xalapa, Ver., a 31 de agosto del 2015

Ing. Sergio Alfredo Angón Rodríguez
Subdirector de Medio ambiente
H. Ayuntamiento de Xalapa

El que suscribe C. Paulo Cesar Parada Molina, estudiante de la Maestría en Gestión Ambiental para la Sustentabilidad de la Universidad Veracruzana, en ejercicio del derecho que otorga el **Artículo 8 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos** y el **artículo 7 de la Constitución Política del Estado de Veracruz**, presenta ante la Subdirección de Medio Ambiente del H. Ayuntamiento de Xalapa, la propuesta titulada:

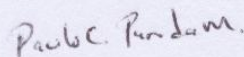
“Propuesta de reforma y adición al reglamento de desarrollo urbano del municipio de Xalapa, Ver. que propone a considerar el uso de pozos de infiltración como sistema de drenaje natural a nivel vivienda”

Con la finalidad de ser considerada en actualizaciones posteriores del reglamento en el tema de manejo sustentable del agua.

Se anexa documento de la propuesta y documento “Dispositivo de infiltración de agua pluvial-Pozos de infiltración superficial”.

Sin más por el momento, reciba un saludo cordial.

Atentamente



C. Paulo César Parada Molina

Contacto
cepala1@hotmail.com Tel: 8 90 08 74 Cel: (228)1245878
Andador 7 No. 15 Col. Lomas del Seminario. CP. 91014. Xalapa, Ver.



Propuesta de reforma y adición al reglamento de desarrollo urbano del municipio de Xalapa, Ver. que propone a considerar el uso de pozos de infiltración superficial como sistema de drenaje natural a nivel vivienda.

Exposición de Motivos

El proceso de urbanización en las sociedades contemporáneas ha sido acelerado. De acuerdo con Chang y colaboradores (2009), dicho crecimiento abrupto sobrepasa cualquier previsión, diseño y planeación de servicios urbanos; genera impactos negativos en la calidad de vida de la población tales como insuficiencia de equipamiento e infraestructuras urbanas, el deterioro de procesos ambientales y de los recursos naturales.

La urbanización, mencionado por Romero y Vázquez (2005), implica un aumento de las superficies impermeables que impiden la infiltración natural de agua en el suelo, por lo que el ciclo hidrológico se ve alterado drásticamente por estos cambios. Como consecuencia de ello, se incrementan los caudales máximos y los volúmenes de agua superficiales, siendo cada vez más frecuente observar problemas de encharcamientos, inundaciones y sedimentación en zonas urbanas ubicadas aguas abajo; erosión en los sectores más vulnerables; degradación y pérdida de arroyos superficiales y subterráneos.

Las obras de infiltración de agua de lluvia constituyen herramientas cada vez más utilizadas para reducir y controlar los escurrimientos e inundaciones en zonas urbanas.

Entre estas obras, una alternativa a nivel de viviendas particulares, corresponde a los pozos de infiltración de agua pluvial, que permiten la disminución de los flujos superficiales, encharcamientos, inundaciones generados por las lluvias y la recarga de los cuerpos de agua subsuperficiales, por lo que su regulación y ordenación dentro del desarrollo urbano se hace indispensable considerando que la ordenación del territorio constituye una herramienta fundamental para orientar el desarrollo, maximizando la eficiencia económica del territorio y garantizando al mismo tiempo su cohesión política, social y cultural, en plena armonía con la conservación de los recursos naturales.

Marco legal

A partir de lo anterior, esta propuesta se fundamenta en:

- Los derechos y responsabilidades que decretan que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano, ecológicamente equilibrado y sustentable, para su desarrollo y bienestar. Así mismo, las personas serán igualmente responsables en la preservación y equilibrio del ambiente, el aprovechamiento sustentable, la restauración del suelo, el agua y demás recursos naturales;
- Ser de utilidad pública, establecimiento del equilibrio hidrológico de las aguas nacionales, superficiales o del subsuelo; la recarga artificial de acuíferos, así como la disposición de agua al suelo y subsuelo, acorde con la normatividad vigente; ser de interés público, el mejoramiento permanente del conocimiento sobre la ocurrencia del agua en el ciclo hidrológico, en su conservación en el territorio nacional, los servicios ambientales hidrológicos y los conceptos y parámetros fundamentales para alcanzar la gestión integrada de los recursos hídricos;
- Los principios que sustentan la política hídrica y política ambiental, que establecen que el aprovechamiento del agua debe realizarse con eficiencia y debe promoverse su reutilización y recirculación, los ecosistemas deben ser aprovechados sustentablemente, de manera que se asegure una productividad óptima y sostenida, compatible con su equilibrio ecológico e integridad, por lo que las autoridades del Estado, los Municipios, los particulares y demás

actores de la sociedad, deben asumir la responsabilidad de la preservación, conservación, restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

	Normatividad	Artículo
Los derechos y responsabilidades de las personas	Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	4 párrafo 4
	Constitución Política del Estado de Veracruz	8 párrafos 1 y 2
	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	1 fracciones I, III y V 88 fracciones I-III
	Ley Estatal de Protección Ambiental	12 fracción XII
	Ley de Desarrollo Urbano, Ordenamiento Territorial y Vivienda para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave	2 Fracción XI 10 fracción I 11 fracción VII
	Reglamento de Conservación Ecológica y Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Municipio de Xalapa	105 fracción III
	Reglamento de participación Ciudadana del Municipio de Xalapa	17, fracción II, Inc. m)
Ser de utilidad y de interes pública	Ley de Aguas Nacionales	7 fracción IV 7 BIS fracción IV
	Reglamento de Conservación Ecológica y Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Municipio de Xalapa	2 Fracción XI
Los principios de la política hídrica y ambiental	Ley de Aguas Nacionales	14 fracción XII
	Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	15 fracciones II y III
	Ley Estatal de Protección Ambiental	12 fracciones I-III
	Reglamento de Conservación Ecológica y Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Municipio de Xalapa, Ver.	105 fracciones III y VII 43 fracción I, V y
La corresponsabilidad del Estado y la sociedad	Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	88 fracciones I-III
	Ley de Desarrollo Urbano, Ordenamiento Territorial y Vivienda para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave	2 Fracción XI 11 fracción VII
	Reglamento de Conservación Ecológica y Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Municipio de Xalapa	105 fracción III
Las facultades de los municipios	Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	115 fracción III, Inc. a)
	Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales	131
	Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	8 fracción IX y XVI
	Ley Estatal de Protección Ambiental	7 fracción II
	Ley de Aguas del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave	33 fracción XV
	Ley Estatal de Mitigación y adaptación ante los Efectos del Cambio Climático	27 fracción VI
La regulación de asentamientos humanos, construcciones y vivienda	Ley Estatal de Protección Ambiental	34 35 fracción III
	Reglamento de la Ley de Aguas del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave	35
	Ley de Desarrollo Urbano, Ordenamiento Territorial y Vivienda para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave	49 fracción I
	Ley de Desarrollo Urbano, Ordenamiento Territorial y Vivienda para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave	99 fracción I 114 fracción V
	Ley que Regula las Construcciones Públicas y Privadas del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave	52 77
	Reglamento de la Ley que Regula las Construcciones Públicas y Privadas del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave	187 fracción II
	Reglamento de Desarrollo Urbano Municipal de Xalapa	144 fracción II
	Reglamento de Conservación Ecológica y Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Municipio de Xalapa, Ver.	43 fracción I, V y VI

- La corresponsabilidad del Estado y la sociedad, para la protección de suelos y la capacidad de recarga de los acuíferos; la preservación y el aprovechamiento sustentable del agua, es responsabilidad de los usuarios, así como de quienes realicen obras o actividades que afecten dichos recursos, entre otros.

- Las facultades de los municipios, entre las que se menciona que atañe a las autoridades Municipales del Estado de Veracruz, en el ámbito de su competencia, la facultad de conservar, preservar y restaurar el equilibrio ecológico y la protección al ambiente en los centros de la población, en relación con los efectos derivados del servicio de alcantarillado y drenaje pluvial; la formulación y ejecución de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, haciendo referencia, por la naturaleza de esta propuesta, la construcción de infraestructura y la protección de zonas inundables.

- La regulación ambiental de los asentamientos humanos, construcciones y vivienda, en la que se considera indispensable fortalecer las previsiones de carácter ecológico y ambiental, el proceso de creación, modificación y mejoramiento del ambiente construido por el hombre, por lo que los proyectos de construcción y vivienda se dirigirán al lograr integrar la vivienda al medio social y ecológico, preservando los recursos y las características del ambiente, estos proyectos podrán incluir la utilización de eco técnicas y de ingeniería ambiental que propicien la conservación de recursos naturales así como diseños que incluya sistemas de captación de agua pluvial.

En cuanto a drenaje pluvial se refiere, el artículo 52 de la Ley que Regula las Construcciones Públicas y Privadas del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave especifica que en las vialidades así como las zonas ajardinadas de cualquier tipo de construcción se deberán prever áreas y dispositivos de infiltración de agua en el suelo. Estos dispositivos son una manera de aprovechar o darle un manejo al agua pluvial y podría formar parte de un sistema de drenaje pluvial alternativo construido a partir de las características y propiedades físicas del suelo.

Sin embargo, en el municipio de Xalapa se da la posibilidad de drenar el agua pluvial a la calle, mientras su caída y escurrimiento no sea directamente sobre la acera, como se estipula en el artículo 135, fracción II del Reglamento de Desarrollo Urbano Municipal de Xalapa.

Por otro lado, se hace referencia que en el Plan Municipal de Desarrollo 2014-2017 y el plan de acción “Xalapa Sostenible: La visión para un futuro con servicios eficientes, un territorio resiliente y cuentas transparentes”, se prevé promover el rediseño ordenado, global y sustentable del espacio urbano y una cultura de ahorro de agua en Xalapa y considera reducir el riesgo de inundación a partir de acelerar la evacuación de las zonas de acumulación con la construcción de drenaje, sugiriendo construir un sistema de drenaje compuesto (pluvial y sanitario) y zonas de detención o almacenamiento temporal del agua.

Con base en lo anteriormente descrito, someto a su consideración la siguiente propuesta con la que se pretende puntualizar en la disposición final del agua pluvial, y con ello disminuir, a mediano plazo, los encharcamientos e inundaciones en áreas urbanas generados por eventos hidrometeorológicos, y a largo plazo, contribuir las alteraciones en el ciclo hidrológico natural y a la recarga de los cuerpos de agua subterráneos.

Propuesta de reforma y adición a los artículos 86 y 135 del Reglamento de Desarrollo Urbano del Municipio de Xalapa.

Reglamento Vigente	Propuesta
<p align="center">Reglamento de Desarrollo Urbano del Municipio de Xalapa.</p> <p align="center">(última actualización: 24 de junio del 2015)</p> <p>Artículo 93. En el interior de los edificios y predios se procurará, hasta donde sea posible, restituir los espacios libres destinados a patios, jardines o huertos.</p>	<p>Artículo 93. En el interior de los edificios y predios se procurará, hasta donde sea posible, restituir los espacios libres destinados a patios, jardines o huertos.</p> <p>I.- En lo que concierne a jardines, estos deberán contar con dispositivos de infiltración de agua pluvial en el suelo.</p>
<p>Artículo 144. Voladizos y Salientes.- Los elementos arquitectónicos que constituyen el perfil de una fachada, tales como pilastras, sardinales y marcos de puertas y ventanas situados a una altura menor de dos metros sesenta centímetros sobre el nivel de banquetta, podrán sobresalir del alineamiento hasta 10 centímetros. Estos mismos elementos situados a una altura mayor de dos metros sesenta centímetros, podrán sobresalir del alineamiento hasta veinte centímetros como máximo.</p>	<p>Artículo 144. ...</p>
<p>I.- Los balcones abiertos situados a una altura mayor de dos metros sesenta centímetros podrán sobresalir del alineamiento hasta un metro, pero al igual que todos los elementos arquitectónicos deberán sujetarse a las restricciones sobre distancias a líneas de transmisión que señalan las disposiciones de la materia. Cuando la acera tenga una anchura menor de un metro cincuenta centímetros, el Ayuntamiento fijará las dimensiones de los balcones y los niveles en que se puedan permitir. Las marquesinas podrán sobresalir del alineamiento el ancho de la acera disminuido en un metro; no deberán usarse como balcón cuando su construcción se proyecte sobre la vía pública.</p>	<p>I.- ...</p>
<p>II.- Los techos, balcones, voladizos y en general cualquier saliente, deberán drenarse de manera que eviten absolutamente la caída y escurrimiento de agua sobre la acera.</p> <p>III.- Queda prohibido usar la vía pública, para aumentar el área disponible de un predio o de una construcción tanto en forma aérea como subterránea.</p> <p>IV.- Las cortinas de sol serán enrolladas o plegadizas. Cuando estén desplegadas se sujetarán a los lineamientos prescritos en la fracción I de este artículo.</p> <p>V.- Los toldos de protección frente a la entrada de edificios se colocarán sobre estructuras desmontables, pudiendo sobresalir de la fachada lo mismo que los balcones o marquesinas, cortinas de sol, y toldos de protección, están obligados a conservarlas en buen estado y presentación decorosa, sujetándose a la textura y color que determine la Dirección. Las licencias que se expidan para la instalación de los elementos señalados en las dos últimas fracciones, podrán ser revocables cuando dejen de ajustarse a los términos de su expedición.</p>	<p>II.- Los techos, balcones, voladizos y en general cualquier saliente, deberán drenarse de manera directa al sistema de drenaje o alcantarillado pluvial o a dispositivos de infiltración de agua pluvial en el suelo, según sea el caso.</p> <p>III.- ...</p> <p>IV.- ...</p> <p>V.- ...</p>

Con base a la propuesta anterior se anexa el siguiente documento:

“Dispositivo de infiltración de agua pluvial-Pozos de infiltración superficial”.

Un pozo de infiltración se define como un agujero excavado en tierra, que se utiliza para drenar agua a través de sus paredes y del fondo hacia las napas subterráneas. Se conciben como estructuras de infiltración capaces de absorber total o parcialmente la escorrentía generada por los eventos de lluvia.

Los pozos de infiltración de agua pluvial para viviendas pueden ser de varios tipos (Figura 1), estar rellenos de arena, grava y/o ripio para que las superficies puedan funcionar como jardines de bioretención, o estar completamente huecos en su interior que permiten almacenar temporalmente el agua de lluvia e infiltrarlas posteriormente a través de sus paredes y del fondo directamente hacia el suelo.

Los pozos de infiltración son usados para drenar superficies pequeñas que no reciben grandes cantidades de contaminantes, como es el caso de la azotea de una casa. Las lluvias que caen en el techo se dirigen al pozo a través de una tubería de entrega. Luego el agua es almacenada temporalmente en su estructura y en los espacios vacíos del relleno, desde donde se infiltra hacia el suelo. Por su diseño, los pozos con relleno poroso se pueden adaptar en su superficie como jardines, mejor conocidos como jardines de bioretención.

Estos jardines son estructuras que cuentan con suelo formado de material permeable cubierto con plantas. Este tipo de jardín captura los escurrimientos de agua pluvial provenientes de superficies impermeables tales como azoteas, permitiendo que se infiltre en el suelo en lugar de drenarla en alcantarillas o en la calle.

El uso de estos dispositivos de infiltración es conveniente en zonas donde no hay mucho espacio disponible para obras de mayor tamaño, pero existe una capacidad importante de infiltración dentro de los estratos más profundos.

Especificaciones técnicas

Las obras de infiltración de agua, en este caso los pozos de infiltración superficial, deben ser parte de un régimen sustentable de manejo de agua, con las que se pretende reducir los encharcamientos e inundaciones.

En México, los criterios normativos en materia de infiltración de agua establecidos por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) son:

- Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2007, Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada.
- Norma Oficial Mexicana NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos.-Características y especificaciones de las obras y del agua.

Para efecto de este proyecto, la norma aplicable es la NOM-015-CONAGUA-2007, en la que se describe las características de los proyectos que estarán sujetos a dicha norma:

Es aplicable en todo el territorio nacional a las personas que ejecuten obras o actividades para la infiltración mediante disposición de aguas pluviales y escurrimientos superficiales al suelo y subsuelo en obras o conjunto de obras que tengan una capacidad mayor a 60 litros por segundo.

Cabe destacar que las obras con capacidad de infiltración menor a 60 litros por segundo no estarán sujetas a dicha norma, sin embargo, se recomienda seguir recomendaciones de ubicación, diseño, operación y mantenimiento.

En cuanto a la ubicación, se recomienda las características:

- Tipo de suelo andosol y regosol con características permeables ya que son sumamente aptos para proyectos de recarga a través de lagunas o pozos de infiltración;
- Características geotécnicas de suelo estable o firme, con poca variabilidad en su estructura.

Para el caso de Xalapa, con base a los estudios realizados por Hernández (2007) y Torres y colaboradores (2009), estas características se encuentran a los alrededores del cerro Macuiltépetl,

- La calidad del agua de lluvia a infiltrar, Contreras y Solano (2011), realizaron la caracterización del agua de lluvia en la ciudad de Xalapa, Ver., definiendo que el agua pluvial es apta para su uso doméstico ya que cumple satisfactoriamente con lo planteado por la NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", por lo que se considera dentro de los límites establecidos en la NOM-015-CONAGUA-2007.

Pese a esto, se debe considerar tomar medidas para que no experimente cambios considerables en su calidad como mantener el área de captación pluvial limpia de residuos o líquidos y la zona por donde transite el escurrimiento superficial.

Diseño de los pozos de infiltración

El gasto máximo de agua que fluirá a través de la azotea hacia el pozo se determinará a partir de lo descrito en el manual sobre sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, Cidecalli (2007):

$$Q_M = 0.2778 C_e A_c I \quad \text{ec. 1}$$

Donde:

Q_M es el gasto máximo (m³/s),

C_e es el coeficiente de escurrimiento

A_c es el área de captación (área de la azotea) en km²

I es la intensidad de la lluvia de diseño para el periodo de retorno

Los datos para la estimación del gasto máximo sobre el cual se diseñarán los pozos de infiltración para viviendas en Xalapa son (Tabla A):

Tabla A. Valores de referencia para el estimar el gasto máximo.		
Variables		Valor de referencia
Área de la captación (azoteas)	(A_c) =	0.000030 km ²
Coeficiente de escurrimiento	(C) =	0.75
Intensidad de lluvia	(I) =	71.4 mm/hr
Periodo de Retorno	(T) =	1.5 años

Sustituyendo los datos en la ec. 8 para el cálculo del gasto (Q_M) se tiene que:

$$Q_M = 0.2778 (0.75) (71.4 \text{ mm/hr}) (0.00003 \text{ km}^2)$$

$$Q_M = 0.00044 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para obtener las dimensiones de los pozos se empleará la ecuación:

$$A = Q_M / K_{if} \quad \text{ec. 2}$$

Donde:

A es el área en planta de la obra de infiltración (m²).

Q_M es el gasto máximo (0.00044 m³/s),

K_{if} es la velocidad de infiltración (m/d)

La velocidad de infiltración en el suelo se determinará empleando el método Porchet o pozo de nivel variable que consiste en un agujero cilíndrico, excavado en tierra, de radio y profundidad constantes de 30 cm, en el cual se mide el descenso del nivel del agua dentro del pozo a través del tiempo; aplicando la ecuación:

$$K_{if} = \frac{R}{2(t_1 - t_2)} \ln \left(\frac{2H_1 + R}{2H_2 + R} \right) \quad \text{ec. 3}$$

Donde:

R es el radio del pozo (mm),

H₁ y H₂ son las alturas (mm) de agua medidos en los instantes t₁ y t₂ (hr), respectivamente.

En la Tabla B se muestran los valores medios de la velocidad de infiltración obtenidos para tres colonias de Xalapa, Ver.

Tabla B. Valores de velocidad de infiltración.

Colonia	K _{if} (X10 ⁻⁵ m/s)	K _{if} (mm/h)
Carolino Anaya	4.036	145.3
Héroes Ferrocarrileros	1.905	68.8
Progreso Macuiltépetl	6.405	230.6

En las Tablas C se muestran el valor que deben tener los pozos en función de la velocidad (K_{if}) de infiltración y el área de captación (Ac).

Tabla C. Dimensiones mínimas requeridas para los pozos de infiltración.

K _{if} (mm/hr)	Volumen (m ³) (Ac= 30 m ²)	Volumen (m ³) (Ac= 40 m ²)	Volumen (m ³) (Ac= 50 m ²)
60	11.085	19.081	26.462
70	8.732	15.142	20.999
80	7.098	12.393	17.187
90	5.911	10.386	14.404
100	5.016	8.868	12.298
110	4.322	7.687	10.660
120	3.772	6.746	9.356
130	3.328	5.983	8.297
140	2.962	5.353	7.424
145	2.803	5.079	7.044
150	2.658	4.827	6.694
160	2.401	4.382	6.077
170	2.182	4.001	5.548

180	1.993	3.672	5.093
190	1.830	3.386	4.696
200	1.687	3.135	4.348
210	1.561	2.914	4.041
220	1.450	2.718	3.769
230	1.351	2.542	3.526
240	1.263	2.385	3.308
250	1.183	2.243	3.111

El volumen V de los se determinó a partir de:

$$V = (720000Q_M/K_{if})^{3/2} \quad \text{ec. 4}$$

En cuanto a las características de los pozos, deben medir como mínimo 0.80 de profundidad y alejados de las paredes una distancia mínima de 20 cm, para que la estructura de cimentación de las viviendas, que es de entre 0.60 y 0.80 m generalmente, no se vean afectadas por la humedad (mencionado por los ingenieros de la constructora MEXMI); el ancho y largo dependerá de la colonia donde se instalará (en función de la velocidad de infiltración), así como de las características de las viviendas (área de la azotea). A partir de esta información se realizó el diseño para las colonias y se determinaron los costos.

A continuación se presenta un ejemplo del diseño y costos del pozo de infiltración elaborado a partir de tomar una velocidad de infiltración de 145.3 mm/h.

El diseño (Figura A) se trata de un pozo relleno con material poroso cuya infraestructura incluye:

- Bajante de tubo de PVC de 4",
- Rejilla para bajante
- Salida alterna de agua para desechar el exceso 2",
- Rejilla para salida alterna

y su estructura estará compuesta por capas, del fondo a la superficie,

- Arena, 2 cm,
- Rocas medianas, 50 cm.
- Grava, 25 a 30 cm.
- Arenilla.
- Recubrimiento con polietileno.
- Capa delgada de tierra.
- Césped.

Para determinar el costo de construcción incluyendo materiales y mano de obra, el personal de la constructora empleó el software OPUS, que es utilizado para la elaboración de presupuestos de obra, en el área de la construcción, basándose en el costo de los materiales, la cantidad del material requerido y el costo de mano de obra en la zona.

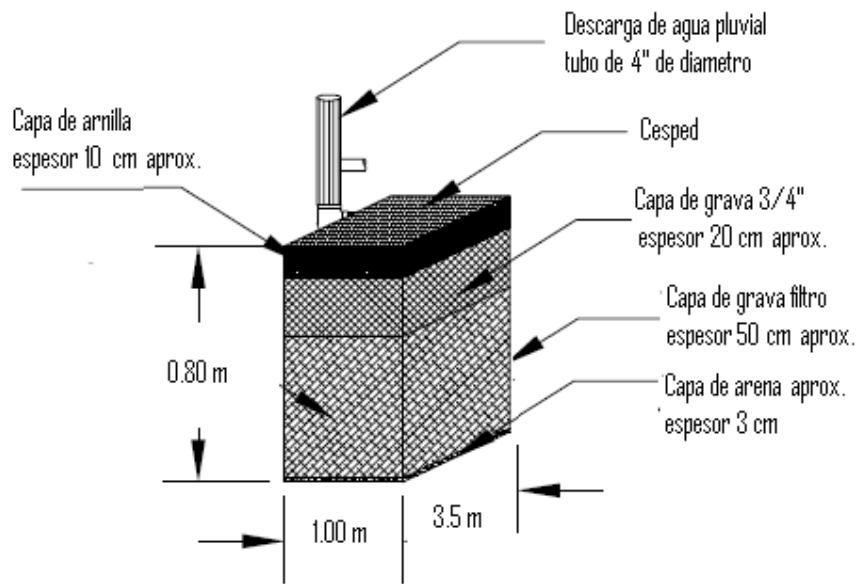


Figura A. Diseño del pozo de infiltración relleno de material poroso.

El costo de construcción incluyendo materiales y mano de obra es de \$1, 153.38 más IVA (Anexo 7).

Con este tipo de diseños se pretende promover la autoconstrucción de pozos de infiltración como obras de captación de agua pluvial, y en general, de pequeñas obras de infraestructura hidráulica para agua y saneamiento en colonias.