



# *Impluvium*

Periódico digital de divulgación de la Red del Agua UNAM  
Número 1, Abril - Junio 2014

## Sistemas de Captación de Agua de Lluvia



## EDITORIAL

RAMÓN ULACIA BALMASEDA  
COORDINADOR DEL GRUPO DE ANÁLISIS SOBRE  
CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA

Retomando el concepto ***Impluvium*** usado por los griegos, etruscos y romanos para captar y almacenar el agua de lluvia en sus viviendas, la Red del Agua de la UNAM se propuso crear un periódico sobre el manejo del agua que tiene como objetivo *recolectar* el conocimiento de distintas disciplinas para ponerlo a disposición de lectores interesados en el tema. Creemos importante abrir un espacio de diálogo en el que todos puedan participar y aportar al tema del manejo del agua en nuestra sociedad.

En este primer número, recibimos artículos con visiones desde la antropología, la biología, la arquitectura y algunas ingenierías que, en su

conjunto, nos muestran interesantes matices que existen en el manejo del agua pluvial. Andrea Gutiérrez nos hace ver la especial atención que nuestros ancestros en Mesoamérica ponían en la captación y aprovechamiento de agua de lluvia y cómo esas prácticas milenarias pueden retomarse y adaptarse con el fin de atender las necesidades de la Ciudad de México y los habitantes que continuamente llegan a ella. Edgar Ramírez analiza el alcance que puede tener el trabajo en equipo entre la sociedad civil y la academia para “brindar apoyo y actuar como mediadores en la toma de decisiones y resolución de conflictos” presentando el caso de estudio para la escuela primaria Emiliano Zapata, en el Estado de México. Como aporte personal al periódico, pongo a su consideración los beneficios sociales y ambientales que ofrece la infraestructura verde cuando es integrada al diseño del espacio público de las ciudades contemporáneas, misma que ayuda a aumentar considerablemente la tasa de infiltración y retención de agua. Sebastián Serrano explica el proceso necesario para filtrar

y limpiar el agua de lluvia que en su paso por el aire contaminado y las superficies construidas de una urbe se impregna de partículas tóxicas y contaminantes que deben ser removidas antes de poder usarla en nuestras actividades.

En el apartado de proyectos para **Impluvium**, Agustín Correa presenta el resumen de la propuesta hecha en conjunto con Eugenio Gómez, José Gracida y José Kuri para medir y analizar los volúmenes y calidad del agua apta para la recarga de acuíferos con pozos de absorción en el Distrito Federal y las posibilidades de captación de agua de lluvia como fuente de abastecimiento para la Ciudad. Por último, Yazmín Hernández nos comparte el caso de un estudio realizado para la industria automotriz, en el que se determina el tratamiento óptimo de agua de lluvia para su infiltración al acuífero.

Los artículos y proyectos presentados muestran la transversalidad que existe al estudiar y presentar propuestas que tengan que ver con el manejo de agua pluvial en zonas urbanas y rurales. Invitamos a seguir enriqueciendo

el periódico con su participación; para que el conocimiento, así como el agua recolectada en el **Impluvium**, pueda usarse cuando se necesite y se deseé. 💧



# *Impluvium*

**Impluvium** es una publicación de la Red del Agua UNAM; puede ser reproducida con fines no lucrativos, siempre y cuando no se mutile, se cite la fuente completa y su dirección electrónica. Las opiniones declaradas en la publicación son responsabilidad de sus autores.

**Dr. Fernando J. González Villarreal**  
Coordinador Técnico Red del Agua UNAM

Consejo editorial:  
**Malinali Domínguez Mares, Jorge Alberto Arriaga Medina**

Editor invitado:  
**Ramón Ulacia Balmaseda**

Diseño y formación:  
**Joel Santamaría García**

Periódico digital de divulgación de la Red del Agua UNAM.  
Número 1, Sistemas de Captación de Agua de Lluvia,  
Abril - Junio 2014

[www.agua.unam.mx](http://www.agua.unam.mx)

# CONTENIDO

Editorial ..... 2

## ARTÍCULOS

Captación de agua pluvial,  
una solución ancestral ..... 6

ANDREA GUTIÉRREZ SASTRIAS

Creando sinergia entre academia y sociedad civil,  
*¿el pretexto?* Captación de agua de lluvia  
en escuelas de educación básica ..... 12

EDGAR RAMÍREZ

La infraestructura verde como sistema  
de captación de agua de lluvia ..... 17

RAMÓN ULACIA BALMASEDA

Aprovechar el agua de lluvia.  
Doble solución ..... 23

SEBASTIÁN SERRANO / SOLUCIONES HIDROPLUVIALES

## PROYECTOS

Proyecto Piloto para evaluar la factibilidad  
técnica y económica de Sistemas de  
Recarga-Recuperación para el aprovechamiento  
de agua de lluvia en el Distrito Federal  
SACMEX-GDF ..... 28

EUGENIO GÓMEZ REYES (UAM- IZT)

AGUSTÍN F. CORREA CAMPOS (UNAM Y DICREA)

JOSÉ G. GRACIDA KING (SMIDF)

JOSÉ A. KURI ABDALA (FI-UNAM)

Estudio del tratamiento óptimo del agua de lluvia  
para el cumplimiento de la normativa de su  
infiltración al subsuelo en una planta  
de la industria automotriz ..... 34

YAZMIN HERNÁNDEZ MELCHOR

# CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL, UNA SOLUCIÓN ANCESTRAL

POR ANDREA GUTIÉRREZ SASTRIAS  
ANTROPÓLOGA SOCIAL

Para el desarrollo de cualquier especie, incluida la humana, el agua es un recurso básico: sin agua, no habría vida. Cobra mayor importancia cuando hablamos de sociedades desarrolladas, ya que se requiere de ella tanto para su uso doméstico como industrial, sobre todo en grandes ciudades como la de México. Por lo tanto, resulta primordial para cualquier cultura tener un adecuado manejo de este recurso, tanto para su abastecimiento, como para evitar desastres (tenemos los ejemplos más recientes como

.....  
*La captación pluvial es un sistema ancestral que ha sido practicado en diferentes épocas y culturas ya que es un medio fácil para obtener agua para el consumo humano y uso agrícola.*  
.....

los Huracanes Ingrid y Manuel o el Paulina en la República Mexicana, y las afectaciones a Nezahualcoyotl, Iztapalapa y Xochimilco en la Ciudad de México).

No es ninguna novedad que gracias al crecimiento demográfico, especialmente en la Ciudad de México y zonas conurbadas, el abasto de agua sea insuficiente. Si a esto le añadimos un ordenamiento urbano mal planeado o asentamientos irregulares que conllevan la falta de sistemas de abastecimiento de agua formales, veremos que parte fundamental de la tarea que nos toca como generación es lograr la distribución del agua y su abastecimiento, siguiendo técnicas sustentables para minimizar su impacto ambiental y lograr un mayor alcance a las zonas que no cuentan con un sistema de distribución o en donde el agua escasea.

El objetivo de este artículo es hacer un breve rastreo histórico de los sistemas de captación pluvial en la Ciudad de México para generar propuestas que respondan a las necesidades de

una nueva ciudad, en constante crecimiento y que requiere sistemas innovadores de captación y distribución de agua.

La captación pluvial no es algo nuevo y tampoco implica gran tecnología a un nivel doméstico. Es un sistema ancestral que ha sido practicado en diferentes épocas y culturas, ya que es un medio fácil para obtener agua para el consumo humano y para el uso agrícola.

El agua de lluvia puede ser interceptada, colectada y almacenada en depósitos especiales para su uso posterior. Esto ayudaría durante el tiempo de secas para sobrellevarlas y también durante épocas de lluvias fuertes que desencadenan inundaciones que afectan la Ciudad. Gracias al mal uso del agua y por factores tales como la deforestación masiva en el planeta, el agua ira escaseando progresivamente lo cual significa que en un futuro no muy lejano, el sistema de captación de agua de lluvia será un mecanismo de sobrevivencia necesario.

## Infraestructura hidráulica en la gran Tenochtitlán

Durante la etapa prehispánica, las chinampas, acequias, calzadas, diques, albarradones y acueductos fueron las obras hidráulicas más representativas. Los principales materiales para su construcción fueron la madera, la piedra y el lodo así como plantas y tules.

Antes de que nuestra ciudad se viera cubierta por una gran capa de asfalto, Tenochtitlán, la capital de los aztecas, se encontraba sobre un valle caracterizado por ser una cuenca con un complejo de lagos, lagunas y pantanos procedentes de precipitaciones pluviales, de ríos permanentes o semipermanentes y de manantiales. Gracias a esta cualidad, nuestros antepasados llevaron a cabo algunas de las más importantes construcciones de infraestructura hidráulica, las cuales requerían de mantenimiento periódico y de una considerable inversión laboral.

La geografía del Valle, las lluvias irregulares y el mismo sistema lacustre, dieron pie para idear soluciones que posibilitaran la aparición y

el desarrollo de la agricultura de riego y el hábitat en la cuenca de México.

Las lluvias, de carácter irregular e impredecible en ocasiones, se aprovecharon y canalizaron mediante sistemas naturales (manantiales, arroyos, ríos) o mediante sistemas artificiales que captaban y retenían el agua de lluvia para desviarla a los campos de cultivo.

Gran parte de las obras hidráulicas que pertenecieron al señorío tenochca de fines del Siglo XVI fueron incorporadas a la red urbana actual (Villalonga, 2007:4). Los lagos de la cuenca de México fueron aprovechados y manipulados artificialmente para servir a distintos propósitos, ya fuera separar las aguas dulces de las saladas, crear suelos para uso agrícola o habitacional y para abastecer a la población.

Annabel Villalonga destaca entre las principales obras hidráulicas del México de la época los canales o acequias, que funcionaban como un sistema de irrigación que aprovechaba las aguas de ríos o manantiales y las dirigían a una compleja red de distribución. Las calzadas, que funcionaban como diques para evitar las inundaciones y, además, permitían controlar la entrada de agua dulce a la ciudad, y los acueductos de cal y canto, como por ejemplo el que conducía el aguadulce de Chapultepec a Tenochtitlán. Todas estas instalaciones, que debieron funcionar de manera coordinada, drenaban y aportaban el agua para uso común y para el regadío y para navegación mediante canoas.

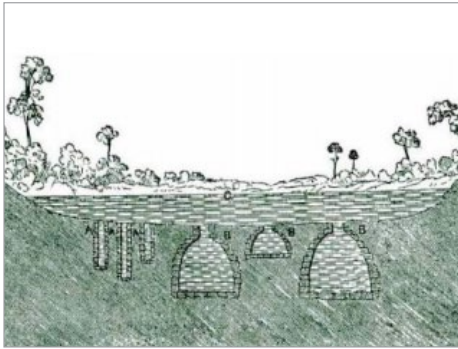


Acueducto de Cuernavaca, Morelos. 1930.



Ductos de piedra con tapa provenientes de San Lorenzo Tenochtitlan, Veracruz. 2008





Tres chultunes y tres posos ocultos en una aguada.

En cuanto a la recolección y almacenamiento de agua pluvial, sabemos que fueron prácticas comunes en Mesoamérica desde tiempos muy antiguos. El agua que caía con las lluvias se recolectaba en recipientes o depósitos subterráneos, o a cielo abierto. El agua se captaba mediante canales y zanjas, aprovechando el agua rodada (en patios y casas, en el campo, en jagüeyes<sup>1</sup> o mediante bordos) o bien conduciéndola desde los techos de las viviendas y edificios por medio de canchales de madera o pencas o canalitos, a los depósitos.

Podemos ver que esta práctica no ha cambiado mucho desde aquellos tiempos, en todo caso se ha perfeccionado y hemos aprendido a utilizar otro tipo de materiales y filtros, ya que, a lo largo de los años, la calidad del agua de lluvia también se ha visto afectada gracias a la contaminación del aire.

En las viviendas, el agua se almacenaba en recipientes de barro, enterrados o al aire libre así como en piletas de barro, cal y canto, piedra, excavados en el suelo, recubiertos o no con piedra o argamasa y estuco (CONAGUA, 2009:10). Otros depósitos subterráneos eran los chultunes o cisternas mayas, muchos persisten hasta el presente.

Un gran cambio sucedió después de la Conquista, ya que los europeos dejaron de darle mantenimiento a las obras hidráulicas prehispánicas, principalmente porque los intereses y la cultura era distinta. La utilización de estos sistemas decayó gracias a los inte-

<sup>1</sup> Los Jagüeyes son depósitos de agua a cielo abierto, comunes en el centro y sur de México.

reses de los conquistadores: la prioridad no era tanto el proveer de agua, o permitir la continuidad del sistema de chinampas, como poder navegar por el interior del lago con cierta holgura.

Otro factor importante fue el desconocimiento del manejo de una ciudad asentada sobre humedales, con temporadas de lluvias impredecibles y con un sistema de lagos interconectados que no comprendían del todo. Todos estos elementos contribuyeron a que cesara el mantenimiento de muchas de las instalaciones hidráulicas prehispánicas. No es sino hasta finales del Virreinato que se intenta recuperar parte del conocimiento hidráulico autóctono, debido a las inundaciones que ocurrían (y podríamos decir que siguen ocurriendo) en la Ciudad de México.

Esto llevo a las autoridades virreinales, preocupadas ante un problema de difícil solución, a recuperar los patrones indígenas de control hidráulico, tomando algunos testimonios de los pobladores ancianos. Si las inundaciones fueron en época prehispánica la causa principal que permitió que todo el engranaje hidráulico se

creara y se mantuviera, esas mismas inundaciones, aunque en otro tiempo, fueron de nuevo las que permitieron que el sistema hidráulico prehispánico mejorado subsistiera.


Es curioso que, a través de los siglos, la Ciudad e México se siga viendo afectada por las lluvias irregulares y las inundaciones, aun contando con sistemas de drenaje moderno. La sobre población implica escaseo de agua, y toda el agua que se desperdicia en inundaciones gracias a un sistema de drenaje sobrepasado por la cantidad de basura que se acumula, apuntan a la recuperación de antiguos sistemas de captación de agua.

Una de las soluciones más simples para tratar con este problema es el aprovechamiento del agua que llega con las temporadas de lluvia en la Ciudad de México. Ahora contamos con otro tipo superficies y de herramientas mejoradas para la captación de agua de lluvia que harían posible un mayor almacenamiento e incluso una mejor distribución a nivel vecinal, para comenzar y a nivel delegacional eventualmente. 💧

### Literatura consultada

Villalonga, A., (2007) *El imperialismo hidráulico de los Aztecas en la cuenca de México*, en Tecnología del Agua, Año nº 27, Número 288, México.

Conagua (2009) *Semblanza histórica del agua en México*. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-28SemblanzaHist%C3%B3ricaM%C3%A9xico.pdf> [Consultado en noviembre de 2013].



## CREANDO SINERGIA ENTRE ACADEMIA Y SOCIEDAD CIVIL, ¿EL PRETEXTO? CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN ESCUELAS DE EDUCACIÓN BÁSICA

POR EDGAR RAMÍREZ

Son variados los beneficios que puede englobar un sistema de captación de agua de lluvia (SCALI) y es quizá el mejor instrumento para aminorar la extrema desigualdad social que lamentablemente gira en torno al agua. De diseño simple y costo asequible para la mayoría de los hogares *populares* es sin lugar a dudas una excelente alternativa a considerar durante la época de lluvias... “Durante la época de lluvias” es un instrumento útil pero ¿qué sucede con él en la época seca? ¿Se le puede considerar un instrumento *inútil*? Habría que

redireccionar el calificativo de “instrumento” a “estrategia”. Estrategia es adaptable e instrumento es invariable. Comprendiendo que no es *él* sino un *parte* de.

En innumerables ocasiones los SCALI no cumplen largos períodos de vida útil, es porque caen en el olvido y no reciben el adecuado mantenimiento. Obviamente hay algo que está fallando al pasar de la novedad a la ambigüedad. Se puede atribuir el fracaso de muchos SCALI a la carencia de visión para considerarlos como *parte de* un entorno social y espacial que es propenso a modificarse con el tiempo.

La garantía del buen uso y mantenimiento del SCALI no radica en una correcta instalación sino en el lograr generar sentido de pertenencia e identidad para con éste que no es posible si no se incluye a los beneficiarios o comunidad local en un proceso participativo, equitativo e incluyente que debería considerar el pre, durante y post instalación del SCALI, no es una *obra contemplativa* de realización a corto plazo sino una estrategia de construcción colectiva y de actua-

lización “permanente”. Pero ¿es posible? Es más que posible, es sencillamente lo ideal. ¿Quizá utópico? No. Es realizable si consideramos la interdisciplina que transforma el concepto de SCALI a un complejo multidimensional que amplía la praxis. Acciones que propician el surgimiento de nuevos paradigmas en la selección y aprovechamiento de los recursos así como en los procesos de producción, distribución y consumo (Batllori, 2008).

La academia brinda recursos humanos que analizan. La sociedad civil otorga un servicio no lucrativo. La compatibilidad entre ambas permite un servicio profesional que avanza y repercute en la sociedad. No es novedad el involucramiento de actores externos (como la academia y la sociedad civil) para la implementación de SCALI en comunidades escolares. La participación de actores externos contribuye en la creación de espacios participativos y equilibrados entre los actores sociales de la comunidad escolar. Su tarea debe estar enfocada en brindar apoyo técnico además de actuar como mediadores en

la toma de decisiones y resolución de conflictos. Las organizaciones de la sociedad civil en colaboración con académicos y estudiantes universitarios, pueden ser el binomio que solventa tareas específicas de los gobiernos locales o regionales. Pueden ser más *no deben ser* la solución, lo que se debe lograr es un apoyo político para que estas iniciativas perduren. Crear ciudadanía.

Es así que surgen acciones locales que demuestran el potencial de experimentar con nuevas formas de administración de los recursos naturales para contribuir a elevar el nivel de vida en las propias comunidades y mejorar la calidad de los ecosistemas que administran (Barkin, 2011). Un caso de estudio es la Escuela Primaria Emiliano Zapata, institución pública ubicada en el Edo de México (Fig.1). El estudio expone el inicio de un proyecto participativo que pretende diseñar alternativas de control local frente a la creciente crisis ambiental que aqueja a la comunidad escolar.

El abastecimiento de agua para la Escuela Primaria Emiliano Zapata es un problema com-

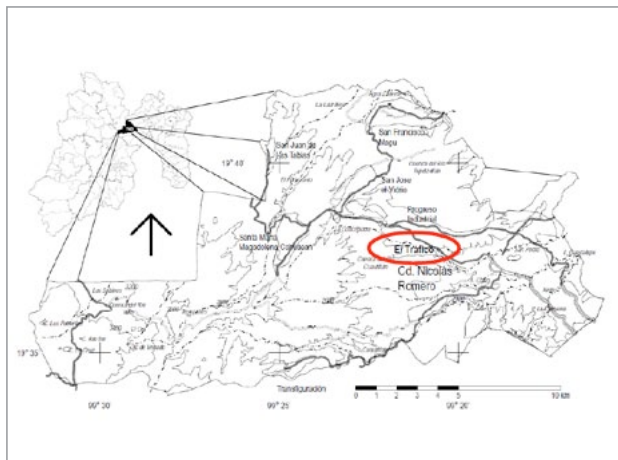


Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Nicolás Romero, Estado de México, resaltando la localización de la colonia El Tráfico.

plejo de resolver ya que el recurso hídrico es insuficiente, escaso y de mala calidad. La escuela se abastece de agua potable solicitando su transporte en pipas y por distribución local mediante la explotación del pozo profundo El Tanque. Suministro que no satisface las necesidades básicas de una comunidad escolar que asciende

a más de 1,200 personas que cotidianamente hacen uso de sus instalaciones.

Para atender el problema se diseñó un proyecto interdisciplinario que considera las necesidades (con relación al agua) que la comunidad escolar valoró sustanciales a remedar. El proyecto atiende las valoraciones a partir de dos vertientes: i) implementar tecnologías en materia hídrica acordes al contexto socioeconómico e infraestructura que constituye a la Escuela; ii) generar sentido de pertenencia e identidad para con las tecnologías implementadas mediante la ejecución y evaluación de estrategias de participación social (Fig.2).

En mayo de 2013 se transfirió la primera tecnología que es un SCALI, lo que permite aprovechar la precipitación pluvial de la zona (604 mm), considerando un aproximado de 80 m<sup>3</sup> de agua de lluvia captados en lo que va del año (Fig. 3). La tecnología ha sido catalogada de utilidad ante la escasez y desperdicio del agua en la Escuela pública de nivel básico, teniendo una respuesta de alta aceptación por parte del alum-

nado y las madres/padres de familia. Un inconveniente ha sido la estructura jerárquica al interior de la Escuela, algunos actores sociales (los menos numerosos y los que se encuentran en la parte superior de la estructura jerárquica) consideran al SCALI un “enemigo” que atenta contra su posición, significando éste para ellos un *cambio* positivo y aplaudido por los actores sociales que menor participación tienen en la toma de decisiones (y que curiosamente son los más numerosos). Las escuelas primarias deben ser ejercitadas como espacios públicos pertenecientes a la comunidad, no ser entendidas como comunidades aisladas dentro de una comunidad más grande (Krichesky, 2006). Para cambiar paradigmas en la educación se debe iniciar con la finalización de las añejas estructuras jerárquicas que confunden la función de representante (director) con líder institucional. El liderazgo fomenta las estructuras piramidales que limitan la participación equitativa en la toma de decisiones, es una piedra que obstaculiza el ejercicio democrático.

El relato de esta experiencia consiste en otorgar al SCALI un significado de cohesión y participación social dentro de una comunidad escolar. Tratando de confirmar que es posible abordar el tema desde múltiples enfoques que no tienen ningún otro fin que de colaborar para tener un lugar mejor donde vivir. 💧



Figura 2. Cartel promocional del proyecto.



Figura 3. Sistema de captación de agua de lluvia implementado en colaboración a la Asociación Civil Isla Urbana.

### Literatura consultada

- Barkin, D. (2011) *La gestión popular del agua: respuestas locales frente a la globalización centralizadora*, en Economía Ecológica, No. 25, España.
- Batllori, A. (2008) *La educación ambiental para la sustentabilidad: un reto para las universidades*. Centro Regional de Investigaciones Interdisciplinarias, México.
- Krichesky, M. (2006) *Escuela y comunidad. Desafíos para la inclusión educativa*. Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación, Argentina.
- Rodríguez, M. (2004) *Diseño de un modelo matemático de la generación de residuos municipales en Nicolás Romero, México*. Tesis de Maestría en Ciencias, Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Instituto Politécnico Nacional, México.





# LA INFRAESTRUCTURA VERDE COMO SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

POR RAMÓN ULACIA BALMASEDA

**A**ctualmente, los escurrimientos torrenciales son la causa más grave de contaminación del agua en ciudades; cuando la lluvia cae en áreas no urbanizadas, ésta es absorbida por el suelo y las plantas; en el entorno construido la lluvia cae en las azoteas de edificios, calles y estacionamientos sin posibilidad de infiltrarse al subsuelo. En la mayor parte de las ciudades, el agua es conducida hacia complejos sistemas de ingeniería hidráulica que llevan el agua a cuerpos de agua cercanos. El agua pluvial urbana es contaminada fácilmente

.....  
*La Infraestructura verde es,  
quizás, la solución más ecológica  
y socialmente incluyente ante los  
retos de manejo de agua pluvial  
en zonas urbanas.*  
.....

con basura, aceites, químicos, bacterias, metales pesados, y en algunos casos con las aguas negras; esto deteriora gravemente su calidad. Los escurrimientos torrenciales incrementan la erosión y las inundaciones urbanas; en el proceso se dañan hábitats naturales, se ocasionan pérdidas materiales y la salud de individuos y comunidades se ve afectada (EPA, 2014). La infraestructura verde nos puede ayudar a resolver la problemática antes expuesta.

Benedict y McMahon definen la infraestructura urbana como el “conjunto de elementos o servicios que se consideran necesarios para la creación y funcionamiento de una organización urbana” (Benedict and McMahon, 2006). A su vez, determinan que la infraestructura verde es “una red de espacios verdes interconectados que conservan los valores y funciones naturales del ecosistema a la vez que provee de beneficios a las poblaciones humanas.” (Benedict and McMahon, 2006)

La infraestructura verde fue integrada a la planeación a finales del siglo XIX y buscaba brindar espacios verdes a las crecientes poblaciones urbanas y conectar dichos espacios para aprovechar los servicios que nos ofrecen los ecosistemas. En la actualidad la infraestructura verde también se utiliza para mejorar la calidad del espacio público, aumentar la biodiversidad, conectar rutas de movilidad no motorizada y manejar el agua pluvial que cae en el entorno construido. (Suarez, 2011)

La infraestructura verde hace uso de la vegetación, los suelos y procesos naturales para manejar y crear ambientes urbanos más saludables para la sociedad. En la escala de la planeación regional y de ciudades, la infraestructura verde se refiere al tejido de áreas naturales que sirven de hábitat, control de inundaciones, producción de oxígeno y agua limpia. A la escala de un barrio o en un sitio específico, integra sistemas de manejo de agua pluvial con vegetación y modificaciones en la topografía para promover la infiltración y retención de agua en el medio ambiente. (EPA, 2014)

Diseñar adecuadamente un terreno, su vegetación y arquitectura nos permite captar, conducir y almacenar el agua a lugares y velocidades que favorezcan la infiltración y retención de la mayor cantidad de humedad en el ambiente. La infraestructura verde funciona como un sistema pasivo de captación y aprovechamiento de agua de lluvia que no requiere de tuberías ni bombas y ayuda a reducir



Inundación en la Ciudad de México 2010 (Fuente: CNN México)



Proyecto finalista para el diseño de la Riviera del Río Minneapolis, Turenscape (Fuente: worldlandscapearchitect.com)

los costos económicos de la infraestructura artificial. Al diseñar con la naturaleza y llevar a cabo acciones de conservación y regeneración ecosistémica en diversas escalas y zonas de una ciudad, le regresaremos al territorio la capacidad de realizar las funciones que la infraestructura artificial es incapaz de lograr.

Para que el diseño e implementación de proyectos relacionados con la infraestructura verde tengan éxito dentro de una ciudad es conveniente tomar en cuenta seis principios básicos orientados a integrar a la sociedad y al medio ambiente en su conjunto. Ya que ésta se lleva a cabo principalmente en el espacio público de la ciudad, los principios de equidad, cultura, comunicación, mejoramiento ambiental, visión regional y planeación multidisciplinaria deben orientar cualquier esfuerzo que se realice. (Suárez, 2009)

El principio de equidad permite que el acceso a los bienes y servicios de la infraestructura verde para los habitantes de un área delimitada sea igual en cantidad y calidad. Integrar

el conocimiento de los ecosistemas originales y restaurar las condiciones ecológicas del área en donde se llevará a cabo un proyecto fomenta la cultura ambiental entre la sociedad y crea infraestructura cultural "...el objetivo es inducir el gusto, el respeto y la utilidad por el ecosistema original con base en prácticas sustentables en la vida cotidiana." (Suárez, 2011)

Para lograr un cambio de hábitos y garantizar la aceptación de la infraestructura verde en el espacio urbano se requiere de un esfuerzo de comunicación adecuado. Además, por si sola, la infraestructura verde es una acción de comunicación que promueve los beneficios sociales y medioambientales de los servicios ecosistémicos.

Prevenir problemas ambientales que afecten a la sociedad y mejorar el entorno componen el principio del mejoramiento ambiental. La deconstrucción controlada de una ciudad será el camino para lograr este principio.

Conocer y entender el territorio en donde será emplazada la infraestructura verde es indispensable para aplicar el principio de la visión regional

en un proyecto de este tipo. Es necesario integrar nuestros esfuerzos a una red interconectada de infraestructura ambiental, en contexto con el espacio urbano y la población que se atenderá.

El trabajo realizado en equipo con diversas disciplinas y la integración de múltiples conocimientos de sociología, paisajismo, urbanismo, arquitectura, biología, administración pública y el conocimiento de la ciudadanía ayudará a resolver los problemas presentados en casos específicos de un tiempo y espacio determinado.

En el diseño y ejecución de infraestructura verde como sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia es importante integrar factores sociales y tecnológicos que en su conjunto ayuden a que un proyecto de cualquier escala sea exitoso.

Las tecnologías de manejo de agua pluvial en la infraestructura verde van encaminadas a infiltrar, tratar, captar, almacenar y distribuir el agua que cae sobre las superficies urbanas. Ya sea en el espacio público o en propiedad privada, estas estrategias ayudarán a manejar integralmente el

agua de lluvia y así complementar la infraestructura hidráulica existente para abastecimiento y drenaje. Los parques, calles, estacionamientos, banquetas y plazas que cuenten con los elementos para captar y aprovechar el agua de lluvia y evitar que esta sea conducida hacia el sistema de drenaje urbano son piezas clave en la creación de infraestructura verde para la ciudad.

Algunos de los elementos en el diseño de paisaje que ayudan a aprovechar el agua pluvial son los jardines pluviales, los biofiltros, los pavimentos permeables y los macizos de árboles. (Kikade-Levario, 2007) Los jardines pluviales son depresiones poco profundas en el terreno no pavimentado en donde se siembra vegetación para captar y absorber escurrimientos de azoteas, banquetas, estacionamientos y calles. Los biofiltros son superficies llenas de vegetación y grava que ayudan a conducir el agua de lluvia de un lugar a otro mientras que reduce el volumen y la velocidad del escurrimiento mediante la absorción. Los biofiltros pueden usarse como elementos lineales de diseño para calles, avenidas y estacionamientos.



Jardín pluvial en el Parque Highline de Nueva York  
(Fuente: inhabitat.com)

tos que ayuden a conducir el agua a jardines pluviales, humedales, grandes áreas de vegetación y zonas de infiltración. El diseño de los jardines pluviales, biofiltros y los macizos de árboles siguen el funcionamiento natural de la hidrología y su implementación aumenta la infiltración al subsuelo y la evapotranspiración en el medio ambiente.

Al complementar los elementos suaves de la infraestructura verde, los pavimentos permeables permiten que la gente pueda transitar sobre superficies duras y al mismo tiempo dejar pasar el agua a través de ellas. Esto evita encharcamientos sobre el asfalto y ayuda a conducir el agua hacia cuerpos de almacenamiento y áreas aptas para la infiltración.

Adicionalmente, la arquitectura de los edificios que colindan el espacio público puede colaborar con los objetivos de la infraestructura verde evitando que los escurrimientos de las azoteas terminen en las tuberías del drenaje urbano. Para lograr esto es conveniente que las bajantes de los edificios conduzcan el agua a cisternas subterráneas o superficiales y áreas permeables en el terreno circundante a las construcciones. Además, los sistemas de cosecha de agua de lluvia en edificios captan y almacenan agua para ser utilizada posteriormente para regar, en sanitarios, limpieza y consumo humano. Aplicados de forma masiva mediante el diseño y la ejecución de políticas públicas, pueden ayudar a reducir la cantidad de agua que normalmente es

llevada por el drenaje pluvial y el combinado, y reducir el consumo de la red pública.

Integrar la infraestructura verde al diseño del espacio urbano permite aprovechar los servicios ecosistémicos que la naturaleza ofrece y aumentar la tasa de infiltración y retención de agua. Ante los problemas de inundaciones y escasez, la infraestructura verde nos ofrece una opción inteligente y sustentable para repensar el entorno construido y crear ambientes urbanos más saludables, que al tiempo que doten de servicios a la sociedad, aprovechen el agua de lluvia en vez de contaminarla y desperdiciarla de forma innecesaria.

## Conclusión

Integrar la infraestructura verde al diseño del espacio urbano permite aprovechar los servicios ecosistémicos que la naturaleza ofrece y aumentar la tasa de infiltración y retención de agua. Ante los problemas de inundaciones y escasez, la infraestructura verde nos ofrece una opción inteligente y sustentable para repensar el entorno construido y crear ambientes urbanos más saludables,

que al tiempo que doten de servicios a la sociedad, aprovechen el agua de lluvia en vez de contaminarla y desperdiciarla de forma innecesaria. 💧

---

## Literatura consultada

- Benedict, M. y McMahon, E. (2006) *Green Infrastructure. Linking landscapes and communities*. Island Press, EUA.
- Environmental Protection Agency (2014) *What is Green infrastructure?* [http://water.epa.gov/infrastructure/greeninfrastructure/gi\\_what.cfm](http://water.epa.gov/infrastructure/greeninfrastructure/gi_what.cfm) [consultado el 15 de enero de 2014]
- Kinkade-Levario, H. (2007) *Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse*. New Society Press, EUA.
- Suarez, A. et. Al (2011) *Infraestructura verde y corredores ecológicos los pedregales: Ecología urbana del sur de la Ciudad de México*. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, UNAM, México.

# APROVECHAR EL AGUA DE LLUVIA. DOBLE SOLUCIÓN

POR: SEBASTIÁN SERRANO / SOLUCIONES HIDROPLUVIALES

Cada año son más que evidentes las consecuencias de los efectos de la gestión pluvial inadecuada en las principales ciudades de México, encharcamientos, inundaciones, problemas de tráfico, desborde de ríos o canales y el rebose del drenaje combinado a zonas urbanas habitadas. La situación empeora de forma exponencial conforme crecen las ciudades en población y en extensión, y debido a los impredecibles efectos del cambio climático.

.....  
*El agua de lluvia en su origen es limpia, pero se ensucia en su paso por la ciudad y al mezclarse con las aguas residuales en el alcantarillado combinado. Los escurrimientos pluviales son vistos como un problema que causa inundaciones; sin embargo, cambiar la forma de hacer las cosas y aprovechar este recurso puede traer muchos beneficios.*  
.....

Esta situación, vista como problema, provoca preguntas cada vez más constantes en los ciudadanos ¿Y si se aprovechara esa agua?, ¿puede ser potable?, ¿qué hacer con esas enormes cantidades de líquido?, ¿en qué se pueden reutilizar los escurrimientos pluviales?

En su origen, el agua de lluvia es un recurso de muy buena calidad, sin embargo su pureza también depende en gran medida de la superficie por la que escurre, como techos o calles, que contienen partículas que se encuentran adheridos a estas y que pueden ser tóxicas. Estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) demuestran que techos de viviendas

urbanas y rurales, contruidos con materiales que contienen metales pesados contaminan el agua pluvial que escurre por ellos. También algunos análisis han detectado niveles altos de coliformes totales y coliformes fecal-

les, producidas por el excremento depositado por aves, roedores y otros animales.

Por otro lado, en zonas urbanas con alto nivel de polución en el aire, la situación empeora ya que la atmósfera puede presentar un alto índice de elementos como: nitrógeno, oxígeno y en menor cantidad gases como el dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, producto de la actividad humana. A esto hay que sumarle que las superficies por las que escurre el agua en las ciudades, existen niveles más altos de basura, químicos, hidrocarburos y otros tóxicos. Por esta razón, si se quiere aprovechar el recurso pluvial, se recomienda que el líquido pase por un proceso que retire los contaminantes y sustancias que arrastran los escurrimientos.

### **¿Agua de lluvia, reto de salud pública?**

En la mayoría de ciudades del país existe la contradicción entre los problemas generados por el desabasto de agua y las consecuencias del exceso de escurrimientos en temporada de lluvia, el mejor ejemplo es la Ciudad de México. La llu-

via es vista como un problema, debido a que una gestión inadecuada del recurso ocasiona inundaciones y genera problemas en las partes bajas de las ciudades, poniendo a veces en peligro la salud y la vida de las personas. Además, provoca grandes pérdidas económicas y el mal menor, pero quizá el más recordado, el tráfico vehicular.

Parte del problema se debe al descuido de las autoridades y acciones de los ciudadanos que no promueven una gestión adecuada del recurso. En tema de manejo de agua pluvial, los gobernantes han preferido desalojar el agua que cae durante lluvias torrenciales hacia el sistema de alcantarillado o a ríos con la finalidad de evitar inundaciones. Acción que en algunos casos es contraproducente, ya que el drenaje se satura y los ríos se desbordan, provocando mayores tragedias cuenca abajo.

La sociedad también juega un papel importante en esta problemática ya que la basura producida termina siendo arrastrada por el agua de lluvia (plásticos, papeles, latas, cartón) y conta-



minantes orgánicos o químicos (aceites, metales, restos de comida, heces de mascotas).

Por otra parte, en la mayoría de urbes mexicanas, existe un sistema de drenaje combinado, que deposita en el mismo desagüe los escurrimientos pluviales y las aguas negras. En este proceso el agua de lluvia que antes estaba relativamente limpia, se mezcla con el agua residual. Situación que empeora en la temporada de lluvia cuando aumenta de forma drástica la cantidad de flujo (entre 5 y 8 veces más) y el sistema de alcantarillado no cuenta con la capacidad para desalojar una cantidad tan elevada de líquido, provocando que se colapse y termine expulsando la mezcla de agua que lleva: sólidos gruesos, basuras flotantes, grasas, agentes orgánicos DBO y no orgánicos DQO, así como agentes patógenos. Esta combinación tóxica en la mayoría de los casos es desalojada por las coladeras de las calles o en el peor de los casos por los sistemas de desagüe de las casas, generando graves problemas de inundación y sanidad pública. En muchas ocasiones esta mezcla de aguas tóxicas se descarga

en ríos o canales, contaminándolos y poniendo en riesgo la salud de la población vecina. Enfermedades como la dermatomicosis, infecciones respiratorias agudas, parasitosis, fiebre y diarreas están directamente relacionadas con la contaminación de cuerpos de agua. Además, estas prácticas degradan las fuentes de agua potable y deterioran el medio ambiente afectando la flora y fauna que habita en estos ecosistemas.

Con campañas de concientización para evitar que la gente tire basura se podrían reducir los tamponamientos en el drenaje y los altos costos en el desazolve. Otras sustancias son más difíciles de evitar como los aceites y contaminantes que expulsan los vehículos, o los metales que se encuentran en los techos y otras superficies; sin embargo pueden ser separadas del agua. Ante el reto que supone el aumento de la población y la escasez del suministro, tanto en las zonas urbanas como rurales, la captación de agua de lluvia y nuevos sistemas para su correcta gestión, vuelven a verse como una solución para ahorrar y aumentar las reservas de agua.

## Aprovechar el agua de lluvia, una solución

Reutilizar el recurso pluvial, ofrece una doble solución, por un lado se evitan inundaciones y por el otro se ahorra agua y proporciona un aumento en las reservas de este líquido vital. Como se ha comentado, la calidad del agua de lluvia depende mucho del lugar, de los contaminantes que se encuentren en el aire y en las superficies por las que escurre. Por esta razón para su correcto aprovechamiento es necesario que pase por un proceso de limpieza y que sea almacenada de forma correcta, siguiendo un tratamiento adecuado:

Algunas veces pueden encontrarse bacterias o patógenos que los filtros no pueden retirar, por lo tanto se recomienda utilizar este agua de lluvia con óptimas cualidades, en procesos industriales (torres de enfriamiento, calderas, enjuagues de productos), limpieza (vehículos o maquinaria, lavado de superficies y de ropa), sanitarios, riego de áreas verdes o cultivos, en vez del agua potable que normalmente usamos.

Si se quiere utilizar el agua de lluvia para consumo humano se recomienda que pase por un proceso de potabilización, ya sea: osmosis inversa, cloración, rayos ultravioleta (uv), purificación por ozono, entre otros.

La captación y reutilización del agua de lluvia en varios países del mundo es considerada como una solución para los problemas de abasto que sufren las grandes ciudades cada vez más pobladas y el reto que está suponiendo un clima inestable, de fenómenos cada vez más intensos e impredecibles. Aprovechar los escurrimientos pluviales permite tener líquido de calidad para diferentes usos no potables y mitigar los efectos de inundaciones. De igual forma, al evitar que escurra por superficies contaminadas y que arrastre la basura que se encuentra en las zonas impermeables, previene el deterioro de cauces naturales y también cuida de las reservas de agua subterránea. ♦

## Más información

soluciones@hidropluviales.com / sebastianserrano@hidropluviales.com

## Literatura consultada

Conagua (2011) *Estadísticas del Agua en México*. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-1-11-EAM2011.PDF> [Consultado en noviembre de 2013].

Greenpeace (2010) *México ante el cambio climático, evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación*. <http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2010/6/vulnerabilidad-mexico.pdf> [Consultado en noviembre de 2013].

Cotler, H. (2010) *Las cuencas Hidrográficas en México. Diagnóstico y priorización*. Instituto Nacional de Ecología, México.

Jiménez, B. et. Al (2010) *El Agua en México. Cauces y Encauces*. Academia Mexicana de Ciencias- Conagua, México.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) *Information System on Water and Agriculture. Aquastat*. <http://www.fao.org/AG/AGL/aglw/aquastat/main/index.shtml> [Consultado en Julio de 2009]

Barba S., Raúl L. y Javier P. (2010) *Una lucha contra natura*, National Geographic en Español <http://www.ngenespanol.com/articulos/304128/lucha-contra-natura/> [Consultado en noviembre 2013]

Burns, E. (2009) *Repensar la Cuenca. La gestión de los ciclos del agua en el Valle de México*. Centli - Universidad Autónoma Metropolitana, México.

# PROYECTO PILOTO PARA EVALUAR LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE SISTEMAS DE RECARGA-RECUPERACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA EN EL DISTRITO FEDERAL SACMEX-GDF

EUGENIO GÓMEZ REYES (UAM- IZT)  
AGUSTÍN F. CORREA CAMPOS (UNAM Y DICREA)  
JOSÉ G. GRACIDA KING (SMDF)  
JOSÉ A. KURI ABDALA (FI-UNAM)

## Planteamiento

El Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos (PGIRH), Visión 20 Años, elaborado por el Sistema de Aguas de la Ciudad

de México (SACMEX), es un plan de desarrollo de largo plazo que establece los lineamientos para maximizar el desarrollo del sector agua en el Distrito Federal (DF), planteando estrategias, acciones, metas y el programa presupuestal de las actividades sustantivas del SACMEX requeridas para el cabal desempeño de sus funciones (SACMEX, 2012).

Dentro de las líneas de acción planteadas en el PGIRH para lograr el uso sustentable del agua en el DF y satisfacer la demanda de la Ciudad de México, se incluye la recarga de la zona saturada con aguas pluviales. Para este propósito, el SACMEX se compromete a fomentar estudios y proyectos de la recarga artificial con agua de lluvia, como medida del aprovechamiento óptimo de los recursos de la cuenca para alcanzar la sustentabilidad hídrica. El PGIRH reconoce que el incremento de la recarga natural en suelo urbano se logrará mediante tecnologías combinadas de almacenamiento y pozos de absorción para la recarga artificial del agua de lluvia.

En este sentido, se elaboró la presente propuesta para cumplir con el compromiso del SACMEX de fomentar estudios y proyectos de la recarga artificial con agua de lluvia. Toda vez que se evalúen, desde el punto de vista hidrológico y económico, todas las posibilidades de recarga, para tener el criterio técnico y económico de decidir qué es lo que hay que hacer en cuanto a la captación de agua de lluvia como fuente de abastecimiento, cuánto se puede recargar, dónde se va a captar y cuánto costará la recarga y el abastecimiento de la recuperación de estos volúmenes de recarga.

Asimismo, el SACMEX propone en su Programa Especial de Agua, Visión 20 Años, implementar proyectos para aprovechar el agua de lluvia y fomentar la recarga natural e inducida, hasta por  $3.5\text{ m}^3/\text{s}$  con pleno cumplimiento de la normatividad (SACMEX, 2010). Los cálculos realizados indican que existe un escurrimiento superficial virgen disponible de aproximadamente  $6\text{ m}^3/\text{s}$  en el DF que hasta ahora se va al drenaje porque no hemos sabido aprovechar y que cons-

tituyen la recarga potencial de la zona saturada que subyace la Ciudad de México (Cuadro 1).

Este potencial de recarga no es un volumen pequeño, por el contrario, es una cantidad significativa y equivalente al déficit que presenta el sistema de agua subterránea del DF ( $4.7\text{ m}^3/\text{s}$ ) y que puede considerarse como una opción de abastecimiento para la Ciudad de México. Toda vez que es comparable (mayor) a los volúmenes de importación que se tienen planeados transvasar del acuífero del Mezquital en el Valle de Tula, Hgo. ( $5\text{ m}^3/\text{s}$ ), o de la cuenca del río Temascaltepec ( $4.5\text{ m}^3/\text{s}$ ), sin los agravios de los conflictos sociales que genera la opción de importación de agua desde cuencas vecinas.

La realización de la presente propuesta encaja dentro de los proyectos a implementar por el SACMEX para fomentar la recarga en el DF mediante pozos de absorción. Además, permitirá corroborar la cantidad y ubicación de los volúmenes potenciales de recarga en las delegaciones, así como también proporcionar información sobre la infraestructura y costo requerido

para incrementar la recarga artificial con agua de lluvia y su posterior recuperación para abastecimiento del DF durante el estiaje.

### Objetivo

Esta propuesta tiene como finalidad, medir y analizar los volúmenes y calidad del agua de recarga que se logran infiltrar a la zona saturada que subyace la Ciudad de México, por medio de pozos de absorción en el DF, para evaluar desde el punto de vista hidrológico y económico toda la parte de posibilidades de captación de agua de lluvia como fuente de abastecimiento a la Ciudad de México.

### Etapas

Para lograr este objetivo se plantean las siguientes metas específicas, divididas en dos etapas y desarrolladas de manera simultánea:

### **Etapas I:**

#### **Factibilidad de la recarga pluvial con pozos de absorción**

1. Recopilar la información disponible para generar una base de datos de la Cuenca de México que permita realizar el estudio de factibilidad técnica y económica de sistemas de recarga-recuperación pluvial.
2. Elaborar un sistema de información geográfica (SIG) actualizable que contenga un inventario del sistema hidráulico del Valle de México y de las características del agua subterránea que subyace la región, para que sirva de base en los cálculos requeridos.
3. Evaluar los volúmenes potenciales de recarga pluvial al agua subterránea del Valle, mediante la aplicación del modelo numérico MAHICU (Manejo Hídrico de Cuencas; Gómez-Reyes, 2010), para conocer la disponibilidad adicional de agua subterránea que se generará y así diseñar la capacidad de pozos de absorción.

4. Delimitación de zonas de excedentes pluviales y sus áreas de captación en el DF, para que sean consideradas áreas potenciales de recarga.
5. Actualización del modelo conceptual de la zona saturada utilizando la información publicada más reciente e incluyendo cortes litológicos de los pozos de extracción, para el diseño de la profundidad de pozos de absorción.
6. Evaluación de la conductividad hidráulica de la zona productora de agua subterránea mediante pruebas de bombeo en pozos de extracción, para conocer la respuesta hidráulica de medio subterráneo a la infiltración y seleccionar sitios de perforación de pozos de absorción.
7. Modelación numérica del flujo del agua subterránea que subyace la Ciudad de México con el programa computacional MODFLOW, para evaluar la eficiencia del sistema de recarga.
8. Actualización de las condiciones de calidad de agua subterránea, mediante el análisis de las bases de datos disponibles y la toma de muestras de agua para determinar la concentración de parámetros fisicoquímico y toxicológico; esta información será útil para el diseño de filtros de la recarga.
9. Diseño del sistema de recarga que incluya la ubicación de sitio seleccionado, el área de captación, drenaje pluvial local, tanque de tormenta, filtro de sedimento y de microorganismos, así como el pozo de absorción.
10. Cálculo del costo-beneficio del sistema de recarga, para comprobar la factibilidad económica de esta Etapa I del proyecto.


## Etapa II:

### Proyecto piloto ejecutivo para incrementar la recarga pluvial

11. Adecuación de pozos de absorción para incrementar la recarga de agua de lluvia en 4 sitios pilotos estratégicos de condiciones extremas a estrés de recarga y calidad de agua que se presentan en la demarcación del DF, i.e., condiciones propicias para infiltración (estribaciones del Ajusco en Tlalpan), condiciones desfavorables para infiltración (zona urbana de la planicie en Iztapalapa), inundaciones recurrentes (estribaciones del Cerro del Chiquihuite en Gustavo A. Madero) y zona urbana controlada (Ciudad Universitaria).
12. Implementación de un sistema de monitoreo automatizado, para conocer la variabilidad de recarga y la respuesta de la carga hidráulica.
13. Medición de la calidad del agua de recarga, subterránea nativa y del agua resultante de la mezcla para evaluar el impacto de la recarga en la calidad del agua en el subsuelo.
14. Evaluación de la compatibilidad del agua de recarga con el agua subterránea nativa mediante el análisis hidrogeo-químico de las probables reacciones fisicoquímicas del agua de recarga con el agua subterránea nativa, así como con los materiales que conforman las unidades acuíferas y la zona no saturada.
15. Modelación del transporte de sustancia conservativas disueltas (trazadores) en el sistema de flujo de agua subterránea con el programa computacional MODFLOW, para caracterizar el comportamiento dinámico de la recarga y determinar los sitios de recuperación.
16. Diseño del sistema de recuperación del agua de recarga de la zona saturada que incluya los volúmenes sustentables de recuperación, los pozos de extracción que pueden acceder a estos volúmenes y las zonas de influencia del abastecimiento.



17. Cálculo del costo-beneficio del sistema de recuperación, para hacer proyecciones del sistema en la demarcación del DF.
18. Elaboración de un plan de abastecimiento con agua de recuperación de recarga, para suplir el déficit en el suministro al DF durante el estiaje. 💧



# ESTUDIO DEL TRATAMIENTO ÓPTIMO DEL AGUA DE LLUVIA PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA DE SU INFILTRACIÓN AL SUBSUELO EN UNA PLANTA DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

YAZMIN HERNÁNDEZ MELCHOR

## Resumen

La industria automotriz, consciente de los problemas actuales en materia ambiental, trabaja en proyectos sustentables. La sobreexplotación de los acuíferos y de otras fuentes de captación puede disminuirse infiltrando el agua proveniente de la lluvia al subsuelo mediante pozos de infiltración, y de esta forma, compensar el déficit con un tratamiento de recarga que

cumpla con la normatividad vigente establecida por las agencias regulatorias del agua. El objetivo de este estudio es determinar el tratamiento óptimo del agua de lluvia para su infiltración en el predio de una planta de la industria automotriz por medio de la determinación de características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de lluvia.

## I. Introducción

En varios países, los recursos hídricos se caracterizan en cantidad y calidad por la lluvia, por la naturaleza de la litosfera, el tiempo de residencia en contacto con los minerales solubles y las influencias sociales e industriales.<sup>[1]</sup>

El agua es el insumo más caro dentro de la planta de la industria automotriz, es necesario cumplir con criterios de calidad del agua ante las agencias regulatorias establecidas por leyes estatales y federales, se deben acatar los permisos considerados ante la ley y en caso de no ser así cumplir las sanciones correspondientes.

Para disminuir los costos de este insumo, esta planta cuenta con lagunas de captación pluvial para almacenar el agua de lluvia (aproximadamente 700 mil m<sup>3</sup>/año). Debido a que no se cuenta con la suficiente infraestructura para contener toda el agua que cae en el predio, el agua de lluvia se aprovecha en varios puntos de la planta y el excedente se descarga y bombea hacia el río Atoyac.

Para resolver este problema se construyó una laguna de captación pluvial denominada “*Nueva Laguna*” con un volumen de 57,000 m<sup>3</sup> del cual se infiltrarán hacia el subsuelo 24 l/s.

El agua pluvial captada por la “*Nueva Laguna*” para su infiltración debe cumplir con las siguientes normas vigentes:

- NOM-015-CONAGUA-2007.<sup>[3]</sup>
- NOM-003-CONAGUA-1996.
- Norma ISO/CD 5667-11-2006.

La calidad del agua de lluvia recolectada no cumple con las normas y debe ser tratada antes de infiltrarse.

Las prácticas de almacenamiento de los recursos hídricos varían de un lugar a otro y mucho depende del valor de la tierra.<sup>[1]</sup> En este estudio se determinó el tratamiento óptimo del agua de lluvia para su infiltración en una planta de la industria automotriz en México, realizando pruebas para conocer las características fisicoquímicas y microbiológicas que cumplan con la normatividad para su infiltración.

## II. Materiales y métodos

En este apartado se presenta el muestreo realizado a la “*Nueva Laguna*” con revestimiento de liner, para evitar pérdida al azar de agua, las metodologías de los análisis fisicoquímicos-microbiológicos y los resultados obtenidos.

El muestreo se realizó con base en la norma Mexicana NMX-AA-003-1980 “Muestreo en aguas residuales” (Figura 1).

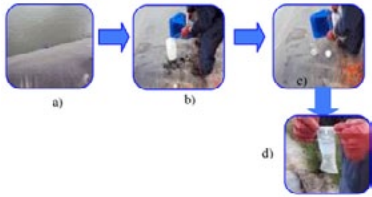


Figura 1. a) Muestreo “Nueva Laguna”, zona de pozos de infiltración, b) Muestra tomada para determinaciones fisicoquímicas, c) Muestra tomada para grasas y aceites, d) Muestra tomada para coliformes<sup>[4][9]</sup>.

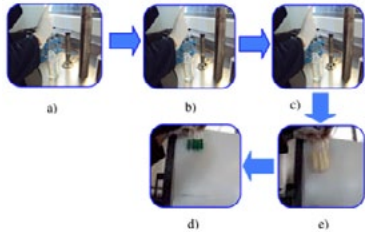


Figura 2. Determinación de coliformes fecales. a) Toma de muestra de 1 ml, b) Tubos de caldo, lactosado de concentración sencilla, c) Encubación a 35 °C (48 horas.), d) Prueba confirmatoria caldo lactosado verde billis brillante (encubar a 35°C, 48 horas), e) Prueba positiva a coliformes totales (formación de gas, prueba presuntiva)<sup>[5][8][9]</sup>.

Posteriormente se analizaron en el laboratorio las muestras tomadas con base en los parámetros de la “NOM- 015-CONAGUA-2007”<sup>[3]</sup> para determinar la calidad del agua contenida (Figura 2).

Tabla 1. Parámetros de la “NOM-015-CONAGUA-2007” comparados con los resultados obtenidos en los análisis de calidad de la “Nueva Laguna”.

Fecha de muestreo	2013- septiembre-12		
Lapso de análisis	2013-sep-12 al 2013-sep-25		
Contaminante	Unidad de medida	Límite	Resultados calidad de agua “Nueva Laguna”
Grasas y Aceites	Mg/L	15	1.275
Materia Flotante	Unidad	0	0
Sólidos Sedimentables	Mg/L	2	< 1
Sólidos Suspendedos Totales	Mg/L	150	< 6
Nitrógeno Total	Mg/L	40	< 1,998
Fósforo Total	Mg/L	20	0.028
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	No detectable	4

Los resultados indicaron que el parámetro que no estaba dentro de los límites máximos permisibles por la “NOM-015-CONAGUA-2007” era el referente a los coliformes fecales.

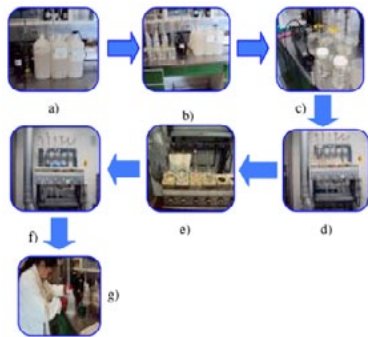


Figura 3. Determinación de Nitrógeno total  
 a) Toma de alícuota de muestra de 25 a 500 mL., b) Aforar con agua para análisis 500 mL., c) Adición de amortiguadora de boratos 50 mL. ajustar pH a 9.5 destilación, e) Digestión 30 minutos, e) Destilación g) Titulación.<sup>[6][7][9]</sup>

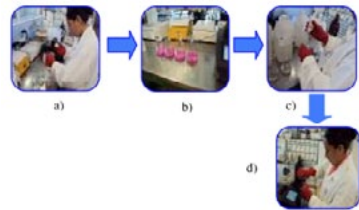


Figura 4. Determinación de fósforo total  
 a) Tomar muestra de 100 mL o dilución y agregar a un matraz Erlenmeyer de 250 mL Matraz Erlenmeyer de 250 mL, adicionar una gota de fenolftaleína, b) Vire rosa. Adicionar H2SO4 1 N, c) adicionar 4 mL de disolución de heptamolibdato de amonio, agitar, agregar 10 gotas de cloruro estanoico, d) Leer absorbancias a 690 nm en Espectrofotómetro<sup>[6][8][9]</sup>.

## Resultados y discusión

Como se observa en la Tabla 1, se encontraron coliformes en la muestra recolectada, por lo que se consideraron varios tratamientos enlistados a continuación:

- Clarificación con 2 filtros de arena y luz uv.
- Lámparas de filtro uv, utilizando una dosis:  $30\mu J/cm^2$  (254 Nm).
- Lámparas uv, tratamiento primario con un Separador Hidrodinámico Plus y tratamiento secundario con: Filtro de flujo ascendente.
- Ozonización.
- Cloración con tabletas de hipoclorito de calcio.
- Carbón activado concha de coco.
- Zeolita con intercambio iónico

Después de analizar las propuestas, se tomó la decisión de realizar pruebas con el tratamiento de zeolitas con intercambio iónico de plata, este procedimiento ofreció beneficios como bajo costo y



Figura 5. a) Instalación del filtro, b) Extracción de agua con bomba, c) Extracción de agua sin tratar, d)toma de muestra para análisis fisicoquímicos, e)toma de muestra para grasas y aceites, f)toma de muestra para coliformes.



Figura 6. a) Toma de muestra para análisis físico-químicos, b) Toma de muestra para grasas y aceites, c) Toma de muestra para coliformes.

nulo consumo de energía, se hizo un muestreo antes y después del tratamiento con un filtro a escala para determinar si cumplía con la norma. En la Figura 5 se observa el muestreo de agua antes del tratamiento con zeolita y en la Figura 6 el muestreo después del tratamiento.

Tabla 2. Parámetros de la “NOM-015-CONAGUA-2007” comparados con los resultados obtenidos en los análisis antes y después del tratamiento con zeolitas de la “Nueva Laguna”.

Fecha de muestreo	2013- Noviembre-25			
Lapso de análisis	2013-Nov-25 al 2013-Nov-28			
Contaminante	Unidad de medida	Límite	Resultados “Nueva Laguna” antes del tratamiento	Resultados “Nueva Laguna” después del tratamiento
Grasas y Aceites	Mg/L	15	< 5.98	< 5.98
Materia Flotante	Unidad	0	0	0
Sólidos Sedimentables	Mg/L	2	< 1	< 1
Sólidos Suspendedos Totales	Mg/L	150	20	14
Nitrógeno Total	Mg/L	40	< 1,998	< 1,998
Fósforo Total	Mg/L	20	0,064	0,058
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	No detectable	23	9

El tratamiento no dio los resultados que se esperaba, debido a que la cantidad de coliformes contenidos puede aumentar o disminuir antes, durante y después de las lluvias y por tal motivo se optó por elegir las lámparas de filtro uv.

### III. Conclusión

De acuerdo con el problema descrito y tomando en cuenta la normatividad vigente, se escogió el tratamiento de zeolitas con intercambio iónico de plata para infiltrar el agua de lluvia al subsuelo. Sin embargo, los análisis fisicoquímicos-microbiológicos demostraron que los parámetros coliformes fecales no estaban dentro de los límites máximos permisibles por la “NOM-015-CONAGUA-2007”. Por lo anterior, se optó por utilizar lámparas de filtro UV con una dosis de 254 Nm para remover el 99% de los coliformes fecales de forma constante y así poder cumplir con el objetivo de infiltrar agua al subsuelo con un valor permisible.

Este proyecto pretende servir de referencia para otras industrias de México y así poder aminorar el impacto ambiental causado durante muchos años por la sobreexplotación del acuífero. 💧

### Literatura consultada

- [1] Crawford, B. H. y Margolies, T. R. (1988) *The Nalco Water Handbook*. McGraw-Hill, EUA.
- [2] Kotz P. M., Treichel G., Wewaver C. (2005) *Química y Reactividad Química*. Thompson, España.
- [3] Conagua (2007) *Infiltración artificial de agua a los acuíferos. Características y especificaciones de las obras y del agua*. En Norma Mexicana NOM-015-CONAGUA-2007, México.
- [4] Instrucción de Trabajo I1.1SP\_PATR-09 “Muestreo”.
- [5] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (1987) *Calidad del agua, determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (Termotolerantes) y Escherichia coli presuntiva*. NMX-AA-42-1987, México.
- [6] Romero, J. A. (1999) *Calidad del Agua*. Alfaomega, México.
- [7] Secretaría de Economía (2010) *Determinación de Nitrógeno Total Kjeldahl en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas*. En Norma Mexicana NMX-AA-026-SCFI-2010, México.
- [8] APHA-AWWA-WPCF (1992) *Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales*. Díaz de Santos, España.
- [9] Manual de Gestión de la Calidad del LTA.



Participa en el próximo número  
del periódico digital

# Impluvium

dedicado al tema de

# Agua y Energía

Tienes hasta el 9 de mayo de 2014  
para enviar tu contribución, consulta  
los detalles de la convocatoria en

[www.agua.unam.mx](http://www.agua.unam.mx)

## Guía para la presentación de contribuciones

1. La contribución debe ser un texto de corte académico; no debe personalizarse.
2. Los trabajos deben contener: título, nombre del autor o autores y su profesión, introducción, desarrollo, conclusiones y bibliografía consultada.
3. Las contribuciones deberán entregarse en formato de procesador de textos Microsoft Word, con letra Arial de 12 puntos e interlineado doble.
4. Los textos no deberán exceder 1,700 palabras, incluyendo la bibliografía.
5. Las imágenes que deseen utilizarse en el texto deben entregarse en archivo independiente en formato jpg a 150 dpi. En el documento de Word se referirán de la siguiente manera: Véase Figura 1.
6. Se utilizará el sistema de citas y referencias bibliográficas Harvard-APA. Este estilo presenta las citas dentro del texto del trabajo, utilizando el apellido del autor, la fecha de publicación y la página, por lo que no se requieren notas al pie de página. Ejemplo (González Villarreal, 2013, p. 25). Al final del trabajo la bibliografía se agrupará en el apartado “Bibliografía” y se colocará de la siguiente manera: autor, título, editorial, lugar de publicación y año de publicación.
7. Los editores realizarán una corrección de estilo y consultarán con los autores cualquier modificación sobre el contenido de la contribución.





# *Impluvium*

Periódico digital de divulgación de la Red del Agua UNAM  
Número 1, Abril - Junio 2014  
[www.agua.unam.mx](http://www.agua.unam.mx)