

Impluvium

Publicación digital de la Red del Agua UNAM
Número 21, Octubre - Diciembre 2022



**SOLUCIONES BASADAS
EN LA NATURALEZA
Y EN EL PAISAJE
PARA LA GESTIÓN DEL AGUA
EN LAS CIUDADES**

INTRODUCCIÓN



El agua se ha convertido en uno de los temas más relevantes a nivel mundial. Si bien es cierto que su volumen total no ha variado, es de preocupar la velocidad con la que los seres humanos hemos consumido y contaminado esa porción disponible para sustentar la vida en este planeta, especialmente durante el S.XX y lo que va del XXI. De acuerdo con el Instituto de Recursos Mundiales, la demanda doméstica aumentó en 600% entre 1960 y 2014. Esta situación ha provocado una importante reacción a nivel mundial, generando cierta consciencia en un sector de la población que, desde hace ya más de dos décadas, se ha preocupado por

buscar alternativas viables que proponen su distribución, consumo y saneamiento a través de Soluciones Basadas en la Naturaleza, con menor impacto al medio ambiente y con la capacidad de abonar a la mitigación del cambio climático.

El camino para el desarrollo e implementación de este tipo de soluciones ha sido lento y difícil. Hablar de una gestión sostenible del agua es aún hoy, donde el discurso de la sostenibilidad ha permeado casi en todos los sectores, un tema desconocido y con el que la mayoría de la población no se siente identificado: desde los tomadores de decisiones hasta los distintos grupos sociales y comu-

nidades. Se percibe más como un experimento interesante que como una necesidad inminente. Su relevancia pareciera depender del grado de afectación directa al que la población se ve sujeta.

Sin embargo, la necesidad de actuar inmediatamente en la implementación de soluciones alternas para el manejo del agua, especialmente con Soluciones Basadas en la Naturaleza, es inminente. Por ello, me es muy grato presentar este volumen de ***Impluvium***, que se enfoca en la divulgación del conocimiento que se ha generado al respecto durante los últimos años, tanto a través de proyectos ejecutados como de metodologías desarrolladas en torno a la puesta en marcha de algunas de estas alternativas.

Los artículos que se presentan a continuación abordan distintas escalas y tipologías de proyecto, tanto para captación pluvial, tratamiento de aguas residuales y mitigación de inundaciones. A través de ellos, el lector tendrá una idea de lo que significan las soluciones para manejo del agua basadas en la naturaleza. Podrá conocer la capacidad de mitigar escorrentías y retener contaminantes que tiene un techo verde, así como una metodología para desa-

rollar proyectos de diseño implementando este tipo de estrategias. Tendrá una idea sobre los lugares del mundo que han tenido mayor éxito en su implementación y también entenderá qué es un humedal de tratamiento y cuáles son las especies vegetales más adecuadas para su construcción. Conocerá los beneficios directos que existen ante la implementación de distintas escalas de sistemas de captación de lluvia, así como la ambición de otras naciones por implementarlos de manera exhaustiva. Esto le permitirá entender la necesidad que tiene nuestro país de implementar este tipo de soluciones.

En México, gran parte de los núcleos urbanos sufren de estrés hídrico. El día de hoy, resulta evidente que los sistemas tradicionales para la gestión del agua, aquellos que buscan facilitar su obtención y desalojo a partir de la construcción de grandes infraestructuras, no han sido capaces de permitir la estabilidad hídrica que las ciudades requieren. Por ello, es imperativo conocer profundamente las soluciones de diseño para la gestión del agua basadas en la naturaleza. Estas plantean una alternativa viable y eficiente, ya constatada.

La lectura de estos artículos deja en evidencia que nuestro país requiere de la formación de especialistas y diseñadores que, más allá de copiar soluciones implementadas por otros, sean capaces de idear los proyectos necesarios y viables para México. Este tomo de ***Impluvium*** es un primer acercamiento a algunas ideas al respecto, abriendo la puerta y despertando la curiosidad de los lectores por ver muchos más proyectos que permitan reconstruir una relación armónica entre el ser humano y el agua. 💧

LORETA CASTRO-REGUERA MANCERA

COORDINADORA DEL GRUPO DE ANÁLISIS:

CIUDADES INTELIGENTES EN LA GESTIÓN DEL AGUA DE LA RED DEL AGUA UNAM



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. Los artículos compartidos son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente la opinión de la Red del Agua UNAM o de sus miembros.

Comité editorial:

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

M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina
Coordinador Ejecutivo de la Red del Agua UNAM

Mtra. Malinali Domínguez Mares
Coordinadora de Asesores de la
Dirección General del IMTA

Mtra. Ana Gabriela Piedra Miranda
Responsable de comunicación organizacional del
Centro Regional de Seguridad Hídrica
bajo los auspicios de UNESCO

Editora invitada.

Mtra. Loreta Castro-Reguera Mancera
Coordinadora del Grupo de Análisis:
Ciudades inteligentes en la gestión del agua
de la Red del Agua UNAM

Diseño gráfico y formación:

Lic. Joel Santamaría García
Lic. Marie Claire Mendoza Muciño

Publicación digital de la Red del Agua UNAM.
**Número 21, Soluciones Basadas
en la Naturaleza y en el Paisaje para
la gestión del Agua en las ciudades.**
Octubre - Diciembre 2022

www.agua.unam.mx/impluvium.html

Impluvium es la publicación digital de divulgación de la Red del Agua UNAM, Año 9, No.21, Octubre – Diciembre 2022. Es una publicación trimestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, a través de la Red del Agua de la UNAM, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Instituto de Ingeniería, edificio 5, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, Tel. (55)56233600 ext.8745, <http://www.agua.unam.mx/impluvium.html>, jarriagam@iingen.unam.mx. Editor responsable: M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina. Reserva de Derechos al uso Exclusivo: en trámite., ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Red del Agua UNAM, M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Instituto de Ingeniería, edificio 5, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México fecha de la última modificación, Febrero 2023.

CONTENIDO

Introducción2

Loreta Castro-Reguera Mancera

ARTÍCULOS

Azoteas verdes como retenedoras de agua de lluvia y contaminantes en la Ciudad de México9

Eréndira Alejandra Arellano Leyva, Gabriela Cano Vázquez y
Lyssette Elena Muñoz Villers.

La captación pluvial como alternativa de solución, vista desde una perspectiva mundial 16

Rodrigo Ricardo Garduño De Jesús.

Consideraciones técnicas para el diseño e implementación de Infraestructura Verde para el manejo del agua pluvial 22

Eduardo Santillán Gutiérrez.

Paleta vegetal y especies invasoras en humedales artificiales 28

Cantellano de Rosas Eliseo, Morales Martínez Edgar Fabián y
Arcos Ramos Raúl.



Manejo sustentable de los recursos hídricos en sistemas urbanos en México a partir de la recuperación de humedales naturales 35

Rosalía Ivonne Cruz Cervantes, Gabriel Soto Cortés y Yuri Reyes.

Aguas bajo control con SBN: Estrategias para su implementación con perspectiva de cuenca en las ciudades 42

Víctor Alfonso Galicia Aguilar.

Humedales de tratamiento como solución al problema de lixiviados en México.. 48

Denisse Astrid Hernández Castelán y

Luis Carlos Sandoval Herazo.

Desarrollo de huertos urbanos utilizando riego por goteo solar 56

Ulises Dehesa-Carrasco, Eduardo Venegas-Reyes,

Yuridiana R. Galindo-Luna y Jonathan Ibarra-Bahena.

Humedales artificiales: Alternativa viviente a la gestión del agua en las ciudades 61

Camilo Serrano, Martha Otero y Carolina Leyva.

Implementación de Drenajes Pluviales Sostenibles (DPS) en el estado de Guanajuato. 68

Angel Ricardo Leyva Macías.

Acciones implementadas en la Ciudad de México para la gestión del agua y la reforestación con enfoque en las SNByP 76

Loarry I. Gabriel Hernández.



**Los humedales construidos:
Una estrategia para el tratamiento
sustentable del agua residual 83**

Georgina Martínez Reséndiz, Luis Carlos Sandoval Herazo y
Luis Felipe Juárez Santillán.

**Gestión integral de diseño, soluciones
basadas en la naturaleza como modelo
de prevención en la ciudad costera 90**

Jorge López.

**Lineamientos generales de diseño para
la protección y restauración de la
vegetación en las zonas urbano-costeras
de Tulum, Quintana Roo a partir
de las Soluciones Basadas en
la Naturaleza y el Paisaje 98**

Laura Jaloma López, Mariela Martínez Álvarez, Rosa Michelle
Meza Paredes y Enrique Soto Alva.

**Sistemas de captación de agua de lluvia:
solución basada en la naturaleza
para el abasto hídrico urbano
en Acapulco, Guerrero 107**

Mariana Martínez Castrejón, América Libertad Rodríguez
Herrera, Osbelia Alcaraz Morales y Giovanni Hernández Flores.



AZOTEAS VERDES COMO RETENEDORAS DE AGUA DE LLUVIA Y CONTAMINANTES EN LA CIUDAD DE MÉXICO

ERÉNDIRA ALEJANDRA ARELLANO LEYVA
GABRIELA CANO VÁZQUEZ
LYSSETTE ELENA MUÑOZ VILLERS
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA
Y CAMBIO CLIMÁTICO, UNAM

RESUMEN

El crecimiento poblacional y la consecuente expansión urbana han provocado diversos problemas hídricos. En las últimas décadas, se han implementado infraestructuras sustentables para mitigar algunos problemas ambientales en las ciudades. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la retención pluvial y la detención del escurrimiento, así como la concentración y tasa de exportación de metales y sólidos en suspensión durante eventos de precipitación-escurrimiento en dos azoteas verdes extensivas (AVE's) comparándolas con una azotea

convencional en la Ciudad de México. La retención de lluvia promedio fue del ~60% en las AVE's, con retrasos significativamente mayores y tiempos de escurrimiento prolongados (100 y 340 min, respectivamente) con respecto a la lluvia en comparación con la azotea convencional (3%, 20 min y 258 min, respectivamente). Además, las AVE's registraron bajas aportaciones de sólidos en suspensión en el escurrimiento pluvial, así como bajas tasas de exportación de zinc, cadmio, cobre y plomo con respecto a las entradas por lluvia.



INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional y la expansión urbana han provocado un drástico aumento de las superficies impermeables, aunado al incremento en la frecuencia e intensidad de precipitaciones extremas a causa del calentamiento climático global. Estas condiciones hacen necesario aumentar la resiliencia en las ciudades.

A falta de espacios donde establecer vegetación a nivel del suelo en las ciudades, se ha hecho necesario recurrir a estrategias de adaptación a través de infraestructuras como las azoteas verdes, una de las Soluciones Basadas en la Naturaleza y en el Paisaje (SbNyP) que permiten contrarrestar algunos de los impactos negativos del desarrollo urbano, además de aportar beneficios ecológicos, económicos y sociales. La capacidad para retener la precipitación y retrasar el escurrimiento pluvial es uno de los beneficios hidrológicos más destacados y ampliamente reportados en la literatura científica de las azoteas verdes (Hakimdavar, 2014, pág. 495).

Además, se ha reportado que la calidad físico-química del escurrimiento de la azotea verde

depende de sus características, del tipo de zona circundante (industrial, residencial o comercial), las fuentes de contaminación locales, intensidad de tráfico y sus emisiones correspondientes, intemperismo y degradación de suelos, entre otros factores (Berndtsson, 2006, pág 49).

El objetivo de este trabajo fue cuantificar la retención de la lluvia y los tiempos de detención del escurrimiento pluvial, así como evaluar la concentración y tasas de exportación de sólidos en suspensión totales (SST) y metales durante eventos de precipitación-escurrimiento en dos AVE's con diferentes características (pendiente, propiedades del sustrato y cobertura vegetal y manejo) en comparación con una azotea convencional en la Ciudad de México.

DESARROLLO

La investigación se realizó en la AVE del Jardín Botánico de la UNAM, ubicada al suroeste de la Ciudad de México y con una superficie total de 260 m². Se seleccionaron dos secciones de la AVE: la primera (de aquí en adelante AVEsp) tiene una super-

ficie de 32 m², pendiente de 2°, profundidad media del sustrato de 132 mm y altura promedio de la vegetación de 45 cm; la segunda sección (de aquí en adelante AVEcp) tiene una superficie de 36.7 m², pendiente de 14°, profundidad media del sustrato de 103 mm y altura promedio de la vegetación de 72 cm. La azotea convencional (de aquí en adelante AC) está cubierta por una membrana impermeable, tiene una superficie de 19.3 m² y pendiente de 2°, Véase Figura 1.

El estudio se llevó a cabo del 21 de mayo de 2017 al 15 de noviembre de 2018 para la determinación de la retención de lluvia y la detención del escurrimiento. Durante este periodo, la precipitación (P) fue regis-

trada cada 5 min utilizando un pluviómetro de balancín instalado a 1.2 m del suelo de la AVE. El escurrimiento pluvial (Q) en cada una de las azoteas estudiadas se midió colectando el agua en tanques de 1100 L, cada uno equipado con un transductor de presión (limnógrafo), a partir de los cuales se calcularon los volúmenes de agua cada minuto.

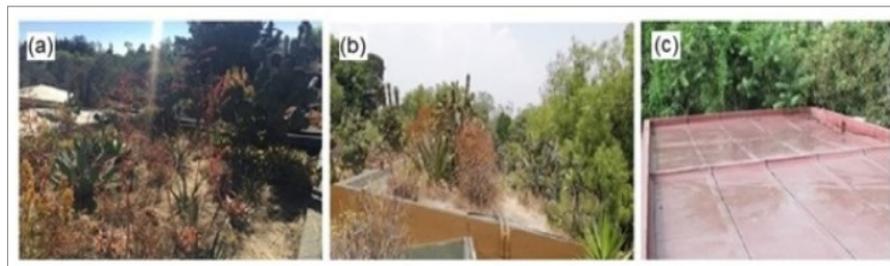


Figura 1. Azoteas verdes extensivas investigadas con (a) una pendiente suave (AVEsp) y (b) con una pendiente más pronunciada (AVEcp), y (c) la azotea convencional (AC).

Un evento de lluvia se definió como un periodo > 1 mm de precipitación, separado por un periodo seco de al menos 6 horas (Driscoll, 1989, pág. 6). Por evento de precipitación-escurrimiento, se calculó el coeficiente de escurrimiento definido como la relación entre el escurrimiento y la precipitación (Q/P , sin unidades). La retención de la lluvia expresada en % se calculó como la inversa de Q/P multiplicada por 100.

Se calcularon los siguientes tiempos de detención del escurrimiento: el tiempo de retraso (TdQ , min), definido como el tiempo entre el inicio de la precipitación y el inicio del escurrimiento, y el tiempo de prolongación (TeQ , min), definido como la duración del escurrimiento una vez finalizado el evento de lluvia. Este análisis sólo consideró eventos de precipitación-escurrimiento completos y con datos confiables.

El muestreo para determinar las concentraciones de metales y SST se llevó a cabo de mayo a octubre de 2019. Las muestras de precipitación y escurrimiento (19 eventos en total) fueron colectadas al día siguiente del evento de lluvia, con lo cual el drenado de las azoteas fue completo, posterior a ello fueron filtradas y acidificadas con HNO_3 ultrapuro hasta obtener un $pH \leq 2$ y almacenadas a $2^\circ C$ hasta su análisis. Los SST se determinaron mediante la diferencia de masas húmeda y seca de las membranas entre el volumen total de la muestra. Las concentraciones de metales fueron determinadas mediante dos técnicas analíticas: los elementos Al, V, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Ba y Pb

por Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) en el Laboratorio ICP-MS del Instituto de Geofísica, UNAM; mientras que Ca, K, Na, y Mg por Espectrometría de Emisión Óptica de Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES) en el Laboratorio de Espectroscopía Atómica del LAN-GEM del Instituto de Geología, UNAM.

La carga de SST y metales en la precipitación se calculó multiplicando la cantidad de precipitación (mm) por la concentración de cada elemento ($mg L^{-1}$ o $\mu g L^{-1}$). Las tasas de exportación al escurrimiento ($mg m^{-2}$ o $\mu g m^{-2}$) se obtuvieron multiplicando la concentración ($mg L^{-1}$ o $\mu g L^{-1}$) por el volumen de escurrimiento (mm) dividiendo por la superficie de cada azotea.

RESULTADOS

A escala de evento, los resultados mostraron que el valor de Q promedio fue similar entre azoteas verdes (5.97 mm en la AVEsp y 6.25 mm en la AVEcp; $p > 0,05$), siendo aproximadamente la mitad de la cantidad observada en la AC (11.67 mm; $p < 0.05$). Se encontró una menor correlación entre la precipita-

ción y el escurrimiento a nivel de evento en las AVE's comparado con la AC, Véase Figura 2. En este caso, la AC generó escurrimiento en todos los eventos de precipitación registrados. Las AVE's retuvieron un gran número de eventos de $P \leq 6$ mm, observándose que la AVEsp retuvo el doble de eventos ($n = 51$) comparado con la AVEcp ($n = 26$).

El valor promedio de Q/P a nivel de evento fue de $0.38 \pm 0.38(DE)$ en la AVEsp y de 0.40 ± 0.34 en la AVEcp ($p > 0.05$); mientras en la AC fue de 0.97 ± 0.11 , y significativamente mayor que lo observado en las AVE's ($p < 0.05$). Se observó un mayor retraso (TdQ) en promedio en el inicio del escurrimiento pluvial en la AVEsp (117 min) y la AVEcp (87 min) comparado con

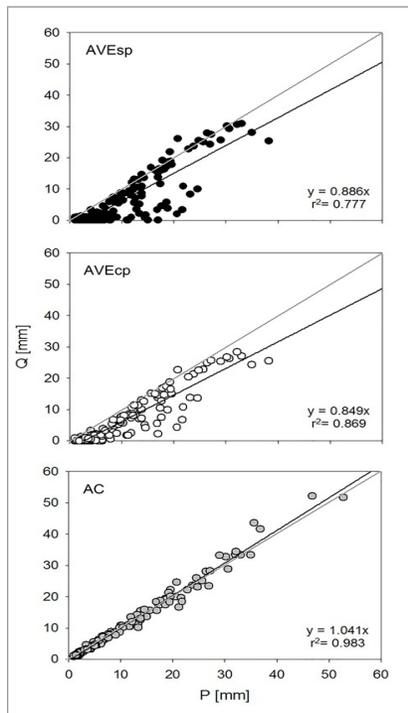


Figura 2. Precipitación (P) y escurrimiento (Q) observados en las azoteas estudiadas. La regresión 1:1 (línea gris) se muestra a modo de comparación.

la AC (20 min) ($p < 0.05$ entre azoteas; Véase Figura 3a). El tiempo que se prolongó el escurrimiento una vez finalizado el evento de lluvia (TeQ) fue de 344 y 337 min en la AVEsp y AVEcp, respectivamente, lo que fue significativamente mayor que lo observado en la AC (259 min) ($p < 0.05$; Véase Figura 3b).

Durante el periodo de estudio (mayo-octubre 2019), se observaron elevadas cargas de Zn, Ba, Cu, Al, Fe, Mn y SST en la lluvia. Por otro lado, las AVE's registraron bajas tasas de exportación de Zn, Cu, Mo, Cd y Pb a través del drenaje pluvial. Así mismo, se observaron bajas contribuciones de SST en el escurrimiento de las AVE's con respecto a la lluvia y AC, Véase Figura 4.

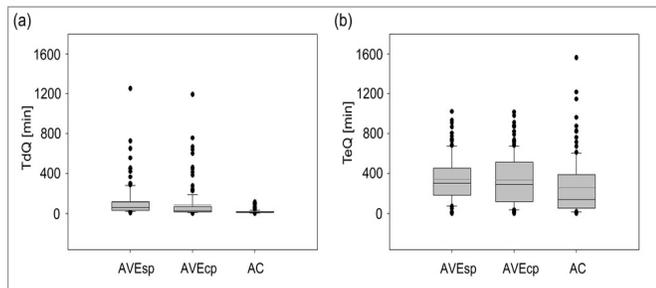


Figura 3. (a) Tiempo de retraso del escurrimiento (TdQ) y (b) tiempos de prolongación del escurrimiento (TeQ) para las azoteas estudiadas.

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron una alta retención de lluvia en las AVE's (61%) comparado con la azotea convencional (3%), junto con mayores tiempos de retraso del escurrimiento (101 vs. 20 minutos) y tiempos de escurrimiento más prolongados una vez finalizado el evento de lluvia (340 vs. 259 minutos). Por lo cual, las AVE's estudiadas tienen un gran potencial de reducir el escurrimiento pluvial y los picos de descarga en los sistemas de drenaje urbanos.

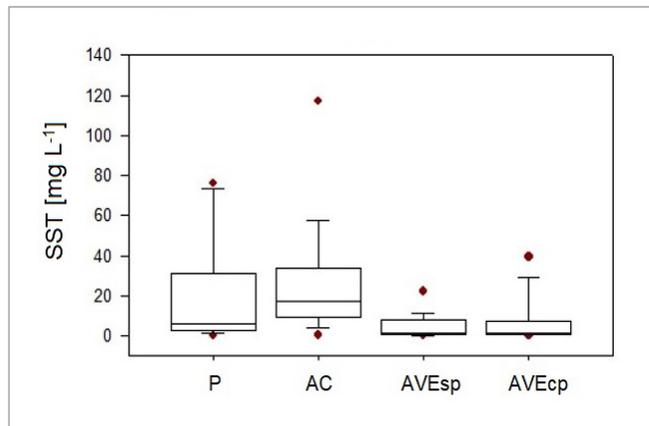


Figura 4. Variación de SST en la precipitación (P) y en el escurrimiento de las azoteas estudiadas.

En relación con las concentraciones y tasas de exportación, este trabajo mostró que las AVE's retienen Zn, Cu, Pb, Mo, Cd y sólidos en suspensión, y exportan mayores tasas de Mg, Na, Al, Fe, Mn y Ni comparado con lo observado en la lluvia y drenaje de la azotea convencional. Estos resultados demuestran que las azoteas verdes funcionan como

receptoras de contaminantes, al ser depositados e inmovilizados, lo que implica una menor exposición a estos contaminantes en el aire, beneficiando la salud humana. 💧

BIBLIOGRAFÍA

Berndtsson, J., Emilsson T., y Bengtsson, L. (2006) The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality. *Science of the Total Environment*. 48-63.

Driscoll, E. D., Palhegyi, G. E., Strecker, E. W., y Shelley, P. E. (1989). *Analysis of storm events characteristics for selected rainfall gauges throughout the United States*. Washington, DC: US Environmental Protection Agency.

Hakimdavar, R., Culligan, P. J., Finazzi, M., Barontini, S., y Ranzi, R. (2014). Scale dynamics of extensive green roofs: Quantifying the effect of drainage area and rainfall characteristics on observed and modeled green roof hydrologic performance. *Ecological Engineering*, 73, 494-508.

LA CAPTACIÓN PLUVIAL COMO ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN, VISTA DESDE UNA PERSPECTIVA MUNDIAL

RODRIGO RICARDO GARDUÑO DE JESÚS
CONSULTOR INDEPENDIENTE



Resumen

Actualmente, existe una crisis hídrica que pocos se atreven a reconocer. Ante ello, es necesario incentivar acciones que posibiliten una adecuada gestión de los recursos hídricos. Una gran herramienta son las soluciones basadas en la naturaleza y el paisaje para la gestión del agua; estas acciones pretenden utilizar los procesos naturales para contribuir a una mejor gestión del agua, un claro ejemplo es la captación pluvial. Diversos países han implementado estrategias para aprovechar el agua de lluvia, lo que subsecuentemente se ve reflejado en una mejor distribución del líquido, así como en el respeto al derecho humano al agua.

Introducción

La sobreexplotación de los recursos naturales, particularmente el uso desmedido del agua, ha provocado una crisis a nivel mundial. Ante este escenario, resulta imperativo que se realicen acciones contundentes que garanticen el acceso al agua para la totalidad de la población.

Algunos líderes mundiales se han percatado que el uso de soluciones basadas en la naturaleza permite una correcta gestión del recurso hídrico, garantizando una adecuada sostenibilidad, cuestión que de manera subsecuente se verá reflejada en el respeto al derecho humano al agua.

Una de las soluciones basadas en la naturaleza que por excelencia ha mostrado resultados prometedores es la captación pluvial. Décadas atrás diversos países han visto un gran potencial en el uso de este instrumento, a efecto de implementar las políticas públicas necesarias o en su caso, coadyuvar con el esfuerzo que integrantes de la sociedad civil han realizado para su ejecución.

Desarrollo.

Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) se inspiran en los recursos naturales, con la finalidad de contribuir a la gestión del agua, éstas pueden realizarse a microescala o macroescala, por medio de conservación, rehabilitación, creación o en su caso, mejora de procesos naturales (UNESCO, 2018).

Dentro de las alternativas se encuentra la captación pluvial, misma que es definida como un sistema que busca aprovechar el agua de la lluvia para la atención de diversas necesidades humanas. De acuerdo con su finalidad, se clasifican en tres categorías (Durán, 2017):

1. Sistemas para uso humano
2. Sistemas para uso industrial, agrícola y ganadero
3. Recarga de mantos acuíferos en zonas urbanas.

En virtud de esta clasificación, las civilizaciones optan por alguno de estas propuestas, fijándose principalmente en la opción que sea más viable en atención a las características regionales, territoriales y climatológicas que poseen al interior de su territorio.

Estas prácticas han sido implementadas por diversos países, obteniendo resultados prometedores, permitiéndoles fortalecer la gestión de los recursos hídricos; por lo que resulta necesario hacer un recuento de los casos más emblemáticos, a fin de que sirva de análisis para nuestro país y se replique al interior del territorio mexicano.

Para comenzar, en el continente africano se han realizado proyectos de captación pluvial, principalmente en Sudáfrica, Botswana, Mozambique, Mali y Tanzania. Aunque en esta región se ha implementado la instalación de captadores informales (de

menor calidad y a menor costo); también se fabrican formales, financiados por agencias subsidiarias (Ballén & Galarza, 2006).

Por su parte, en China se ha optado por fomentar la captación pluvial, a través del proyecto denominado “121”, que consiste en un apoyo económico a las familias para construir captadores pluviales, con sus respectivos centros de almacenamiento y el terreno propicio para cultivo (Ballén & Galarza, 2006).

En Japón, el gobierno de Tokio implementó la captación pluvial no sólo como mecanismo para garantizar el derecho humano al agua y reducir la escasez hídrica, sino también para contrarrestar las inundaciones y administrar correctamente el agua para aprovecharla en las zonas que lo necesiten (Durán, 2017).

En Singapur, debido a la carencia de fuentes directas de abastecimiento, han optado por nuevas estrategias. Una de ellas, es la captación pluvial para usos no potables en los techos de los edificios, ya que la mayor parte de sus habitantes vive en departamentos (Ballén & Galarza, 2006). Actualmente, su sistema de captación abarca apro-

ximadamente, dos tercios de su superficie y tiene proyectado lograr una cobertura total para el año 2060, con la meta de recolectar cada gota de lluvia que caiga en su territorio (Vida sostenible, 2020).

Aunado a ello, se impulsan nuevas tecnologías como la desalinización de agua marina y la implementación del método denominado “Newater”, que sirve para sanear sus aguas residuales, mediante el empleo de filtros (Singapore’s National Water Agency, 2020). Estas acciones posibilitan vislumbrar los beneficios de contar con sistemas adecuados de gestión hídrica basados desde la naturaleza.

El continente europeo ha sido un ejemplo a seguir en materia de captación pluvial, debido a que su modelo consiste en recolectar agua de lluvia de algunas edificaciones para depositarlas en un tanque subterráneo y bombearla para usos no potables, como el descargue de inodoros o riego de plantas (Ballén & Galarza, 2006).

Oceanía es un continente caracterizado por su baja población, por lo que el proceso de traslado del agua es más costoso de lo regular, cuestión que dificulta el suministro en los lugares más alejados.

Por ello, en diversas zonas del continente, especialmente en Australia, se ha implementado el aprovechamiento de agua de lluvia como una forma de garantía al derecho humano al agua (Agatón, Córdoba, & Carreño, 2016).

En cuanto hace al continente americano, para efectos de ejemplificación, se dividirá en tres regiones: norte, centro y sur, las cuales han tenido un crecimiento variado, diferenciándose en atención a sus recursos económicos y naturales, así como a la voluntad política que sus líderes han mostrado con respecto al tema de la captación pluvial.

América del Norte ha sido uno de los grandes referentes en materia de captación pluvial; particularmente en los Estados Unidos de América (EUA) se centra la mayor parte del aprovechamiento de agua de lluvia, especialmente en Washington, Alaska, Hawái, Texas, Nuevo México. Esta captación pluvial es utilizada por al menos medio millón de personas, quienes la aprovechan para uso doméstico, agrícola, comercial e industrial (Ballén & Galarza, 2006).

Canadá cuenta con un subsidio para comprar barriles para el aprovechamiento de agua de lluvia

para uso de riego de jardines y doméstico (Anaya, 2009). Se ha impulsado el programa “En busca de la conservación del agua”, mediante el cual se pretende recuperar el agua de lluvia y utilizarla para fines no potables. Estos barriles tienen una capacidad de almacenamiento de hasta 284 litros (Ballén & Galarza, 2006).

En Centroamérica, Honduras realizó la instalación de captadores pluviales sencillos, mismos que aunque carecen de un sistema de purificación, han representado un aumento en la calidad de vida de sus habitantes. También se han diseñado cisternas recolectoras, a partir de materiales locales (Anaya 2009).

Es necesario destacar que diversos Organismos No Gubernamentales (ONG) han puesto la mira en países como Brasil, con el objetivo de promover la instalación de tanques construidos a base de hormigón para la recolección de agua de lluvia, lo que ha beneficiado a más de 5 millones de personas (Durán, Herrera & Guido, 2010).

Adicionalmente se han impulsado más de 62 ciudades, con proyectos de captación pluvial de

mediana y pequeña escala en centros comerciales, industriales y residenciales, complejos deportivos, estaciones de servicio y sistemas de demanda para agricultura (Estupiñan & Zapata, 2010).

Lo anterior, debido a que Brasil cuenta con diversas oportunidades para ser ejemplo en materia de aprovechamiento de agua de lluvia, a causa de la gran cantidad de lluvia con la que cuenta a lo largo del año, razón por la cual, sociedad y gobierno se han preocupado por la instalación de tanques de recolección de agua pluvial, beneficiando a más de 5 millones de personas en un periodo de 5 años (Ballén & Galarza, 2006).

Adicionalmente, Brasil tiene infraestructuras certificadas como edificios sostenibles, a través de “Leadership in Energy Environmental Design” (LEED), esta certificación es desarrollada por el Consejo de la Construcción Verde de los EUA, con el objetivo de incentivar la utilización correcta del recurso hídrico, a través del diseño basado en la sostenibilidad (Torres, 2019, p. 135).

En resumen, el mundo ha evolucionado paulatinamente en materia de innovación tecnológica e

impacto ambiental; países de diversas regiones han visto la importancia de optar por soluciones basadas en la naturaleza, con la intención de mejorar las condiciones actuales y buscar una sostenibilidad, que permeará en generaciones futuras.

Para concluir, se resalta la importancia de que México siga estos ejemplos e incorpore estrategias encaminadas a promover soluciones emanadas desde la naturaleza para una sostenibilidad, tal es el ejemplo de la captación pluvial. Para ello, se debe comenzar con una reforma integral a la Ley de Aguas y subsecuentemente implementar políticas públicas que posibiliten la innovación en materia ambiental. ♦

Bibliografía

Agatón, A., Córdoba, J., & Carreño, U. (2016). Revisión del estado de arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. *Tecnura*, 141-153.

Anaya, M. (2009). *Antecedentes de la captación del agua de lluvia*. Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia CIDECALLI-CP. México: Reporte DDCTS.

Ballén, J., & Galarza, M. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia. Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, (págs. 1-12). Brasil.

Durán, P., Herrera, L., & Guido, P. (2010). *Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable*. México: Congreso Nacional del Medio Ambiente.

Durán, P. (2017). *Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable*. México: Congreso Nacional del Medio ambiente.

Estupiñan, J., & Zapata, H. Requerimientos de infraestructura para el aprovechamiento sostenible del agua de lluvia en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana sede Bogotá. *Tesis de maestría en Ingeniería Civil*. Universidad Javeriana, Bogotá.

Singapore's National Water Agency. (2 de agosto de 2020). NEWater. Obtenido de <https://www.pub.gov.sg/watersupply/fournationaltaps/newater#:~:text=The%20NEWater%20process%20recycles%20our,moving%20Singapore%20towards%20water%20sustainability.&text=By%202060%2C%20NEWater%20is%20expected,of%20Singapore's%20future%20water%20demand>.

Torres, R. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. En *Ingeniería Hidráulica y Ambiental* (págs. 125- 139). La Habana: Centro de Investigaciones Hidráulicas, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae).

UNESCO. (2018). Informe Mundial de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los recursos hídricos 2019: *Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Gestión del Agua*. Francia: UNESCO.

Vida sostenible. (1 de agosto de 2020). El futuro del agua pasa por Singapur. Obtenido de <https://www.vidasostenible.org/el-futuro-del-agua-pasa-por-singapur/>

CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE INFRAESTRUCTURA VERDE PARA EL MANEJO DEL AGUA PLUVIAL

EDUARDO SANTILLÁN GUTIÉRREZ

TECNOLÓGICO DE MONTERREY, CENTRO DEL AGUA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE



Resumen

Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) con enfoque en la Infraestructura Verde (IV), brindan posibilidades de integrar acciones para mitigar los impactos y crear condiciones urbanas más favorables para adaptarse al cambio climático. Las técnicas de Infraestructura Verde como medidas de adaptación son útiles para el manejo del agua en ciudades bajo condiciones duales como sequías e inundaciones, siendo mayormente utilizadas para regular, captar, detener, retener e infiltrar la escorrentía, reducir anegamientos o inundaciones de tipo pluvial. Se considera que dichas técnicas son

la base para crear los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Sin embargo, su diseño e implementación es un reto cuando precisamente se trata de dar solución a un problema relacionado con el manejo del agua. En este sentido, es fundamental contemplar conceptos de hidrología urbana que ayuden a conocer y comprender consideraciones técnicas desde el punto de vista hidrológico.

Introducción

Las ciudades alrededor del mundo se enfrentan a grandes retos para manejar los riesgos climáticos

relacionados al agua, que son exacerbados por el cambio climático y el crecimiento urbano. En su territorio se afrontan, en mayor medida, a riesgos y vulnerabilidades derivadas del calentamiento global y al desafío de volverse más sostenibles, adaptables y resilientes. México se considera un país vulnerable a los efectos del Cambio Climático (CC) donde muchas de sus ciudades son propensas a la escasez del agua, sequías, temperaturas extremas, así como intensas tormentas y precipitaciones atípicas que causan inundaciones pluviales y fluviales que acrecientan los riesgos para la población. Aunado a lo anterior, la expansión urbana e impermeabilización del territorio, trae modificaciones del sistema hidrológico, de la respuesta hidrológica, de los patrones de drenaje y del comportamiento del flujo (escurrimiento) en las cuencas urbanas; pero también, ocasiona alteraciones en la falta de espacio para el manejo del agua, cambios en la topografía, alteración de ecosistemas aledaños, reducción de áreas permeables y afectación en la biodiversidad. Estos cambios afectan directamente a las viviendas, infraestructura vial y de servicios, eco-

nomía y la calidad de vida de los habitantes de las ciudades. Ante este panorama, las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN), como la Infraestructura Verde (IV), brindan posibilidades de integrar acciones como medidas de adaptación, al imitar procesos naturales que proporcionan servicios ecosistémicos, entre ellos los procesos hidrológicos como la captación, detención, retención, conducción, infiltración y tratamiento del agua, los cuales contribuyen a un manejo del agua pluvial. Muchas técnicas de IV son utilizadas para crear Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), los cuales son usados para complementar la falta de capacidad de los Sistemas de Drenaje Pluvial Urbano Convencional. Estos últimos son comúnmente rebasados por eventos de precipitación extremos, debido a deficiencias al basarse en un diseño de tormenta en específico, y también por no contemplar escenarios plausibles de cambio de uso de suelo en las cuencas de aportación (Zevenbergen, 2018, p. 3).

Hoy en día no hay duda de que la IV para crear SUDS y, con ello impulsar el concepto de una ciudad esponja, es de mucha utilidad para volver a las

ciudades adaptables y resilientes. Sin embargo, aún hay cierto desconocimiento por parte de los actores clave involucrados, en las consideraciones técnicas, estrategias y métodos de planeación que se deben tomar en cuenta para el diseño, pero sobre todo, para una implementación adecuada (Zhang *et al.*, 2017, p. 1).

Etapas para el diseño e implementación

Para que una ciudad sea adaptable y resiliente con un efecto esponja que contribuya a reducir los anegamientos o riesgos de inundación pluvial, es primordial considerar en todo momento maximizar y optimizar el diseño de las técnicas de Infraestructura Verde, con el fin de incrementar y mejorar la capacidad de infiltración de las áreas permeables para reducir la escorrentía pluvial (Nguyen *et al.*, 2019, p. 5). Si bien es cierto que la selección de las técnicas junto con su diseño e implementación dependerán de la escala donde se hará la implementación (micro, meso o macro-escala), el ámbito (urbano, peri-urbano, rural o natural), las características y necesidades del sitio en cuanto al diseño

del espacio público, la superficie verde permeable, los aspectos hidrológicos de la cuenca urbana y la caracterización de la precipitación bajo diferentes periodos de retorno, siempre es de gran importancia apearse a un proceso general contemplando ciertas consideraciones técnicas desde la perspectiva de hidrología urbana.

De acuerdo con Checa y Pazos las fases o etapas del proceso de diseño parten del reconocimiento del lugar, identificación de las técnicas de infraestructura verde para crear los SUDS, el diseño y dimensionamiento a través del modelamiento y la revisión de regulaciones (2018, p. 33). Por otro lado, Woods-Ballard *et al.* proponen cuatro etapas, siendo la primera establecer el objetivo del proyecto para el manejo del agua; la segunda el diseño conceptual que involucra el diseño inicial y plan de diseño; la tercera el dimensionamiento y optimización; y la cuarta, los detalles del diseño donde contempla pruebas y finalización del proyecto (2015, p. 123). Cada una de estas etapas tienen pasos definidos, sin embargo, en muchos de los casos no se detallan y asocian a consideraciones técnicas desde

el punto de vista hidrológico para ser tomadas en cuenta. Véase Figura 1.

Consideraciones técnicas desde el punto de vista hidrológico

Dentro de la etapa de reconocimiento y situación del sitio, conocer y analizar el contexto de la zona de estudio para determinar las particularidades y características hidrográficas e hidrológicas. Se debe considerar la identificación de zonas de encharcamiento o anegamientos (inundación pluvial) y un análisis preliminar de la cuenca urbana durante la temporada de lluvias para identificar los patrones de drenaje, la respuesta hidrológica y el comportamiento del flujo. También,

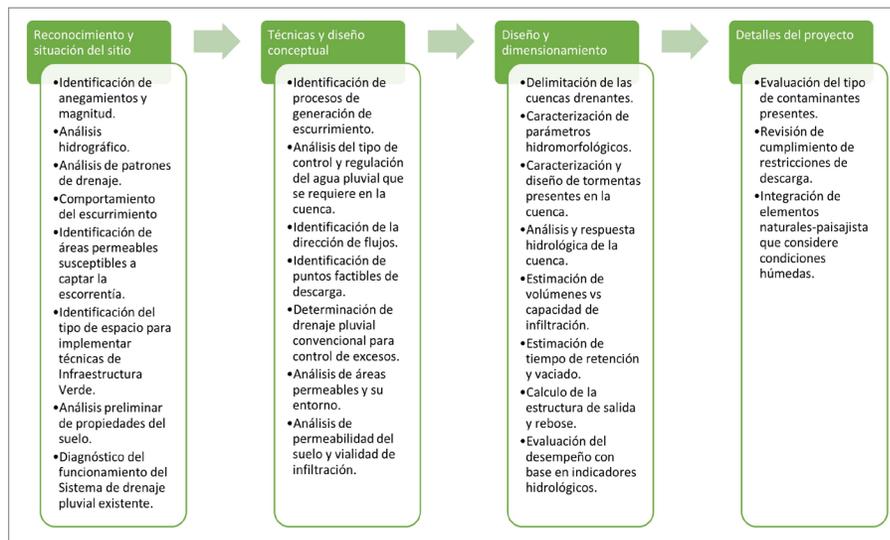


Figura1. Esquema de etapas y consideraciones técnicas.

se localizan los posibles sitios de intervención en función del tipo de espacio para implementar técnicas de IV. Estas primeras consideraciones permiten conocer la magnitud del problema de inundación pluvial, visualizar los resultados, beneficios o impactos esperados con la implementación, un primer acercamiento a una posible solución y la exploración de como incorporar dentro de las áreas verdes las técnicas adecuadas para el manejo del agua pluvial.

Para la etapa de técnicas y diseño conceptual se considera clave tener un mayor conocimiento de los procesos de generación de escurrimiento dentro de la cuenca natural o urbana, desde su formación, transporte y desalajo. También se recomienda definir los sitios potenciales de intervención (áreas verdes) y las técnicas idóneas en función de la dirección y acumulación de los flujos, del tipo de control y regulación necesario, sea en sitio desde su formación, control en el proceso de transporte, o bien, un control aguas abajo para el desalajo. Por otro lado, también se toma en cuenta las capacidades de infiltración de dichas áreas verdes identificadas y la integración con otros sistemas del entorno, como los propios sistemas de drenaje pluvial o puntos de descarga. Estos aspectos son clave para identificar las técnicas de IV como componentes potenciales del SUDS, de acuerdo con el tipo de regulación o control que se requiere de la escorrentía pluvial en la cuenca, y de la disponibilidad de las áreas verdes con condiciones adecuadas.

En la etapa de diseño y dimensionamiento, se busca tener claridad de la delimitación de las cuencas drenantes, la caracterización de hidromorfológica de las mismas, el análisis de pluviometría y el diseño de tormentas con su magnitud, duración y distribución temporal, tal que se puedan generar los caudales máximos y volúmenes de escorrentía asociados a los distintos periodos de retorno. Con esta información y la capacidad de infiltración del suelo, se estima el tiempo de retención y vaciado de las técnicas y el cálculo de la estructura de salida y rebose. Finalmente, a través de un modelo matemático se puede evaluar el desempeño de las técnicas para lograr un impacto hidrológico cero.

Para la última etapa de detalles del proyecto, los aspectos a considerar tienen que ver con los contaminantes presentes en la escorrentía pluvial, las regulaciones o restricciones para descarga en un sistema de drenaje pluvial o un cuerpo de agua y la integración de elementos naturales-paisajistas. Estas consideraciones técnicas brindan los detalles finales del proceso de diseño.

Conclusiones

Las soluciones basadas en la naturaleza como la Infraestructura Verde es uno de tantos enfoques que permiten un adecuado manejo del agua pluvial para reducir los riesgos climáticos asociados a las inundaciones pluviales en las ciudades.

Para el diseño e implementación es indispensable considerar desde la fase inicial de reconocimiento del sitio, hasta la conceptualización del proyecto, diseño y dimensionamiento y detalles del proyecto, aspectos hidrológicos para tener una mayor claridad sobre cómo se va a realizar el manejo de las aguas pluviales a través de ciertas técnicas de infraestructura verde y la creación de SUDS.

Finalmente resaltar, que todo proyecto debe adecuarse a las condiciones del lugar y responder a las necesidades por las que se diseña desde el punto de vista hidrológico, recordando que no todas las técnicas de infraestructura verde son adecuadas para todos los lugares dentro de la misma cuenca o sitio de intervención. ♦

Bibliografía

- Checa, M., y De Pazos, M. (2018). Guía básica de diseño de sistemas de gestión sostenible de aguas pluviales en zonas verdes y otros espacios libres. Madrid, España.
- Nguyen, T. T., Ngo, H. H., Guo, W., Wang, X. C., Ren, N., Li, G., Ding, J., y Liang, H. (2019). Implementation of a specific urban water management - *Sponge City. Science of the Total Environment*, 652, 147–162. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.168>.
- Woods-Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., y Kellagher, R. (2015). The SuDS Manual. <http://www.scotsnet.org.uk/documents/NRDG/CIRIA-report-C753-the-SuDS-manual-v6.pdf>
- Zevenbergen, C., Fu, D., y Pathirana, A. (2018). Transitioning to Sponge Cities: Challenges and Opportunities to Address Urban Water Problems in China. *Water*, 10(9), 1230. <https://doi.org/10.3390/w10091230>.
- Zhang, J., Fu, D., Wang, Y., y Singh, R. (2017). Detailed Sponge City Planning Based on Hierarchical Fuzzy Decision-Making: A Case Study on Yangchen Lake. *Water*, 9(11), 903. <https://doi.org/10.3390/w9110903>.

PALETA VEGETAL Y ESPECIES INVASORAS EN HUMEDALES ARTIFICIALES

CANTELLANO DE ROSAS ELISEO
MORALES MARTÍNEZ EDGAR FABIÁN
ARCOS RAMOS RAÚL
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA, UNAM



Resumen:

En el conjunto de alternativas de las Soluciones Basada en Naturaleza (SbN) destaca el componente vegetal, sin embargo, el uso de plantas invasoras en humedales artificiales representa un riesgo ambiental. Se valoran el nivel de uso y capacidad invasora de las especies de humedales para recomendar una paleta de plantas para este tipo de sistemas. Se consideraron listados de especies, desarrolladas por expertos y agrupadas de acuerdo con la intensidad de uso y grado de invasividad, mediante aglomeración estadística. Se obtuvieron cuatro grupos, uno conformado por las espe-

cies más ampliamente usadas y las más invasoras (e.g. *Eichhornia crassipes*), otro con las altamente invasivas, pero de uso muy limitado (e.g. *Salvinia molesta*), un tercero y cuarto con invasividad y uso de regular a poco o nulo. De estos dos se integran las especies para conformar una paleta vegetal adecuada para el diseño y establecimiento de humedales de tratamiento.

Introducción

Ante los desafíos generados por la transformación ambiental de las últimas décadas, se están estableciendo propuestas de SbN que destacan la

valoración, inspiración, mejora o copia de los componentes y procesos naturales, que generan diversos servicios ecosistémicos desde una perspectiva integral y socio-natural con propiedades de resiliencia que serían relevantes para enfrentar la incertidumbre y complejidad socioambiental propias del Antropoceno (Pauleit et al., 2017). Sin embargo, es necesario conocer las especies invasoras acuáticas que se están empleando como paleta vegetal en las SbN ya que existen alrededor de 2,500 especies, siendo uno de los grupos menos estudiados en aspectos como control, erradicación, distribución, impacto y restauración, tanto de manera global como específicamente en México que representan una amenaza a la biodiversidad con riesgos socioecológicos y sanitarios (Pagad et al., 2015; Rai y Singh, 2020; Pérez et al., 2021; Stroud et al., 2022).

Una de las SbN consiste en humedales artificiales que se emplean como sistemas de tratamiento de aguas residuales ecológico y sostenible, inspirado en humedales naturales, siendo la vegetación un componente relevante por su papel en la creación de las condiciones adecuadas para la trans-

formación de contaminantes. Existen diferentes tipos, desde los tradicionales de flujo superficial horizontal o vertical, los combinados y hasta los “ingenierados”, así llamados por su mayor grado de modificación para lograr más eficientemente sus objetivos de eliminación de contaminantes (Vymazal, 2013; Vymazal et al., 2021). Desde su origen se han empleado plantas hidrófitas evolutivamente adaptadas al medio acuático como *Typha spp.* pero cada vez más frecuentemente plantas ornamentales (Sandoval et al., 2019) abarcado todos los tipos de formas de crecimiento, es decir enraizada emergente (e.g. tule), libre flotadora (e.g. lirio acuático), enraizada con hojas flotantes (nenúfar) o sumergida (e.g. cola de zorro). La elección depende de sus características anatómicas y fisiológicas que les permita resistir las condiciones extremas de inundación, así como diversos tipos y concentraciones de contaminantes, además de su rápido crecimiento, entre otros. Si bien estas especies han resaltado por su uso en el tratamiento de aguas residuales al mismo tiempo muchas de ellas se han dispersado mundialmente como especies exóticas

naturalizadas, provocando un impacto negativo en el ambiente, la diversidad biológica y la salud humana (Pagad et al., 2015).

Método

Se elaboró, a partir de revisiones especializadas (Kulshreshtha et al., 2022; Rodríguez-Dominguez et al., 2020; Vymazal, 2011; 2013; Vymazal et al., 2021), una lista de especies empleadas en humedales artificiales y otra de invasoras (Base de Datos Globales de Especies Invasoras; Compendio de Especies Invasoras, Hussner et al., 2017; Martínez Jiménez y Gómez Balandra, 2022; Turbelin, 2017; Weber, 2017). Para considerar la relevancia de cada especie se realizó una simple suma aritmética a partir de su mención en los reportes, realizando una agrupación estadística con el programa Clustergrammer (Fernández et al., 2017).

Resultados y discusión

Se identificaron un total de 87 especies de plantas agrupadas en cuatro tipos (Figura 1). Véase Figura 1.

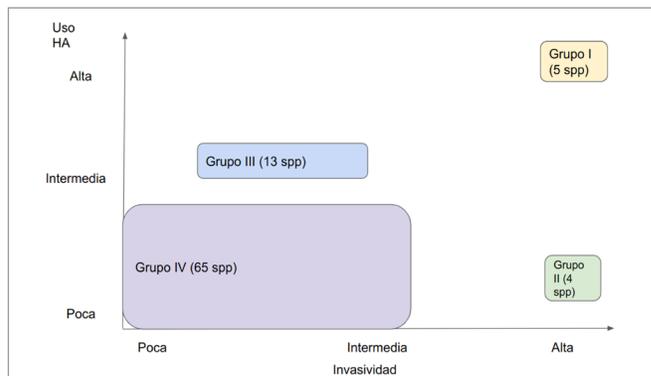


Figura 1. Ubicación de los grupos de plantas empleadas en humedales de tratamiento con respecto a su nivel de uso e invasividad.

Son cinco las especies de mayor preocupación que se han venido usando en humedales artificiales: *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Arundo donax*, *Phragmites australis* y *Typha latifolia* pues son las más empleadas y con invasividad mayor. El siguiente grupo lo integra *Egeria densa*, *Salvinia molesta*, *Ceratophyllum demersum* y *Myriophyllum aquaticum* con invasividad elevada, pero mucho menos empleadas en humedales. Con respecto a

las formas de vida, en el primer grupo se presentan tres especies enraizadas emergentes y dos flotantes mientras que en el segundo grupo predominan las sumergidas con una flotante. Puede ser polémico el uso de estas plantas porque, por un lado representan un peligro, pero por otro muchas de ellas tienen propiedades para atender la remediación de diversos contaminantes, además de proveer biomasa, materias primas, combustible, alimento forrajero e incluso como fijadoras de carbono. Véase Figura 2.

El tercer grupo lo conforman 13 especies de uso intermedio en humedales con invasividad entre poca e intermedia, estas son *Zizania latifolia*, *Nymphoides peltata*, *Iris pseudacorus*, *Typha domingensis*, *Canna indica*, *Cyperus papyrus*, *Schoenoplectus (Scirpus) californicus*, *Cyperus alternifolius*, *Schoenoplectus acutus*, *Typha angustifolia*, *Schoenoplectus validus*, *Juncus effusus*. Las 65 especies restantes varían en su invasividad y uso en niveles de intermedio a poco, que dificulta la elección por lo que la paleta podrían irse integrando a partir de estos dos grupos dependiendo de otros factores como el valor ornamental que desciende



Figura 2. Alcatraz, papiro egipcio y platanillo en un humedal artificial a escala familiar.

de la siguiente manera: *Zantedeschia aethiopica* = *Iris pseudacorus* > *Canna indica* > *Canna x generalis* = *Canna flaccida* > *Acorus calamus* = *Heliconia psittacorum* = *Heliconia burleana*. Asimismo, deben considerarse otros factores como la eficiencia en la fitorremediación, conjuntamente con otros factores como son tipo, nivel y combinación de contaminan-

tes que soportan, componentes del sistema particularmente combinación de especies y condiciones de operación ecohidrológica (Vymazal et al., 2021). Así se tienen a especies de alta eficiencia como *Eleocharis dulcis*, *Lemna minor* comparada (Li et al., 2021; Moreira y Dias, 2020).

Es importante tomar en cuenta el principio precautorio pues hay algunas especies consideradas invasoras emergentes con elevado potencial de fitorremediación, tal es el caso de *Ludwigia adscendens*, *Trapa natans* y *Limnocharis flava* (Marrugo-Negrete et al., 2017) además de que en muchos casos las especies reportadas se han evaluado en escala de laboratorio o piloto por lo que es necesaria una evaluación en escala real (Vymazal et al., 2021).

Conclusiones

No se recomienda el uso en humedales artificiales de especies altamente invasoras como *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Arundo donax*, *Phragmites australis* y *Typha latifolia*.

La paleta vegetal recomendada para el diseño de humedales puede integrarse con

Zizania latifolia, *Nymphoides peltata*, *Iris pseudacorus*, *Typha domingensis*, *Canna indica*, *Cyperus papyrus*, *Schoenoplectus (Scirpus) californicus*, *Cyperus alternifolius*, *Schoenoplectus acutus*, *Typha angustifolia*, *Schoenoplectus validus*, *Juncus effusus* juntamente con las ornamentales *Canna x generalis*, *Acorus calamus*, *Heliconia psittacorum* y *Heliconia burleana*, así como algunas con más eficacia fitorremediadora como *Lemna minor* y *Eleocharis dulcis*. ♦

Bibliografía

- Fernandez, N. F., Gundersen, G. W., Rahman, A., Grimes, M. L., Rikova, K., Hornbeck, P., & Ma'ayan, A. (2017). Clustergrammer, a web-based heatmap visualization and analysis tool for high-dimensional biological data. *Scientific data*, 4(1), 1-12.
- Hussner, A., Stiers, I., Verhofstad, M. J. J. M., Bakker, E. S., Grutters, B. M. C., Haury, J., ... & Hofstra, D. (2017). Management and control methods of invasive alien freshwater aquatic plants: a review. *Aquatic Botany*, 136, 112-137.
- Martínez Jiménez, M., & Gómez Balandra, M. A. G. (2022). Geographic distribution and the invasive scope of aquatic plants in México. *BioInvasions Record*, 11(1), 1-12.
- Kulshreshtha, N. M., Verma, V., Soti, A., Brighu, U., & Gupta, A. B. (2022). Exploring the contribution of plant species in the performance of constructed wetlands for domestic wastewater treatment. *Bioresource Technology Reports*, 101038.
- Li, J., Zheng, B., Chen, X., Li, Z., Xia, Q., Wang, H., ... & Yang, H. (2021). The use of constructed wetland for mitigating nitrogen and phosphorus from agricultural runoff: A review. *Water*, 13(4), 476.
- Marrugo-Negrete, J., Enamorado-Montes, G., Durango-Hernández, J., Pinedo-Hernández, J., & Díez, S. (2017). Removal of mercury from gold mine effluents using *Limnocharis flava* in constructed wetlands. *Chemosphere*, 167, 188-192.
- Moreira, F. D., & Dias, E. H. O. (2020). Constructed wetlands applied in rural sanitation: A review. *Environmental Research*, 190, 110016.
- Pagad, S., Genovesi, P., Carnevali, L., Scalera, R. & Clout, M. (2015). IUCN SSC invasive species specialist group: invasive alien species information management supporting practitioners, policy makers and decision takers. *Management of Biological Invasions* 6, 127– 135.
- Pauleit, S., Zölch, T., Hansen, R., Randrup, T. B., & Konijnendijk van den Bosch, C. (2017). Nature-based solutions and climate change—four shades of green. In Nature-Based solutions to climate change adaptation in urban areas (pp. 29-49). Springer, Cham.
- Rodriguez-Dominguez, M. A., Konnerup, D., Brix, H., & Arias, C. A. (2020). Constructed wetlands in Latin America and the Caribbean: a review of experiences during the last decade. *Water*, 12(6), 1744.

Sandoval, L., Zamora-Castro, S. A., Vidal-Álvarez, M., & Marín-Muñiz, J. L. (2019). Role of wetland plants and use of ornamental flowering plants in constructed wetlands for wastewater treatment: A review. *Applied Sciences*, 9(4), 685.

Stroud, S., Peacock, J., & Hassall, C. (2022). Vegetation-based ecosystem service delivery in urban landscapes: a systematic review. *Basic and Applied Ecology*. Volume 61, 82-101.

Turbelin, A. J., Malamud, B. D., & Francis, R. A. (2017). Mapping the global state of invasive alien species: patterns of invasion and policy responses. *Global Ecology and Biogeography*, 26(1), 78-92.

Vymazal, J. (2011). Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review. *Hydrobiologia*, 674(1), 133-156.

Vymazal, J. (2013). Emergent plants used in free water surface constructed wetlands: a review. *Ecological engineering*, 61, 582-592.

Vymazal, J., Zhao, Y., & Mander, Ü. (2021). Recent research challenges in constructed wetlands for wastewater treatment: A review. *Ecological Engineering*, 169, 106318.

Weber, E. (2017). *Invasive Plant Species of the World, 2nd Edition: A Reference Guide to Environmental Weeds*. CABI.

MANEJO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN SISTEMAS URBANOS EN MÉXICO A PARTIR DE LA RECUPERACIÓN DE HUMEDALES NATURALES

ROSALÍA IVONNE CRUZ CERVANTES
GABRIEL SOTO CORTÉS
YURI REYES

DEPARTAMENTO DE RECURSOS DE LA TIERRA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA, UNIDAD LERMA



RESUMEN

Este trabajo se describe una propuesta para la intervención en ciudades mediante el rescate de zonas lacustres o de humedales existentes. De manera específica se plantea su recuperación y mejoramiento a la par que se genera infraestructura para la infiltración, conducción, almacenamiento, captación y tratamiento de agua, con el fin de contribuir al paisaje natural y reincorporarlo como hábitat para especies de flora y fauna del lugar. Lo anterior se plantea con base en el paradigma del metabolismo urbano circular para la gestión de recursos, contrario al paradigma lineal que impera actual-

mente. En este sentido, se realiza una propuesta que toma como referencia los procesos que suceden en la naturaleza a partir de un metabolismo cíclico en el que se minimiza o evita la generación de residuos que afectan al ambiente. El fin es mitigar los efectos antrópicos negativos y ayudar a la disposición del agua en las ciudades.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas naturales en México y en el mundo han cambiado debido a causas naturales, pero también derivado de los procesos y activi-

dades antrópicas como la urbanización, lo cual se refleja en la disminución del paisaje natural, cambios en temperatura, precipitación, intensidad y frecuencia de ciclones, sequías y demás fenómenos hidrometeorológicos. También se observa en la disminución del caudal de ríos, del área de lagos y humedales. Estos últimos se han modificado para dar espacio a otros usos de suelo

Existen de dos tipos de humedales: los naturales y los artificiales. Los primeros son definidos como “zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él” (Ramsar, 2007). Los humedales artificiales pueden describirse como sistemas acuáticos diseñados por el ser humano para remover patógenos y nutrientes mediante fitorremediación, los cuales, pueden ser complementados con un diseño paisajístico mediante las especies vegetales que lo conforman. Estos ecosistemas acuáticos cumplen con una función importante, al tener la capacidad de regulación del clima, el escurrimiento de agua y regulación de la erosión, purificación de agua, e incluso, la polinización.

La problemática de su deterioro actual radica no solo en la pérdida del área total o parcial de estos ecosistemas, sino también en la falta de un adecuado cuidado y gestión del sitio y del agua como su principal componente (De Hoyos-Martínez, Romero-Guzmán, Teresita Romero-Guzmán, 2018). Un ejemplo de la falta de cuidado en la gestión del agua es que los asentamientos urbanos tienen que tratar el agua por ley, pero el cumplimiento de la normatividad es variable y muchas veces inexistente. De acuerdo con los datos registrados en México, el 92.7% de agua residual municipal es captada, de la cual solamente el 58.2% del agua es tratada mediante diferentes métodos convencionales (INECC-PNUD México, 2018).

Este trabajo plantea una recuperación de las áreas naturales de humedales en conjunto con una gestión integral de los recursos hídricos en las ciudades mediante el fortalecimiento de la economía circular en el ámbito territorial, considerando al agua como el elemento primordial.

De acuerdo con la Teoría General de Sistemas, las ciudades pueden definirse como un sistema

socio-ecológico, debido a que se compone de elementos interactuantes, con intercambios de materia, energía e información dentro de sí y con el medio circundante (Cruz-Cervantes y Adame-Martínez, 2021). Esta interacción entre el sistema social y el sistema ecológico tiene un bajo nivel de reciprocidad debido a que las comunidades retribuyen o devuelven al medio menos de lo que toman de él y generan desechos ajenos a este (Díaz-Álvarez, 2014). Lo anterior sucede en las ciudades mediante el *metabolismo lineal*, el cual se basa en el uso de recursos y la generación de desechos, los cuales son vertidos directamente al ambiente (Véase Figura 1).

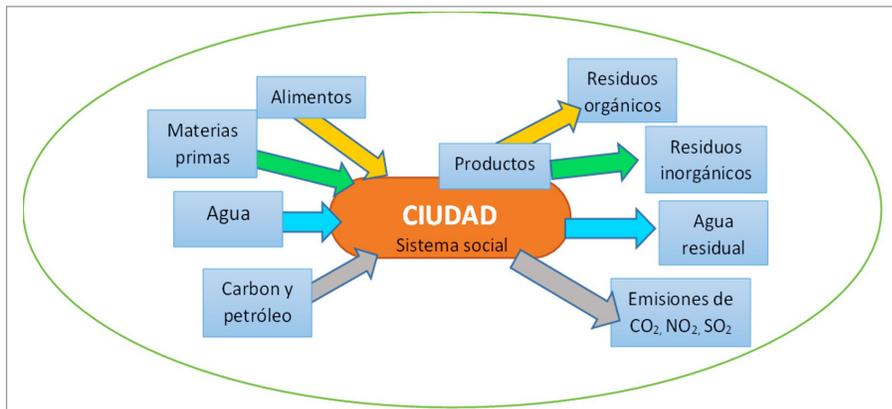


Fig. 1. Metabolismo urbano (sistema socio-ecológico) lineal. Elaboración propia con base en Rogers (2000). Ciudades para un pequeño planeta. Gustavo Gili. Barcelona. p.31

Por el contrario, el *metabolismo urbano circular* plantea el uso de los recursos naturales, pero extiende la vida de estos recursos en las ciudades con acciones de reducción, reciclaje, reúso y tratamiento de desechos con el objetivo de reincorporar al ambiente la menor cantidad posible residuos (Martínez-Fernández, 2021) o, por ejemplo, en el caso de los elementos vegetales, el re-cultivo de las especies para recuperar los individuos que fueron retirados del medio (Véase Figura 2).

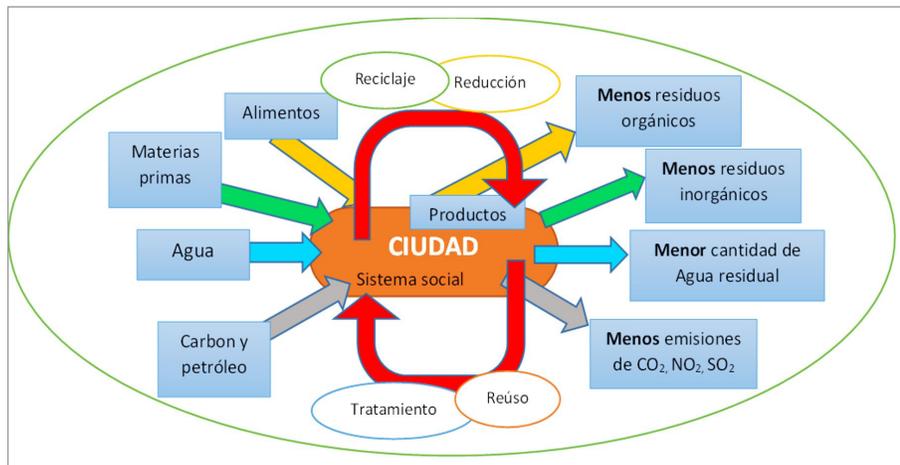


Fig. 2. Metabolismo urbano (sistema socio-ecológico) circular. Elaboración propia con base en Rogers (2000). Ciudades para un pequeño planeta. Gustavo Gili. Barcelona. p.31

DESARROLLO

En este contexto, se plantea la conversión del metabolismo hídrico urbano lineal a uno circular a partir de la recuperación de humedales o zonas lacustres que permitan la recirculación, recuperación y reincorporación del agua, directamente en la zona. La presencia de agua en una cuenca depende de las lluvias y del agua que se disponga en el entorno para la recarga de acuíferos. Se propone proveer de la

infraestructura sostenible necesaria para que dicha recarga en los cuerpos de agua sea posible. Por lo anterior, el trabajo plantea en los sistemas urbanos una gestión integral del agua la cual se define como “un proceso que promueve el desarrollo y la administración coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados para llevar al máximo el resultante económico y la asistencia social de una manera equitativa sin afectar la sostenibilidad de ecosistemas esenciales” (Martínez-Valdés & Villalejo-García, 2018, p. 60) en conjunto con un metabolismo circular hídrico Véase Figura 3.

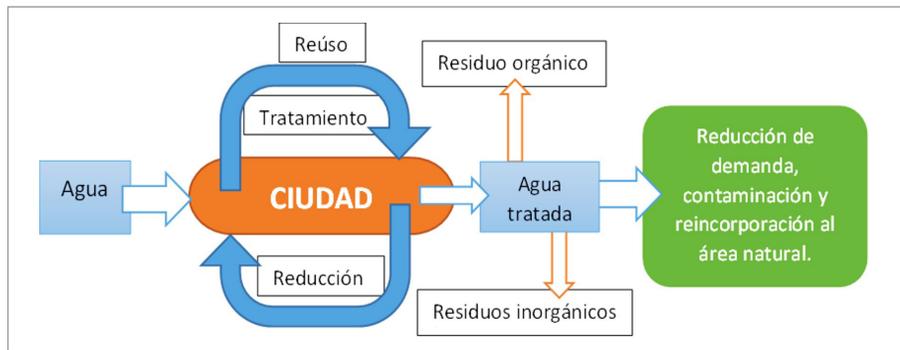


Fig. 3. Metabolismo hídrico circular.

La intervención a partir de la fitorremediación y la recuperación del agua para generar un metabolismo circular hídrico busca marcar la pauta para que se logre un reúso sustentable de la misma, el cual beneficie a la población, la flora, la fauna y contribuya a la recuperación del paisaje natural.

Las adecuaciones previas que se deben realizar en el área a restaurar son:

1. Análisis de la flora y fauna del sitio.
2. Identificación de la composición del agua presente en el humedal y del agua residual doméstica que llegará para tratamiento y recarga.
3. Reacondicionamiento del suelo y mejoramiento del sustrato.

4. Selección de especies vegetales para el tratamiento y favorecimiento de la fauna local y visibilidad paisajística.

Posterior a ello se plantea una gestión integral constante y permanente de agua que comprenda de los siguientes aspectos:

- a. Ingreso del agua cruda.
- b. Uso del agua.
- c. Recolección y dirección del agua residual al área del humedal (efluentes domésticos, naturales o que no requieran de tratamientos químicos).
- d. Gestión del agua, de la tierra, otros recursos naturales y ecosistemas relacionados e interconectados.

- e. Mantenimiento y revisión permanente de las especies vegetales en interrelación con las especies animales y el paisaje natural.
- f. Análisis constante del efluente para verificar cumplimiento del tratamiento.
- g. Uso del agua tratada
- h. Reincorporación a los humedales

CONCLUSIONES

La remediación de las áreas lacustres, en particular de los humedales naturales como sistemas de tratamiento del agua, contribuye no solo en el aspecto de la conservación de fuentes hídricas, sino en la conservación del paisaje natural y recuperación del hábitat para especies de flora y fauna. Se plantean estos sistemas como estrategias circulares en el cuidado y gestión de los recursos hídricos para la conservación y recuperación de estos y del hábitat natural, lo cual también podría garantizar la presencia del recurso hídrico en las comunidades o ciudades pequeñas.

El metabolismo urbano lineal necesita migrar hacia aquello que más lo aproxime a ser cíclico, en

concordancia con los procesos que de manera natural ocurren en la naturaleza (como con el ciclo del agua), los cuales, acertadamente consideran permanentemente la reintegración de los recursos al medio de donde son tomados para su conservación. Esto significaría mayor beneficio presente y futuro para las sociedades tanto animales como vegetales y, por su puesto, humanas. ♡

BIBLIOGRAFÍA

- Cruz-Cervantes, R. y Adame-Martínez, S. (2021). Fundamentación teórico referencial para la generación de un modelo de estrategias para la resiliencia hídrica. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 23, (2), pp. 5-26, sep. 2021.
- De Hoyos-Martínez, J.E., Romero-Guzmán, L., Teresita Romero-Guzmán, E. (2018). Ciudades sustentables a partir de un paradigma hídrico emergente, caso de estudio: Toluca, México. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, (23), pp. 107-118.
- Díaz-Álvarez, C. J. (2014). Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades. *Interdisciplina*, 2, (2), p. 51-70.
- Martínez-Fernández, M. (2021). La implementación del Modelo de Economía Circular a nivel urbano. Ciudades circulares como estrategia de revitalización en España. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.T.S. Arquitectura (UPM). España.
- Martínez-Valdés, Y. & Villalejo-García, V. M. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39 (1), 58-72.
- INECC-PNUD México (2018). Desarrollo de rutas de instrumentación de las contribuciones nacionalmente determinadas en materia de mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero (GyCEI) del sector Aguas Residuales de México. <http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/238>
- Ramsar (2007). ¿Qué son los humedales? Disponible en: <https://ramsar.org/sites/default/files/documents/library/info2007sp-01.pdf> Fecha de consulta: 28 octubre 2022.
- Rogers, R. (2000). Ciudades para un pequeño planeta. Barcelona: Gustavo Gili.



AGUAS BAJO CONTROL CON SBN: ESTRATEGIAS PARA SU IMPLEMENTACIÓN CON PERSPECTIVA DE CUENCA EN LAS CIUDADES

VÍCTOR ALFONSO GALICIA AGUILAR
CONSULTOR JR. EN INGENIERÍA DEL AGUA.

Resumen

Las SBN buscan asegurar la adaptabilidad de las ciudades ante los efectos del cambio climático y los riesgos asociados como las inundaciones. En el presente artículo, se plantean los procesos técnicos mínimos necesarios de acuerdo con diversos estudios, que ayuden a la generación de información y, por consiguiente, a tomadores de decisiones en la planeación de SBN teniendo presente la perspectiva de cuenca como el espacio objetivo de estudio y como la oportunidad de restaurar los ciclos naturales del agua ante el fenómeno de la impermeabilización por el desarrollo urbano.

Introducción

Las inundaciones son el desastre natural más común en todo el mundo con enormes impactos en la sociedad humana y el ecosistema. Por lo tanto, la evaluación y zonificación del riesgo de inundaciones es fundamental. En particular, las inundaciones urbanas son fenómenos complejos, cuya probabilidad e impacto son impulsados en gran medida por la rápida urbanización y los efectos del cambio climático que, están alterando las características de las precipitaciones, intensificando en última instancia los eventos extremos de lluvia y aumentando los volúmenes de inundación. El enfoque en el estu-

dio de esta problemática ha sido cambiante, en el que la investigación a escala de cuenca se ha vuelto cada vez más importante debido al creciente auge del desarrollo urbano (Chen y Alexander, 2022; Ng et al., 2022).

Evaluar integralmente el riesgo de inundación de la cuenca es de gran importancia para mejorar la capacidad de toma de decisiones en las dependencias encargadas de la gestión de agua y de los recursos (Chen y Alexander, 2022; D'Ambrosio et al., 2022). Las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) parecen haber demostrado, desde su implementación en la última década en algunas ciudades del mundo, oportunidades de mejora en el entorno urbano y dar paso a los nuevos enfoques de desarrollo que se debieran implementar en las ciudades mexicanas.

El reto que tenemos...

La gestión de las aguas pluviales en centros urbanos es un tema de interés por las implicaciones sociales que esto conlleva, y en donde la ingeniería asume un papel importante, como la base para el

desarrollo de infraestructura que permite el desalojo eficiente de la escorrentía generada bajo un enfoque convencional (Becerril-Lara et al., 2020).

Las ventajas que destacan de la adopción de SBN son sus las aportaciones en la gestión del agua pluvial en las zonas urbanas cuyo principal objetivo, a diferencia de enfoques tradicionales de gestión, busca reproducir o imitar lo más cercano posible el ciclo hidrológico de una cuenca urbana en su estado natural; garantizando el balance hídrico y la mejora en la calidad del agua (Galicia-Aguilar et al., 2020).

Por lo anterior, es fundamental tener la visión de cuenca, desde el punto de vista técnico, al momento de idealizar proyectos de implementación SBN, ya que su éxito, depende del planteamiento y del conocimiento del problema a resolver. Al ser un enfoque de nueva adopción en México, no se cuenta con una base de datos sustancial que ofrezca certidumbre en su implementación. Por otro lado, persiste una diversidad de condiciones naturales del país que impide estandarizar los parámetros para el diseño de SBN; por ello, el reto se encuentra en

generar datos e información que permitan conocer el comportamiento de la cuenca en la que se encuentra la ciudad o región en estudio.

Comportamiento de una cuenca natural y urbana

Para el análisis de las inundaciones pluviales en las cuencas urbanas se tiene que definir el comportamiento de los escurrimientos dado un evento de precipitación. Esto se puede lograr a través de la construcción de modelos hidrológicos aplicados para conocer y comparar la respuesta hidrológica de una cuenca urbana con los caudales generados y su tiempo de concentración en tres condiciones posibles de la cuenca: respuesta natural, urbanizada y con la implementación de SBN buscando gestionar el volumen de la condición urbanizada versus la condición natural de la cuenca (véase Figura 1).

Lo anterior permite explicar ¿Cuál ha sido y cuánto se ha modificado la cuenca debido a las actividades antropogénicas? y, por consiguiente, buscar

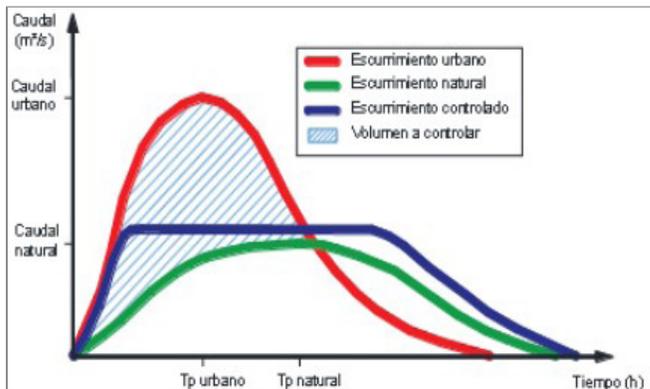


Figura 1. Comparativo en los tipos de escurrimientos de una cuenca. (Becerril-Lara et al., 2020)

revertir ese impacto, el llamado impacto hidrológico cero, a través de la implementación de SBN.

Algunos estudios (Becerril-Lara et al., 2020; Galicia-Aguilar et al., 2020) proponen las estrategias y acciones para realizar los análisis necesarios previos a la implementación de SBN, los cuales se pueden resumir en las siguientes etapas: i. Recopilación de información; ii. Análisis hidrográfico; iii. Análisis hidrológico y iv. Análisis hidráulico.

La *recopilación de información* requerida para los proyectos SBN, se considera clave ya que, la calidad y la veracidad de la información condiciona el planteamiento del proyecto. Entre la información mínima requerida se destaca:

- a) Información hidrológica histórica, como datos de precipitaciones máximas diarias y/o datos de precipitaciones máximas anuales.
- b) Información topográfica de la cuenca a través de modelos digitales de elevación actualizados que permitan identificar la traza urbana y usos de suelo.
- c) Información sobre la infraestructura hidráulica existente como drenaje, alcantarillado, abastecimiento de agua y/o saneamiento.

Con el acopio de información, es necesario analizar los parámetros geomorfológicos de la cuenca urbana a través de un *análisis hidrográfico* con el cual, se determinan las características físicas de la cuenca, líneas de corriente y el tiempo de concentración.

En lo que al *análisis hidrológico* respecta, su importancia se centra en la obtención de los ele-

mentos necesarios para el cálculo de los caudales de diseño, para ello se requiere la obtención de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia, hietogramas de precipitación, modelos de pérdidas, construcción de hidrogramas sintéticos y el tránsito de éstos en el sistema de drenaje pluvial de una cuenca urbana.

Cabe destacar que el enfoque de SBN es una alternativa y complemento de la infraestructura gris en la ciudad, por ello, conocer cómo funciona esta última para proponer alternativas SBN es vital para el éxito en su implementación. Con el *análisis hidráulico*, se pueden identificar los efectos de los escurrimientos en la ciudad conceptualizando el sistema de drenaje a través de la configuración de la red para simular el tránsito de los caudales obtenidos en el análisis hidrológico. Actualmente existe software que permite la sistematizar y modelar este proceso.

Principios para la implementación SBN en las ciudades

Los análisis previos a la incorporación de SBN son importantes para la toma de decisiones en la selec-

ción de SBN para una cuenca urbana, la cual puede sujetarse al objetivo de un proyecto de gestión de los escurrimientos o el manejo que se pretenda implementar. Estos criterios de diseño se definen por principios y categorías según Woods Ballard et al. (2015), como se muestra en la siguiente tabla.

Conclusiones

La novedosa adopción de las prácticas SBN en México y Latinoamérica representa una oportunidad importante en la búsqueda de la transición al desarrollo sustentable. Sin embargo, también refiere un gran reto durante la concepción e implementación de este tipo de proyectos, porque sugiere una transversalidad en el diseño donde intervienen diversas disciplinas que aseguren su viabilidad técnica, ambiental, económico y social que asegure el éxito en la implementación.

Uno de los aspectos fundamentales que los “*técnicos del agua*” deben garantizar, es la generación de información que aporte datos para la toma de decisiones y a través de las herramientas tecnológicas se puedan visualizar los diversos escenarios

para optimizar los recursos al alcance. Por ello, la sistematización de estos análisis resulta imprescindible en la conformación de los proyectos SBN y crear la relación Ciudad – Naturaleza que asegure una correcta gestión de los riesgos, como lo son las inundaciones, y transformarlas en oportunidades para la restauración del espacio urbano y buscar la disponibilidad de los recursos, como el agua. 

Bibliografía

- Becerril Lara, J. M., Salinas Tapia, H., Díaz Delgado, C., y García Pulido, D. (2020). *Diseño de una herramienta hidroeinformática de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible* [Tesis de Maestría, Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua]. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/110096/>
- Chen, Y., y Alexander, D. (2022). Integrated flood risk assessment of river basins: Application in the Dadu river basin, China. *Journal of Hydrology*, 613. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128456>
- D'Ambrosio, R., Balbo, A., Longobardi, A., y Rizzo, A. (2022). Rethink urban drainage following a SuDS retrofitting approach against urban flooding: A modeling investigation for an Italian case study. *Urban Forestry and Urban Greening*, 70. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127518>
- Galicia-Aguilar, V. A., Díaz-Delgado, C., García Pulido, D., y Bâ, K. (2020). *Propuesta de diseño tecnológico de una banqueta retenedora de agua pluvial empleando un panel con arreglo fractal como Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS)* [Tesis de Maestría, Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua]. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/109719>
- Ng, J. Y., Fazlollahi, S., Dechesne, M., Soyeux, E., y Galelli, S. (2022). Robust optimal design of urban drainage systems: A data-driven approach. *Advances in Water Resources*, 104335. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2022.104335>
- Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., y Kellagher, R. (2015). *The SuDS Manual* (CIRIA, Ed.).



HUMEDALES DE TRATAMIENTO COMO SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE LIXIVIADOS EN MÉXICO.

DENISSE ASTRID HERNÁNDEZ CASTELÁN Y
LUIS CARLOS SANDOVAL HERAZO
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

Resumen

El tratamiento de lixiviados provenientes de vertedero se ha convertido en una necesidad a nivel mundial principalmente en países en desarrollo, debido a los diversos impactos negativos que causan tanto al ecosistema como a la salud humana. Existen diversas tecnologías convencionales para tratar lixiviados, sin embargo, resultan ser poco viables por sus elevados costos de operación y mantenimiento. Por otra parte, diversos estudios alrededor del mundo han demostrado que los lixiviados pueden ser tratados de manera efectiva a través de Humedales de Tratamiento, una tecnología sosteni-

ble, sencilla y económica que simula los procesos de los humedales naturales eliminando contaminantes de las aguas residuales. Por tal, el objetivo de este texto es dar a conocer una posible solución al impacto de los lixiviados, a través del uso de humedales de tratamiento.

Introducción

La contaminación del agua y del suelo es uno de los problemas de mayor urgencia a nivel mundial, el cual ha surgido con el incremento de la población y el consumo humano. Un factor detonante ha sido

la generación desmedida de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y su falta de disposición, puesto que al degradarse y con la filtración de la lluvia a través de sus capas se generan lixiviados (Wdowczyk et al., 2022), que representan gran amenaza a la salud y al medio ambiente, por sus altas concentraciones de contaminantes y compuestos tóxicos, lo que los convierte en uno de los tipos de aguas residuales más difíciles de tratar (Silvestrini et al., 2019). Para reducir la aparición de lixiviados se han implementado estrategias como reciclado y tratamiento de RSU, sin embargo, la producción de toneladas diarias sigue creciendo, y su aparición se convierte en un problema difícil de controlar.

Tan solo en México se estima una generación total de residuos de 120,128 toneladas diarias, lo equivalente a 43.84 millones de toneladas anuales. Por otro lado, México solo cuenta con 2203 sitios de disposición final, de los cuales el 47.80% no cuentan con infraestructura básica para la protección del medio ambiente (SEMARNAT, 2020).

Existen diversas tecnologías para tratar lixiviados de vertederos como reactores anaerobios de

flujo ascendente, lodos activados, ósmosis inversa, intercambio iónico, ultrafiltración, reactores secuenciales por lotes, y floculación química, cada uno de estos métodos requiere altos costos de construcción, mantenimiento y operación, lo que reduce su viabilidad de aplicación (Bakhshoodeh et al., 2020).

Por el contrario, los Humedales de Tratamiento (HT) son una ecotecnología que simulan los procesos físicos, químicos y biológicos de los humedales naturales bajo condiciones controladas, han sido aplicados ampliamente para tratar aguas residuales antropogénicas eliminando contaminantes a través del efecto sinérgico de sus componentes, lo que los convierte en una opción sostenible y de bajo impacto ambiental, además de ser económicos y fáciles de operar (Ji et al., 2021; Shiau et al., 2022).

Los lixiviados de vertederos y su variabilidad

Los lixiviados se producen en rellenos sanitarios, vertederos y lugares en donde se acumula la basura, principalmente orgánica. Su aspecto es desagradable, puede ser de color negro o marrón, es denso y tiene olor fétido. Los lixiviados de ver-

tederos son considerados uno de los contaminantes líquidos de mayor impacto ambiental y su tratamiento es considerado un desafío, debido a su composición variable, toxicidad y facilidad de percolación hacia aguas superficiales y subsuperficiales (Beltrán, 2012). Son una mezcla de agua de lluvia filtrada, agua producida por la biodegradación de desechos y el agua inherente a los desechos, que contiene grandes cantidades de materia orgánica disuelta, sales, iones de metales pesados y otros compuestos orgánicos (p. ej. alifáticos clorados y pesticidas) (Liu et al., 2015).

Las características de los lixiviados pueden variar de acuerdo, a las condiciones del sitio, a la zona climática, a la composición de sus desechos, a la técnica de deposición de residuos, y a la edad del vertedero. Por ejemplo, se ha reportado que en países con clima tropical se producen más desechos orgánicos (Arliyani et al., 2021; Fang et al., 2017). Véase Figura 1.

Los lixiviados jóvenes se caracterizan por un pH bajo, valores altos de DBO5 y DQO, mientras que los viejos (en etapa metanogénica) son más estables



Figura 1. Variabilidad de las características del lixiviado.

con una relación DBO/DQO baja. El amoníaco es el principal contaminante a largo plazo en el lixiviado y no disminuye con la edad de los vertederos (Kjeldsen et al., 2002). México tiene una gran diversidad climática. El norte del país se caracteriza por tener climas áridos o secos; y el sur o zonas costeras del

centro del país, se caracteriza por tener climas cálidos o tropicales. Por tal, el control de lixiviados en la zona sur de México resulta ser un reto mayor. Véase Figura 2.

Función de los humedales de tratamiento

Los HT son sistemas acuáticos diseñados para replicar las funciones de los humedales naturales y remover contaminantes contenidos en el agua. Aunque se pueden implementar a escala doméstica, pueden ser una alternativa para el tratamiento de aguas residuales a nivel comunitario. Esta ecotecnología se ha aplicado en varios países para el tratamiento primario y secundario de aguas residuales domésticas, agrícolas, de drenaje de carbón, de refinerías de petróleo, de procesamiento de mariscos, industriales de fábricas de pulpa y papel, de fábricas textiles, lixiviados de composta y vertederos, de descargas de estanques de peces, etc. (Parde et al., 2020).

En los HT, las aguas residuales se tratan mediante procesos físicos (p. ej. sedimentación, filtración), químicos (p. ej. precipitación, adsorción) y biológicos (p. ej. degradación microbiana) (Bakhshoodeh et al., 2020). En condiciones controladas, las aguas residuales se introducen en la celda y fluyen sobre la superficie o a través del lecho filtrante, en donde la vegetación favorece la oxigenación del sustrato, y promueve el desarrollo de comunidades bacterianas para la remoción de contaminantes. Véase Figura 3.



Figura 2. Lixiviados provenientes del vertedero de Misantla, Veracruz.

Los HT generalmente se clasifican en función de la presencia o ausencia de agua en la superficie, por tal, existen de flujo superficial de agua libre o de flujo subterráneo, éste último

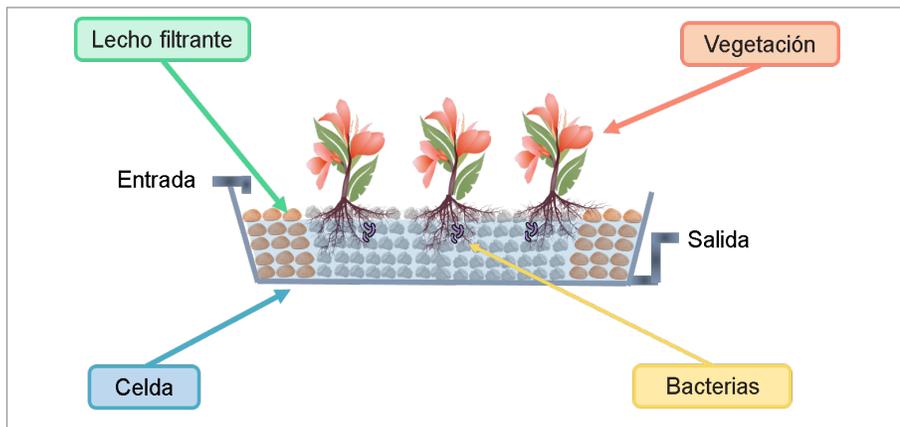


Figura 3 Componentes básicos de un Humedal de Tratamiento.

a su vez puede clasificarse por la dirección del flujo, en vertical u horizontal (Vymazal, 2005). Estos dos tipos de humedales han demostrado ser más eficaces que los sistemas superficiales, y ambos pueden ser también utilizados secuencialmente como sistemas híbridos.

Como se aprecia en la Figura 4, dos de los componentes básicos de los HT son el sustrato y la vegetación. Los sustratos pueden ser minerales naturales, productos químicos, materiales de biomasa y subproductos industriales. El tamaño y porosidad de éste influye en la capacidad de absorción y adsorción de los contaminantes del lixiviado. Por otro lado, el tipo de vegetación que se emplea en estos sistemas puede

variar de acuerdo al diseño del humedal, se utilizan macrófitas de tipo emergentes, sumergidas, y flotantes.

En los últimos años también se ha hecho relevante el uso de Plantas Ornamentales en diferentes países del mundo con clima tropical, debido a sus diversas ventajas, entre las cuales destacan el valor estético, el uso económico, y los buenos resultados con respecto a la remoción de contaminantes (Sandoval et al., 2019). Véase Figura 4.

Conclusión

Los Humedales de Tratamiento son ecotecnologías muy eficientes y amigables con la naturaleza, ideal para zonas rurales y/o comunidades que no cuentan con infraestructura ade-



Figura 4. Sistema de humedales híbridos a escala piloto para tratamiento de lixiviados en el interior del Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

cuada para una planta de tratamiento o relleno sanitario. Cabe señalar que la eficacia de los sistemas de humedales depende de muchos aspectos mismos del humedal (Ej. diseño, tipo de vegetación, tipo de sustratos) y condiciones externas (Ej. con-

diciones climáticas, características del lixiviado). Los resultados de diferentes estudios demuestran que los humedales construidos son una alternativa viable y económica comparada con las tecnologías convencionales, por lo que resulta pertinente promover este tipo de sistemas y replicar su uso. 💧

Bibliografía

- Arliyani, I., Tangahu, B. V., & Mangkoedihardjo, S. (2021). Plant diversity in a constructed wetland for pollutant parameter processing on leachate: A review. *Journal of Ecological Engineering*, 22(4).
- Bakhshoodeh, R., Alavi, N., Oldham, C., Santos, R. M., Babaei, A. A., Vymazal, J., & Paydary, P. (2020). Constructed wetlands for landfill leachate treatment: A review. *Ecological Engineering*, 146, 105725.
- Beltrán, Y. M. (2012). Tratamiento de lixiviados mediante humedales artificiales: revisión del estado del arte. *Tumbaga*, 1(7), 5.
- Fang, Z., Cao, X., Li, X., Wang, H., & Li, X. (2017). Electrode and azo dye decolorization performance in microbial-fuel-cell-coupled constructed wetlands with different electrode size during long-term wastewater treatment. *Bioresource technology*, 238, 450-460.
- Ji, Z., Tang, W., & Pei, Y. (2021). Constructed wetland substrates: A review on development, function mechanisms, and application in contaminants removal. *Chemosphere*, 131564.
- Kjeldsen, P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A., & Christensen, T. H. (2002). Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. *Critical reviews in environmental science and technology*, 32(4), 297-336.
- Liu, Z., Wu, W., Shi, P., Guo, J., & Cheng, J. (2015). Characterization of dissolved organic matter in landfill leachate during the combined treatment process of air stripping, Fenton, SBR and coagulation. *Waste Management*, 41, 111-118.
- Parde, D., Patwa, A., Shukla, A., Vijay, R., Killedar, D. J., & Kumar, R. (2020). A review of constructed wetland on type, technology and treatment of wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, 101261.
- Sandoval, L., Zamora-Castro, S. A., Vidal-Álvarez, M., & Marín-Muñiz, J. L. (2019). Role of wetland plants and use of ornamental flowering plants in constructed wetlands for wastewater treatment: a review. *Applied Sciences*, 9(4), 685.
- SEMANART. (2020). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>

Silvestrini, N. E. C., Hadad, H. R., Maine, M. A., Sánchez, G. C., del Carmen Pedro, M., & Caffaratti, S. E. (2019). Vertical flow wetlands and hybrid systems for the treatment of landfill leachate. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(8), 8019-8027.

Shiau, Y. J., Chen, Y. A., You, C. R., Lai, Y. C., & Lee, M. (2022). Compositions of sequestered soil carbon in constructed wetlands of Taiwan. *Science of The Total Environment*, 805, 150290.

Vymazal, J. (2005). Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. *Ecological engineering*, 25(5), 478-490.

Wdowczyk, A., Szymańska-Pulikowska, A., & Gałka, B. (2022). Removal of selected pollutants from landfill leachate in constructed wetlands with different filling. *Bioresource Technology*, 353, 127136.

DESARROLLO DE HUERTOS URBANOS UTILIZANDO RIEGO POR GOTEO SOLAR

ULISES DEHESA-CARRASCO, EDUARDO VENEGAS-REYES

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

YURIDIANA R. GALINDO-LUNA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA-IZTAPALAPA

JONATHAN IBARRA-BAHENA

INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES



Resumen

Alimento y energía son los principales retos para lograr el desarrollo de un país, con el objetivo de utilizar la cantidad suficiente agua para el cultivo de maíz, se propone y analiza un huerto urbano que utiliza el sistema de riego por goteo solar. Este proceso se llevó a cabo por cuatro meses (junio-septiembre), dentro de los cuales se registraron los requerimientos de agua necesarios para mantener la planta a través de su crecimiento. El rendimiento de la cosecha estimado fue de 8.5 ton/ha.

Introducción

En nuestros días la agricultura urbana se ha convertido en una alternativa que contribuye a mitigar la vulnerabilidad alimentaria en las ciudades (González Chávez y Macías Macías, 2007). Esta actividad reconfigura la vida cotidiana de las personas, las cuales son capaces de apropiarse del conocimiento y la tecnología para producir su propio alimento de forma orgánica y son los agentes activos de todo el proceso de producción-circulación-consumo, conformando un binomio sociedad y naturaleza (Méndez Lazareno y Rodríguez Guerrero, 2014). Uno

de los objetivos de la investigación del nexo agua-energía es la simulación de condiciones agrícolas rurales de grupos vulnerables, los cuales requieran desarrollar y transferir tecnologías alternativas de uso y manejo agroecológicas con participación social, por tal motivo se adecuó un área demostrativa experimental en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua en la colonia Progreso de Jiutepec, Morelos, la cual permita determinar la cantidad de agua requerida durante el proceso de crecimiento del maíz con el objetivo de desarrollar la tecnología para huertos urbanos.

Desarrollo

La parcela experimental posee un área de 199.4 m², su demanda hídrica será cubierta utilizando un sistema de riego por goteo y con la finalidad de obtener un proceso de riego amigable con el ambiente, se instaló un sistema fotovoltaico para alimentar la demanda energética de dos bombas sumergibles.

Descripción del huerto urbano y sistema de bombeo

El huerto posee un área de 19.94 m de largo por 10 m de ancho, la cual se encuentra dividida en 8 lotes, los primeros 4 de 6.4 m de largo por 1.68 m de ancho y los restantes de 8.8 m de largo por 1.75 m de ancho, véase *Figura 1*. Esta área se ubica a una altitud de aproximada de 1,363 msnm, con temperatura promedio anual de 14.62 °C y precipitación promedio anual de 1,033.6 mm.

El sistema de riego por goteo utiliza energía solar para bombear el agua, la distancia promedio entre cada emisor es de 20 cm, posee un equipo de filtrado, un sistema de control, cuatro piezas de tubería y un sistema de automatización (Piña y Arreola, 1981, p. 152). El diseño agronómico de área demostrativa, considera una eficiencia del 95% debido a que el sistema de bombeo es solar y el agua para riego posee una calidad C1S1 para aplicaciones agrícolas, Véase *Figura 2*. El sistema de bombeo solar consta de dos bombas sumergibles en la fuente de agua, tuberías de la fuente de agua a los recipientes de almacenamiento y de este al sistema

de riego, un módulo fotovoltaico con una caja de conexiones utilizada como derivador para la toma de energía, un conector de energía del módulo fotovoltaico al circuito regulado de energía y de este a las bombas. La fuente de agua son dos bombas conectadas en serie de 24 voltios, de corriente directa y potencia de 22 watts cada una y la potencia la suministran los módulos fotovoltaicos. El almacenamiento de agua está compuesto por dos tinacos de 600 L cada uno que están colocados en el techo del edificio anexo al área demostrativa, a una altura aproximada de 3 m sobre el nivel del suelo.

Se calcularon las necesidades hídricas que incluyen requerimientos de riego, programación del riego y aprovecha-



Figura 1. Huerto urbano.



Figura 2. Sistema de Bombeo solar.

miento del sistema, en este último los requerimientos netos del sistema para el cultivo, el área efectiva de cultivo y el requerimiento real. Cabe mencionar que los valores de los requerimientos de agua y la evapotranspiración del cultivo fueron bajo condiciones estándar (ETc). Asimismo, la estimación de la evapotranspiración de referencia (ETo) se estimó con el método de Penman-Monteith (Swennenhuis, 2009).

Se utilizó la variedad criolla Zapalote, cuya siembra se hizo el 27 de junio y se cosechó el 9 de septiembre a una densidad de 5.95 plantas m². Se controló la higuerrilla (SAGARPA, 2015). El rendimiento de la cosecha estimado fue de 8.5 ton/ha. La profundidad de raíces es de 1.20 hasta 1.50 m, Véase Figura 3. Y la ficha técnica del maíz se muestra en la Tabla 1.



Figura 3. Huerto urbano de maíz.

El cálculo de requerimiento de riego total para el cultivo de maíz es de 20.05 cm, con un máximo 4.04 cm en la sexta aplicación del riego. Los requerimientos del maíz fueron registrados en la Tabla 2.

Tabla 1. Ficha técnica utilizada para el cultivo de maíz.

CONCEPTO	Cultivos
	Maíz
Varietades	Criollo Zapalote
Método de riego	Goteo
Fecha de siembra	27 de junio
Densidad de población*	5.95 plantas/m ²
Fertilización	160-70-60
Control de maleza	Garamoxone
Control de plagas	No se presentaron plagas
Cosecha	09 septiembre
Rendimiento estimado (ton/ha)	8.5

Tabla 2. Requerimientos netos de riego del sistema para el cultivo de maíz

Requerimientos netos del sistema	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
en mm/día	0.1	1.9	3.8	0.6
en mm/mes	4.5	60.0	119.3	16.7

Conclusiones

El sistema de huertos urbanos demuestra ser eficiente al utilizar la cantidad suficiente de agua, evitando el desperdicio de recurso hídrico y provee al usuario seguridad al cosechar su propio alimento, mientras se apropia de la tecnología. 💧

Bibliografía

- González Chávez H., Macías Macías A. (2007). Vulnerabilidad alimentaria y política agroalimentaria en México. *Desacatos, Revista de Ciencias Sociales* 25, 47-78, México.
- Méndez Lazareno R.C., Rodríguez Guerrero R. (2014). *Manual de huertos urbanos*, Centro de investigación y recursos para el desarrollo A.C., Guadalajara Jalisco.
- Piña D., A. y E. Arreola, V. (1981). *Métodos avanzados de riego. Tomo I. Riego por goteo. Plan Nacional de Obras Hidráulicas e Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural. Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica. SARH, México.*
- SAGARPA, (2015). *Agenda Técnica Agrícola de Morelos. Segunda Edición. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México, D.F.*
- Swennenhuis, J. (2009). *CROPWAT, (Versión 8.0). Ed. Unidad de Fomento y Gestión de las Aguas de la FAO. Roma, Italia.*

HUMEDALES ARTIFICIALES: ALTERNATIVA VIVIENTE A LA GESTIÓN DEL AGUA EN LAS CIUDADES

CAMILO SERRANO, MARTHA OTERO Y CAROLINA LEYVA

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, CICATA.
LABORATORIO NACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA
Y GESTIÓN INTEGRADA DEL AGUA (LNAGUA).

Resumen

El agua es el núcleo de la vida, nos permite existir y nos mantiene vivos. Es imprescindible para todos beber agua limpia y pura. Debido a las fuentes antropogénicas, el agua ha sido contaminada a lo largo de varios años con una amplia gama de sustancias de diferente naturaleza, dando al traste con efectos nocivos para la salud humana y los ecosistemas naturales. El crecimiento poblacional, aparejado al desarrollo urbanístico no regulado, han provocado que en las grandes ciudades cada vez sea menor el acceso a un agua de calidad. Desde las culturas prehispánicas, los humedales artificia-

les emergieron como una solución viva y efectiva a la gestión de la calidad y la cantidad de agua en las regiones más pobladas. Este artículo resume algunos de los avances más recientes en la aplicación de estas soluciones naturales en el manejo de tan preciado recurso.

Lo natural siempre es la mejor opción

Las soluciones basadas en la naturaleza (SBN) han sido utilizadas durante muchos años para mejorar la calidad del agua, ya que reducen la cantidad de materia orgánica y nutrientes que llegan a los cuerpos de



agua. Más que una infraestructura verde, las SBN se definen como “soluciones vivas” inspiradas en la naturaleza para abordar diversos desafíos sociales, eficientes en el uso de los recursos y adaptables, al mismo tiempo que ofrece beneficios económicos y ambientales. Estas SBN están incluidas, por ejemplo, en la agenda de investigación y desarrollo de la Unión Europea (Brears 2022) both climatic and non-climatic, can lead to abrupt, and in some cases, irreversible environmental change that adversely impacts human development. One approach to addressing these challenges is to increasingly rely on engineering solutions that are designed and managed to be simple to implement, easy to replicate, and provide predictable outcomes. However, these solutions require significant investments in materials and energy. An alternative approach is using nature-based solutions (NBS) como un componente esencial para lograr economías más sustentables, sostenibles y resilientes. Dentro de estas alternativas, los humedales artificiales son unos de los más aplicados para el tratamiento de aguas residuales citadinas y la mejora de la calidad del agua de las cuencas superficiales.

Humedales artificiales como ecosistemas

Los humedales naturales (HN) son áreas de transición entre la tierra y el agua, donde los límites entre el humedal, la tierra firme y las aguas profundas son indistinguibles. El término “humedal” engloba un amplio intervalo de ambientes húmedos incluyendo pantanos, ciénagas, llanuras aluviales, entre otros. Todos ellos tienen una característica en común: la presencia de agua en la superficie o cerca de ella (Gerbeaux, 2018). Las características hidrológicas de la mayoría de los humedales permiten que el sustrato se sature durante un tiempo prolongado en la estación de crecimiento, provocando condiciones bajas en oxígeno en dicho sustrato. De ahí que en estas áreas la vegetación se limite a especies que puedan adaptarse y sobrevivir en estos ambientes escasos de oxígeno. Por otro lado, en los humedales tanto de aguas poco profundas como saturados, el agua fluye muy lentamente. Los flujos lentos y las aguas poco profundas permiten que los sedimentos se asienten a medida que el agua pasa a través del humedal y también que exista mayor

tiempo de contacto entre la superficie y el agua que fluye (Acreman, 2013).

La complejidad de la materia orgánica e inorgánica presente en los humedales y los intercambios gas/agua permiten la proliferación de muchas clases de microorganismos que pueden degradar o transformar diversos tipos de sustancias. Además, la mayoría de los humedales están sostenidos por el denso crecimiento plantas vasculares adaptadas a condiciones saturadas. Esta vegetación también disminuye la velocidad de flujo del agua, creando microambientes dentro de la columna de agua y proveyendo sitios para el desarrollo de comunidades microbianas. También, las plantas muertas que se acumulan en el lecho crean material adicional y sitios de intercambio, abasteciendo de carbono, nitrógeno y fósforo a los procesos microbianos (Gorito, 2017).

Mientras que los sistemas de HN son capaces de eliminar contaminantes de las aguas que pasan a través de estos, mejorando la calidad de esta, los humedales artificiales (HA) se han construido para replicar ese proceso (Recep, 2015).

¿Cómo puede un humedal mejorar la calidad del agua?

Como se mencionó anteriormente, los humedales son sistemas complejos que actúan como un todo, ahora bien, esta complejidad se puede desglosar en procesos individuales para un mejor entendimiento de su funcionamiento.

Debido a la interacción constante entre todas las partes de un humedal, dígame agua, sustrato, plantas (vasculares y algas), lecho (formado por el material depositado de plantas muertas), animales invertebrados (insectos, larvas y gusanos) y un arreglo de microorganismos de diferente naturaleza; se establecen varios procesos químicos, físicos y biológicos donde el agua es el principal vehículo (*Véase Figura 1*):

- asentamiento de la materia orgánica suspendida.
- filtración y precipitación química a través del contacto del agua con el sustrato y el lecho.
- transformaciones químicas.

- adsorción e intercambio iónico sobre la superficie de las plantas, el sustrato, los sedimentos y el lecho.
- degradación y transformación de contaminantes por microorganismos y plantas.
- consumo y transformación de nutrientes por microorganismos y plantas.
- depredación y muerte natural de patógenos.

Los humedales más efectivos para la purificación de agua son aquellos que incluyen todos estos mecanismos (Gorito, 2017).

Ventajas y desventajas de la construcción de humedales

La construcción de humedales es más factible económica y tecnológicamente para tratar aguas residuales por varias razones:

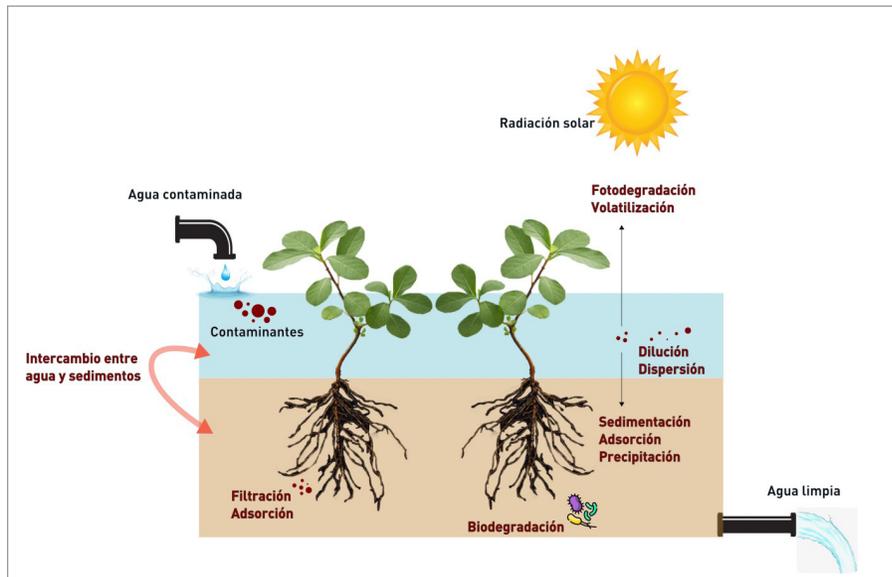


Figura 1. Procesos en el humedal que permiten la eliminación de contaminantes del agua.

- es menos costosa que otras técnicas de tratamiento de aguas.
- bajos gastos de mantenimiento y operación, además de un mínimo consumo de energía.
- son capaces de tolerar bajos flujos de agua y adaptarse a los cambios ambientales.

- proveen un hábitat para numerosos organismos vivos.
- se incluyen armoniosamente dentro del paisaje urbanístico.
- mejoran estéticamente el paisaje.
- tienen alto grado de aceptación entre la población.

Por otro lado, hay algunas limitaciones asociadas a este tipo de soluciones naturales (Gorito 2017):

- se necesitan grandes áreas de terreno para ser construidos.
- la efectividad en el tratamiento de agua varía según las estaciones del año.
- los componentes biológicos son sensibles a químicos tóxicos como el amonio y los pesticidas.
- requieren una cantidad mínima de agua para sobrevivir.

Parque fluvial del Besòs: sinergia entre naturaleza, ciudadanía y recuperación ambiental

El parque fluvial del Besòs es un espacio público ubicado en la ciudad de Barcelona, España. Se extiende por más de 9 kilómetros a lo largo de la ribera del río Besòs, desde el río Ripoll hasta la desembocadura con el mar Mediterráneo (Véase Figura 2). Con una superficie total de 115 hectáreas, es uno de los espacios verdes más importantes del área metropolitana.



Figura 2. Mapa del parque fluvial del Besòs

(Fuente: <https://parcs.diba.cat/web/fluvial/mapa-del-parc>)

Desde los años sesenta, la contaminación de este río se incrementó paulatinamente, debido al crecimiento poblacional y la actividad industrial en las cercanías al río. Para revertir esta situación, en los años ochenta se aprobó por el parlamento local la construcción de este parque. Los humedales construidos en el cauce del río han limpiado durante muchos años las aguas de éste, trayendo beneficios económicos, sociales y medioambientales, a la vez que mejora indiscutiblemente la calidad del agua de la cuenca y la accesibilidad a esta por parte de la población.

Conclusiones

Tomando el ejemplo de esta aplicación real de las soluciones naturales para el tratamiento de agua en las ciudades, se puede concluir que las políticas de los gobiernos locales deben ir encaminadas cada vez más a desarrollar este tipo de alternativas en las ciudades. Además, se deben divulgar y difundir los beneficios que traen estos sistemas naturales, para crear conciencia ciudadana que más tarde influya la política medioambiental. Es de vital

importancia salvaguardar los recursos hídricos de la nación y se ha comprobado que la aplicación y puesta en práctica de este tipo de sistemas naturales impacta positivamente nuestras ciudades. ♦

Referencias

Acreman, M., and J. Holden. 2013. "How Wetlands Affect Floods." *Wetlands* 33(5): 773–86. <https://doi.org/10.1007/s13157-013-0473-2>.

Brears, Robert C. 2022. Financing Nature-Based Solutions: Exploring Public, Private, and Blended Finance Models and Case Studies *Nature-Based Solutions*. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93325-8_2.

Gerbeaux, Philippe, C. Max Finlayson, and Anne Van Dam. 2018. 1 Wetland Classification: Overview *The Wetland Book I*. eds. C. Max Finlayson et al. The Netherlands: Springer.

Gorito, Ana M., Ana R. Ribeiro, C.M.R. Almeida, and Adrián M.T. Silva. 2017. "A Review on the Application of Constructed Wetlands for the Removal of Priority Substances and Contaminants of Emerging Concern Listed in Recently Launched EU Legislation." *Environmental Pollution* 227: 428–43. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749116320383>.

Recep, Çakir, Ali Gidirislioglu, and Çebi Ulviye. 2015. "A Study on the Effects of Different Hydraulic Loading Rates (HLR) on Pollutant Removal Efficiency of Subsurface Horizontal-Flow Constructed Wetlands Used for Treatment of Domestic Wastewaters." *Journal of Environmental Management* 164: 121–28. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479715302413>.



IMPLEMENTACIÓN DE DRENAJES PLUVIALES SOSTENIBLES (DPS) EN EL ESTADO DE GUANAJUATO

ANGEL RICARDO LEYVA MACÍAS
COMISIÓN ESTATAL DEL AGUA DE GUANAJUATO

Resumen

Gobiernos de varios países reconocen en las últimas décadas la amplia variedad de beneficios derivados de gestionar el agua de lluvia desde un punto de vista alterno al convencional, cuya tendencia es hacia un desarrollo sostenible y amigable con el medio ambiente.

Lo anterior, en respuesta al proceso de urbanización intensivo y, por consecuencia, impermeabilización de las ciudades, reduciendo espacios abiertos y generando un considerable incremento del volumen de escorrentía del agua pluvial, colap-

sando el drenaje sanitario y pluvial existentes, evidenciando su ineficacia para la gestión de las aguas pluviales.

El presente trabajo hace referencia a los esfuerzos que está realizando el Gobierno del Estado de Guanajuato a través de la Comisión Estatal del Agua, al implementar alternativas de solución, denominados Drenajes Pluviales Sostenibles (DPS), mencionando su clasificación, beneficios, así como su integración en el desarrollo urbano.

Introducción

El desarrollo urbano genera importantes cambios en los usos del suelo, alterando el ciclo hidrológico natural y agrava la frágil red de drenaje y el casi nulo control de las aguas pluviales. Una de las consecuencias del desarrollo urbano y el escaso ambiente natural en el mismo, es el incremento de la escorrentía superficial en épocas de lluvia.

Por lo que nuestras ciudades requieren de una nueva piel, reconfigurando su imagen y desarrollo urbano, propiciando un entorno más amigable y sustentable, con la intención de ayudar a reestablecer el ciclo hidrológico.

Con la impermeabilización del suelo urbano, también se altera en términos hidrológicos, el hidrograma del agua procedente de la lluvia al redistribuirse su flujo. Véase Figura 1, que representa el hidrograma de una cuenca sin urbanización y urbanizada, ante una lluvia de duración D , e intensidad variable I .

Para evitar la acumulación de agua en las superficies impermeables, se han construido infraestructuras de drenaje convencional que eva-

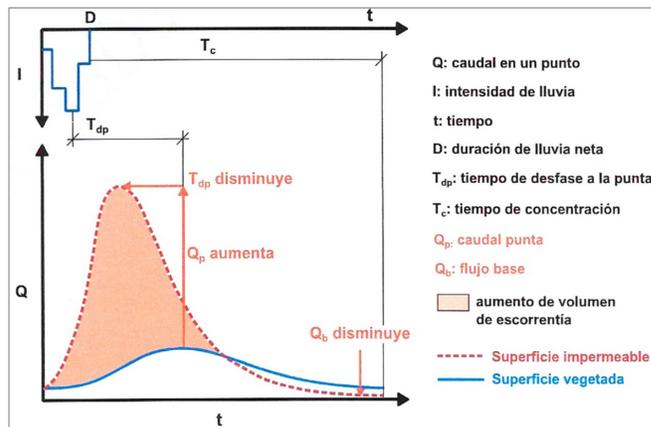


Figura 1.

Fuente: Perales, 2014.

cúan rápidamente la escorrentía generada, pero trasladando el problema aguas abajo, causando inundaciones y erosión de los cauces naturales. (Perales, 2008, p. 2).

Los sistemas tradicionales de drenaje son poco flexibles y adaptables a los cambios de uso de la tierra y a los procesos de urbanización, destinados a evacuar los caudales generados por las lluvias, convirtiéndose en soluciones puntuales que se ven

rebasadas al transcurrir el tiempo, haciendo necesaria una revisión minuciosa de la forma de concebir, planificar y enfrentar los nuevos desarrollos urbanos que se dan en todas las ciudades. (Jiménez y Joya, 2015, p.18).

A continuación, se describe la problemática por la ausencia de un control eficiente del agua de lluvia en las ciudades de Guanajuato, das a conocer la existencia de sistemas eficientes y amigables con el medio ambiente, como son los Drenajes Pluviales Sostenibles, diseñados para mejorar la gestión del agua hacia un entorno sustentable.

El objetivo de este trabajo es hacer conciencia de que el agua es fundamental para la vida y que se necesitan muchos esfuerzos para revertir el daño al medio ambiente, los DPS, son una herramienta empleada con éxito en diferentes partes del mundo que nos dan una perspectiva sustentable, ya que podrían ayudar a ser mas eficientes en la gestión del agua de lluvia.

Desarrollo

El método tradicional de drenar la escorrentía del agua superficial de las áreas urbanizadas, a través de tuberías subterráneas y sistemas de almacenamiento de tanques, tiene por objeto proteger la salud pública y prevenir inundaciones locales mediante alejar el agua de lluvia lo más rápido posible.

En tales sistemas, esto puede suponer una carga significativa e impredecible para las obras de tratamiento de aguas residuales, provocando que las aguas residuales no tratadas se derramen en los cursos de agua receptores a través de desbordamientos combinados de alcantarillado. (Woods Ballard et al., 2015, p. 21).

La contaminación proviene de muchos tipos de fuentes y lugares (contaminación difusa) y aunque las fuentes individuales pueden no representar una amenaza, colectivamente pueden conducir potencialmente a impactos significativos en las aguas subterráneas o superficiales. (Woods Ballard et al., 2015, p. 23); provocando una serie de problemáticas, como una recarga mínima de los mantos acuí-

feros, la reducida infiltración de agua, escasez para su consumo, así como el incremento de escorrentías que generan inundaciones. Véase Figura 2.

Los DPS se definen como “elementos integrantes de la infraestructura urbana cuya misión es captar, filtrar, retener, transportar, almacenar e infiltrar al terreno el agua, de forma que ésta no sufra ningún deterioro e incluso permita la eliminación de la carga contaminante” que adquiere por procesos de escorrentía urbana. (Perales, 2008, p. 3).

Las tipologías más comunes se engloban en medidas no estructurales y estructurales. Las medidas no estructurales abarcan temas como la educación y programas de participación ciu-

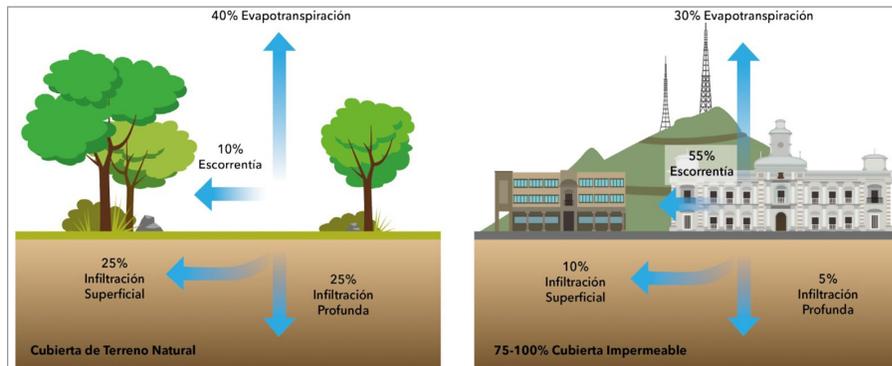


Figura 2.

Fuente: Adaptación de EPA (Agencia de Protección Ambiental de E.U.), 2003.

dadana, el control de la aplicación de herbicidas, la limpieza frecuente de superficies para reducir la acumulación de contaminantes, entre otros. (Perales, 2008, p. 4)

Las medidas estructurales son aquellas que gestionan la escorrentía contaminada mediante actuaciones que contengan, algún elemento constructivo y las más utilizadas son: cubiertas verdes, superficies permeables, franjas filtrantes, pozos y zanjas de infiltración, drenes filtrantes, cunetas verdes, depósitos de infiltración, depósitos de detención, estanques de retención y humedales. (Perales y Andrés-Domech, 2007). Véase Figura 3.



Figura 3.

Fuente: www.hidrologiasostenible.com sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-suds

Los DPS son utilizados como componentes de un sistema de manejo y aprovechamiento sustentable de agua, lo anterior se logrará mediante técnicas de diseño, siendo las bases para una metodología de aplicación y creación de recomendaciones genera-

les para implementar los DPS en el marco jurídico y de planeación del estado de Guanajuato.

Para lograrlo se requiere de aspectos fundamentales en la instrumentación de estas técnicas, en las que intervienen una amplia gama de disciplinas como son Ingeniería Civil, Hidráulica, Arquitectura, Paisajismo y Urbanismo, así como una normatividad que regule y establezca la implementación de los DPS, un diseño técnico adecuado para la planeación, instrumentación, ejecución y gestión de su aplicación en entornos urbanos.

A continuación, se mencionan algunos ordenamientos jurídicos que brindan soporte a la aplicación de los DPS.

1. Resolución A/RES/64/292. Asamblea General de las Naciones Unidas. Julio de 2010 Observación General No. 15. El derecho al agua.
2. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Artículo 4 y Artículo 115.
3. Ley de Aguas Nacionales. Artículo 7.
4. Programa Nacional Hídrico 2020-2024. Apartado 15.2.

5. Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Guanajuato. Artículo 1.
6. Código Territorial para el Estado y los Municipios de Guanajuato. Naturaleza y Atribuciones de la Comisión, artículo 19, artículo 33, artículo 38, artículo 60 y artículo 70.

El concepto de DPS se ha ido redefiniendo, recibiendo aportaciones de otros conceptos similares, siendo los siguientes: Infraestructura Verde (I.V), Desarrollo de Bajo Impacto (LID, por sus siglas en inglés: Low Impact Development), Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS, por sus siglas en inglés: Sustainable Drainage Systems), y Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD, por sus siglas en inglés: Water Sensitive Urban Design). (IMPLAN Hermosillo, 2019, p. 19-23).

Beneficios de los DPS

Hay cuatro categorías principales de beneficios que se pueden lograr con los DPS: Cantidad de agua, calidad del agua, entorno urbano y biodiversidad. Estos se conocen como los cuatro pilares del diseño



Figura 4.

Fuente: Adaptado The SuDS Manual. CIRIA 2015.

de SuDS. (Woods Ballard et al., 2015, p. 6). Véase Figura 4.

Los DPS mejoran la calidad de vida y espacios urbanos haciéndolos más vibrantes, visualmente atractivos, sostenibles y más resistentes al cambio, mejorando la calidad del aire urbano, regulando la temperatura, reduciendo el ruido y brindando oportunidades de recreación y educación. (Woods Ballard et al., 2015, p. 8).

Implementación en Guanajuato

Desde 2021, la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato realiza capacitaciones y reuniones con los Ayuntamientos Municipales, Organismos Operadores del Agua y dependencias del Gobierno del Estado de Guanajuato, como la Secretaría de Desarrollo Social y Humano, para darles a conocer los DPS, a fin de que conozcan sus características, sus múltiples beneficios, lugares donde pueden ser aplicados y proporcionando la asistencia técnica requerida para su correcta implementación.

Conclusiones

Los principales obstáculos que tiene la implementación de los DPS en el estado de Guanajuato son el desconocimiento de estas técnicas, la incertidumbre en los resultados que se pueden obtener, ya que existen muy pocos ejemplos en México, en los cuales se pueda fundamentar el éxito en su práctica, falta de metodologías para su instrumentación y un adecuado marco legal, falta de incentivos a los desarrolladores de fraccionamientos, para que

desde su planeación consideren la implementación de estas técnicas.

Se está trabajando para que, durante el año 2023, se tengan varios ejemplos en operación y funcionamiento en algunos de los municipios de Guanajuato, teniendo en cuenta que se requieren esfuerzos que aseguren el correcto funcionamiento y por consiguiente se obtengan los resultados esperados, entre los que se encuentran reestablecer el ciclo hidrológico, evitar inundaciones y asegurar la disponibilidad del agua para todos. Esto permitiría cambiar el paradigma de percibir el agua de lluvia como una molestia a comprenderla como una oportunidad. ♦

Bibliografía

IMPLAN Hermosillo (2019). Manual de Lineamientos de Diseño para Infraestructura Verde. Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo IMPLAN, Hermosillo, Sonora, México. <https://www.implanhermosillo.gob.mx/lineamientos-y-manuales/>

Jiménez A. F. y Joya J. L. (2015). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) como gestión Integral en la regulación y control de aguas lluvias; caso de estudio sector en la ciudad de Bogotá, Universidad Católica de Colombia Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniería Civil, Bogotá D.C., Colombia.

Perales, S. y Andrés-Doménech, I. (2007). Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible: una Alternativa a la Gestión del Agua de Lluvia. V Congreso Nacional de la Ingeniería Civil. Sevilla, España.

Perales, S. (2008). Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), Expo Zaragoza 2008, Zaragoza, España.

Trapote Jaume, A. (2016). "Gestión de las aguas pluviales en entornos urbanos mediante técnicas de Drenaje Sostenible". *Journal of Engineering and Technology*, 5(2), pp. 26-40. [doi: 10.22507/jet.v5n2a1](https://doi.org/10.22507/jet.v5n2a1)

Woods Ballard, B. Wilson, Udale-Clarke, H. Illman, S. Scott, T. Ashley, R. Kellagher (2015). Construction Industry Research & Information Association (CIRIA). "The SuDS manual" (CIRIA C753). London.

ACCIONES IMPLEMENTADAS EN LA CIUDAD DE MÉXICO PARA LA GESTIÓN DEL AGUA Y LA REFORESTACIÓN CON ENFOQUE EN LAS SNBYP

LOARRY I. GABRIEL HERNÁNDEZ
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD, UNAM



Resumen

El agua es un recurso vital para la subsistencia de miles de personas en el mundo y para el desarrollo de sus múltiples actividades. En ese sentido, la gestión del agua, así como la implementación de soluciones basadas en la naturaleza resultan claves para afrontar el reto de disponibilidad y acceso al agua de manera justa y equitativa en cantidad y calidad, así como para las acciones de mitigación y adaptación ante el cambio climático por medio de la reforestación y revegetación de espacios que lo requieran.

De acuerdo con las características dinámicas de urbes como la Ciudad de México, la aplicación

de infraestructura verde como jardines de lluvia y acciones de captación de agua y reforestación de áreas donde es necesario resultan indispensables para mejorar la calidad de vida de los miles de usuarios que viven en la ciudad y sus alrededores o zonas colindantes.

Introducción

En Ciudades con altos grados de urbanización, la distribución, uso y acceso al agua puede ser escasa para los miles de usuarios, por ello, y con el propósito de continuar la sobrevivencia de la especie

humana se han creado soluciones creativas e ingenieriles para el recurso hídrico en Ciudades de gran extensión geográfica.

La Ciudad de México es una de las urbes con el mayor estrés hídrico (Ímaz et al, 2018, p.1) y es punto de concentración de actividades industriales y comerciales (Jiménez et al, 2004) económicas, culturales y de poder por lo que, la disponibilidad y el manejo del recurso presentan cierto grado de complejidad ante la alta demanda del líquido y la sobreexplotación del acuífero.

En ese sentido es necesario implementar un manejo integral del agua que incluyan la reducción de fugas, una adecuada red de distribución, así como la puesta en marcha de soluciones derivadas de la naturaleza y del paisaje que consideren un análisis socioecosistémico para alcanzar resultados eficientes con relación a la gestión del agua.

Algunas de estas prácticas consisten en la cosecha de agua, la captación del agua de lluvia y de niebla, la condensación de vapor, o, el almacenamiento de agua superficial (Torres Huges, 2019, p. 125, citado en Yapa 2013) y contribuyen en acciones

de reforestación y revegetación de espacios para recuperación del paisaje (Dalmasso, 2010, p. 149) mismas que se complementan con la colocación de jardines de lluvia como una potencial estrategia de retención y filtración del escurrimiento pluvial, evitando que se sature el sistema de drenaje, previniendo las inundaciones y mejorando el espacio público en las Ciudades (Badillo, 2010, p.2).

Las soluciones basadas en la naturaleza y sus beneficios

Ante contextos complejos de urbanización, contaminación, movilidad, deterioro ambiental, deforestación o falta de recurso hídrico, se ha pensado en la integración de soluciones basadas en la naturaleza que ayuden a disminuir impactos causados por el uso indiscriminado de los recursos y la sobreexplotación o la acción del hombre.

Estas soluciones son acciones de protección, conservación, restauración y manejo (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2022, p.1) de los recursos y toman en cuenta los servicios proporcionados por la naturaleza y al

combinarse con la infraestructura gris (canales de agua, terraplenes, sistemas de drenaje) o la infraestructura verde (sistemas biofísicos como bosques, calles, pastos) (Lochner et al, 2019, p. 3) aportar a soluciones integrales ecoeficientes de gran beneficio para las ciudades.

Se considera que la infraestructura verde es una solución ecológica y socialmente incluyente en zonas urbanas al hacer uso de la vegetación, los suelos y procesos naturales en ambientes urbanos (Balmaseda, 2014). A pesar de que se considera un concepto de reciente aparición puede servir como un hito para cuestiones de planeación del desarrollo urbano (Secretaría del Medio Ambiente [SEDEMA], 2022, p.1).

Algunos de los beneficios de la infraestructura verde son la conservación de la biodiversidad, la adaptación al cambio climático, la disminución de inundaciones, el control de escorrentías y manejo de drenajes, aumento y mejoramiento de espacios verdes y la creación de empleo y el aumento del valor económico de bienes inmuebles (SEDEMA, 2022, p.1). Por su parte la infraestructura azul

(cuerpos de agua como estanques, ríos, lagos, arroyos, entre otros) también es parte de las estrategias basadas en la naturaleza), (Lochner et al, 2019, p. 3).

Las soluciones implementadas en la Ciudad de México para captar agua

De acuerdo con Ímaz et al (2018) la captación de lluvia es una potencial fuente sustentable para entornos urbanos ante los problemas de escases de agua.

Por ello, en alcaldías como Azcapotzalco, Coyoacán, Gustavo A. Madero, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco se implementó el programa de cosecha de lluvia a partir del 2019 en colonias con escasez de agua, pobreza y marginación (Yáñez, 21 de marzo de 2022).

La cosecha de agua es un programa operado por la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, cuyo propósito es mejorar el abasto de agua de personas de bajos ingresos a través de sistemas de cosecha de lluvia y de donde se obtienen beneficios ambientales como; la disminución de la energía para bombear y transportar agua, facilitar el acceso al servicio hídrico y contribuir a la

no sobreexplotación del acuífero y su recuperación (SEDEMA, 2022a, p.1).

Además de captar, también reforestar

La deforestación, la urbanización desmedida, la sobrepoblación, así como la expansión de inmuebles ha provocado una alteración en el paisaje urbano de las Ciudades provocando la pérdida de fertilidad del suelo, modificaciones al clima y microclimas de las ciudades y la alteración del ciclo hidrológico (Vázquez et al, 2003, p.3) así como fuertes inundaciones entre otros, (ver figura 1).

Acciones como la reforestación contribuye a las metas de reducción de emisiones de los países. En ese sentido, en la Ciudad de México se implementó en 2019 el programa reto verde para revegetar y reforestar la Ciudad con el propósito de contar con espacios verdes y aumentar la humedad ambiental (SEDEMA, 2022b, p.1).

Por ello, se considera conveniente reforzar el programa de captación de agua de lluvia para la revegetación de alcaldías de la Ciudad de México y Municipios del estado de México con mayor super-



Figura. 1. Granizo y lluvia en Coyoacan y Tlalpan y generación de Inundaciones. Fuente: Síntesis (2021).

ficie como se aprecia en la tabla 1. La revegetación debe incluir espacios como camellones centrales y laterales, vialidades, parques, jardines, áreas consideradas como baldíos, superficies llaneras (figura 2). Así como la incorporación de jardines de lluvia en cada uno de los sitios propuestos en la tabla 1.

Tabla 1. Sitios propuestos para la aplicación de combinación de soluciones basadas en la naturaleza

Alcaldías en la Ciudad de México	Municipios del Estado de México
Iztapalapa	Chimalhuacán
Iztacalco	Chalco
Gustavo A. Madero	Ecatepec
Miguel Hidalgo	Ixtapaluca
Tláhuac	Los Reyes la Paz
Tlalpan	Nezahualcóyotl
Venustiano Carranza	Texcoco

Fuente: elaboración propia

Conclusiones

La combinación de soluciones basadas en la naturaleza como la infraestructura gris, verde y azul son una opción para gestionar y proteger el recurso hídrico en la Ciudad de México y sus Alcaldías para enfrentar los muchos desafíos ambientales que se tienen hoy en día bajo un enfoque ecosistémico.

Estas soluciones pueden implementarse considerando estudios hídricos, de planeación urbana y



Figura 2. Áreas disponibles para la aplicación de SBNyP en el municipio de Nezahualcóyotl. Fuente: (Salinas, 2022).

gestión del territorio, además de ir acompañados con el debido financiamiento para su aplicación, seguimiento, mantenimiento, monitoreo y eva-

luación de dichas soluciones a futuro en espacios que pueden resultar potenciales como los camellones, las extensas áreas desprovistas de vegetación, zonas propensas inundación dentro de la Ciudad de México y sus alrededores, entre otros para la colocación y jardines de lluvia y sistemas de cosechas de lluvia con la intención de disminuir los impactos de los usuarios y mejorar el entorno urbano. 💧

Bibliografía

- Badillo Ornelas, C.P. (2017). Jardines de lluvia una estrategia paisajística para aprovechar el agua pluvial de las ciudades: caso de estudio, Azcapotzalco. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana (México). Unidad Azcapotzalco. Coordinación de servicios de información.
- Balmaseda, R. (2014). La infraestructura verde como sistema de captación de agua de lluvia. *IMPLUVIUM Periódico digital de divulgación de la Red del Agua UNAM*, (1). Disponible en: <https://ulacia.mx/wp-content/uploads/2018/08/Impluvium-RUB.pdf>
- Dalmaso, A.D. (2010). Revegetación de áreas degradadas con especies nativas. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 45(1-2), 149-171.
- Ímaz Gispert, M., Armienta Hernández, M.A., Lomnitz Climent, E., and Torregrosa Flores, M. F. (2018). Captación de agua de lluvia como una opción de agua potable en la Ciudad de México, *Sustainability*, 10, 3890. [doi: 10.3390/su10113890](https://doi.org/10.3390/su10113890)www.mdpi.com/journal/Sustainability
- Jiménez, C. B., Mazari, H, M., Domínguez, M.R., y Cifuentes, G. E. (2004). El agua en el Valle de México. En Jiménez, B, y Marín, L. (Eds.). (2004). *El agua en México vista desde la Academia*. Academia Mexicana de Ciencias. 8- 32 p.

Lochner, A., Sorolla, A, Mota, B, Rueda, I, y Sorolla, G. (2019). Soluciones basadas en la naturaleza (NBS) como nueva manera inteligente de gestionar el urbanismo y la ingeniería clásica, Disponible en: [https://naturalea.eu/docs/2019/04/Informe tecnico NBS es.pdf](https://naturalea.eu/docs/2019/04/Informe_tecnico_NBS_es.pdf)

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2022). Soluciones basadas en la naturaleza para la resiliencia hídrica. Disponible en: <https://www.undp.org/es/mexico/projects/soluciones-basadas-en-la-naturaleza-para-la-resiliencia-h%C3%ADdrica>

Salinas, Orlando. (2022). Gobiernos de Nezahualcóyotl y Chimalhuacán proponen proyecto de movilidad en zona limítrofe. Disponible en: <https://www.elsoldetoluca.com.mx/local/gobiernos-de-nezahualcoyotl-y-chimalhuacan-proponen-proyecto-de-movilidad-en-zona-limitrofe-8730886.html>

Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA). 2022. Infraestructura verde. Disponible en: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/infraestructura-verde>

Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) (2022a). Cosecha de lluvia. Disponible en: <https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/cosecha-de-lluvia>

Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) (2022a). Reto verde. Disponible en: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/reto-verde>

Síntesis (2021). Greenpeace México alerta a la CDMX por posibles inundaciones y sequías intensas. Disponible en: <https://sintesis.com.mx/2021/10/24/greenpeace-mexico-alerta-la-cdmx-pos/>

Torres Huges, R. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, La Habana, Cuba, 40(2), 125-139.

Vázquez Yañes, C., Batis Muñoz, A.I., Alcocer, M.I., Gual Díaz, M, y Sánchez Dirzo, C. (2003). Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Proyecto J-084-CONABIO. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México, 15 p.

Yáñez, Brenda. (2022). Cosecha de lluvia: Cómo inscribirte al programa para abastecimiento de agua en CDMX. Expansión política. Disponible en: <https://politica.expansion.mx/cdmx/2022/03/21/osecha-de-lluvia-2022-programa>

Yapa, K. (2013). *Prácticas ancestrales de crianza del agua*. Edipcentro Cía., ISBN:978-9942-9887, -8-2, Ecuador.

LOS HUMEDALES CONSTRUIDOS: UNA ESTRATEGIA PARA EL TRATAMIENTO SUSTENTABLE DEL AGUA RESIDUAL

GEORGINA MARTÍNEZ RESÉNDIZ, LUIS CARLOS SANDOVAL HERAZO.

LABORATORIO DE HUMEDALES Y SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL, DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN, TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO/INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA.

LUIS FELIPE JUÁREZ SANTILLÁN

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE GUTIÉRREZ ZAMORA, ÁREA ACADÉMICA DE AGROBIOTECNOLOGÍA, CAMPUS GUTIÉRREZ ZAMORA.



Resúmen

Los Humedales Construidos son sistemas que han sido diseñados para el tratamiento de aguas residuales. Estos operan de acuerdo a los procesos naturales que existen entre las plantas, un medio filtrante y el agua residual a tratar. En ellos ocurren los mismos procesos que ocurren en los humedales naturales, pero lo hacen dentro de un entorno más controlado. En los Humedales Construidos, se tratan varios tipos de aguas residuales, incluidas aguas residuales, aguas residuales industriales y agrícolas, diversas aguas de drenaje y escorrentía y

lixiviados de vertederos. En la actualidad se están integrando a un modelo de economía circular en los entornos urbanos, convirtiéndose en una herramienta para el tratamiento sustentable del agua residual.

Introducción

El tratamiento de aguas residuales es un reto en la actualidad. El rápido crecimiento de la población en el mundo está originando una presión sobre los recursos naturales (Magwaza et al., 2020). Las

áreas de mayor concentración poblacional son las grandes ciudades; cada una de ellas afronta la necesidad de gestionar el tratamiento de aguas residuales. Tratar aguas residuales es un problema que se agrava cuando no se tiene el presupuesto para construir plantas de tratamiento funcionales, donde personal capacitado se encuentre a cargo. Cada día se busca que los sistemas y tratamientos sean eficientes y de bajo costo. Es por ello que se está apostando por la construcción y el uso de Humedales Construidos.

Los Humedales Construidos son ecosistemas que han sido planeados para manipular los procesos biológicos dentro de un entorno natural semi-controlado (Choi, 2018). Son una tecnología sencilla, sostenible y rentable inspirada en los Humedales Naturales. Están diseñados para eliminar los contaminantes de las aguas residuales mediante una serie de procesos naturales de eliminación, en los que intervienen sustratos, plantas y microorganismos (Hdidou, 2022).

Especialmente, los Humedales Construidos se destinaban para el tratamiento de aguas residua-

les domésticas y municipales. En la actualidad su manejo se extiende para purificar efluentes agrícolas, industriales, de drenaje, de la industria láctea entre otros. Los humedales naturales están conformados por vegetación, suelo y agua o aguas residuales. Por otra parte, los Humedales Construidos están constituidos por con una combinación de medio filtrante, vegetación y materia orgánica para proporcionar tratamiento a las aguas residuales (Delgadillo et al., 2010).

Ventajas del uso de los Humedales Construidos

Un Humedal Construido requiere de menos inversión, materias primas, mantenimiento y por supuesto genera menos olores, fauna nociva y sustancias tóxicas, es por ello que su construcción está teniendo éxito en varias partes del mundo, considerando su clima, vegetación y altura sobre el nivel del mar.

Clasificación de los humedales

La clasificación de los Humedales Construidos depende del régimen de flujo, el crecimiento

macrofítico y la hidrología (Vymazal, 2008). En la siguiente figura (Véase, Figura 1) se muestra la clasificación de estos:

¿Cómo eliminan los contaminantes los Humedales Construidos?

El principal mecanismo de tratamiento a través de los HC comprende la transformación biogeoquímica con separaciones de sólidos y líquidos. Dentro de los mecanismos más importantes para que los contaminantes sean eliminados en los humedales, son los mecanismos biológicos. El mecanismo más conocido es la absorción de plantas. Cuando las plantas captan directamente contaminantes en su estructura radicular, este proceso se llama

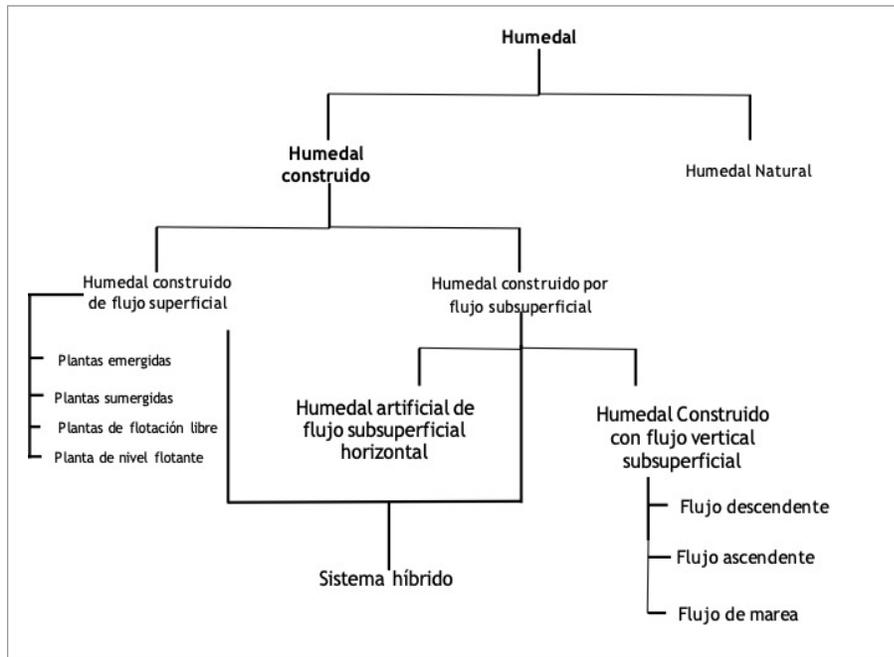


Figura 1.

fitodestrucción. Cuando las plantas secretan sustancias que se suman a la degradación biológica, este proceso se llama rizodegradación. El proceso donde los contaminantes entran en la biomasa de las plantas y transpiran a través de las hojas de la planta se llama fitovolatiliza-

ción (Norton, 2007). En la zona aeróbica, la materia orgánica se descompone en dióxido de carbono y agua por bacterias aeróbicas; en la zona anaeróbica, la materia orgánica se descompone en dióxido de carbono y metano por bacterias anaeróbicas con fermentación. La mayor parte de la materia orgánica en las aguas residuales se convierte eventualmente a microorganismos, dióxido de carbono y metano (Quin y Chen, 2016).

Papel de las plantas en los Humedales Construidos

Las plantas desempeñan un papel relevante en los Humedales Construidos ya que mantienen la temperatura, disminuyen la velocidad del viento y evitan la resuspensión de nutrientes y lodos, además ayudan a proporcionar las condiciones necesarias para varios procesos biológicos y fisicoquímicos dentro de un humedal para un tratamiento efectivo de las aguas (Jethwa y Bajpai, 2016).

Las plantas comúnmente empleadas en los humedales construidos, corresponde a especies propias de humedales naturales, como espa-

ña (*Typha* spp.), caña (*Phragmites* spp.) y junco (*Schoenoplectus* spp.) (Belmont et al., 2004). Sin embargo, estudios recientes han evaluado la posibilidad de sustituir estas especies por macrófitas ornamentales con un valor comercial de sus flores, como son *Zantedeschia aethiopica* (Vera-Puerto et al., 2021), *Canna* spp. e *Iris* spp. (Morales et al., 2013), entre otras.

La selección de las plantas depende del tipo de sistemas de humedales construidos, los sustratos, el tipo de aguas residuales, la viabilidad de las plantas locales y la temperatura. La materia orgánica del suelo juega un papel importante en el crecimiento de las plantas. La densidad de la vegetación (números por área cuadrada) depende del área de medios de filtro disponible (Kumar et al., 2022).

El papel de los humedales en el tratamiento de aguas

En las últimas décadas el tratamiento del agua residual es muy importante, ya que de esta manera se tendría un manejo sustentable del recurso hídrico. Los humedales construidos se están convirtiendo

en sistemas costeables y eficientes para el tratamiento de aguas residuales provenientes de diferentes fuentes. En la actualidad estos sistemas pueden mejorar la calidad del agua, los ingenieros y científicos los construyen con diferentes configuraciones, con tal de encontrar los mejores por cientos de remoción de los diferentes contaminantes del agua. La finalidad de los Humedales Construidos, es la de obtener agua, con una calidad superior a la que se introdujo en el sistema. La tecnología de humedales puede proporcionar un tratamiento de aguas residuales económico y efectivo tanto en climas templados como tropicales, y es adecuada para su adopción tanto en países industrializados como en vías de desarrollo.

Conclusiones

Los humedales construidos son sistemas que remueven contaminantes por medio de un sustrato, plantas y diferentes mecanismos de ellas. La construcción y operación de Humedales Construidos es una opción viable como herramienta para la limpieza de las aguas residuales, de esta manera pue-

den ser reutilizadas o bien depositadas a cuerpos de agua con la certeza de que poseen una buena calidad y no dañarán el ecosistema. ♦

Bibliografía consultada

- Belmont, M., Cantellano, E., Thomps, S., Williamson, M., Sánchez, A., Metcalfe, C. (2004). Treatment of domestic wastewater in a pilot-scale natural treatment system in central Mexico. *Ecological Engineering*. 23:299-311.
- Choi, J., Geronimo, F.K.F., Park, B., Hong, J., Kim, L.H. (2018). Formulation of design guidelines for the cost-effectiveness of constructed wetlands in improving water quality. *Desalination and Water Treatment*. 101:108-115.
- Delgadillo, O., Camacho. A., Pérez, L.F., Andrade, M. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA). Consultado el 1 de diciembre de 2022 <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>.
- Hdidou, M.; Necibi, M.C.; Labille, J.; El Hajjaji, S.; Dhiba, D.; Chehbouni, A.; Roche, N. (2022). Potential Use of Constructed Wetland Systems for Rural Sanitation and Wastewater Reuse in Agriculture in the Moroccan Context. *Energies*. 15, 156.
- Jethwa, B.K. y Bajpa, S. (2016). Role of plants in constructed wetlands (CWS): a review. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*. 2, 4-10.
- Kumar, S.A., Bajpai, S., Ahmad I. (2022). Various Types of Constructed Wetland for Wastewater Treatment- A Review. *Earth and Environmental Science*. 1032, 012026.
- Magwaza, S.T., Magwaza, L.S., Odindo, A.O., Mditshwa, A. (2020). Hydroponic technology as decentralized system for domestic wastewater treatment and vegetable production in urban agriculture: A review. *Science of the Total Environment*. 698:134154.
- Morales, G., López, D., Vera, I., y Vidal G. (2013). Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas. *Theoria*. 22 (1): 33-46.
- Norton, S.A. (2007). Removal Mechanisms in Constructed Wastewater Wetlands. <https://www.engineering.iastate.edu/~tge/ce421-521/stephen.pdf>
- Qin, R. y Chen, Hong. (2016). The procession of constructed wetland removal mechanism of pollutants. 4th International Conference on Mechanical Materials and Manufacturing Engineering. Published by Atlantis Press.

Vera-Puerto, I., Rojas, L., Contreras, C., Zuñiga, F., López, J., Sangüesa, C., Correa, C., Arias, C., & Valenzuela, M. (2021). Evaluación de humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de aguas residuales rurales en la Región del Maule: análisis del potencial de reutilización de sus efluentes en riego. *Aqua-LAC*, 13(2), 26-41.

Vymazal, J. (2008). Encyclopedia of Ecology || *Constructed Wetlands, Surface Flow*. 765-776. [doi:10.1016/b978-008045405-4.00079-3](https://doi.org/10.1016/b978-008045405-4.00079-3)

GESTIÓN INTEGRAL DE DISEÑO, SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA COMO MODELO DE PREVENCIÓN EN LA CIUDAD COSTERA

JORGE LÓPEZ
CONSULTOR INDEPENDIENTE



Resumen

Los fenómenos hidrometeorológicos tienen efectos en la ciudad costera debido a la exposición ante el riesgo de sus habitantes; los programas reactivos hacia la gestión del riesgo son insuficientes para proteger el territorio urbano. Es necesario consolidar, desde la prevención, estrategias integrales cuyo objetivo sea incluir la complejidad del entorno natural y su capacidad para reducir el impacto que los fenómenos provocan sobre las comunidades. Las políticas preventivas no están consolidadas, se prioriza una visión de manejo hacia la emergencia, las inversiones en atención de desastres se enfo-

can en resolver la emergencia y la recuperación, las acciones en prevención son limitadas. Se requiere un abordaje desde la configuración de un modelo de decisión y establecer indicadores para intervenir el territorio con acciones basadas en la naturaleza. Esta vía fortalecerá la toma de decisiones en las diferentes etapas de un desastre, más estrategias de prevención, menos inversión para enfrentar la emergencia.

Palabras clave: urbanismo, gestión integral de diseño, inundaciones, planificación, prevención de riesgos

Introducción

Los efectos destructivos causados por las amenazas hidrometeorológicas al territorio mexicano y, en particular, al estado de Veracruz, se insertan en los procesos de construcción del riesgo, estos son asociados al calentamiento global, vulnerables a las características del territorio y a las formas en que se habita.

La ciudad de Veracruz se encuentra expuesta a los efectos de amenazas como las tormentas tropicales y frentes fríos. Cada año lluvias e inundaciones generan situaciones de emergencia; la acción de las autoridades ha evitado muertes mediante la gestión correctiva en contingencia, sin embargo, los costos por la recuperación de los daños son altos.

La tendencia muestra que los gobiernos se han enfocado en la generación de mecanismos de recolección de capital para financiar la recuperación y reconstrucción de un eventual impacto en las ciudades. Con base en datos del PNUD (2014), se indica que los desastres han generado grandes costos económicos en el periodo del 2005 al 2012, donde más de 240 mil personas murieron debido a un desas-

tre, sumando pérdidas económicas por más de 85 mil millones de dólares estadounidenses y más de 57 millones de afectados; estos datos indican que además de la voluntad de la población para prepararse ante los riesgos, se requiere alto capital financiero que evite colapsos en los sistemas sociales y económicos que rigen la actividad cotidiana de la comunidad. La respuesta recae en generar acciones desde la prevención para reducir muertes y costos de recuperación.

Modelos de gestión de riesgo

La experiencia adquirida en la gestión resalta la necesidad de acciones de mitigación, sin embargo, deben llevarse a cabo con una perspectiva integral. Esta condición implica identificar los factores de relevancia dentro del proceso de desarrollo de modelos de prevención aplicables en un territorio bajo constante transformación, los medios para su instrumentación y aplicación, además del desarrollo de esquemas de evaluación para construir nuevos aprendizajes fundamentados en el conocimiento científico.

Un modelo de decisión consiste en una serie de abstracciones de la realidad, donde se plantea un objetivo en específico, aunque no necesariamente contiene elementos de dicha realidad; de acuerdo a Enrique Yacuzzi (2007, p.4): “La decisión es la selección de un camino ante una variedad de opciones y es, entonces, el resultado del pensamiento”

El riesgo se conforma por la interacción de dos factores dentro de un tiempo y territorio específicos: las amenazas y las vulnerabilidades sociales; su relación es dialéctica y dinámica, cambiante y cambiante. Estos cambios surgen por la dinámica entre la naturaleza y la sociedad (Lavell, 2000). La vulnerabilidad no tiene origen

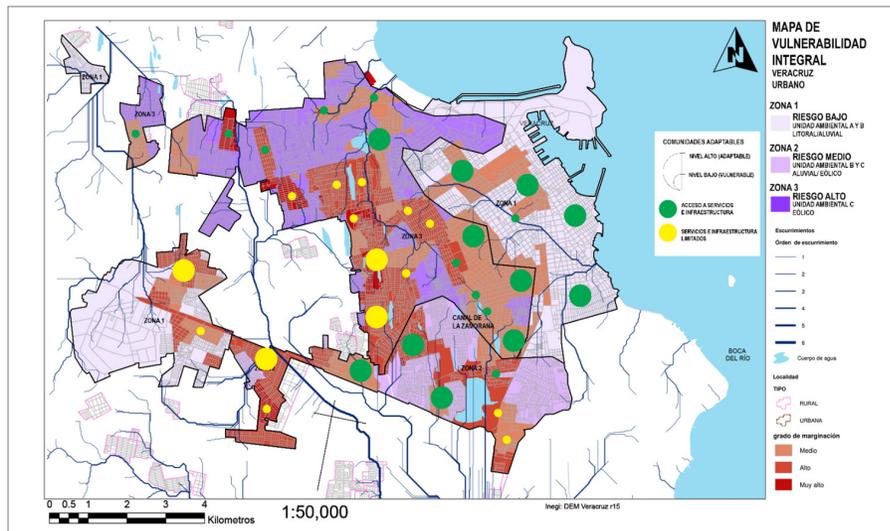


Imagen 1. Mapa de vulnerabilidad integral del riesgo en la ciudad de Veracruz. Elaboración propia.

en la amenaza, sino en la forma en que la sociedad ocupa el territorio al que esta impacta.

El riesgo en Veracruz

Para entender la dinámica del riesgo en Veracruz, se realizó una modelación de mapas del territorio a partir de información estadística de

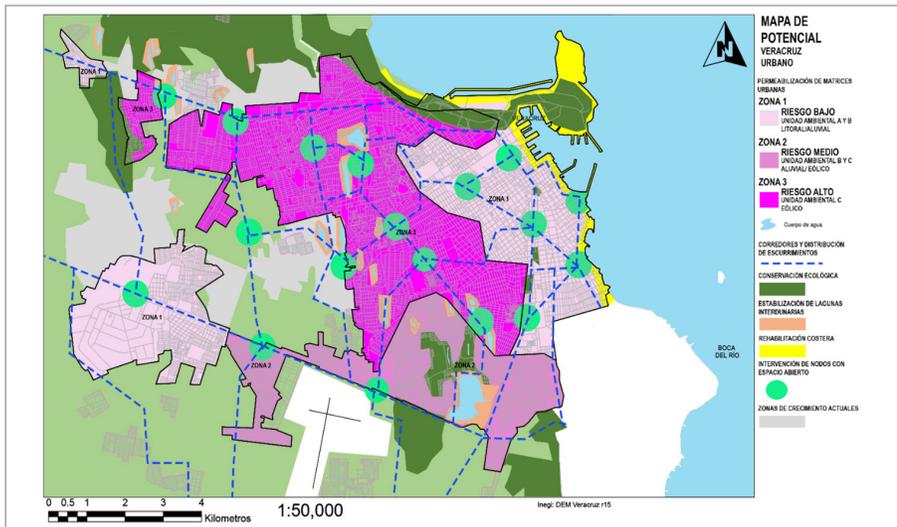


Imagen 2. Mapa de potencial de intervención en la ciudad de Veracruz.

Elaboración propia.

las cartas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estos mapas de análisis contienen la información vigente sobre los atlas de riesgo y la morfología del territorio, se incluyeron aspectos de vulnerabilidad física, social y aspectos morfológicos que permiten localizar tres zonas de riesgo, identificando grupos vulnerables y distinguiendo asentamientos adap-

tados ante las amenazas en materia hidrometeorológica. Véase imagen 1.

Se pondera cartografía para determinar el potencial y así establecer medidas de mitigación del riesgo, con acciones enfocadas a cada zona de riesgo, que detonen estrategias mediante las soluciones basadas en la naturaleza. Véase imagen 2.

Modelo de gestión integral de diseño

Los componentes del modelo se deben vincular a través de una batería de indicadores de gobernabilidad, donde cada fase esté asociada con un indicador, para medir y evaluar las decisiones que se generen para la gestión del riesgo. Véase imagen 3.

FASES DEL MODELO	INDICADORES
Caracterización de factores de riesgo en el territorio	Conocimiento del riesgo
Seguimiento de amenazas sobre el sitio	
Diagnóstico del territorio expuesto y comunidad vulnerable	Medidas de reducción del riesgo
Estrategias de gestión integral del diseño urbano	
Medios de instrumentación del modelo	Capacidad de organización institucional
Lineamientos de evaluación del modelo	Coordinación interinstitucional

Imagen 3. Batería de indicadores asociados a las fases del modelo de prevención de riesgo.

En la estructura del modelo de decisión se propone una secuencia de seis etapas, a través del análisis de los fenómenos, el territorio y las comunidades que la habitan, con herramientas para identificar la vulnerabilidad integral en el territorio y acciones clave para mitigar el riesgo. Véase imagen 4.

Una vez definida la estructura del modelo de decisión se cuenta con elementos más rigurosos para establecer un marco de acción dentro de la gestión integral de diseño, lo cual permite diseñar estrategias de mitigación y prevención del riesgo.

Para delimitar las acciones se incorpora la herramienta de las soluciones basadas en la naturaleza, estrategias que incorporan la complejidad de los ecosistemas y los beneficios que aportan sus servi-

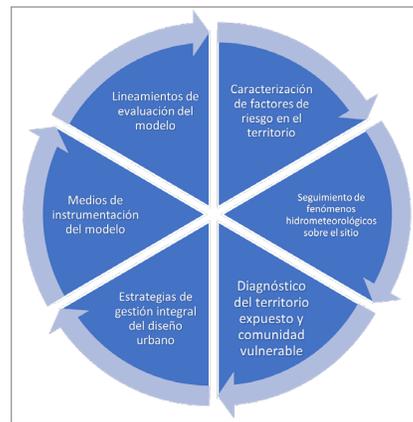


Imagen 4. Modelo integral de prevención de riesgos hidrometeorológicos.

cios ambientales. Este enfoque asocia la necesidad de reducir riesgos y desastres mediante la integración de los sistemas en los procesos de diseño, con base en integrar la naturaleza como un actor principal en la toma de decisiones (IUCN, 2020).

Estrategias en humedales		
Impacto a mitigar	Medida basada en la naturaleza	Propuesta
Inundaciones y aumento de especies invasoras por lluvias extremas, altas temperaturas, intensidad y severidad de tormentas.	Remediación de humedales	Plantación de especies con mayor resistencia a cambios de temperatura, promover el crecimiento de especies diferentes, raíces profundas, satisfacer necesidades locales.
	Protección de humedales	Localización de zonas de uso múltiple y sitios restringidos de protección de áreas de importancia ecológica.
Estrategias en ciudades y zonas urbanas		
Impacto a mitigar	Medida basada en la naturaleza	Propuesta
Inundaciones y erosión de suelo por lluvias intensas y tormentas frecuentes y severas. Olas de calor y sequías resultado de la reducción de la cubierta vegetal y precipitaciones variables.	Reforestación urbana	Plantación de especies arbóreas resistentes al clima y estabilización del suelo y plantas de usos múltiples a lo largo de carreteras.
	Creación de espacios verdes urbanos	Plantación de árboles, parques y jardines para aumentar la capa vegetal reduciendo los efectos de las islas de calor.
	Designación de zonas de manejo del riesgo de inundación	Establecer y gestionar la vegetación de la zona de amortiguamiento alrededor de las vías fluviales a los edificios en zonas de riesgo de inundación.
Estrategias en zonas costeras		
Impacto a mitigar	Medida basada en la naturaleza	Propuesta
Aumento del nivel del mar, inundaciones, erosión en costas, e intrusión salina resultante del aumento de las temperaturas y fuertes marejadas.	Rehabilitación de popales, humedales y manglares	Establecer zonas de recuperación con viveros y áreas de reforestación.
	Estabilización de playas y dunas	Plantación en dunas con especies resistentes a cambios del clima para recuperación y fijación dunaria.
	Rehabilitación de zonas arrecifales	Restauración, crianza y trasplante de arrecifes de coral.

En cada caso se introduce características del ecosistema, incluyendo dinámicas de degradación típicas que contribuyen a vulnerabilidad socio-ecológica y los efectos por la exposición a riesgos (UNEP-WCMC, 2019).

Estos elementos que intervienen el entorno urbano coadyuvan en la consolidación de barreras de protección ante amenazas como las inundaciones, los frentes fríos y fenómenos de tipo hidrometeorológico que afectan a las comunidades constantemente.

Conclusiones

Con la construcción del modelo de prevención se cumple con el propósito de este proyecto de investigación, generar una base para nuevas propuestas académicas, siempre incentivando la visión del manejo de los riesgos desde la prevención como eje central para reducir y mitigar las condiciones de exposición de las ciudades costeras.

La prevención es una herramienta significativa que coadyuva en la reducción del riesgo, al mismo

tiempo que mejora las capacidades y competencias para responder ante un desastre, generando escenarios proclives a la adaptación y resiliencia. ♦

Referencias bibliográficas

IUCN. (2020, 12 20). Ecosystem management. Retrieved 2 10, 2021, from Five reasons why ecosystems are central to disaster risk reduction: <https://www.iucn.org/theme/ecosystem-management/our-work/environment-and-disasters/about-ecosystem-based-disaster-risk-reduction-eco-drr/five-reasons-why-ecosystems-are-central-disaster-risk-reduction>

Lavell, A. (2000). Desastres y desarrollo: hacia un entendimiento de las formas de construcción social de un desastre. El caso del huracán Mitch en Centroamérica. RED, Panamá

PNUD. (2014). Gestión de riesgo de desastres. CPR, Panamá

UNEP-WCMC. (2019). EbA measures in context: understanding degradation dynamics: briefing note 3. ONU, New York

Yacuzzi, E. (2007) Un panorama de los modelos de decisión, Documentos de trabajo no. 358, Universidad del Cema, Argentina

LINEAMIENTOS GENERALES DE DISEÑO PARA LA PROTECCIÓN Y RESTAURACIÓN DE LA VEGETACIÓN EN LAS ZONAS URBANO-COSTERAS DE TULUM, QUINTANA ROO A PARTIR DE LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA Y EL PAISAJE

LAURA JALOMA LÓPEZ, MARIELA MARTÍNEZ ÁLVAREZ, ROSA MICHELLE MEZA PAREDES, ENRIQUE SOTO ALVA
AGENCIA ALEMANA PARA LA COOPERACIÓN INTERNACIONAL (GIZ)



Resumen

El actual modelo de desarrollo de la zona del Caribe, así como del área urbano-costera de Tulum pone en riesgo la calidad de sus aguas, la existencia de sus ecosistemas naturales y, con ello, los beneficios ambientales brindados. En este documento se proponen lineamientos generales que plantean la permanencia y continuidad de los servicios ecosistémicos con la finalidad de brindar herramientas que puedan servir como guía para la toma de decisiones que fomenten el bienestar integral para los humanos, los ecosistemas aprovechados, las áreas de conservación y protección, así como aquellas

sobre las cuales ha habido sobreexplotación de los recursos y requieren restauración.

Introducción

Las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) surgen desde las iniciativas internacionales como una posibilidad para contrarrestar los efectos adversos de las intervenciones humanas sobre el medio natural imitando las dinámicas de la naturaleza.

Definidas como acciones que protegen, gestionan de forma sostenible y restauran los ecosistemas naturales o modificados; las SBN abordan

retos sociales a la vez que proporcionan bienestar humano y beneficios para la biodiversidad (UNDRR,2021).

El presente artículo presenta una serie de lineamientos generales de diseño a partir de las SBN; dichas propuestas fueron planteadas a partir del análisis y entendimiento de los ecosistemas naturales existentes en el municipio de Tulum y de otras dinámicas naturales regionales.

Los ejes que dirigen dichos lineamientos son: biodiversidad, manejo del agua y habitabilidad, cuya visión territorial se delimita por el eje transversal del patrimonio biocultural de la región maya.

Soluciones Basadas en la Naturaleza y el Paisaje

Para el establecimiento de los lineamientos generales de diseño, se realizó un abordaje multiescalar. En este sentido, desde la escala general, las consideraciones tomadas fueron la previsión de los efectos del cambio climático, el funcionamiento y estado de los ecosistemas naturales, la pérdida forestal, el sistema hídrico, el tipo de suelo y roca, los centros

turísticos y de población, la infraestructura existente, las dinámicas económicas y de cambio de uso de suelo. El propósito fue la creación de insumos que permitan orientar sobre la conservación, protección, restauración y mejora de las áreas naturales y sus servicios ecosistémicos.

Por su parte, desde la escala local, se consideró el estudio de las comunidades vegetales y las posibles alternativas para permitir que los ecosistemas cohabiten con los entornos humanos. Las acciones determinadas para esta escala arrojan lineamientos para el diseño a escala local que promuevan la biodiversidad a través de la conectividad entre áreas naturales y verdes, el manejo del agua y la habitabilidad, estos conceptos vistos como ejes se ven, a su vez, atravesados por el patrimonio biocultural de la región maya. *Ver gráfico 1.*

Protección, conservación, restauración y mejora de los ecosistemas naturales

Las SBNyP deben ser congruentes con los sistemas naturales existentes. Para ello es necesario tener en cuenta, primero, la proporción de los ecosistemas

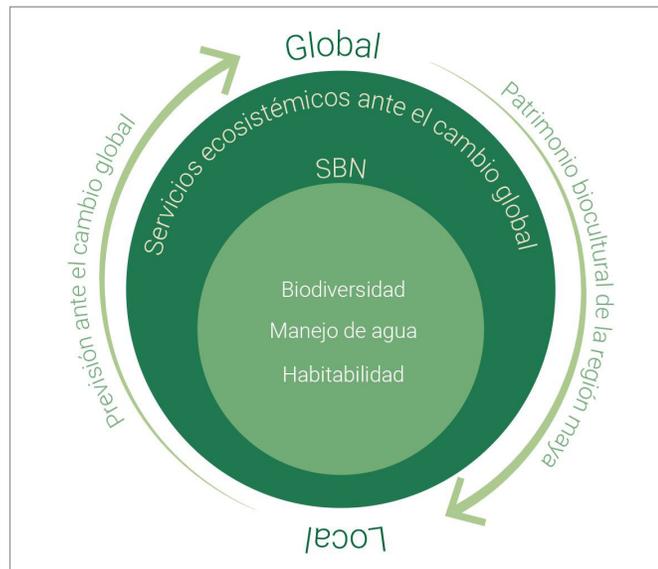


Gráfico 1.

en el territorio, es decir, su porcentaje de superficie actual y previa a los cambios de uso de suelo, y segundo, el papel de los ecosistemas en el equilibrio ecológico de la zona urbano-costera de Tulum.

Los principales ecosistemas naturales contenidos en el municipio de Tulum son el manglar, el

tular, la duna costera, y la selva que se presenta de manera diversa como selva baja subcaducifolia, selva mediana subperennifolia, selva mediana espinosa y selva mediana subcaducifolia. Ver tabla 1.

Tabla 1. Ecosistemas y otros usos de suelo del municipio de Tulum.

Tipo	Superficie Km2	Porcentaje %
Selva baja subcaducifolia	41.6	2.0
Selva mediana subperennifolia (incluye selva mediana espinosa)	1697.73	81.2
Selva mediana subcaducifolia	29.76	1.4
Manglar	40.9	2.0
Tular	26.97	1.3
Dunas costeras	7.09	0.3
Asentamientos humanos	27.7	1.3
Agricultura de temporal	81	3.9
Pastizal cultivado	23.43	1.1
Otros	114.02	5.5
Total del municipio	2090.43	

Fuente: Elaboración propia a partir de USV. serie VII, INEGI.

Con datos del programa *Global Forest Change* (University of Maryland, s. f.), se realizó un análisis de la pérdida de cobertura forestal del periodo comprendido entre 2000 y 2021, el cual mostró una tendencia de incremento en la pérdida y la degradación de la cobertura ocasionada por presiones de origen antrópico.

Como primer ejercicio de abordaje se determinaron esquemas generales de acción para la conservación, protección, restauración y mejora de los ecosistemas naturales. Dichas políticas derivadas de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental se definen como:

Protección	Áreas donde se presentan elementos para el control del deterioro de los elementos naturales que aún hacen posible su recuperación a través de estrategias de remediación.
Restauración	Áreas donde se aplica un conjunto de actividades tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales.
Conservación	Áreas donde se busca regular y reducir considerablemente el daño de las actividades humanas que ocasionan a los ecosistemas naturales, impactando en la biodiversidad y el equilibrio biótico.
Mejoramiento	Áreas definidas en la Zonificación Primaria y Secundaria del Programa Municipal de Desarrollo Urbano (en su caso).

Ver mapa 1 y mapa 2.

Criterios generales de diseño por ejes

La determinación de los criterios generales de diseño fue dada a partir de tres ejes, establecidos de acuerdo con las SBN, para la escala local: biodiversidad, manejo del agua y habitabilidad.

Biodiversidad

El objetivo de este eje es el fortalecer y restablecer los corredores biológicos antes existentes en las zonas naturales, rurales y urbanas para generar corredores que conecten las diferentes Áreas Naturales Protegidas con el resto de las zonas con una categoría de protección o sin ella para el mantenimiento de los sistemas ecológicos del

solares mayas cuentan, proporcionan un excelente ejemplo de cómo utilizar los predios sin comprometer las funciones ecológicas. Ver gráfico 2.

Manejo del agua

De acuerdo con este eje, se debe priorizar la integridad de los flujos hídricos, tanto subterráneos como superficiales, no establecer infraestructura ni construcciones sobre estos, ya que el suelo kárstico permite la infiltración de líquidos superficiales a los ríos subterráneos, cenotes y lagunas que a su vez desembocan en el mar.

Como criterios generales se debe contemplar lo siguiente:

- Eliminar descargas al suelo y subsuelo



Gráfico 2.

- Diseñar estrategias para captura de contaminantes en las áreas encharcadas y áreas pavimentadas
- Establecer una mayor superficie de áreas permeables con vegetación preferentemente nativa
- Conservación y restauración de la vegetación de mangle y duna costera para la protección de sus cuerpos de agua
- Manejo de residuos a través de baños secos o biodigestores

- En ríos subterráneos, cenotes y lagunas, establecer áreas de amortiguamiento alrededor de éstos con vegetación nativa que coadyuve a mantener la calidad del agua

Ver gráfico 3.

Habitabilidad

Para hacer que las áreas públicas cuenten con un mayor uso, se retoma el concepto de habitabilidad. El clima en el estado de Quintana Roo se define como cálido subhúmedo; la temperatura media anual es de 26°C y se percibe un alto porcentaje de humedad. Con lo anterior, se debe considerar la generación de microclimas para brindar condiciones de confort térmico.

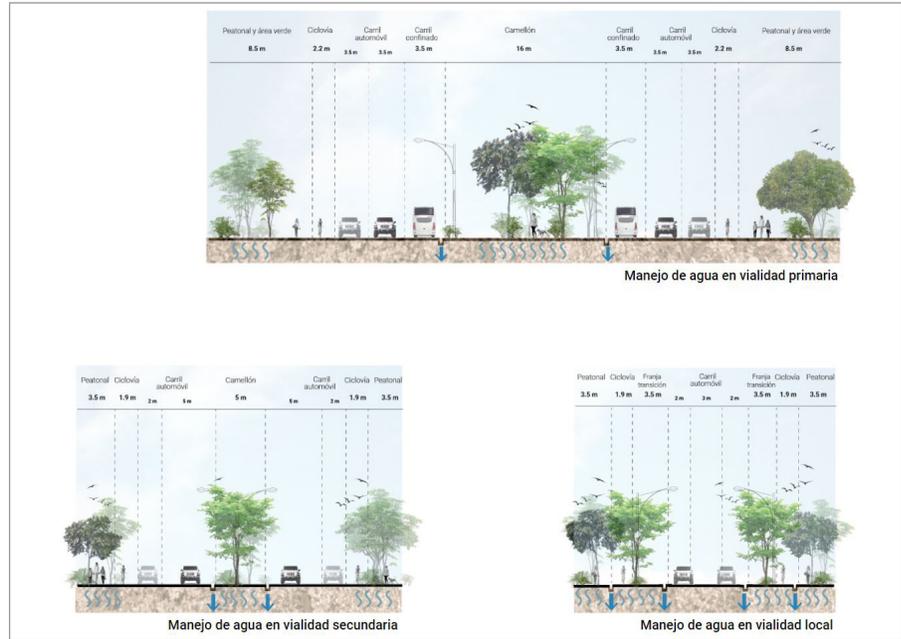


Gráfico 3.

Para generar mejores condiciones de habitabilidad ante la radiación intensa, se debe promover la creación de sombras con vegetación que pueda ir asociada a otro tipo de cubiertas para la protección en tiempos de lluvia. La combinación de formas de vida entre sí; árbo-

les arbustos, herbáceas y trepadoras, se plantea como una estrategia ecológica, económica, estética que además coadyuva a bajar la temperatura y refrescar al usuario. Ver gráfico 4.

Conclusiones

Las Soluciones Basadas en la Naturaleza y el Paisaje se vuelven una herramienta básica para el abordaje de retos en diferentes escalas, en el caso de la escala local, se vuelve imperativo el entendimiento de los ecosistemas naturales insertos en el territorio, sin olvidar el papel que estos cumplen en las dinámicas regionales o en sistemas de otras escalas. Proponer principios y lineamientos de diseño fundamentados en las SBNyP puede ayudar a desvanecer los

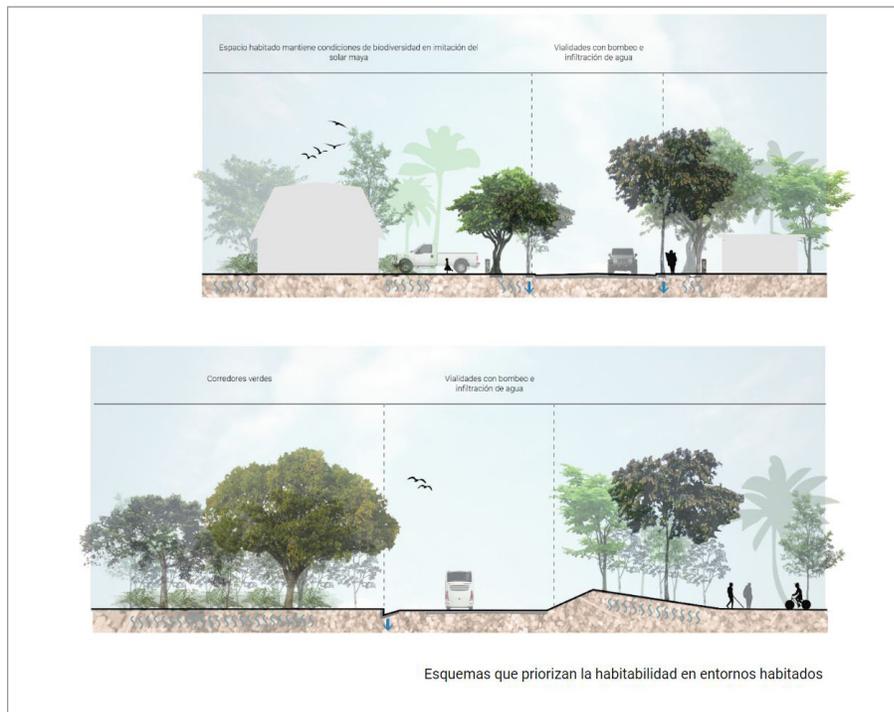


Gráfico 4.

límites rígidos que existe entre los medios natural y artificial, y lograr el funcionamiento sistémico de los patrones naturales. La propuesta de

organizar los espacios de acuerdo a los ejes de biodiversidad, manejo del agua y habitabilidad supone la búsqueda de la integración de los espacios urbanos a la participación.

La biodiversidad presente en el municipio de Tulum, tanto en su parte continental como en la oceánica brinda grandes alternativas para convertir el diseño urbano en una herramienta de mitigación de los efectos del cambio climático y además de perpetuar el patrimonio biocultural maya. 💡

El trabajo presentado fue elaborado con el financiamiento de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Cto. 07-22_BIOCITIS para la "Consultoría para elaborar un manual didáctico donde se definan aspectos de ordenamiento y criterios generales de diseño a escala local para la zona urbano-costera de Tulum y diseño de paleta vegetal".

Fuentes consultadas

Ayllón Trujillo, M. T., & Nuño Gutiérrez, M. R. (2008). El sistema casa o solar y la ordenación territorial de las familias: aplicación de la teoría de sistemas a escala micro social. *Redes. Revista do Desenvolvimento Regional*, 13(2), 261-288.

Colectivo Suumil Mook't'an. (2022). Solar Maya. <https://suumilmooktaan.org/solar-maya-suumil/>

Ramírez, B. (2021). En Filipe Narciso, C., & Meza Paredes, R. M. *Paisaje, ordenamiento y sustentabilidad. Diálogos multidisciplinares con la Arquitectura de Paisaje* [Libro electrónico] (1.a ed.). https://arquitectura.unam.mx/uploads/8/1/1/0/8110907/paisaje_ordenamiento_y_sustentabilidad_1.pdf

UNDRR (2021). *Words into Action: Nature-based Solutions for Disaster Risk Reduction. Engaging for resilience in support of the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. <https://www.undrr.org/words-action-nature-based-solutions-disaster-risk-reduction>

University of Maryland. Department of Geographical Sciences. (s. f.). *Global Forest Change*. <https://glad.earthengine.app/view/global-forest-change>



SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA: SOLUCIÓN BASADA EN LA NATURALEZA PARA EL ABASTO HÍDRICO URBANO EN ACAPULCO, GUERRERO

MARIANA MARTÍNEZ CASTREJÓN

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA. ARQUITECTURA. TecNM-ACAPULCO

AMÉRICA LIBERTAD RODRÍGUEZ HERRERA

CENTRO DE CIENCIAS DE DESARROLLO REGIONAL,
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

OSBELIA ALCARAZ MORALES

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

GIOVANNI HERNÁNDEZ FLORES

CONACYT-ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS DE LA TIERRA,
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

ARTÍCULO

Resumen

A nivel mundial, la mayor proporción de habitantes se establece en zonas urbanas buscando una mejor calidad de vida. Este fenómeno implica un aumento en la demanda del recurso hídrico y compromete el abasto de agua en cantidad y de calidad. Ante el estrés hídrico que se vive; la lluvia podría ser pronto la única fuente de agua de buena calidad

de la humanidad en aquellas ciudades donde llueve suficiente y no presentan problemas de contaminación atmosférica. Los sistemas de captación de agua de lluvia son parte de las soluciones basadas en la naturaleza y el paisaje para la gestión del agua. La captación pluvial consiste en recoger y almacenar la lluvia para ser aprovechada por la sociedad o condu-

cida para recargar mantos acuíferos. Esta tecnología, desarrollada por los Mayas ha probado ser una solución ancestral para el abasto hídrico sustentable.

Introducción

Globalmente, más del 40% de la población se enfrenta a la escasez hídrica (ONU, 2016). Esta situación se debe a los efectos del cambio climático, el incremento poblacional y el uso insostenible del agua (Khatri *et al.*, 2018). Se estima que la escasez hídrica incrementa para 2050 cuando al menos una cuarta parte de la humanidad habite zonas de escasez crónica aguda de agua dulce (ONU, 2018). El suministro hídrico moderno se ve dominado por infraestructura centralizada de gran escala, que extrae intensivamente grandes volúmenes de agua de los cuerpos naturales *i.e.*, ríos, arroyos, lagos, embalses y acuíferos. El agua extraída es tratada y entregada a la población en una sola calidad a través de una intrincada red subterránea recorriendo invisible las ciudades y que presenta vulnerabilidades de carácter social, económicas y ambientales (O'Hogain y McCarton, 2018). Ante la presión social

hacia los gestores municipales de agua por la satisfacción de la creciente demanda y las limitaciones de la actual infraestructura hídrica urbana, se plantea el abasto mediante fuentes de agua no convencionales y descentralizadas como los sistemas de recuperación de efluentes residuales y los sistemas de captación de agua de lluvia (*SCALLs*) (Gómez-Monsalve *et al.*, 2022).

Sistemas de captación de agua de lluvia

Los *SCALLs* son soluciones basadas en la naturaleza (*SbN*) para el abasto hídrico de origen ancestral. En México, el antecedente más antiguo del que se tiene registro es el chultún maya; por lo que su implementación contemporánea constituye una estrategia de recuperación de saberes ancestrales. En el futuro próximo, las *SbN* serán un componente integral de la infraestructura hídrica hibridando instalaciones convencionales (grises) y “verdes”, contribuyendo a su flexibilidad y resiliencia (Mulligan *et al.*, 2019). Este planteamiento debe considerar aspectos particulares como la calidad y cantidad de las precipitaciones, calidad de la atmós-

fera, aceptación social de la tecnología y del recurso cosechado, así como las limitaciones de los organismos operadores responsables del abasto hídrico (Martínez-Castrejón *et al.*, 2022).

Hasta la fecha, los beneficios ambientales, sociales y económicos de una infraestructura híbrida que combine medidas para almacenar, reutilizar y disipar lentamente el agua de lluvia, mitigando inundaciones y ayudando a conservar el valioso recurso hídrico, se consideran una aspiración (Mulligan *et al.*, 2019) (Figura 1).

El agua en Acapulco

De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2018), una forma de medir la sostenibilidad de

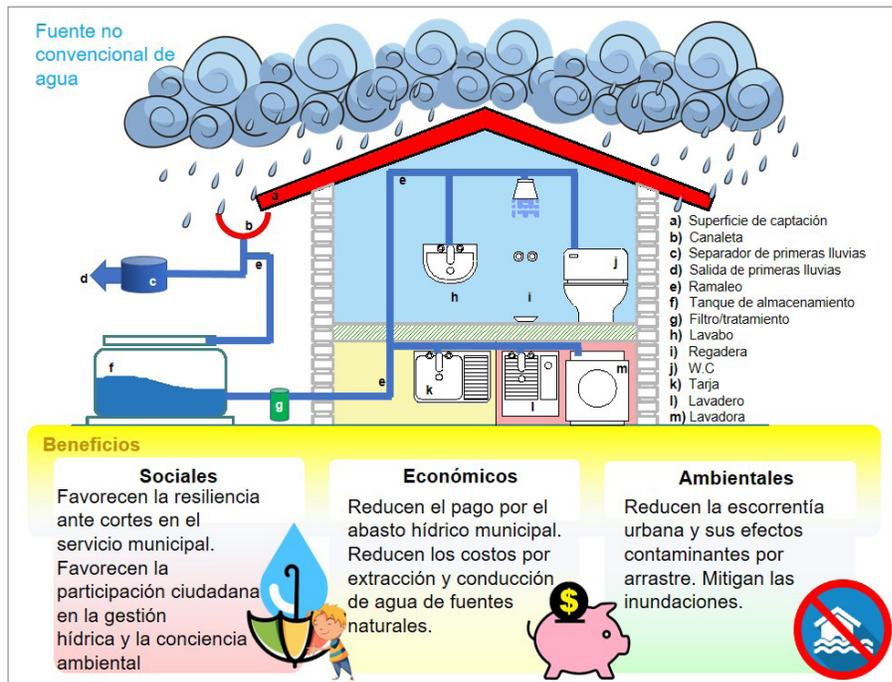


Figura 1. Sistemas de captación de agua de lluvia y sus beneficios.

la extracción de agua es el grado de presión de los recursos hídricos (*GPRH*). Este indicador es un cociente expresado en porcentaje de la extracción del recurso entre el agua naturalmente renovable; mien-

tras más alto sea el porcentaje resultante, peor será la situación de sobreexplotación. El *GPRH* es heterogéneo dentro del país debido a la abundancia natural del recurso hídrico, la capacidad de extracción y la demanda social de agua, factores que dependen de las particularidades ambientales, sociales y económicas de cada territorio (Figura 2).

Acapulco consume entre 20 y 40% más agua de la que el ambiente es capaz de recuperar, es decir, tiene un *GPRH* medio-alto a pesar de estar ubicado en una región de bajo *GPRH*. Esta condición tiende a agravarse debido al constante incremento poblacional de la ciudad y su desarrollo desordenado hacia las zonas altas del territorio,

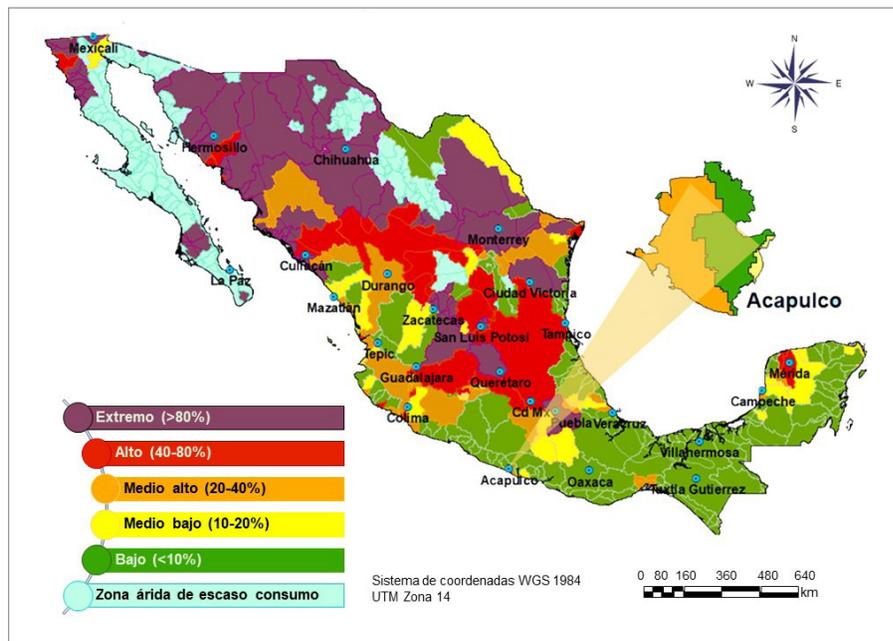


Figura 2. Grado de presión del recurso hídrico en México.

donde el abastecimiento por gravedad es un reto para la infraestructura hidráulica centralizada (Padilla y Sotelo y de Sicilia, 2022). En Acapulco, el suministro de agua es responsabilidad de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Acapulco (*CAPAMA*). La *CAPAMA*

suministra agua extraída en su mayor parte del río Papagayo mediante una toma situada a ~45 km de la planta potabilizadora de la ciudad; a través de una red de tuberías subterráneas e instalaciones de bombeo y almacenamiento que alcanzan los 439 metros sobre el nivel del mar, y de alto consumo energético (CAPAMA, 2021). Esta infraestructura ha alcanzado su vida útil, presenta importantes signos de deterioro, es susceptible a colapsos, fugas y es insuficiente para abastecer equitativamente a la población total.

En este importante puerto turístico, la temporada pluvial se presenta de mayo a noviembre, coincidentemente con la temporada vacacional más larga

Tabla 1. Clasificación de la problemática hídrica en el municipio de Acapulco durante la temporada pluvial 2022 reportada por medios locales.

Carácter del problema	Encabezado/Cintilla	Ref.
Económico	Por fugas CAPAMA suspende bombeo en sistema Papagayo II/ El desabasto del vital líquido será por 48 horas y afectará colonias de la zona conurbada	(a)
Ambiental	Suspende CAPAMA bombeo de agua por turbiedad/ La lluvia de este martes, provocó un aumento en el arrastre de lodo en el río Papagayo	(b)
Social	Suspenden el suministro de agua en Acapulco/ Ante la toma del Sistema de Captación Papagayo II por campesinos de Cacahuatpec, trabajadores de la CAPAMA apagaron los 11 equipos de bombeo	(c)
Económico	Expone director de CAPAMA situación actual del organismo a integrantes de la Canaco - Servytur/ Anuncian firma de un convenio para que los empresarios se regularicen de sus adeudos.	(d)
Económico	Acapulco necesita 5 mil mdp para resolver el problema del agua/ Actualmente, la CAPAMA tiene un déficit de más de dos mil litros por segundo en el suministro de agua potable	(e)
Social / Económico	En recorrido de atención ciudadana, personal de CAPAMA detecta tomas clandestinas y viviendas que no pagan el agua/ En recorrido de atención ciudadana, personal de CAPAMA detecta tomas clandestinas y viviendas que no pagan el agua.	(f)
Social / Económico	Modernización de la captación de agua debe ser prioridad/ El gobierno municipal da preferencia al sector hotelero y empresarial, relegando a las familias en colonias populares, critican líderes sociales	(g)

Ref: Referencia; CAPAMA: Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco; CANACO-Servytur: Cámara Nacional de Comercio y Servicios Turísticos; (a) Hernández, 2022a; (b) Hernández, 2022b; (c) Covarrubias, 2022; (d) CAPAMA, 2022a; (e) Hernández, 2022c; (f) H. Ayuntamiento Constitucional de Acapulco, 2022; (g) Celso Castro, 2022.

del año y es cuando Acapulco es más susceptible al desabasto hídrico, siendo la población más vulnerable la que reciente más crudamente la escasez. En la Tabla 1 se resume la problemática del abasto de agua potable en la ciudad. Es importante notar que los problemas denunciados son de carácter económico, social y ambiental.

La solución que cae del cielo

Martínez-Castrejón *et al.* (2022) reportaron que el agua de lluvia de Acapulco es de calidad suficiente para los usos consuntivos típicos empleados por la población dentro del área geostadística básica 2736 (AGEB-2736). Además, indicaron que la precipi-

tación promedio es de 27 l/m². Los autores plantearon la posibilidad de captar el agua de lluvia en una vivienda unifamiliar aprovechando una porción de la losa de 29 m². El agua cosechada fue capaz de satisfacer los usos consuntivos secundarios de una familia típica por ~3 meses (Figura 3).

El agua de lluvia podría ser una fuente alternativa de abastecimiento, para la sociedad en general y para el organismo operador, quien pudiera captar el agua pluvial en las losas de sus tanques de almacenamiento.



Figura 3. Agua de lluvia colectada como fuente alternativa de abastecimiento.

Conclusiones

Los *SCALLs* pueden contribuir a la sustentabilidad hídrica del contexto urbano a través del suministro descentralizado del recurso, mejorando la gestión de las aguas pluviales, reduciendo el consumo eléctrico y las emisiones de efecto invernadero en comparación con los sistemas públicos, centralizados vigentes. Las afectaciones asociadas a la escorrentía pluvial también pueden reducirse con la implementación de *SCALLs*. La magnitud de los beneficios depende de las características de la infraestructura hídrica urbana existente y de los *SCALLs*, así como de las condiciones ambientales y socioculturales de cada territorio; mismas que deben estudiarse localmente.

El diseño de los *SCALLs* juega un papel preponderante; *i*) la capacidad del tanque de almacenamiento es una variable que impacta directamente la medición de la mitigación de la escorrentía, *ii*) la cantidad de agua susceptible a ser recuperada depende de la superficie de captación y de la capacidad de almacenamiento y *iii*) la calidad del agua recuperada se ve influenciada por los materiales

de construcción de los sistemas y por la situación ambiental local.

Los principales factores que limitan la implementación de los *SCALLs* son de origen económico, resaltando la importancia de incentivos financieros; de origen técnico, *i.e.*, falta de conocimiento técnico para su implementación y de carácter social, abriendo la oportunidad de mejorar la percepción social hacia la aceptación del agua de lluvia para usos consuntivos secundarios mediante la educación ambiental.

Bibliografía

CAPAMA. (2021). Infraestructura del organismo operador: CAPAMA. Recuperado de <https://www.capama.gob.mx/infraestructura>

CAPAMA. (2022a, 5 de octubre). Expone director de CAPAMA situación actual del organismo a integrantes de la Canaco – Servytur. Boletines. Recuperado de <https://www.capama.gob.mx/noticia/742>

CAPAMA. (2022b, 25 de octubre). Por cortes en línea de alta tensión de la CFE, CAPAMA detiene equipos de bombeo en Acapulco. Boletines. Recuperado de <https://www.capama.gob.mx/noticia/753>

Castro C. (2022, 16 de junio). Modernización de la captación de agua debe ser prioridad. El Sol de Acapulco. Recuperado de <https://www.elsoldeacapulco.com.mx/local/modernizacion-de-la-captacion-de-agua-debe-ser-prioridad-8446239.html>

Covarrubias A. (2022, 25 de junio). Suspenden el suministro de agua en Acapulco. El Sol de Acapulco. Recuperado de <https://www.elsoldeacapulco.com.mx/local/suspenden-el-suministro-de-agua-en-acapulco-8502191.html>

Gómez-Monsalve, M., Domínguez, I.C., Yan, Ward, S., Oviedo-Ocana, E.R. (2022). Environmental performance of a hybrid

rainwater harvesting and greywater reuse system: A case study on a high water consumption household in Colombia. *Journal of Cleaner Production* 345, 131125. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131125>

H. Ayuntamiento Constitucional de Acapulco. (2022, 3 de mayo) En recorrido de atención ciudadana, personal de CAPAMA detecta tomas clandestinas y viviendas que no pagan el agua. Sala de Prensa. Recuperado de <https://acapulco.gob.mx/2022/05/en-recorrido-de-atencion-ciudadana-personal-de-capama-detecta-tomas-clandestinas-y-viviendas-que-no-pagan-el-agua/>

Hernández E. (2022a, 16 de octubre). Por fugas CAPAMA suspende bombeo en sistema Papagayo II. El Sol de Acapulco. Recuperado de <https://www.elsoldeacapulco.com.mx/local/por-fugas-capama-suspende-bombeo-en-sistema-papagayo-ii-9045322.html>

Hernández E. (2022b, 12 de octubre). Suspende CAPAMA bombeo de agua por turbiedad. El Sol de Acapulco. Recuperado de <https://www.elsoldeacapulco.com.mx/local/suspende-capama-servicio-de-agua-en-la-ciudad-por-alta-turbiedad-9025259.html>

Hernández E. (2022c, 1 de julio). Acapulco necesita 5 mil mdp para resolver el problema del agua. El Sol de Acapulco. Recuperado de

<https://www.elsoldeacapulco.com.mx/local/acapulco-necesita-5-mil-mdp-para-resolver-el-problema-del-agua-8528568.html>

Khatri, K. B., Strong, C., Kochanski, A. K., Burian, S., Miller, C., & Hasenyager, C. (2018). Water Resources Criticality Due to Future Climate Change and Population Growth: Case of River Basins in Utah, USA. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(8), 04018041. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000959](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000959)

Martínez-Castrejón, M., Flores-Munguía, E.J., Talavera-Mendoza, O., Rodríguez-Herrera, A.L., Solorza-Feria, O., Alcaraz-Morales, O., López-Díaz, J.A. y Hernández-Flores, G. (2022). Water Efficiency Households Retrofit Proposal Based on Rainwater Quality in Acapulco, Mexico. *Water* 14, 18, 2927. <https://doi.org/10.3390/w14182927>

Mulligan, J., Bukachi, V., Clause, J. C., Jewell, R., Kirimi, F., y Odbert, C. (2019). Hybrid infrastructures, hybrid governance: New evidence from Nairobi (Kenya) on green-blue-grey infrastructure in informal settlements. *Anthropocene*, 100227. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2019.100227>

O'Hogain, S., y McCarton, L. (2018). Hybrid Infrastructure: Local, Regional and Global Potential of Nature-Based Solutions.

A Technology Portfolio of Nature Based Solutions, 105-113. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73281-7_6

ONU. (2016). Agua limpia y saneamiento: ¿Por qué es importante? https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/6_Spanish_Why_it_Matters.pdf

ONU. CEPAL. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40155.4>

Rodrigues de Sá Silva, A.C., Mendonça-Bimbato, A., Perrella-Balestieri, J.A. y NogueiraVilanova, M.R. (2022). Exploring environmental, economic and social aspects of rainwater harvesting systems: A review. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103475. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103475>

Padilla y Sotelo L.S & de Sicilia R.A. (2022). Territorial reconfiguration process of the port city of Acapulco, Mexico Proceso de reconfiguración territorial de la ciudad puerto de Acapulco, México. *Patryter*. 5,10. <http://dx.doi.org/10.26512/patryter.v5i10.41153>

SEMARNAT. (2018). Informe de la situación del medio ambiente en México. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, México.



Te invitamos a participar
en nuestra publicación digital

Impluvium

Con el tema:
**GESTIÓN INTEGRAL
DE SEQUÍAS**

Recepción de trabajos:
**DEL 13 DE FEBRERO
AL 7 DE ABRIL DEL 2023**

Consulta los detalles en:
www.agua.unam.mx/impluvium.html

De acuerdo con el Programa Hidrológico Intergubernamental, las sequías son fenómenos naturales de lenta evolución cuya duración puede variar entre un par de meses y extenderse por años, afectando desde pequeños territorios hasta abarcar incluso grandes cuencas transfronterizas. Según sus características, se habla de sequía meteorológica, agrícola, hidrológica o socioeconómica. Cada una de ellas está asociada a diferentes impactos en los recursos hídricos, los sistemas productivos, los ecosistemas y, por supuesto, las comunidades. Además, se relacionan directamente con la ocurrencia de incendios, olas de calor o proliferación de especies invasoras.

Entre 1995 y 2015, se calcula que 1,100 millones de personas se vieron afectadas y que, al menos, 22 mil personas fallecieron a causa de las sequías. Sin embargo, estas consecuencias se experimentan de manera diferenciada. Las regiones áridas y subtropicales son más propensas a la ocurrencia de este fenómeno, mientras que las mujeres y las niñas de los países en desarrollo sufren con mayor severidad las sequías por la persistencia de las históricas desigualdades de género.

Aunque las sequías se consideran fenómenos naturales, algunas actividades humanas han incrementado sus impactos. Por ejemplo, el cambio climático antropogénico ha alterado las sequías meteorológicas, en tanto que la modificación de los cauces de ríos o el cambio de uso de suelo incide directamente en las sequías hidrológicas.

Así, desde una perspectiva interdisciplinaria, este número de Impluvium busca conocer las experiencias locales, regionales y nacionales en la gestión integral de sequías. En particular, se esperan contribuciones que aborden alguno de los siguientes temas:

- Predicciones meteorológicas y climáticas en la planificación y gestión
- Índices e indicadores para el monitoreo
- Alerta temprana y medidas de atención a emergencias
- Impactos sociales, económicos, ambientales y culturales
- Escenarios frente al cambio climático
- Recuperación post sequías
- Protección y restauración de arrecifes



Te invitamos a participar
en nuestra publicación digital

Impluvium

Con el tema:

EXPERIENCIAS EN LA RESTAURACIÓN Y RECUPERACIÓN DE CUERPOS DE AGUA

Recepción de trabajos:

**DEL 10 DE ABRIL
AL 30 DE JUNIO DEL 2023**

Consulta los detalles en:

www.agua.unam.mx/impluvium.html

Los cuerpos de agua brindan una gran cantidad de bienes y servicios ambientales, sin embargo, han experimentado importantes alteraciones ecológicas, hidrológicas y geomorfológicas como consecuencia de los procesos de urbanización, el desarrollo de infraestructura, el cambio de uso de suelo y el incremento en los tipos y concentraciones de contaminantes, entre otros fenómenos.

Para Zamora, Mazari y Almeida (2017), durante el siglo XX los cuerpos de agua, particularmente los ríos, fueron gestionados bajo un paradigma sanitarista, que los incorporó al sistema de drenaje y abonó a su degradación, al tiempo que contribuyó a la desconexión de las personas con el agua. No obstante, en décadas recientes han proliferado en todo el mundo las experiencias en la restauración y recuperación de cuerpos de agua.

La Sociedad de Restauración Ecológica define a esta acción como el proceso de recuperar y manejar la integridad ecológica de un sistema, considerando un rango crítico de variabilidad en la biodiversidad, procesos ecológicos y estructuras en un contexto regional e histórico y adecuado a ciertas prácticas culturales. Es decir, la manipulación de un sistema perturbado para regresarlo a su estado original, a uno similar o, incluso, a uno mejor.

En el caso específico de los ríos, supone la modificación a los canales ribereños, zonas riparias, planicies de inundación, descargas de sedimentos y contaminantes, entre otras acciones. Bajo estos principios, este número de Impluvium busca conocer los retos y oportunidades enfrentados por los actores que ejecutan proyectos de restauración y recuperación de cuerpos de agua en diferentes escalas y contextos.

Se invita a presentar aportaciones que consideren una perspectiva interdisciplinaria, destacando, por ejemplo, aspectos económicos, de participación social, intervenciones en el régimen hídrico, concentraciones de químicos, estructura de la red trófica, la gestión de sedimentos, manejo de especies, entre otras.



Te invitamos a participar
en nuestra publicación digital

Impluvium

Con el tema:

CONVERGENCIA TECNOLÓGICA PARA LA GESTIÓN SUSTENTABLE DEL AGUA

Recepción de trabajos:
**DEL 3 DE JULIO
AL 29 DE SEPTIEMBRE DEL 2023**

Consulta los detalles en:
www.agua.unam.mx/impluvium.html

De acuerdo con el fundador del Foro Económico Mundial, la llamada Cuarta Revolución Industrial genera un mundo en el que los sistemas de fabricación virtuales y físicos cooperan entre sí de manera flexible y a nivel global. Esta nueva etapa no solo consiste en sistemas inteligentes y conectados, sino que se trata de la convergencia de tecnologías y su interacción a través de los espacios físicos, digitales y biológicos.

El sector hídrico tiene grandes oportunidades para incorporar innovaciones tecnológicas y lograr así una gestión sustentable de los recursos hídricos. En la actualidad, existe una amplia disponibilidad y asequibilidad de tecnologías, lo que permite incorporar estas herramientas digitales a lo largo del todo el ciclo hidrológico. Estos cambios tecnológicos también transforman a las diversas organizaciones que forman parte del sistema hídrico, incluyendo a los múltiples usuarios del agua.

La convergencia tecnológica en el sector hídrico tiene el potencial de integrar sistemas más eficientes y resilientes, reducir los costos de construcción, operación y mantenimiento de las infraestructuras verdes y grises, entre muchas otras aplicaciones. Las soluciones tecnológicas inteligentes deben permitir la integración, en tiempo real, de datos provenientes de múltiples actores y servir para mejorar la toma de decisiones, tanto a nivel personal como de política pública.

Sin lugar a dudas, la convergencia tecnológica es una herramienta indispensable para alcanzar la seguridad hídrica, sin embargo, se requiere profundizar en su estudio y compartir los casos de éxito, por ello, este número de Impluvium busca conocer las principales aplicaciones de las innovaciones digitales en el sector hídrico y analizar sus oportunidades y desafíos económicos, tecnológicos, sociales e incluso éticos.

Entre los temas a abordar se sugieren:

- Sensores, monitoreo y pronóstico. Micro sensores, teledetección, sistemas de información geográfica, drones, medidores en tiempo real
- Inteligencia artificial. Aprendizaje automático, reconocimiento de patrones en los datos, redes de comunicación, bots de chat
- Realidad aumentada, virtual y digital. Gemelos digitales fusionados con SIG, sensores aplicados en realidad virtual y aumentada
- Aplicaciones de blockchain. Transacciones directas y seguras entre proveedores de recursos, gobierno, empresas de servicios públicos y ciudadanía



Te invitamos a participar
en nuestra publicación digital

Impluvium

Con el tema:
**PRÁCTICAS
SOCIOCULTURALES
EN TORNO A LA
GESTIÓN DEL AGUA**

Recepción de trabajos:
**DEL 2 DE OCTUBRE
AL 15 DE DICIEMBRE DEL 2023**

Consulta los detalles en:
www.agua.unam.mx/impluvium.html

Cada cultura establece significados particulares alrededor del agua. Las percepciones de las personas sobre el uso y aprovechamiento los recursos hídricos están mediadas por esa relación sociocultural. Para comprender y analizar las prácticas en torno a la gestión del agua es necesario hacer una lectura del contexto en el que se desarrollan. Este entendimiento permite explicar las instituciones, acciones colectivas y mecanismos sociales detrás de las prácticas desarrolladas por los miembros de una sociedad en un espacio geográfico y temporal determinado.

En términos generales, una práctica sociocultural se define como las acciones o intervenciones que consideran los conocimientos, experiencias, habilidades y capacidades inscritas en un sistema cultural. Todo grupo social comparte un conjunto de rasgos distintivos, materiales, intelectuales, simbólicos, emocionales y espirituales que se manifiestan en sus modos de vida, tradiciones, valores, creencias y otros mecanismos para regular la vida social. Estas características pueden ser incompatibles o insustituibles entre una y otra cultura, o compartidos y apreciados entre sociedades diferentes. De acuerdo con Fish et al. (2016), las prácticas sociales son un reflejo y, al mismo tiempo, crean la cultura, a través de una amplia gama de manifestaciones: mitos, ritos, narrativas y otras expresiones materiales o intangibles.

La dimensión sociocultural se ha integrado en marcos de análisis, como los servicios ecosistémicos, o en los esquemas de gobernanza de los recursos hídricos, con énfasis en aspectos como la apropiación del territorio, la identidad y pertenencia cultural, las cosmovisiones originarias, entre otros.

Reconocer los sentidos y valores alrededor de las prácticas sociales para la gestión del agua puede contribuir a la construcción de consensos, al manejo de conflictos, a la identificación de buenas prácticas o procesos de apropiación de las tecnologías, al reconocimiento e integración de los conocimientos locales, indígenas o tradicionales, entre otros beneficios.

- Expresiones simbólicas en torno al agua (mitos, ritos y tradiciones)
- Interacciones entre los valores y las prácticas de uso y consumo de agua
- Diversidad cultural y sistemas de gestión del agua
- Métodos para la evaluación y análisis de los valores culturales relacionados al agua
- Discrepancias y construcción de consensos respecto a los modelos de gestión del agua

Lineamientos

1. La contribución debe ser un texto de **corte académico**, por lo que no debe personalizarse.
2. Los trabajos deben contener: título, nombre del autor o autores y su institución de adscripción, resúmen (de hasta 150 palabras), 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 se entregarán 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).
7. Al final del trabajo la bibliografía se agrupará en el apartado "Bibliografía" y se colocará de la siguiente manera: autor, año de publicación (entre paréntesis), título, editorial y lugar de publicación. Ejemplo: González Villarreal, F. y Arriaga Medina, J. (2015). Expresiones de la inseguridad hídrica. Revista Ciudades, No. 105, Puebla, México.
8. Los editores realizarán una corrección de estilo y consultarán con los autores cualquier modificación sobre el contenido de la contribución.
9. El artículo debe enviarse al correo electrónico contacto@agua.unam.mx con el asunto **Artículo Impluvium: (tema)**.



Impluvium

Publicación digital de la Red del Agua UNAM

Número 21, Octubre - Diciembre 2022

www.agua.unam.mx