

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## BENEFICIOS AMBIENTALES DERIVADOS DE LA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN TANQUES ELEVADOS Y OPTIMIZACIÓN DEL TAMAÑO DE LOS TANQUES

\*Roberto Carlos Hernández León<sup>1</sup>  
Fabián Robles Martínez<sup>2</sup>  
Cinthya Pamela Del Río Galván<sup>1</sup>

*ENVIRONMENTAL BENEFITS ARISING FROM RAINWATER  
CATCHMENT IN ELEVATED TANKS AND SIZE  
OPTIMIZATION FOR THE TANKS*

*Recibido el 14 de agosto de 2013; Aceptado el 11 de abril de 2014*

### Abstract

This research proposed a simulation of the operation of a system of rainwater harvesting ( SAALL ) for a set of five buildings of an academic institution covering an area of 8202.15 m<sup>2</sup> and three storey (11.7 m) located northeast of Mexico City between Ticomán and Zacatenco. To estimate the volume of rainwater that can be used, was considered the use of historical data records from a weather station located in San Juan de Aragón for the period 1991-2010. We considered the use of rainwater within 16 urinals and 49 toilets that operating with flushometer with a minimum pressure equal to 98.1 kPa and for cleaning floors in set of five buildings. The savings of potable water and electricity to store the water collected in tanks to water supply in toilets could be possible by leveraging potential energy so the use of electricity and potable water is preserved. The results showed that could save 3943.38 m<sup>3</sup>/year water and 3194.35 kWh/year. We underline the importance of capturing and harnessing rainwater for expose as a viable and attractive option for local governments and private investment, proving that is possible get both environmental and economic benefits to replace the potable uses and non potables of water with rainwater.

**Key Words:** Elevated tanks, rainwater, rainwater harvesting potential, water balance, water demand.

<sup>1</sup> Departamento de Formación Profesional Especifica, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas, Instituto Politécnico Nacional.

<sup>2</sup> Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional.

\**Autor correspondiente:* Departamento de Formación Profesional Especifica, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas, Instituto Politécnico Nacional. Blvd. Del Bote S/N, Cerro del Gato, Ejido la Escondida, Col. Cd. Administrativa, Zacatecas, Zacatecas. C.P. 98160. México. Email: [rocaheler@gmail.com](mailto:rocaheler@gmail.com)

## Resumen

En el presente trabajo se realizó una simulación de la operación de un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia (SAALL) para un conjunto de cinco edificios que cubren un área de 8202.15 m<sup>2</sup> y altura de tres pisos (11.7 m) ubicados al noreste del Distrito Federal en la zona de Ticomán y Zacatenco al interior de una institución académica. Para estimar el volumen de agua de lluvia que puede aprovecharse, se partió de los registros de una estación meteorológica ubicada en San Juan de Aragón para el periodo comprendido entre 1991 hasta 2010. Se consideró utilizar el agua de lluvia dentro de 16 mingitorios y 49 inodoros que funcionan con fluxómetro cuya presión mínima equivale a 98.1 kPa, así como en la limpieza de pisos de los cinco edificios. Se estimaron los ahorros de agua potable y electricidad al almacenar el agua captada en tanques elevados para suministrar los sanitarios utilizando la energía potencial con lo que se evitaría el uso de energía eléctrica de la misma forma que se preserva el recurso agua potable. Los resultados mostraron que podrían ahorrarse 3943.38 m<sup>3</sup>/año de agua potable y 3194.35 kWh/año. Es preciso destacar la importancia de captar y aprovechar el agua de lluvia para exponerla como una opción viable y atractiva para gobiernos locales e inversión privada, demostrando que se pueden obtener beneficios tanto ambientales como económicos al sustituirla en usos potables y no potables.

**Palabras clave:** Agua de lluvia, balance hídrico, demanda de agua, potencial de captación, tanques elevados.

---

## Introducción

Los recursos hídricos son un motivo de preocupación cada vez mayor desde el nivel local hasta el global. Se han presentado diversos debates internacionales por ríos, océanos y aguas pluviales debido a que el ciclo hidrológico es un sistema global que trasciende fronteras políticas (Abdulal *et al.*, 2006).

Con el aumento de la población y el régimen de cambio climático, los sistemas de abastecimiento de agua en muchas ciudades están bajo estrés (Monzur *et al.*, 2011), razón por la cual las ciudades en todo el mundo están explorando el uso del agua de lluvia como una fuente alternativa para abastecer edificios de gran altura (Zhang *et al.*, 2009). Como afirman Apostolidis *et al.* (2006) el agua de lluvia captada en azoteas (*in-situ*) de edificaciones suele ser la fuente alternativa de agua más limpia disponible comparada con los sistemas de captación por escurrimiento a nivel de piso, requiriendo un tratamiento mínimo antes de ser adecuado para una amplia variedad de usos, aunque se recomienda analizar su calidad fisicoquímica en los sitios donde se desee captar el recurso, de acuerdo a lo que menciona Rojas, *et al.* (2012) ya que en la zona sur del Distrito Federal se encontraron diversos tipos de bacterias presentes en el agua de lluvia y un pH que tiende de ácido a neutro conforme avanza la temporada de lluvias, así como también afirma que la calidad del agua cumple con criterios establecidos en la NOM-127-SSA1-1994. Además se pueden citar los siguientes trabajos:

Coombes (2003) trabajó en el uso de agua de lluvia en inodoros, sistemas de agua caliente, riego de jardines, lavado de autos y en el re-desarrollo de las zonas residenciales compuestas por 27 terrenos en Newcastle, Australia. Zhang *et al.* (2012) reportaron los beneficios

económicos por captar agua de lluvia en áreas verdes evitando así que termine en las alcantarillas.

En la planta de Daimler Chrysler ubicada en Berlín, se capta el agua de lluvia de la azotea de 19 edificios con un área total de 32000 m<sup>2</sup> y se almacena en un tanque ubicado en el sótano con capacidad de 3500 m<sup>3</sup>. El agua captada se utiliza para las descargas de sanitarios, riego de jardines y de azoteas verdes, y para la recuperación de una laguna artificial (RHA, 2007).

La normativa y documentos técnicos de Alemania, Reino Unido y Portugal recomiendan el uso de métodos detallados para dimensionar los tanques de almacenamiento en los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia (SAALL). Estos métodos se basan en simulaciones diarias de la operación del sistema a partir de datos de precipitación diaria y la demanda de agua no potable. Sin embargo, la información que se ofrece en estos documentos es escasa respecto a los criterios más adecuados para obtener el tamaño del tanque de almacenamiento de agua de lluvia al realizar las simulaciones diarias (Santos y Taveira, 2013).

Ward *et al.* (2012) recomienda el método detallado para dimensionar los tanques de almacenamiento en los SAALL donde la demanda de agua es irregular (edificios comerciales o industriales). No se mencionan edificios académicos, sin embargo es importante señalar que la demanda es irregular debido a los periodos vacacionales y fines de semana de descanso.

La zona de estudio es un conjunto de cinco edificios (con un área disponible para captación de 8202.15 m<sup>2</sup>) ubicados al noreste del Distrito Federal en dichas instalaciones se encuentran en promedio 3037 personas/año que permanecen una jornada de 8 horas por día durante 5 días a la semana, los cinco edificios cuentan con 16 mingitorios y 49 inodoros ubicados en la planta baja. El objetivo del presente trabajo fue determinar los beneficios ambientales por la captación de agua de lluvia en cinco edificios ubicados al noreste del Distrito Federal y su almacenamiento en tanques elevados para utilizarla en sanitarios, así como optimizar el volumen de los tanques de almacenamiento a partir de balances hídricos diarios.

### **Metodología**

En el presente trabajo se estimó la cantidad de agua que podría aprovecharse durante la época de lluvias en las azoteas de 5 edificios de 3 o más pisos ubicados en el noreste del Distrito Federal en la zona de Ticomán-Zacatenco. Para el desarrollo del estudio, se determinó la siguiente información: a) Potencial de captación de agua de lluvia; b) demanda de agua potable en sanitarios; c) consumo eléctrico por el bombeo de agua potable; d) volumen óptimo de los tanques elevados de almacenamiento de agua de lluvia; e) altura mínima necesaria de los tanques de almacenamiento de agua de lluvia.

### a) Potencial de captación de agua de lluvia en los edificios

Para calcular el potencial de captación anual y establecer la oferta de agua se necesita contar con información previamente establecida en la Ecuación 1 adaptada de Abdulla *et al.* (2009) en donde al volumen calculado se le resta el volumen del tanque de primeras aguas que contienen el lavado de las azoteas y por lo tanto son de menor calidad.

$$\text{Potencial de captación } \left( \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right) = [AC \cdot PA \cdot 0.001 - AC \cdot DLL \cdot 0.001] \cdot 0.9 \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

AC= Área de captación (m<sup>2</sup>)

PA= Precipitación anual (mm)

DLL= Días con evento de lluvia durante el año (días)

0.9= Factor de escurrimiento

La información de precipitación se tomó de una estación meteorológica ubicada en San Juan de Aragón (México, D.F.) en la base de datos meteorológica nacional (sistema CLICOM) y se midió la superficie de las azoteas de cada uno de los cinco edificios para calcular el potencial de captación. El promedio de días con evento de lluvia durante el periodo 1991-2010 fue de 102 días por año de acuerdo a la base de datos.

### b) Demanda de agua en sanitarios

Se estimó la demanda de agua en los sanitarios por el uso en mingitorios (3 L) e inodoros (6 L), tomando en cuenta factores como: frecuencia de uso, días por año de actividad y cantidad de personas presentes en los edificios de Lunes a Viernes, en fines de semana y días feriados.

A través de formatos dispuestos dentro de los sanitarios, cualquier persona que hacía uso de los mismos, debía anotar la frecuencia de uso diaria de mingitorios e inodoros en 3 etapas de 2 semanas cada una, con esto se estimó la demanda de agua potable estableciendo que los hombres consumían 15.21 L/día de agua potable por el uso de mingitorios e inodoros, mientras que las mujeres 17.91 L/día. Gato *et al.* (2004) estudiaron la demanda de agua en sanitarios, donde reportaron que el consumo de agua promedio en la descarga de agua por inodoros y mingitorios era 16 L/persona-día, este dato es semejante al consumo estimado en el conjunto de edificios, por lo que se tomó el valor promedio de 16.56 L/persona-día.

Con esta información se calculó la demanda de agua de acuerdo a la Ecuación 2.

$$D \left( \frac{m^3}{mes} \right) = Nu \cdot Dot \cdot Nd \cdot 0.001$$

Ecuación (2)

Donde:

D= Demanda mensual (m<sup>3</sup>)

Nu= Número de personas beneficiadas

Dot= Demanda de agua (L.persona/día)

Nd= Número de días por mes

0.001= Factor de conversión de litros a m<sup>3</sup>

### c) Consumo eléctrico por el bombeo de agua potable

El sistema de bombeo en el conjunto de edificios consta de 3 bombas que extraen el agua potable de la cisterna cuya capacidad es de 46.8 m<sup>3</sup>. El agua es presurizada en la tubería con ayuda de un compresor de 3.8 m<sup>3</sup> de capacidad y es así como llega a los puntos de consumo, el sistema trabaja de forma continua para garantizar el suministro de agua. Se colocó un equipo analizador de redes trifásico modelo 3945 de la marca *AEMC Instruments*<sup>®</sup> en el sistema eléctrico que alimenta el cuarto de bombas por un periodo de 48 horas para determinar el consumo eléctrico durante dicho periodo, al final se relacionó el volumen de agua potable bombeada con el consumo eléctrico para obtener un consumo de energía por metro cúbico de agua potable bombeada.

## Resultados y discusión

El área calculada de las azoteas y disponible para la captación de agua de lluvia en cada uno de los cinco edificios se muestra en la Tabla 1, el área total de las azoteas del conjunto de 5 edificios es de 8202.15 m<sup>2</sup>.

**Tabla 1.** Área de las azoteas para cada uno de los edificios evaluados

Edificio	Edificio (a)	Edificio (b)	Edificio (c)	Edificio (d)	Edificio (e)	Total
Área (m <sup>2</sup> )	1178.76	2053.59	1943	998.2	2028.6	8202.15

En la Tabla 2 se muestran los datos de precipitación históricos por año para el periodo 1991 a 2010 de la estación San Juan de Aragón, no se consiguió analizar un periodo de los últimos 20 años de precipitación puesto que se descartó la correspondiente a los años que contaban con un porcentaje de cantidad de información válida menor al 90%, o sea, 1992 y 2010.

**Tabla 2.** Datos históricos de la estación San Juan de Aragón

Año	Precipitación (mm)	Cantidad de información
1991	860.6	99.18%
1992	44.4	33.06%
1993	580.8	93.17%
1994	641.3	91.80%
1995	721.6	92.90%
1996	491.1	91.00%
1997	532	100.00%
1998	491	91.80%
1999	434.8	99.72%
2000	669.2	98.90%
2001	551.5	100.00%
2002	838	99.72%
2003	587.8	100.00%
2004	638.4	99.72%
2005	464.5	100.00%
2006	731.8	100.00%
2007	806.3	99.72%
2008	755.7	98.63%
2009	657.57	97.26%
2010	524.12	66.93%

El valor máximo de precipitación anual fue de 860.6 mm que pertenece al año de 1991 mientras que el valor mínimo fue de 44.4 mm que pertenece al año de 1992, el promedio de la precipitación anual de la zona se ubica en 636.33 mm. En un análisis que comprende el periodo de 1971 al 2000 se reporta una precipitación anual promedio de 586.3 mm en la misma estación de San Juan de Aragón siendo que entre los meses de mayo a octubre se presenta el 87.04% de la precipitación anual (EAM, 2010). Al respecto Sánchez *et al.*(2011) menciona las delegaciones del Distrito Federal más propensas a sufrir eventos extremos de precipitación asociados del cambio climático, entre las que se encuentra Gustavo A. Madero ubicada al noreste del Distrito Federal donde se pronostica una disminución en las precipitaciones.

Los promedios mensuales de precipitación histórica mensual del periodo 1991 a 2010 en la estación San Juan de Aragón se presentan en la Figura 1 de donde se obtuvo un valor promedio del total acumulado de 636.33 mm/año, dicho valor se utilizó para estimar el potencial de captación en 3943.38 m<sup>3</sup>/año calculado a partir de la ecuación 1, en donde el volumen de primeras aguas equivale a 836.62 m<sup>3</sup>/año.

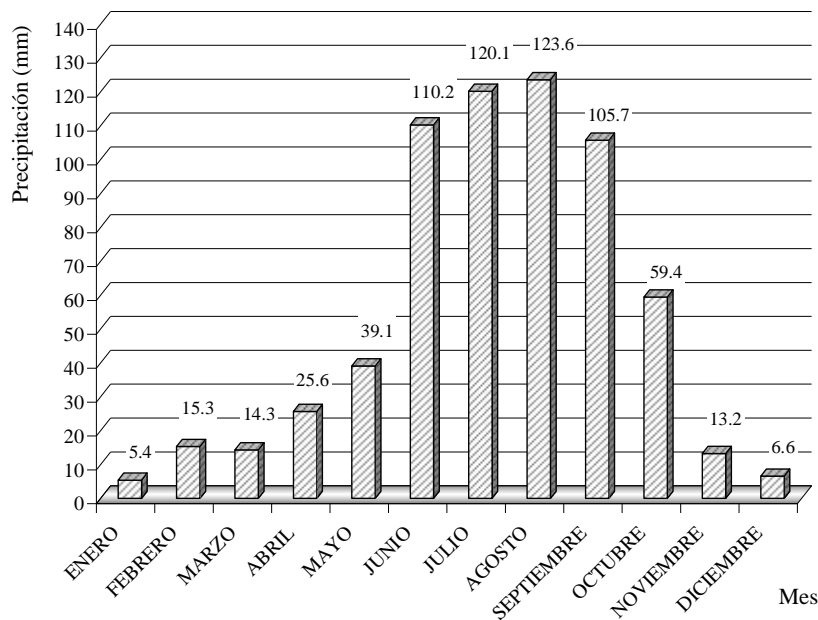


Figura 1. Resultados de precipitación histórica del periodo 1991 a 2010 en la estación San Juan de Aragón

d) Volumen óptimo de los tanques elevados de almacenamiento de agua de lluvia.

En primera instancia se planteó el abastecimiento de los sanitarios de planta baja, después de analizar los balances hídricos se obtuvo que el volumen de los tanques elevados se encontraba por encima de las expectativas, es decir, representaría un problema técnico y económico ya que el volumen requerido de almacenamiento aumenta durante los periodos de máxima precipitación, esto debido a que la demanda es variable y en periodos vacacionales disminuye drásticamente. Teniendo en cuenta lo anterior, sería necesario aumentar la demanda de agua planteando otros usos del agua de lluvia tomando en cuenta que al aumentar el volumen del tanque lo hace también su costo. Se decidió entonces, incluir el uso de agua de lluvia para limpieza de sanitarios, salones, pasillos, laboratorios y oficinas, equivalente a 8.14 m<sup>3</sup>/día.

Una vez establecida la demanda y la primera aproximación al volumen de los tanques de almacenamiento se realizó una búsqueda dentro de la base de datos a fin de localizar las precipitaciones máximas diarias y con esto establecer el tamaño del tanque de almacenamiento considerando captar la totalidad de agua de lluvia. El balance hídrico diario se realizó para el mes que tenía el valor más alto del acumulado en mm, en este caso resultó ser el mes de agosto. Dentro de la estimación del balance hídrico se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) solo se consideraba que había un acumulado si el valor resultante entre la diferencia de la oferta y la demanda era positivo;
- b) si el valor del acumulado resultaba un valor negativo, este se hacía cero;
- c) los días domingo así como los días feriados se considera que la demanda es cero.

Los resultados del volumen calculado de los tanques de almacenamiento a partir del balance hídrico diario para el mes con el mayor valor acumulado de precipitación se muestran en la Tabla 3 y se comparan con los volúmenes estimados por otros autores y sus metodologías para la misma base de datos.

**Tabla 3.** Volumen estimado de los tanques de acuerdo a diferentes metodologías de otros autores

Lugar	CEPIS/OMS, 2004 (m <sup>3</sup> )	Caballero, 2007 (m <sup>3</sup> )	Presente trabajo (m <sup>3</sup> )
Edificio (a)	75.82	217.43	63.93
Edificio (b)	144.65	334.37	83.35
Edificio (c)	145.11	287.14	111.61
Edificio (d)	156.80	281.06	65.58
Edificio (e)	71.24	159.24	13.66

CEPIS/OMS (2004) en su guía de diseño para captar agua de lluvia describe el método para calcular el volumen del tanque de almacenamiento a través de un balance hídrico mensual en donde el volumen del tanque se determina por el valor máximo obtenido en el balance de los 12 meses del año. Por otra parte Caballero (2007) en su manual de captación de agua de lluvia propone llevar a cabo balances hídricos mensuales y sumar los valores del déficit al del superávit de los valores resultantes de los 12 meses del año.

Como resultado de la medición en el consumo eléctrico del sistema de distribución de agua potable se registró el consumo de 103.55 kWh para un flujo de 127.898 m<sup>3</sup>/día, al relacionar esta información se obtiene que por cada m<sup>3</sup> de agua potable bombeada se consumen 0.81 kWh. Entonces se podría evitar consumir 3194.35 kWh/año, si se considera un coeficiente de emisión aplicado de acuerdo a la ATPAE (2003) de 0.6521 tCO<sub>2</sub>eq/MWh con lo que se podría prevenir la emisión a la atmósfera de 2082.89 kg de CO<sub>2</sub> eq/año.

Con la propuesta de uso de agua de lluvia en sanitarios y limpieza se estarían consumiendo 1.53 m<sup>3</sup>/persona•año lo que representa una disminución del 45.85% en el consumo de agua potable para los mismos usos, como se muestra en las Ecuaciones 3, 4 y 5.



$$\text{Reducción} = \text{Demanda} - \text{Oferta} = 8600.04 \text{ m}^3 - 3943.38 \text{ m}^3 \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$\text{Consumo anual} = \frac{4656.66 \text{ m}^3}{3037 \text{ persona} \cdot \text{año}} = 1.53 \frac{\text{m}^3}{\text{persona} \cdot \text{año}} \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$\% \text{ de disminución} = \left( 1 - \frac{1.53 \text{ m}^3 / \text{persona} \cdot \text{año}}{2.83 \text{ m}^3 / \text{persona} \cdot \text{año}} \right) \cdot 100 = 45.85\% \quad \text{Ecuación (5)}$$

e) Altura mínima necesaria de los tanques elevados de almacenamiento de agua de lluvia.

Se utilizó el teorema de Torricelli tomando como referencia el diámetro de tubería de 2" recomendado por Caballero (2007) para estimar la caída de presión de la columna de agua a través de la ecuación fundamental de la hidrostática que se muestra en la Ecuación 6, en donde la presión del sistema es la relativa y no la absoluta, o sea, no se suma la presión atmosférica al sistema.

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

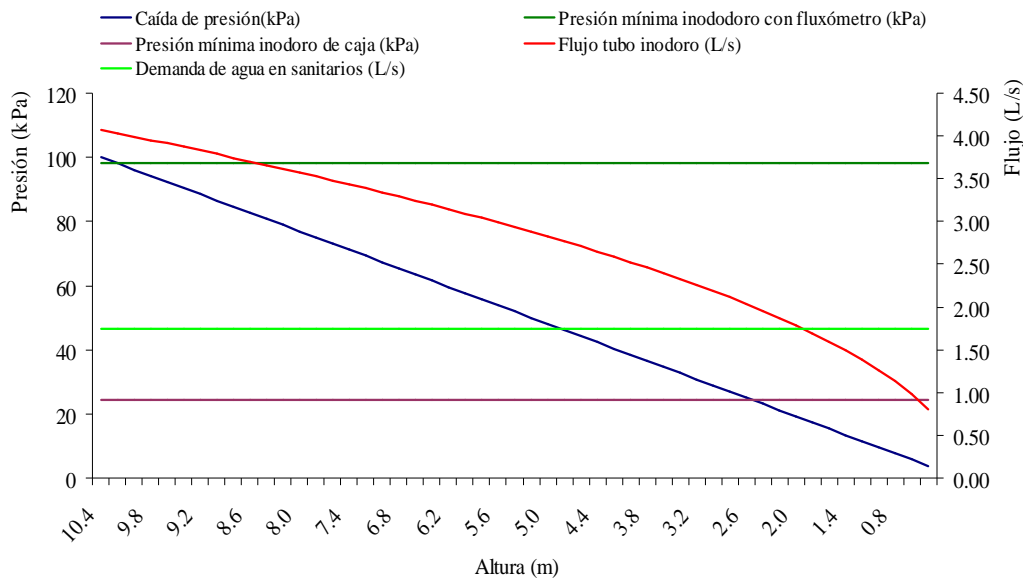
P= Presión del sistema

$\rho$ = Densidad del agua= 1 g/ml

h= Altura de la columna de agua en el tanque

g= Aceleración de la gravedad

Ya que la presión depende de la altura de la columna de agua, conforme esta se reduzca se verá disminuido el flujo de agua hacia los sanitarios (Figura 2). Con los datos estimados de la demanda de agua potable de 16.56 L/persona•día para una población promedio anual de 3037 personas durante una jornada de 8 horas, la demanda calculada sería de 1.746 L/s de esta forma la altura mínima del tanque estaría dada por la intersección entre la caída del flujo de agua del tanque y la demanda de agua calculada en los sanitarios, o sea, entre los 1.8 y los 2 metros. No obstante, a dicha altura no se satisface el requerimiento de presión mínima necesaria en los inodoros con fluxómetro considerando la NOM-009-CNA-2001 que es de 98.1 kPa, esta presión se podría satisfacer a los 10 metros de altura del tanque elevado, o bien, cuando los inodoros no son asistidos por presión la presión mínima necesaria es de 24.5 kPa que estaría dada a los 2.6 metros de altura. En ambos casos sería posible satisfacer la demanda de agua en los sanitarios.



**Figura 2.** Análisis de presión y flujo en el sistema

Como resultado de la operación del SAALL, que incluye su almacenamiento en tanques elevados, se podría reducir el consumo de agua potable en las instalaciones propuestas en un 49.73% por año mientras que el consumo eléctrico se podría reducir en un 16.87% por año al evitar el bombeo de agua potable de la cisterna hacia los puntos de consumo; este ahorro en el consumo eléctrico se vería reflejado en la no emisión a la atmósfera de 2082.89 kg/año de CO<sub>2</sub> eq/año. El uso propuesto para el agua de lluvia captada es la limpieza de pisos y aprovechando la energía potencial se podrían suministrar de agua los sanitarios ubicados en planta baja de edificios de tres o más pisos, o bien, más de diez metros de altura.

De los 636.19 L/m<sup>2</sup> por año como promedio del periodo de 20 años de precipitación se podrían recuperar 482.7 L/m<sup>2</sup> por año, el resto del agua de lluvia se desecha en el tanque de primeras aguas que contiene depósito atmosférico del lavado en las azoteas y se considera un factor de corrección de 0.9 por pérdidas en evapotranspiración. Dicho de otra forma, sería posible recuperar el 75.85% del agua de lluvia en la zona noreste del Distrito Federal.

El balance hídrico diario que se llevó a cabo en el presente trabajo equivale a una simulación de la operación del SAALL en cinco edificios que pertenecen a una institución académica en donde la demanda de agua es variable, de acuerdo a esto, los autores de métodos para estimar el volumen de los tanques descritos por autores como Caballero y CEPIS/OMS estarían sobrestimando el volumen de los tanques de almacenamiento de agua de lluvia, aunque cabe mencionar que dichos métodos son propuestos para sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia caseros donde la demanda de agua es constante.

La altura mínima de los tanques elevados de almacenamiento de agua de lluvia está en función de la presión mínima necesaria en mingitorios e inodoros, ya sea que estos funcionen con fluxómetro en cuyo caso la presión mínima es de 98.1 kPa (10 m) o bien, que funcionen sin asistencia de presión, donde la presión mínima necesaria es de 24.5 kPa (2.5 m) a partir de la altura de la toma de agua en el inodoro o mingitorio.

### Conclusiones

El aprovechamiento del agua de lluvia, aunado a otras estrategias de uso eficiente del agua podrían potenciar los beneficios ambientales para contribuir a la conservación de mantos acuíferos y reducir el consumo de energía eléctrica en sistemas de bombeo para hacer llegar el agua potable a los puntos de consumo en zonas urbanas. Los beneficios ambientales se pueden traducir directamente en beneficios económicos al evitar el uso de electricidad en el bombeo y consumo de agua potable, considerando las tarifas aplicables vigentes. Con esta información y la determinación de los costos de implementación del sistema de aprovechamiento de agua de lluvia se podría determinar el periodo en el que se recupera la inversión económica.

Para minimizar el volumen en el almacenamiento y reducir el costo del sistema se necesita maximizar el aprovechamiento durante la época de lluvias, esto se logra estableciendo diversos usos para el agua de lluvia en los que pueda sustituir al agua potable. Debido a esto es necesario profundizar en el análisis de calidad del agua de lluvia en la zona considerando comparar los resultados con la NOM-127-SSA1-1994.

Es importante analizar la factibilidad técnica del almacenamiento de agua a más de 10 metros de altura, considerando que el Distrito Federal se ubica en una zona sísmica y que en edificios de tres pisos como los estudiados, la distancia entre la azotea y altura mínima del tanque es reducida (1.3 m) por lo que se necesitan formular alternativas de almacenamiento incorporadas a la estructura del edificio cuando la intención sea aprovechar al máximo el agua de lluvia en inodoros con fluxómetro.

### Agradecimientos:

Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología y Dra. Ma. Del Carmen Monterrubio Badillo.

### Referencias

- Abdulal, H., Arsenault, L., Bachiu, T., Garrey, S., MacGillivray, M., Uloth, D. (2006) *Environmental Problem Solving II: Rainwater Collection System: A Feasibility Study for Dalhousie University*. Canadá. Consultado el 29 de agosto de 2012, desde:  
<http://environmental.science.dal.ca/Files/Environmental%20Programs/WaterProjectCombined.pdf>

- Abdulla, F.A., Al Shareef, A.W. (2009) Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan, *Desalination*, **243**, 195-207.
- ATPAE, Asociación de técnicos y profesionistas en aplicación energética A.C. (2003, 19 de marzo). El desarrollo de líneas base para el sector energético y comparación con el sector de uso de suelos. *Simposio sobre la modelación de la deforestación en México e implicaciones para proyectos del secuestro del carbono*, 19 de marzo, México, D.F.
- Caballero, A. T. (2007) *Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento*. Manual técnico. Instituto Politécnico Nacional. México. 125 pp.
- CEPIS/OPS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2004). *Guía de diseño para captación de agua de lluvia*. Lima Perú. Consultado el 15 de abril de 2013, desde: [www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/cd47/lluvia.pdf](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/cd47/lluvia.pdf)
- Coombes, P. (2003) *Rainwater Tanks Revisited: New Opportunities for Urban Water Cycle Management*. Doctor of Philosophy Thesis. University of Newcastle, School of Engineering, Australia.
- CLICOM. *Datos climáticos diarios del Climate Computing Project (CLICOM) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) con gráficas del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE)*. Consultado el 10 de enero de 2013 desde <http://clicom-mex.cicese.mx>
- CNA, Comisión Nacional del agua (2010) *Estadísticas del Agua en México 2010*. Consultado el 8 de diciembre de 2011, desde: [www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/EAM2010.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/EAM2010.pdf)
- Gato, S., Jayasuriya, N., Roberts, P., Hadgraft, R., (2004) Understanding residential water use. *Proceedings of the Enviro 04 Conference*, 28 March - 1 April 2004, Sydney. Australia.
- Monzur, A.I., Abdallah, S., Ataur, R., Amimul, A. (2011) Optimisation of rainwater tank design from large roofs: A case study in Melbourne, Australia. *Resources, Conservation and Recycling*, **55**, 1022-1029.
- N. Apostolidis, N. Hutton (2006) Integrated Water Management in brownfield sites — more opportunities than you think. *Desalination*, **188** (1-3), 169-175.
- RHA, Rainwater Harvesting and Utilisation, (2007) *An Environmentally Sound approach for Sustainable urban Water Management: An Introductory Guide for Decision Makers*. Consultado el 25 de noviembre, desde: <http://www.gdrc.org/uem/water/rainwater/rainwaterguide.pdf>
- Rojas, V.Gallardo, B., Martínez, C. (2012) Implementación y caracterización de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, **15**(1), 16-23.
- Sánchez, V. A., Gay, G.C., Estrada, P.F. (2011) Cambio climático y pobreza en el Distrito Federal. *Investigación económica*, **278**, 45-74.
- Santos C., Taveira-Pinto, F. (2013) Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. *Resources, Conservation and recycling*, **7**, 1-6.
- SSA, Secretaría de Salud (1994) Diario Oficial de la Federación. NOM-127-SSA1-1994. *Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*.
- Ward, S., Memon, F., Butler, D. (2012) Performance of a large building rainwater harvesting system. *Water research*, **46**(16), 5127-5134.
- Yaziz M., Gunting H., Sapari N., Ghazali W. (1989) Variations in rainwater quality from roof catchments. *Water resources*, **23**(6), 761-65.
- Zhang, B., Xie, G., Zhang, C., Zhang, J. (2012) The economic benefits of rainwater-runoff reduction by urban green spaces: a case study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management*, **100**, 65-71.
- Zhang, Y., Chen, D., Chen, L., Ashbolt, S. (2009) Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities. *Journal of Environmental Management*, **91**(1), 222-226.