

Evento forma 2017. Diseño de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia para el Consumo Humano en Azoteas de la Ciudad de México. Una alternativa sostenible para el suministro de agua potable.

Autores

Mtro. Roberto Bernal Barrón, rbb@correo.azc.uam.mx
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, México

MSc. Aurora Pérez Hernández, ayllam07@gmail.com
Colegio de Postgraduados Postgrado de Edafología, México

INTRODUCCIÓN

La importancia del agua es algo que no se cuestiona ya que el agua es un factor esencial para la vida, y por esta razón debería ser valorada en su justa medida. Sin embargo, esto no es así, para quien dispone en abundancia de este vital líquido, con solo abrir la llave. Y solo hasta que se empieza a sufrir escases es cuando se valora.

La problemática del agua en la Ciudad de México

La Ciudad de México es sin lugar a dudas un espacio urbano muy complejo, lleno de retos y problemas de todo tipo. Y dentro de estos grandes problemas, los problemas relacionados con el agua son también sin duda de los más importantes.

Los problemas con el agua en la Ciudad de México, tienen su origen desde su propia fundación, cuando en 1325 la cultura azteca decidió fundar la Ciudad de México - Tenochtitlan, en un islote del antiguo lago de Texcoco.

El establecimiento de una ciudad alrededor de ese islote; en un lago con alto grado de salinidad fue un primer gran reto, el cual los aztecas resolvieron de una manera muy ingeniosa mediante la construcción de chinampas flotantes en el lago. Gracias a esto y a obras para el control del agua dulce y salada la ciudad creció rápidamente. Pero debido a las características del sitio y su rápida expansión, pronto se originaron dos de los problemas y retos más importantes de esta ciudad, los cuales eran:

I. El suministro de agua para la población de la ciudad.

“El rápido crecimiento de la Ciudad de México - Tenochtitlan demandó por parte de sus gobernantes la búsqueda de alternativas que permitieran abastecer de agua a su población, por lo que tlatoani Chimalpopoca, en el año 1381, construyó un acueducto de madera que permitiera aprovechar el agua de los manantiales de Chapultepec y transportarla a la ciudad. Sin embargo, la ruta trazada para su trayecto no era la mejor, ya que iniciaba en Chapultepec, continuaba por lo que hoy es el Circuito Interior hasta la Calzada de Tacuba, y volteaba para ingresar a la ciudad de Tenochtitlan, esto, aunado a su mala construcción determinó que finalmente fuera destruido.” (1 pág. 15)

II. El control de las aguas de lluvia.

“México-Tenochtitlan se ubicaba a un promedio de dos metros sobre el nivel del lago de Texcoco, lo cual provocaba que en época de lluvias se registraran fuertes afectaciones, ocurriendo una de ellas en el año de 1446, cuando lluvias abundantes elevaron el nivel de los lagos casi hasta tocar las copas de los árboles, inundando la ciudad por completo.

Ante este hecho, Moctezuma Ilhuicamina solicitó a Nezahualcóyotl, señor de Texcoco, una solución para evitar una nueva inundación, quien recomendó la construcción de una cerca de madera, piedra y barro, coronada de un fuerte muro de mampostería, que permitiría contener el flujo de agua del lago de Texcoco, surgiendo de esta manera el albardón de Nezahualcóyotl, mismo que cubría una longitud de 16 kilómetros desde el

cerro de Atzacocalco hasta Iztapalapa y cuyas compuertas permitían verter las aguas del lago de Texcoco en época de estiaje y contenerlas en época de lluvias.” (1 pág. 15)

En la actualidad estos dos grandes problemas asociados al agua en la Ciudad de México, prevalecen. Algo que resulta paradójico, por muchas razones, la primera de ellas es que; en la Ciudad de México el agua que se utiliza para poder satisfacer la demanda, que requiere su creciente población, proviene principalmente del subsuelo (según datos del Banco Mundial 2013) (2 pág. 11)(ver tabla 1). Y según el mismo Banco Mundial “La situación actual de sobreexplotación de los acuíferos se debe principalmente a las prácticas ineficientes e insostenibles de aprovechamiento del agua urbana” (2 pág. XII)

Fuente	Caudal		
	m ³ /s	hm ³ /año	%
Acuíferos locales	59.5	1877	68%
Sostenibles	31.6	997	36%
Sobreexplotados	27.9	880	32%
Fuentes superficiales locales	2.9	91	3%
Trasvases del sistema Lerma	4.8	151	5%
Trasvases del sistema Cutzamala	14.7	464	17%
Reúso de agua	6.1	192	7%
Total	88.0	2775	100%

Tabla 1 Distribución de las fuentes de abastecimiento al Valle de México.
Fuente: Elaboración propia en base a los datos de (2 pág. 11)

Es decir, se extrae el agua del acuífero de la Ciudad de México, el cual en realidad tiene su origen en las aguas del antiguo lago de Texcoco. Ese mismo lago, que fue conformado por el agua de las lluvias en esta zona lacustre del Valle de México; y que después de la conquista y ante la falta de entendimiento del ciclo hidrológico y los efectos provocados por el agua de lluvia, los españoles, en una primera instancia trataron de contenerla, sin lograrlo para finalmente y ante las recurrentes inundaciones optaron por su desagüe.

Esto resulta paradójico porque el suministro de agua que proporciona el acuífero no es suficiente para satisfacer la demanda y es necesario importar agua desde otras regiones. Esto se realiza mediante dos grandes sistemas.

El primero y más antiguo de ellos es el Sistema Lerma y que en realidad es una fuente de suministro de agua de origen subterráneo, tal como lo indica la CONAGUA. (3 pág. 149). El segundo es el Sistema Cutzamala que provee de agua superficial al Valle de México proveniente de la Cuenca del Balsas. Este sistema en la actualidad es de vital importancia en el suministro de la región ya que provee el 17% del agua a el Valle de México tal y como indica el Banco Mundial (2 pág. 13).

Esto quiere decir que en realidad el 73% del agua que se utiliza en el Valle de México proviene del subsuelo.

El otro gran problema de la Ciudad de México, como se indicó con anterioridad es el control de las aguas de lluvia. Basta recordar que la Ciudad de México y su zona conurbada es una de las concentraciones urbanas más grandes del mundo, la cual se ubica en una cuenca cerrada y que se estableció en lo que originalmente fue un sistema lacustre integrado por cinco grandes lagos, Texcoco, Xaltocan, Zumpango, Xochimilco y Chalco. Y que en la época de la gran Tenochtitlan durante los periodos de lluvias la Cuenca se convertía en un solo lago de dos mil kilómetros cuadrados de superficie.

Sin embargo, esta situación en la actualidad no deja de ser algo nuevamente paradójico, ya que, si se aprovecharan las aguas de lluvia, estas aguas podrían representar una parte importante de la solución al suministro de agua en la Ciudad de México. Pero que por el contrario se convierten en un problema por el casi nulo aprovechamiento de las mismas, lo que ocasiona que, durante el periodo de lluvias, estas tengan que ser desalojadas de la ciudad, junto con las aguas de desecho, mediante un sistema de drenaje, el cual es cada vez más grande y costoso, pero necesario para reducir los riesgos de inundaciones. Esta situación se debe en gran medida a los hundimientos provocados por la extracción excesiva del agua del subsuelo. (4 pág. 18)

Otros problemas no menos importantes están en el panorama que se avecina en relación con el crecimiento poblacional de la zona y de las condiciones actuales de suministro de agua en la Región Administrativa Hidrológica XIII en la cual se ubica la Ciudad de México. En este sentido es necesario señalar algunos de los elementos que la misma CONAGUA indica en el Programa Hídrico Regional Visión 2030 de esta región y que de manera sintética son:

- a) La disponibilidad natural media per cápita. La cual se estima en 136 m³/hab/año para la región y para el Valle de México está disponibilidad baja hasta 74 m³/hab/año. (5 pág. 24)
- b) Las pérdidas por fugas de agua en las redes de distribución. Se estima que actualmente se está perdiendo un porcentaje cercano a 35% (875 hm³/año o 27.75 m³/s) del volumen distribuido en la región). (5 pág. 38)
- c) Brecha hídrica. A futuro se espera que la oferta pueda incrementarse en 8%, mientras que la demanda se estima aumente en 11%. prácticamente duplicando la brecha hídrica de agua en la región (con un valor de 1,700 hm³). (5 pág. 38)

Estos datos nos revelan problemas muy importantes, por un lado, el problema actual y futuro con el desperdicio del agua debida a las fugas que representa en la actualidad un problema muy serio ya que más de un tercio del agua de la región se está perdiendo antes de llegar a su destino. Y por otra parte el gran problema relacionado al origen del agua de la Ciudad de México y el destino de las aguas de desecho; es decir, la Ciudad importa una parte importante del agua que utiliza desde otras regiones y luego exporta sus aguas de desecho y de lluvia a otras zonas, todo esto con un altísimo costo económico y ambiental (ver ilustración 1).



Ilustración 1 Sistema de suministro de agua y drenaje en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México:
Fuente elaboración propia en base a datos de CONAGUA.

Y, por otra parte, pero no menos importante está en el problema de la creciente demanda de agua que se avecina y que representa un reto muy pero muy importante; por el déficit del agua además de los costos económicos y ambientales que representa a futuro.

DESARROLLO

Ante este panorama es vital empezar a contribuir en la búsqueda de soluciones a estos problemas. Ya que incluso podemos afirmar que estas problemáticas ponen en riesgo la viabilidad de la Ciudad de México, y por ende pone en riesgo el futuro de los que la habitamos.

La reflexión al respecto de este panorama es una de las causas más importantes por las cuales se tomó la decisión de iniciar este proyecto de investigación, ya que se visualiza una oportunidad para el diseño y desarrollo de productos que vengan a contribuir en la búsqueda de soluciones ante el grave problema de escasez de agua que se avecina.

Hay que empezar a mirar hacia arriba

El Dr. Manuel Anaya Garduño, señaló durante el XXVI Diplomado Internacional “Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia (SCALL) para el Corredor Seco y Territorios Vulnerables a la Sequía en Mesoamérica” (2016). Que “Hay que empezar a mirar hacia arriba”, al referirse a la búsqueda de soluciones con respecto a la problemática del agua. Esta simple frase viniendo de uno de los investigadores y experto del tema más reconocidos en el ámbito mundial; sin duda, marca el camino de una de las líneas más prometedoras, en la búsqueda de soluciones al respecto. Y tal y como señala el Dr. Anaya.

“La captación y aprovechamiento del agua de lluvia representa una opción real para abastecer con agua, en cantidad, calidad y de manera continua a las personas que no cuentan con este vital líquido. Actualmente, al agua de lluvia se le ve como un recurso natural no aprovechable para consumo humano y uso doméstico, cuando en realidad representa una de las soluciones más viables y económicas para abastecer con agua a todos los seres vivos, sobre todo en aquellas regiones donde las fuentes superficiales de agua y los mantos acuíferos están contaminados y se encuentran sobreexplotados.”
(6 pág. s/n)

El método para el Diseño de SCALL del Dr. Anaya

Después de un análisis y reflexión de los datos obtenidos sobre las problemáticas relacionadas con el agua en la Ciudad de México se decidió participar en el XXVI Diplomado Internacional “Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia (SCALL) para el Corredor Seco y Territorios Vulnerables a la Sequía en Mesoamérica”. Con la finalidad de adquirir conocimientos para el Diseño del SCALL. Ya que después del análisis de la información obtenida hasta ese momento, así como una reflexión sobre las posibles alternativas de solución, se consideró que los SCALL, son una alternativa viable para la captación de agua en la Ciudad de México, ya que estos han sido utilizados con éxito en diversos lugares alrededor del mundo. Sin embargo, su utilización en la Ciudad de México es algo poco común e incipiente.

El Dr. Anaya experto mundial en el tema desde 1987, propone el siguiente método para el Diseño de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL).

1. Localización del sitio.
2. Determinación de la demanda.
3. Análisis de la precipitación pluvial.
4. Área de captación del agua de lluvia.
5. Sistema de conducción del agua de lluvia.
6. Diseño de sedimentador.
7. Diseño de almacenamiento.

Las azoteas de la Ciudad de México un espacio susceptible para la Captación de Agua de Lluvia

Como parte del desarrollo del diplomado se elaboró de manera inicial una propuesta de proyecto para el diseño de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) ubicado en la Ciudad de México.

Es entonces que se propone este proyecto como marco de referencia, junto con la idea previamente concebida de considerar a las azoteas de las casas habitación de la Ciudad de México como un espacio susceptible para la captación de agua de lluvia.

El análisis previo de este espacio urbano para captar agua de lluvia, no es una propuesta del todo novedosa en la Ciudad de México, porque este espacio, ya se está empezando a utilizar para ese propósito en algunas casas gracias a un proyecto denominado Isla Urbana, y básicamente en la zona de la delegación de Iztapalapa. La cual es una zona con un alto grado de problemas relacionados con el agua.

Sin bien es cierto que este proyecto ha tenido un grado interesante de éxito en la zona, este no ha está exento de problemáticas que dificultan la implementación de este tipo de proyectos tal y como lo señala el estudio "Study on the rates of adoption of rainwater harvesting systems in Mexico D.F. (Mexico City). The effect of various co-participation methods on system adoption rates" (7). Realizado por Isla Urbana en 2102.

En base en los datos que proporciona dicho estudio y el análisis de caso de estudio, consideramos que algunos de los factores que hay que considerar para este tipo de proyectos tengan un éxito mayor y que son parte de los elementos que a su vez justifican la necesidad de proyectos de diseños de este tipo adecuados a las azoteas de la Ciudad de México. Está en tomar en cuenta las diversas actividades que se realizan en estos espacios y que dificultan la implementación directa de un sistema de captación de agua de lluvia. Como lo son:

- a) La utilización de las azoteas como áreas en donde se realiza el lavado, tendido y secado de ropa.
- b) El uso de azoteas para almacenaje de una diversidad enorme de objetos.
- c) La colocación de elementos e instalaciones para dotar de algunos servicios (agua, gas, televisión, telefonía).
- d) El uso del espacio como habitad de mascotas.
- e) La colocación de macetas con plantas de ornato.
- f) El uso ocasional del espacio para la realización de actividades sociales o recreativas.

Propuesta inicial proyecto "Diseño de SCALL en azotea casa habitación ubicada en la delegación Azcapotzalco de la Ciudad de México

1. Localización del sitio

Macrolocalización. País: México, Estado: Ciudad de México, Delegación o Municipio: Azcapotzalco

Microlocalización. Latitud: N 19° 28' 14'' Longitud: O 99° 9' 32''

En el método propuesto por el Dr. Anaya la localización del sitio es un primer paso esencial para el diseño del proyecto ya que la ubicación sirve para realizar el análisis de las características del área en la que se pretende localizar el proyecto



Ilustración 2 Ubicación del inmueble de la propuesta del proyecto fuente Google Hearth 2016

2. Determinación de la demanda

En este segundo paso se determina la cantidad de agua que se requiere para satisfacer diariamente las funciones físicas y biológicas de una persona, animal o planta. Y se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$D_j = \frac{Nu * Dot * Nd}{1000} \qquad D_{anual} = \sum_{j=1}^{12} D_j$$

D_j = demanda en el mes, en m^3
 Nu = número de usuarios que se benefician del sistema
 Dot = dotación, en L/persona/día
 Nd = número de días del mes.

D_{anual} = demanda de agua anual que necesita una población en m^3 .
 j = es el índice del número del mes ($j = 1, 2, 3, \dots, 12$)
 1000 = factor de conversión de litros a m^3

Para los cálculos del proyecto se consideró un total de 8 usuarios, debido a que se consideró las necesidades de los 7 habitantes de la casa habitación y de dos pequeñas mascotas, además de un porcentaje adicional para cubrir las necesidades eventuales, pero habituales en la población mexicana de un usuario adicional (visita de familiares). En cuanto a la dotación se consideró el valor recomendado por la UNESCO (6 pág. 52) que es de 100 litros por habitante al día. Dando como resultado una Demanda Anual = 292 m^3 .

3. Análisis de la precipitación

El análisis de la precipitación es otro de los pasos muy importantes de este método y se realiza considerando (a) Intensidad y duración de la lluvia, (b) Frecuencia de las lluvias, (c) Lluvia máxima en 24 horas, para finalmente realizar la (d) Determinación de la precipitación pluvial neta (PN), " ..que se define como la cantidad de agua de lluvia que queda a disposición del sistema (SCALL), una vez que se han descontado las perdidas por factores como salpicamiento, velocidad del viento, evaporación, fricción, tamaño de la gota, considerados en un coeficiente de captación que se ha planteado del 85% (0.85) de acuerdo con la experiencia desarrollada en el CIDECALLI-CP. La eficiencia de la captación del agua de lluvia depende

del coeficiente de escurrimiento de los materiales del área de captación, el cual varia de 0.1 a 0.9 ...” (6 pág. 54)

Para la determinación de la precipitación pluvial neta se utilizan las siguientes formulas.

$$PN_{ijk} = P * \eta_{captacion}$$

$$\eta_{captacion} = Ce * Efc$$

PN_{ijk} = precipitación neta del día i, mes j y año k, en mm

Ce = Coeficientes de escurrimiento

P_{ijk} = precipitación total del día i, mes j y año k, en mm

Efc = Eficiencia de captación de lluvia, considerada del 85% (0.85)

$\eta_{captación}$ = eficiencia de captación

Para los cálculos del proyecto se utilizaron los valores de las normales climáticas de la estación meteorológica más cercana ubicada en Calle Egipto 7 (Latitud: N 19° 28' 30" Longitud: O 99° 11' 10"). Y se utilizó un Ce de 0.9, considerando como material de captación lamina acanalada. Dando como resultado los siguientes valores:

$$\eta_{captación} = 0.765$$

Valores de Precipitación pluvial Normal del Mes			Precipitación pluvial Neta del Mes		
P_j	Enero	8.5	PN_j	Enero	6.50
P_j	Febrero	4.5	PN_j	Febrero	3.44
P_j	Marzo	9.2	PN_j	Marzo	7.04
P_j	Abril	26.2	PN_j	Abril	20.04
P_j	Mayo	52.3	PN_j	Mayo	40.01
P_j	Junio	138.1	PN_j	Junio	105.65
P_j	Julio	152.0	PN_j	Julio	116.28
P_j	Agosto	163.9	PN_j	Agosto	125.38
P_j	Septiembre	131.0	PN_j	Septiembre	100.22
P_j	Octubre	57.8	PN_j	Octubre	44.22
P_j	Noviembre	5.3	PN_j	Noviembre	4.05
P_j	Diciembre	5.2	PN_j	Diciembre	3.98

Tabla 2 Precipitación Neta

En este momento es muy importante señalar que el valor de PN considerado para el diseño, es el que resulta de la suma de los meses cuya precipitación pluvial neta (PN) es mayor o igual a 40 mm, tal y como los señala el Dr. Anaya:

“Cuando las precipitaciones medias mensuales de 40-50 mm y de baja intensidad (mm/hr), se recomienda no considerarlas, sobre todo si se presentan durante las épocas secas, ya que la cantidad y calidad del agua de lluvia no será de consideración para su almacenamiento” (6 pág. 55).

Es decir, para este caso la suma de precipitaciones netas, mensuales mayores a 40 mm se da en el periodo comprendido del mes de mayo a octubre y es de 531.8 mm.

4. Área de captación

La superficie de captación del agua de lluvia es otro elemento primordial a considerar para el diseño de un SCALL- Ya que esta superficie sobre la que cae el agua de lluvia debe contar con un área, que permita captar de manera ideal un volumen de agua igual al estimado en la demanda, y una pendiente que permita el escurrimiento pluvial al sistema de conducción. Para

la determinación del área de captación sólo se debe considerar la proyección horizontal de la superficie de captación y expresarla en m².

La superficie a utilizar puede ser de diversos materiales, pero es muy importante que estos materiales no desprendan olores, colores o sustancias que puedan contaminar el agua pluvial o alterar la eficiencia de los sistemas de tratamiento. Es por esta razón que aquellos techos en los que se realizan actividades como las que se mencionaron con anterioridad no son recomendados para ser utilizados de manera directa para la captación de agua de lluvia.

Para realizar los caculos necesarios se tienen dos opciones: a) Cuando no existe el área de captación el diseño del sistema se hace partiendo de la demanda anual de agua, y para ello se utiliza la primera de las siguientes ecuaciones, y b) Cuando el área de captación ya existe o hay algún tipo de restricción en cuanto a el área afectiva de captación (Aec), lo que se determina es el volumen de agua que se puede captar y con ello se determina la demanda anual que se puede satisfacer, y para ello se utiliza la segunda de las siguientes ecuaciones.

$$Aec = \frac{D_{anual}}{\sum_{j=1}^n PN_j}$$

$$D_{anual} = Aec \left(\sum_{j=1}^n PN_j \right)$$

j = Numero de meses cuya precipitación media es ≥ 40 mm. j = 1, ..., 12

Aec = es el área efectiva de captación de agua de lluvia, en m²

PN_j precipitaciones netas medias mensuales que originan escurrimiento (≥ 40 mm), en m

D_{anual} = demanda de agua anual que necesita una población, o bien la que se puede satisfacer, en m³.

Para el proyecto se consideró que en una primera etapa se podría destinar un área efectiva de captación de 100 m² (Aec) por limitantes del espacio en la casa habitación. Y para una segunda etapa después de algunas modificaciones al espacio disponible se podrían destinar otros 50 m².

Haciendo los cálculos correspondientes se obtuvo que la demanda anual que se puede satisfacer solo en la primera etapa, es de: D_{anual} = 53.18 m³ lo que representaría un 18.21% (18.21 L/persona/día) de la demanda anual total estimada que es de 292 m³.

5. Sistema de conducción del agua de lluvia

El sistema de conducción se refiere al conjunto de elementos (canaletas o tuberías de diferentes materiales y formas) que conducen el agua de lluvia captada al sistema de almacenamiento a través de bajadas con tubo de PVC. El sistema de conducción debe considerar materiales livianos, resistentes, fácil de unir entre sí y combinar con los acabados de las instalaciones. No deben permitir la contaminación con compuestos orgánicos o inorgánicos por lo que se recomienda se coloquen mallas que detengan basura, sólidos y hojas para evitar la obstrucción del flujo en la tubería de conducción.

“Los colectores del agua pluvial a localizar en el área de captación, se dimensionan considerando una sección llena y en función de la extensión del área de captación y la pendiente asignada al colector. La pendiente para los tramos longitudinales de las canaletas estará entre el 1% y 4%, siendo recomendable un valor medio de 2%.” (6 pág. 67)

Para el diseño del sistema de conducción se requieren varias fórmulas para realizar el cálculo de la canaleta y las tuberías de bajada las cuales son:

Caudal de conducción en canaletas

Qc = Caudal de conducción en Ips

$$Q_c = \frac{5}{18} (Aec * I Lluvia)$$

Cantidad de agua que circula por canaletas

$$Q = A * v$$

Velocidad del caudal (Ecuación de Manning)

$$v = \frac{1}{n} r^{\frac{2}{3}} s^{\frac{1}{2}}$$

Radio hidráulico

$$r = \frac{A}{p}$$

Cálculo del diámetro de la tubería.

$$D = 2 * \sqrt{\frac{Q_c}{\pi * v}}$$

Aec = es el área efectiva de captación de agua de lluvia en m²

I lluvia = es la intensidad máxima de lluvia en la zona

5/18 = factor de conversión de m³/hora a litros por segundo.

Q= gasto en m³/seg

A= área, en m²

V= velocidad, en m/seg

v = velocidad del caudal, m s⁻¹

n = coeficiente de rugosidad, adimensional, que depende del material con el que esté revestido el canal, canaleta o tubería.

r = radio hidráulico en m.

s = pendiente expresada en % con respecto a uno.

A = área en m²

p = perímetro mojado en m, y se refiere a la superficie de la estructura (canal, canaleta o tubería) que entra en contacto con el fluido.

D = diámetro de tubería en m.

Qc = caudal de conducción, m³/s.

v = velocidad media, m s⁻¹.

π = 3.1416

En base a los datos y cálculos realizados en el proyecto se requiere una canaleta de PVC con una profundidad de 9 cm y una base de 8 cm, además de 3 bajadas de tubo de PVC con un diámetro de tubería de 5.1 cm.

6. Diseño de sedimentador

Para el diseño de un SCALL donde el agua de lluvia es captada de los techos, se debe instalar un tanque sedimentador para almacenar temporalmente las primeras lluvias contaminadas por basura, hojas y polvo para que esta agua se pueda utilizar para otros usos.

Las variables de diseño para el sedimentador son el área efectiva de captación del agua de lluvia y la máxima lluvia registrada en un día. Y para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$V_{\text{sedimentador}} = \frac{1}{3} (Aec * I Lluvia)$$

V_{sedimentador} = volumen del sedimentador en m³.

Aec = área efectiva de captación en m².

I lluvia = intensidad máxima de lluvia en una hora en m.

Para el proyecto se necesita un $V_{\text{sedimentador}} = 1.66 \text{ m}^3$.

7. Diseño de almacenamiento

El último paso es calcular el volumen del almacenamiento necesario para contener el agua de lluvia, necesaria para abastecer a los usuarios del sistema considerando los meses de sequía y los de no sequía. Este punto se refiere al análisis final de las características del área en la que se pretende localizar el proyecto, para determinar el volumen del almacenamiento necesario en base a un balance entre la oferta y demanda del agua de lluvia que se podrá captar.

Para calcular el volumen mínimo de la cisterna se utiliza la siguiente formula:

$$V_{\text{cisterna}} = D_j * M_{\text{sequia}+2}$$

V_{cisterna} = volumen mínimo de la cisterna en m^3 .
 D_j = demanda mensual en $\text{m}^3 \text{ mes}^{-1}$.
 $M_{\text{sequia}+2}$ = meses con sequía más dos.

Para el proyecto según los datos de demanda mensual que realmente se podría cubrir (18.21 L/persona/día) de los meses con mayor demanda (31 días) se requeriría una cisterna de 36.12 m^3 .

Mes	Precipitación pluvial Neta	Precipitación pluvial Neta (mm) aceptable	Oferta (m^3)	Demanda (m^3)	Oferta-demanda (m^3)	Balance volumen cisterna (m^3)
Junio (I)	105.65	105.65	10.56	4.37	6.19	6.19
Julio	116.28	116.28	11.63	4.52	13.31	13.31
Agosto	125.38	125.38	12.54	4.52	21.33	21.33
Septiembre	100.22	100.22	10.02	4.37	26.98	26.98
Octubre	44.22	44.22	4.42	4.52	26.88	26.88
Noviembre	4.05	0.00	0.00	4.37	22.51	22.51
Diciembre	3.98	0.00	0.00	4.52	18.00	18.00
Enero	6.50	0.00	0.00	4.52	13.48	13.48
Febrero	3.44	0.00	0.00	4.08	9.40	9.40
Marzo	7.04	0.00	0.00	4.52	4.89	4.89
Abril	20.04	0.00	0.00	4.37	0.52	0.52
Mayo	40.01	40.01	4.00	4.52	0.00	0.00

Tabla 3 Balance de volumen de la cisterna

Realizando el balance entre la oferta y la demanda mensual que realmente se satisface se determina que el volumen necesario es el máximo de la columna del balance de volumen de la cisterna que se muestra en la tabla 3 y que es de 26.98 m^3 para fines prácticos 27 m^3 .

Conclusiones

Después de realizar de los cálculos necesarios para el diseño de este proyecto, de referencia se llega a las siguientes conclusiones:

a) Si bien es cierto que la cantidad de agua de lluvia que se puede captar no es suficiente para el 100% de la demanda de agua para el uso doméstico de este hogar. El resultado obtenido es alentador ya que el porcentaje de captación obtenido del 18.21%, equivaldría a ahorrar en este hogar un porcentaje mayor del que representa el suministro que recibe del Sistema Cutzamala.

b) Este porcentaje de agua también permitiría satisfacer el 100% de la demanda de agua que la UNESCO recomienda para preparación de alimentos (5 litros por persona al día) y para el uso en la cocina (6 litros por persona al día). Satisfaciendo las normas de calidad necesarias para cumplir con las normas nacionales e internacionales del agua potable. Tal y como ya lo hace el CIDECALLI del Colegio de Posgraduados Unidad Montecillo en Texcoco, México.



Ilustración 3 Planta de tratamiento de agua de lluvia y agua embotellada "Iluviati" del CIDECALLI-CP Montecillo, Texcoco, México.

c) Si bien es cierto que la realización de este tipo de proyectos requiere una inversión importante. El beneficio de este tipo de proyectos se vería reflejado en un corto o mediano plazo dentro de aquellos hogares que los desarrollaran. Sin embargo, el beneficio económico y ambiental para la ciudad es algo difícil de cuantificar en este momento, pero sin duda sería de gran utilidad para la viabilidad y sustentabilidad futura de la Ciudad de México.

Trabajos citados y Bibliografía

1. **Espinosa, Víctor, y otros.** *El gran reto del agua en la Ciudad de México. Pasado, presente y perspectivas de solución para una de las ciudades más complejas del mundo.* D.F. : Sistema de Aguas de la Ciudad de México, 2012.
2. **Banco Mundial.** *Agua urbana en el Valle de México: ¿un camino verde para mañana?* D.F. : Banco Mundial, 2013.
3. **Comisión Nacional del Agua.** *Estadísticas del Agua de la Región Hidrológico-Administrativa XIII Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México Edición 2013.* D. F. : Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013.
4. —. *Acciones de infraestructura de drenaje y abastecimiento de agua en el Valle de México 2007-2012 Coordinación General de Proyectos Especiales de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento del Valle de México.* D.F. : Comisión Nacional del Agua, 2012.
5. —. *Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México.* D.F. : Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012.
6. **Anaya Garduño, Manuel.** *Captación del agua de lluvia. Solución caída del cielo.* D.F. : Mundi Prensa México, 2011.

7. **Isla Urbana.** *Study on the rates of adoption of rainwater harvesting systems in Mexico D.F. (Mexico City). The effect of various co-participation methods on system adoption rates.* México D. F. : Isla Urbana, 2012.