

# IMPLEMENTACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA

\*María Neftalí Rojas-Valencia,

\*\*José Roberto Gallardo-Bolaños y Alberto Martínez-Coto

Coordinación de Ingeniería Ambiental, Instituto de Ingeniería,  
Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria,

Apdo. Postal 70-472, C.P. 04510, Deleg. Coyoacán, México, D.F.

E-mail: \*nrov@pumas.iingen.unam.mx, \*\*JGallardoB@iingen.unam.mx.

## RESUMEN

En este trabajo, se presenta la implementación de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, para conocer su calidad, se realizaron análisis microbiológicos y fisicoquímicos basados en la normatividad vigente en México. Los resultados microbiológicos mostraron diversos tipos de bacterias como bacilos, cocos y coliformes, entre ellos *Escherichia coli* y *Enterobacter aerogenes*, mientras que los fisicoquímicos reportaron concentraciones bajas de Sólidos Suspensos Totales (8.9 mg/L), Demanda Biológica de Oxígeno (2.7 mg/L), Demanda Química de Oxígeno (6.7 mg/L) y Carbón Orgánico Total (1.9 mg/L). En este trabajo, también se propone la adaptación de un sistema de captación en una edificación ya construida con un tren de tratamiento, el cual debe proporcionar la calidad del agua adecuada para las necesidades actuales.

**Palabras Clave:** Aprovechamiento, calidad, lluvia, sistema de captación, tratamiento.

## ABSTRACT

This work relates to the implementation of a rainwater catchment system and its use. To determine rainwater quality, microbiological and physical-chemical analyses based on Mexican standards were conducted. The microbiological results showed various types of bacteria, such as bacilli, cocci and coliforms, among them *Escherichia coli* and *Enterobacter aerogenes*, while the physico-chemical results showed low TSS (8.9 mg/L), BOD (2.7 mg/L), COD (6.7 mg/L) and TOC (1.9 mg/L) concentrations. Moreover, a catchment system, with a treatment train supplying water with an adequate quality for the current needs, is proposed.

**Key Words:** Reuse, quality, rainwater, catchment systems, treatment.

## INTRODUCCIÓN

**E**n México, cada familia desperdicia en promedio unos 150 L/día a causa de los malos hábitos, elevando con ello el consumo promedio por persona de 200 hasta 300 L/día, cuando 100 L/día serían más que suficientes para el uso doméstico *per cápita urbano*<sup>[1,2]</sup>.

En la mayoría de las áreas urbanas el adecuado abastecimiento de agua para satisfacer la creciente demanda de la población y asegurar la equidad al acceso del agua resulta un reto significativo y urgente que tienen que considerar las autoridades

correspondientes<sup>[3]</sup>. Existen dos soluciones para satisfacer el manejo sostenible del agua: la primera es encontrar nuevas alternativas para el abastecimiento y la segunda es utilizar, de manera eficiente, los limitados recursos disponibles. Hasta ahora los esfuerzos se han centrado en la primera opción y solamente se ha dado limitada atención a la segunda<sup>[4]</sup>.

Una alternativa con gran potencial es el agua de lluvia, ya que para su colecta sólo se requiere de un sistema de captación el cual tiene ciertas ventajas como: un ahorro de energía, ya que se evita todo el proceso de extracción, sistema de distribución y bombeo para su transporte al área de suministro y el tratamiento requerido para garantizar la calidad adecuada para el consumo humano, es

Nota: Artículo recibido el 28 de febrero de 2012 y aceptado el 12 de junio de 2012.

relativamente barato<sup>[4]</sup>. Una desventaja es que la disponibilidad de agua se limita a las temporadas de precipitación altas y varía para cada región del país, además depende del tamaño del área de captación y del tamaño de cisterna de la edificación en caso de ya estar implementada.

Los estudios de la captación de agua de lluvia cada vez son más comunes a nivel mundial, en países de todo el mundo como Australia, Japón, Corea, Nigeria, Nueva Zelanda, Brasil y China, por mencionar algunos, se ha llevado un balance del promedio de agua captada en superficies, tomando en cuenta el promedio pluvial en cada zona del planeta y haciendo estudios de qué tan factible es introducir sistemas de captación para el ahorro del agua.

A pesar de esto, la mayor parte de los estudios de la captación de agua de lluvia, se encuentran enfocados al ahorro del agua sin tomar en cuenta que la calidad de la misma es de gran importancia para conocer el tratamiento que se le debe dar para que ésta entre en contacto con el hombre de manera segura.

En países como Corea, Nigeria, Australia, Nueva Zelanda y otros, se han interesado en la calidad del agua de lluvia, en donde todos los estudios realizados, basándose cada cual en su propia metodología de muestreo, coinciden en la presencia de indicadores biológicos como *Escherichia coli* y coliformes totales provenientes del agua de lluvia de una cisterna de captación. Otro género de bacterias encontrado en un sistema similar en India es el *Streptococcus* con un total de 43 unidades formadoras de colonias (UFC) en agua sin tratamiento<sup>[5]</sup>, por otro lado, en dos diversas zonas de muestreo en Corea, el indicador *E. coli* se hace presente en 96 y 72% de las muestras recolectadas<sup>[6]</sup>.

Australia tiene reportes de agentes patógenos contenidos en el agua de lluvia captada en la cual se encontraron bacterias como *Salmonella*, *Giardia lamblia* y *Legionella pneumophila*, además de cepas de *E. coli*<sup>[7]</sup>, mientras que en el mismo continente en Nueva Zelanda la bacteria *E. coli* se hizo presente en 12 de 18 muestreos.

En Nigeria se encontraron diversos grados de contaminación microbiológica en las distintas muestras. Todas las muestras contenían altas concentraciones de bacterias heterotróficas (de  $5.8 \times 10^1$  a  $7.6 \times 10^3$  UFC / mL) y se encontraron en el rango de  $1.0 \times 10$  a  $4.0 \times 10^2$  UFC / mL *Pseudomonas* spp.<sup>[8]</sup>

Considerando las ventajas y lo que falta por estudiar en México en comparación con otros países, el objetivo de esta investigación fue determinar la calidad del agua proveniente de la precipitación de la zona Sur del Distrito Federal y establecer una alternativa de captación y tratamiento del agua pluvial mediante un sistema que permita cosechar la mayor cantidad de agua posible y que después de ser tratada pueda ser aprovechada dentro de las

instalaciones para limpieza, uso de inmuebles sanitarios e incluso para uso personal o para beber.

## METODOLOGÍA

La metodología se dividió en dos fases: la primera se enfocó al diseño y captación del agua y en la segunda fase se hizo una caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de lluvia.

Para el diseño del sistema de captación del agua de lluvia, se procedió a tomar medidas de altura, largo y ancho, área de captación y pendiente de un edificio escolar ubicado en la zona Sur del Distrito Federal. Con esta serie de datos se recurrió a la literatura para obtener el factor de la precipitación media anual en la zona de estudio, así como el factor de escurreimiento según el tamaño del área de captación y se calculó el tamaño de la cisterna<sup>[9]</sup>. Una vez recopilados estos datos, se calcularon por medio de la ecuación de Bernoulli las pérdidas por fricción del sistema y la capacidad de la bomba de suministro, con base a la altura del edificio<sup>[9,10]</sup>.

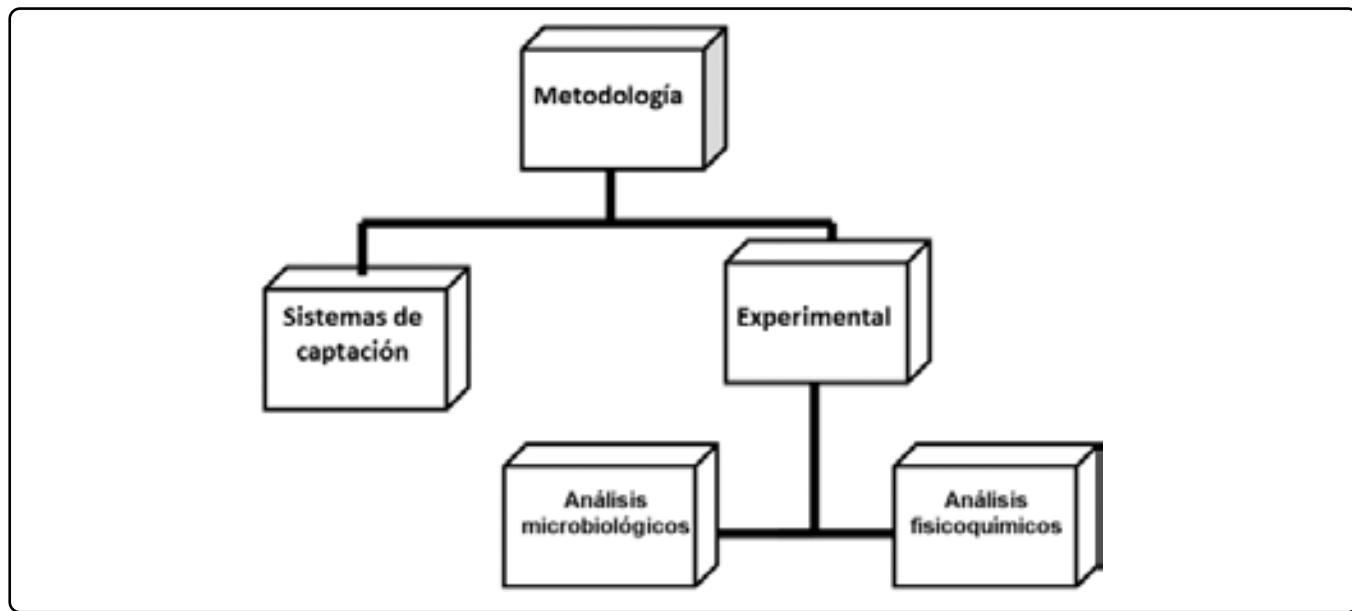
A su vez, las dos fases de la metodología se subdividieron en campos de estudio más específicos como se observa en la Figura 1.

Para el análisis microbiológico y fisicoquímico se adaptó un contenedor previamente desinfectado con una capacidad aproximada de 120 L de donde se tomaron directamente muestras de agua en bolsas estériles, las cuales fueron llevadas inmediatamente al laboratorio de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería, UNAM, para su análisis.

Las pruebas microbiológicas se realizaron con el fin de conocer la calidad fisicoquímica y qué tipo de microorganismos se encontraban en el agua de lluvia captada, primero se utilizó la técnica de cuenta estándar en placa, tomando alícuotas de 0.1 mL para identificar los medios selectivos en los cuales se encontró crecimiento de diversos microorganismos. Los medios selectivos en los que se detectó crecimiento fueron:

- 1) Agar de Soya Trypticaseina (TSA): Medio selectivo para bacterias heterotróficas.
- 2) Agar Dextrosa Sabourad (ADS): Medio selectivo para hongos y levaduras.
- 3) Agar M Endo Les (CT): Medio selectivo para coliformes totales.

El segundo método empleado fue el análisis por filtro de membrana, el cual se repitió 14 veces para cuantificar el crecimiento de los microorganismos, una vez que se tuvieron identificados cualitativamente, se procedió a realizar la técnica de aislamiento por estría, tomando una colonia de cada microorganismo presente y resembrándola en el medio selectivo para favorecer su crecimiento.



**Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología.**

Posteriormente, se procedió a realizar las pruebas de identificación comenzando por la técnica de Tinción de Gram, la cual se basa en las diferencias de las características fisicoquímicas de la pared celular de los microorganismos, seguido por el aislamiento por estría en un medio de agar a base de sangre de carnero con el fin de estabilizar la bacteria, continuando con una serie de pruebas bioquímicas (BD BBL CRYSTAL) en donde se lleva a cabo la fermentación, oxidación, degradación y la hidrólisis de sustratos, ya que éstas detectan las enzimas que los microorganismos utilizan para metabolizar varios sustratos. Estas pruebas proporcionaron información sobre cada bacteria por medio de un código de color el cual se introdujo a un programa de cómputo logrando identificar cada bacteria<sup>[11]</sup>.

Paralelamente a las pruebas microbiológicas se obtuvieron los parámetros fisicoquímicos con ayuda de un equipo UV-PRO Software Pastel UV, este equipo trabaja por medio de la refracción de la luz, una vez que se tiene la muestra en la celda ésta se puede introducir a dos trayectorias ópticas de la fuente de luz la primera es de 10 mm, la cual se utiliza en caso de que la muestra tenga una concentración baja y cuando la concentración de la muestra es elevada se utiliza de 5 mm, en este caso se utilizó la primera. Se obtuvieron diversos parámetros como son: Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspensos Totales (SST) y Carbono Orgánico Total (COT). Las pruebas de pH (potencial de hidrógeno) de cada día de lluvia se tomaron con un medidor de campo marca Orion 210 A.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

### Sistema de captación de agua de lluvia

Para el diseño del sistema de captación, se procedió a obtener el

factor de escorrimiento del tipo de edificación reportado en la literatura, el cual varía de 0.60 a 0.75, debido a que este coeficiente se le otorga a edificaciones en las que el área de captación es menor de 500 m<sup>2</sup> (GDF, 2005), el promedio pluvial por las condiciones de la zona se obtuvieron de una relación la cual indica que existen cuatro tipos de lluvias (débiles 2 mm/h, moderadas 2 a 15 mm/h, fuertes 15 a 30 mm/h y muy fuertes 30 a 60 mm/h), estos datos mostraron que las lluvias en la zona Sur del Distrito Federal son fuertes, por lo cual se trabajó con un promedio pluvial de 45 mm/h, este dato se tomó de manera teórica dada la intensidad que presentan por lo general las precipitaciones en el D.F. Paralelamente se tomaron medidas de un edificio escolar ya construido ubicado en la zona Sur del Distrito Federal, el área de captación fue de 288.4 m<sup>2</sup> con una altura de 12.54 m<sup>[9]</sup>.

El sistema de captación propuesto se formó de dos partes iguales debido a la geometría del edificio, la cual es similar en dimensiones en los dos extremos, por lo cual en el dibujo del sistema se observan dos ramales que bajan con una separación. Se localizaron dos entradas de cada lado de la superficie de captación, es decir el agua se conduce por dos tuberías que descargan al mismo punto, para evitar la contaminación del agua se colocaron filtros que constan de unas pequeñas rejillas para evitar que los contaminantes como tierra, heces fecales (de animales como pájaros, entre otros) y hojas, se pasen y bloqueen el sistema de captación.

El agua captada se hace bajar por una tubería de PVC (policloruro de vinilo) con un diámetro de 3 pulgadas, el cual llega al interceptor de las primeras aguas, éste es un dispositivo cuyo tamaño va a depender del área de captación y la cantidad de lluvia por región, su función es recolectar los primeros litros de lluvia

para llevarse consigo el agua contaminada y guardarla para su posterior salida al drenaje o reutilización. En este caso el interceptor actuó como un sedimentador de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua.

La cisterna se diseñó para una capacidad de 3 m<sup>3</sup>, se colocó una bomba de 2.5 caballos de fuerza (HP) para el suministro de agua al edificio. La capacidad de la cisterna se propuso con base en el espacio disponible para su instalación, adicionalmente se instaló un tinaco capaz de almacenar 1 m<sup>3</sup>, dando un total de 4 m<sup>3</sup> de capacidad de almacenamiento de todo el sistema.

Debido a que el área de maniobra no permitió hacer más grande la cisterna, el sistema se planteó de tal forma que para la temporada de lluvias se pueda cerrar el suministro de agua de la red y que el agua captada dé abasto al edificio, tomando en cuenta el consumo diario del inmueble, se estableció que no es necesario almacenar toda el agua que se capte en un día ya que parte de ésta se consumirá, sin embargo, en caso de llenarse por la lluvia en un día, se puso una tubería alterna que llega directo a los jardines que son muy extensos y rodean al edificio, aunado a lo anterior se trata de una zona rocosa con grietas muy grandes, donde el agua se va con gran facilidad a los mantos acuíferos.

La potencia de la bomba se calculó por medio de la ecuación de Bernoulli; con conocimiento de la velocidad del flujo, el diámetro de la tubería, la viscosidad del fluido y las pérdidas, tanto por accesorios como por fricción, se llega a un valor de 2.32 HP, por lo que se planteó una bomba con una potencia de 2.5 HP para transportar el agua al tanque de almacenaje.

Se instaló un sistema de control de vidrio, que se compone de un tubo de vidrio que se le instala a los tanques por fuera el cual va desde el nivel mínimo de operación hasta la parte superior del tanque de almacenaje y va unido por una abertura y un sellado el cual no permite el escape del agua, conforme se va llenando el tanque el tubo se llena junto con él marcando de esta forma el nivel que se tiene por dentro del tanque, además se instaló un sistema de filtros en serie de carbón activado y un dosificador de ozono, el sistema se muestra en la Figura 2<sup>[12]</sup>.

Para obtener un consumo de agua promedio en el edificio, se hizo un estimado del número de personas que laboran en él. Los resultados mostraron que el edificio cuenta con 80 cubículos; el personal que labora por cada cubículo es de un investigador o dos académicos y en otros de 3 a 6 becarios, teniendo así un promedio aproximado de 250 personas. Se tomó en consideración que cada persona gasta 10 L/día, por los diversos usos que se le dan.

Otras consideraciones que se tomaron son que el mes consta de 20 días hábiles y se cuenta con dos períodos vacacionales aproximadamente de tres semanas, con esto se pudo obtener una relación del consumo de agua de este inmueble.

El volumen de agua colectada mensualmente se calculó con base a la ecuación 1<sup>[9]</sup>.

$$\text{Litros captados} = \text{Área} * \text{factor de pérdida} * \text{lluvia mensual} \dots \dots (1)$$

El balance teórico mensual del sistema de captación propuesto se puede observar con detalle en la Tabla I, se debe señalar que los valores que se muestran en esta tabla son teóricos, no experimentales.

## Resultados microbiológicos

Los resultados microbiológicos mostraron diversos tipos de bacterias, entre ellas las de la Familia Bacillaceae y los géneros *Leuconostoc* y *Aerococcus*, las cuales se han reportado ampliamente distribuidas en aire, suelo y agua<sup>[13]</sup>.

La Tabla II muestra los resultados de la identificación de bacterias en dos medios selectivos (TSA y ADS). Se logró identificar cinco bacterias, comúnmente encontradas en el medio ambiente, y de las cuales solamente se tiene un reporte de que causan infecciones oportunistas como intoxicación alimentaria por parte de la especie *Bacillus subtilis*, de la familia Bacillaceae. Se han logrado hallar también vestigios de enfermedades como bacteriemia, infecciones pulmonares, infecciones en pacientes con trasplante de médula ósea y pacientes con SIDA, pero no existen reportes de que bacterias como el *Leuconostoc pseudomesenteroides* y el *Leuconostoc lactis* sean causantes de estas enfermedades<sup>[13]</sup>.

Otra especie identificada en esta investigación fue *E. coli*, aislada a partir del medio selectivo para coliformes totales. Esta es la especie bacteriana más comúnmente recuperada en laboratorios clínicos y ha sido reportada en enfermedades infecciosas que involucran los tejidos humanos. El contagio se lleva a cabo por medio de alimentos contaminados, agua y contacto personal, siendo la flora intestinal el principal hábitat de esta bacteria. En el mismo medio selectivo se encontró *Enterobacter aerogenes* la cual se encuentra ampliamente distribuida en el aparato respiratorio, afecta las heridas cutáneas y en ocasiones puede ser causa de septicemia (envenenamiento en la sangre) y de meningitis<sup>[13]</sup>.

Por último, en esta investigación se logró identificar la presencia de un hongo, el cual pertenece al género *Aspergillus* spp., este género es causante de otomicosis, por su tipo de esporulación puede entrar al aparato respiratorio, aunque el sistema inmunológico es capaz de desecharlo con facilidad<sup>[13]</sup>.

Cabe señalar que en esta investigación se dio particular atención a las bacterias que pudieran estar presentes en el agua de lluvia; sin embargo, es necesario enfatizar que el tren terciario de purificación del agua, no sólo puede eliminar bacterias también elimina esporas y levaduras.

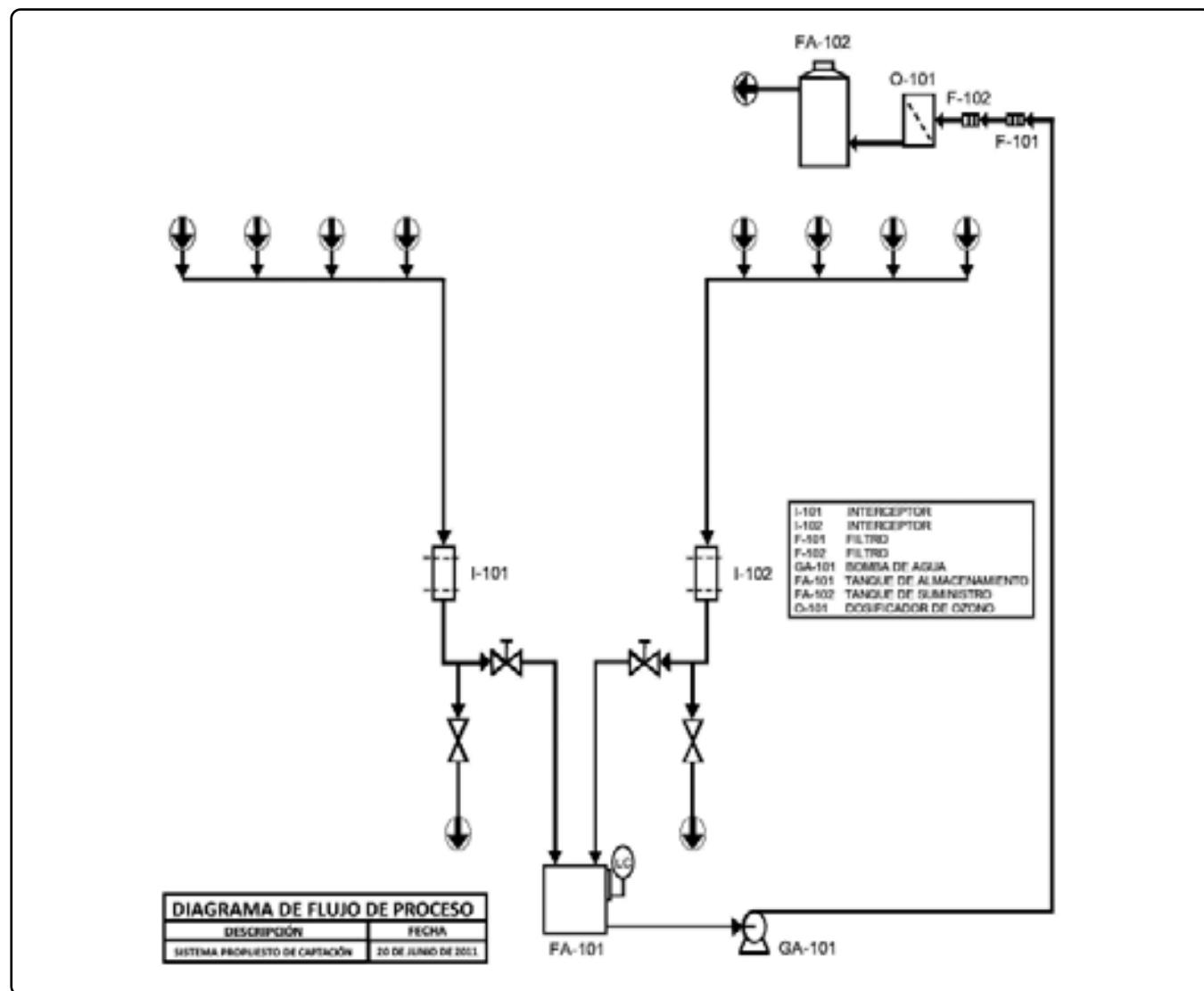


Figura 2. Sistema propuesto de captación pluvial.

Mes	Lluvia(mm/m <sup>2</sup> )	% lluvia	L/m <sup>2</sup>	Litros captados	Consumo(L)	Ahorro de agua (%)
Enero	22,6	2,95	22,6	3910,704	30200	13,28
Febrero	22,6	2,95	22,6	3910,704	30200	13,28
Marzo	16,2	2,11	16,2	2803,248	30200	9,61
Abril	18,3	2,39	18,3	3166,632	30200	10,82
Mayo	38,6	5	38,6	6679,344	30200	22,45
Junio	89,1	11,6	89,1	15417,864	30200	51,38
Julio	122,5	15,98	122,5	21197,4	30200	70,52
Agosto	179,4	23,41	179,4	31043,376	30200	103,12
Septiembre	127,4	16,63	127,4	22045,296	30200	73,33
Octubre	66,5	8,67	66,5	11507,16	30200	38,43
Noviembre	35,4	4,62	35,4	6125,616	30200	20,61
Diciembre	28,2	3,69	28,2	4879,728	30200	16,49

Tabla I. Balance teórico mensual del sistema de captación propuesto.

Medio	Bacteria	(%) de confianza
TSA	<i>Bacillus subtilis</i>	99.18%
TSA	<i>Bacillus brevis</i>	97.22%
TSA	<i>Leuconostoc pseudomesenteroides</i>	99.36%
TSA	<i>Leuconostoc lactis</i>	72.98%
ADS	<i>Aerococcus viridans</i>	99.77%

Tabla II. Resultados microbiológicos.

### Resultados de parámetros fisicoquímicos

Los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos (pH, SST, DBO<sub>5</sub>, DQO y COT) son mostrados en la Tabla III. Se puede observar que cada parámetro cumple con la normatividad vigente, el pH varía de 5.5 hasta la neutralización conforme avanza la temporada de lluvia alcanzando un pH de 7 y se mantiene así hasta el final de la temporada de lluvias.

La variación de los parámetros fisicoquímicos obtenidos se ven de manera más detallada en la Figura 3; se observa que el pH aumenta conforme transcurre la temporada de lluvia, mientras que los demás parámetros descenden con respecto al tiempo.

Se puede decir que la lluvia poco a poco arrastra los contaminantes del suelo y este valor se ve reflejado en la manera que descienden los SST, además existe poca materia orgánica a degradar y oxidar como se observa en los valores obtenidos de DQO, DBO<sub>5</sub>, COT lo cual es reflejado en el bajo contenido de microorganismos.

En la Tabla IV, se pueden observar los resultados obtenidos experimentalmente de las colonias coliformes presentes y los parámetros fisicoquímicos, así como los límites que establece la normatividad mexicana correspondiente. Se puede observar que el agua de lluvia cumple con cada uno de los parámetros que se

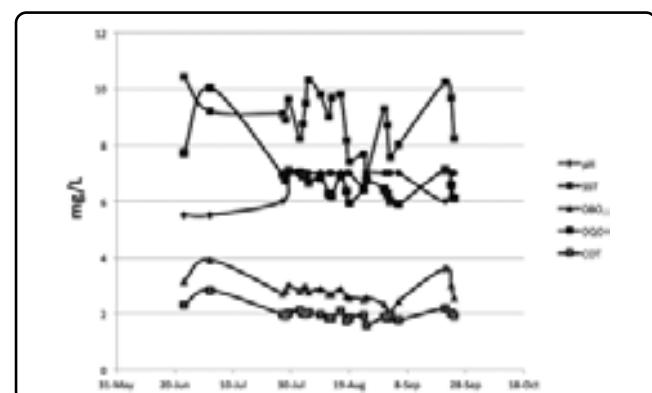


Figura 3. Variación de los parámetros fisicoquímicos.

regulan en la NOM-003-SEMARNAT-1997<sup>[14]</sup> que establece los límites permisibles de contaminantes para las aguas tratadas que se reúsen en servicios públicos, la NOM-127-SSA1-1994<sup>[15]</sup> que estipula los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización y la norma oficial mexicana NOM-041-SSA1-1993<sup>[16]</sup> que se refiere al agua purificada. Como se puede ver al comparar los resultados obtenidos de este estudio con lo que indican las normas para el caso de la DBO<sub>5</sub> y SST se encuentran muy por debajo de lo que marcan las normas para los diferentes usos. Los resultados de coliformes fecales muestran que se cumplen con las tres normas descritas en este párrafo, sin embargo los coliformes totales rebasan un poco los límites permisibles de las normas, en este caso se recomienda, eliminarlos con concentraciones bajas de cloro u ozono.

Todos los análisis coinciden en que el contenido de patógenos es bajo, por lo que en algunos casos específicos, con un tratamiento básico de purificación será suficiente para su reutilización, confirmando que el agua de lluvia es una excelente alternativa para ser utilizada por el ser humano.

Día	pH	SST	DBO <sub>5</sub>	DQO	COT	Día	pH	SST	DBO <sub>5</sub>	DQO	COT
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
23-jun	5,5	10,4	3,16	7,73	2,3	16-agosto	7	9,78	2,88	6,9	2,08
02-jul	5,5	9,2	3,92	10,04	2,84	18-agosto	7	8,18	2,62	6,36	1,76
27-jul	6	9,1	2,72	6,96	1,96	19-agosto	7	7,42	2,58	5,96	1,84
28-jul	7	8,9	2,82	6,74	1,94	24-agosto	6,5	7,68	2,52	6,42	1,94
29-jul	7	9,62	3,02	7,08	2,02	25-agosto	7	7,02	2,58	6,74	1,6
02-agosto	7	8,22	2,8	7,04	2,12	31-agosto	7	9,3	2,34	6,44	1,9
03-agosto	7	8,76	2,9	6,9	2	01-septiembre	7	8,7	2,12	6,26	1,84
04-agosto	7	9,5	2,96	6,94	1,98	02-septiembre	7	7,58	1,84	6,02	1,96
05-agosto	7	10,32	2,78	6,66	2,04	05-septiembre	7	8,02	2,44	5,9	1,78
09-agosto	7	9,8	2,88	6,84	1,96	21-septiembre	6	10,2	3,62	7,12	2,2
12-agosto	7	9,02	2,7	6,28	1,84	23-septiembre	7	9,68	3,02	6,58	2
13-agosto	7	9,68	2,7	6,18	1,84	24-septiembre	7	8,22	2,58	6,1	1,92

Tabla III. Resultados de parámetros fisicoquímicos.

Normatividad	Coliformes totales (UFC/100 mL)	Coliformes fecales (UFC/100 mL)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	SST (mg/L)
NOM-003-SEMARNAT-1997 <sup>[14]</sup>	No se menciona	240	20	20
NOM-127-SSA1-1994 <sup>[15]</sup>	2	0	No se menciona	1000
NOM-041-SSA1-1993 <sup>[16]</sup>	0	0	No se menciona	1000
Resultados de este estudio	3	0	2.77	8.93

Tabla IV. Resultados obtenidos vs. NOM-003-SEMARNAT-1997<sup>[14]</sup>.

## CONCLUSIONES

Se identificaron diversos microorganismos en el agua captada como: *Bacillus subtilis*, *Bacillus brevis*, *Leuconostoc pseudomesenteroides*, *Leuconostoc lactis* y *Aerococcus viridans*, los cuales no se reportan como patógenos para los humanos.

Sin embargo, los microorganismos encontrados que podrían afectar la salud humana, son las bacterias *E. coli* y *Enterobacter aerogenes*, las cuales a pesar de su mínima concentración, obligan a que el sistema tenga un tratamiento antes del reúso.

Los resultados de pH, muestran que éste tiende a neutralizarse conforme avanza la temporada de lluvias, ya que el pH inicial es de 5.5 y al final de la temporada es de 7.

En el caso de DBO<sub>5</sub> y DQO se tienen valores de 2.77 mg/L y 8.93 mg/L respectivamente, los cuales indican que no existe gran demanda de oxígeno por parte de la materia orgánica para ser oxidada o degradada, también se observaron bajos niveles del COT de 2 mg/L.

El sistema teórico de captación, resulta ser una propuesta muy interesante para el ahorro del agua dentro de las instalaciones, a pesar de que la eficiencia del sistema se considera baja.

La cantidad de agua anual ahorrada de manera teórica fue de 132 m<sup>3</sup> que es equivalente a un 36 % del uso total de agua de la edificación estudiada.

Al comparar los datos obtenidos y la NOM-003-SEMARNAT-1997<sup>[14]</sup> se observa que el agua de lluvia captada cumple con los parámetros establecidos para contacto directo con el hombre. También se cumple casi en su totalidad con los límites permisibles que marcan las normas NOM-127-SSA1-1994<sup>[15]</sup> y NOM-041-SSA1-1993<sup>[16]</sup>.

Por consiguiente, el agua de lluvia puede ser considerada como un recurso hídrico alternativo.

## RECOMENDACIONES

No se debe recolectar la primera lluvia de la temporada, ya que la función de ésta es arrastrar el mayor número de contaminantes del área de captación, además de que es la que

tiene el pH más ácido debido a las reacciones con la atmósfera durante su caída.

Los resultados obtenidos en la presente investigación sugieren que la pureza del agua de lluvia, no debe darse por sentado. Antes de decir que ésta es potable es muy importante hacer análisis microbiológicos de todas las aguas pluviales para un tratamiento adecuado.

## REFERENCIAS

1. Añorve, C. Manual para cuidar el agua. El ABC del saneamiento ecológico (CONACULTA, Cuernavaca, Morelos, 2006). Págs. 1-46.
2. Orta Ledesma, M.T., Yáñez Noguez, I. & Rojas Valencia, M.N. Manejo, uso y reuso del agua en la UNAM. Proyecto PUMA AGUA (2008). Págs. 1-192.
3. Anaya G., M & Martínez J., J. Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano en América Latina y El Caribe (Colegio de Postgraduados, México, 2007). 149 págs.
4. Alder, L. & Carmona, G. Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos (IRRI Instituto Internacional de Recursos Renovables, Ciudad de México, 2008). 224 págs.
5. Cochran, J. & Ray, I. Equity reexamined: A study of community-based rainwater harvesting in Rajasthan, India. *World Development* **37**(2), 435-444 (2009).
6. Amin, M.T. & Han, M.Y. Probable sources of microbial contamination of stored rainwater and its remediation (College of Engineering, Seoul, 2009). 10 págs.
7. Ryan, A.M., Spash, C.L. & Measham, T.G. Socio-economic and psychological predictors of domestic greywater and drainwater collection: Evidence from Australia. *Journal of Hydrology* **379**(2), 164-171 (2009).
8. Nnene, U. & Aghogho, O. Rainwater quality from different roof catchments in the Port Harcourt district, Rivers State, Nigeria. *AQUA* **49**, 281-288 (2000).
9. Gobierno del Distrito Federal. Guía de la memoria de cálculo y descriptiva, sistema alternativo de reúso de agua pluvial. (Gobierno del Distrito Federal, Ciudad de México, 2005). 177 págs.
10. Valiente, A. Problemas de flujo de fluidos (Ed. Limusa, Ciudad de México, 1990). 733 págs.
11. Pelczar, M.J. *Microbiology* (Ed. McGraw Hill, New York, 1986). 57 págs.
12. Veenhuizen, R.V. & Prieto-Celi, M. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia (FAO, Santiago, 2009). 224 págs.
13. Kolleman, E. & Allen, S. *Diagnóstico microbiológico: Texto y atlas*

- a color (Ed. Panamericana, Ciudad de México, 2001). 1431 págs.
14. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas tratadas que se reúsen en servicios al público (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ciudad de México, 1997). Pág. 199.
15. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana 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 (Secretaría de Salud, Ciudad de México, 1994). Pág. 15.
16. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-041-SSA1-1993, Bienes y servicios. Agua purificada envasada. Especificaciones sanitarias (Secretaría de Salud, Ciudad de México, 1993). 71 págs.