

Evaluación de un sistema de captación de agua de lluvia en la zona metropolitana de Monterrey, para su aprovechamiento como medio alternativo

Salinas López, J. C.¹, Cavazos González, R. A., Vera Herrera, J. A.²

Fecha de recepción: 04 junio de 2016 – Fecha de aprobación: 17 de octubre de 2016

RESUMEN

El objetivo general de la presente investigación es evaluar la implementación de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) en pequeña escala (techumbres) en la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM) como medida para prevenir o mitigar los riesgos que se presentan ante los fenómenos adversos a los que está expuesta la ciudad. Con el fin de realizar un análisis espacial sobre la implementación de SCALL en las áreas habitacionales de la ZMM, para determinar una distribución en la cantidad de agua que se puede captar, de acuerdo con la distribución de la precipitación, sobre una representación gráfica (Mapa); así como de elaborar el diseño preliminar de los elementos de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil de UANL, con los datos obtenidos del análisis espacial, tomando en cuenta los parámetros presentes en la zona.

Palabras clave: captación, agua de lluvia, medio alternativo, sistema SCALL, pluviometría

Evaluation of rainwater harvesting system in the metropolitan area of Monterrey, for its use as alternative means

ABSTRACT

The overall goal of this research is to evaluate the implementation of Rainwater Harvesting Systems (SCALL, for its acronym in Spanish) on a small scale (roofing) in the Metropolitan Area of Monterrey (ZMM for its acronym in Spanish) as a way to prevent or mitigate the risks arising before the adverse events to which the city is exposed. For the purpose of perform spatial analysis about the implementation of SCALL in the residential areas of the ZMM, to determine a distribution in the quantity of water that can be captured, according to the rainfall distribution on a graphical representation (map); and to develop the preliminary design of the elements of a Rainwater Harvesting System in the Hydraulic Laboratory of the Faculty of Civil Engineering UANL, with the data obtained from spatial analysis, taking into consideration the parameters present within the area.

Keywords: harvesting system, rainwater, alternative means, SCALL system, pluviometry

¹ Universidad de Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Hidráulica, Av. Universidad S/N Cd. Universitaria, C.P. 66451, San Nicolás de los Garza-Nuevo León-México.
Correo electrónico: juan.salinaslp@uanl.edu.mx

² Autor de correspondencia: juan.verahr@uanl.edu.mx

Este artículo de investigación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Ing. R.A., Vol. 20, No. 1, 2016.

INTRODUCCIÓN

La expansión acelerada que han tenido los desarrollos humanos en los últimos años en el mundo ha provocado que temas como del agua potable, el cambio climático, las energías renovables, la huella hídrica y el desarrollo sustentable, entre otros; sean de gran interés para la elaboración de varias investigaciones que tienen como fin común mitigar en cierta medida el impacto que se ha generado al planeta y desacelerar el deterioro del mismo. En el tema de esta investigación, el agua es uno de los tesoros más preciados para el desarrollo de una población, ya que todos los seres vivos requieren de un suministro diario de este elemento, para realizar sus actividades cotidianas sin ningún inconveniente.

Siendo que cada día nos enfrentamos a una progresiva reducción de la dotación de las principales fuentes de agua dulce que es utilizada para abastecer a las ciudades y no conviene esperar a que las autoridades resuelvan el problema de abastecimiento de manera unilateral, pues éste es un problema que rebasa las capacidades de una sola instancia (Adler, et al., 2008). De las diversas fases del ciclo del agua; la precipitación, en cualquiera de sus formas (agua o nieve), constituye la principal fuente para la mayoría de los usos humanos y de los ecosistemas. Esta precipitación es recogida por las plantas y el suelo, un porcentaje se evapora a la atmósfera mediante la evapotranspiración, otro porcentaje se acumula en capas de hielo y en los glaciares y el otro va hacia escurrimientos superficiales, lagos o humedales, ver figura 1 para la distribución de la precipitación promedio anual (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2003)

Las aportaciones del ciclo hidrológico no ofrecen garantía, ya que dos tercios de la población mundial viven en zonas que reciben una cuarta parte de la precipitación anual del mundo. Actualmente, en las regiones de África, Asia, América Latina y el Caribe,

la escasez del agua dulce con adecuada calidad y cantidad está surgiendo como uno de los problemas más críticos (Anaya Garduño, 2011).

La sequía es uno de los eventos hidrometeorológicos que están tomando peso en el ámbito técnico-científico, debido a los estragos que ha causado en diferentes partes del mundo, fenómeno que se puede definir dependiendo del impacto en diversos sectores de la sociedad, generando una definición de “sequía” un carácter local y regional, por lo que es vano pensar en generalizar la definición del concepto (Wilhite, 2000). El estado de Nuevo León (al noreste de México), se ha visto afectado en los últimos años por la sequía, con base en la extensión geográfica del estado, se tiene registrado el 48.71% como “anormalmente seco”, el 10.52% como “moderada” y dejando solamente un 40.76% sin afectación por este fenómeno (CONAGUA, 2015).

Existen diversos estudios que indican que la captación de agua de lluvia constituye una solución para el abastecimiento de agua, ya que se ha convertido en una medida amigable, económica y ecológicamente en la gestión de agua urbana; implementándose también en las instalaciones de infiltración para la recarga de aguas subterráneas, y por lo tanto, en la restauración del ciclo hidrológico en las zonas urbanas (Hyoungjun, et al., 2012).
Sistemas de captación de lluvia (SCALL)

La captación pluvial es la recolección del escurrimiento de lluvia sobre una superficie para propósitos de aprovechamiento; existiendo una gran variedad de técnicas de los sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia (García Velázquez, 2012), donde la clasificación de los SCALL, ver figura 2, en función de la escala con la que cuenta el sistema.

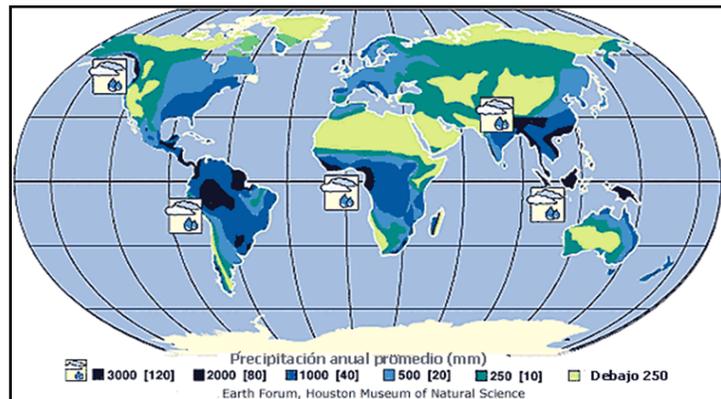


Figura 1: Distribución mundial de la precipitación promedio anual en mm

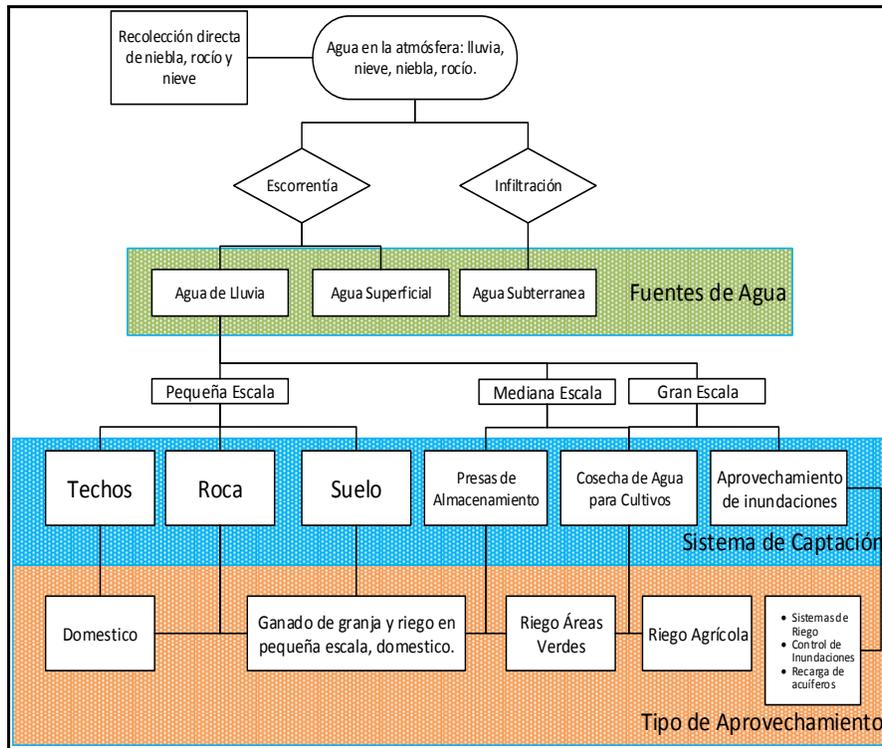


Figura 2: Clasificación general de los SCALL (García Velázquez, 2012).

Existen regiones, como las islas volcánicas y zonas áridas, en donde el agua de lluvia se sigue utilizando a causa de la escasez de otras fuentes, mientras que se está aplicando en otras localidades en vías de desarrollo de África y Asia (Guold & E. Nissen-Petersen, 1999). La aceptación de un SCALL depende de la cantidad y la calidad que ofrezca el sistema (Fewkes, 2012), y estos factores dependen de su ubicación, debido a las propias características de cada región, siendo que la eficiencia de un SCALL se puede ver afectado (directa o indirectamente) por la distribución de la precipitación y los contaminantes ambientales. Debido a su baja complejidad tecnológica, estos sistemas se adaptan fácilmente a diversas condiciones ecológicas, en donde la precipitación pluvial es mayor a los 200 mm anuales.

El agua de lluvia es de muy alta calidad, mientras que esta precipita y llega a la tierra; sin embargo, cuando la precipitación entra en contacto con una variedad de superficies y paisajes, pueden adicionarse contaminantes en el escurrimiento del agua meteórica (Despins, 2012). Para la evaluación e implementación de un SCALL, se deberán de tomar en cuenta

diversos aspectos; esta investigación se centró en un análisis espacial para estimar el volumen de agua de lluvia que puede ser captado en la ZMM, con el fin de analizar si es lo suficientemente rentable implementarlos como para tener un impacto positivo en el desarrollo integral de la sociedad. Cabe mencionar que de acuerdo a estudios realizados no se presenta lluvia ácida, debido a que el valor de pH normal que se presenta es de 5.65, siendo que para contemplar está característica de la precipitación pluvial debe de ser menor a 5 (Ramírez Lara, et al., 2010).

MATERIALES Y METODOS

Zona en estudio

El área en estudio es la ZMM en el estado de Nuevo León. Dicha zona incluye los Municipios de Monterrey, Apodaca, Cadereyta Jiménez, General Escobedo, García, Guadalupe, Santiago, Santa Catarina, San Nicolás de los Garza, San Pedro Garza García y Salinas Victoria, como se puede apreciar en la figura 3; siendo que el criterio utilizado para determinar la demanda es que en todas las viviendas de la zona urbana se puede implementar un SCALL.

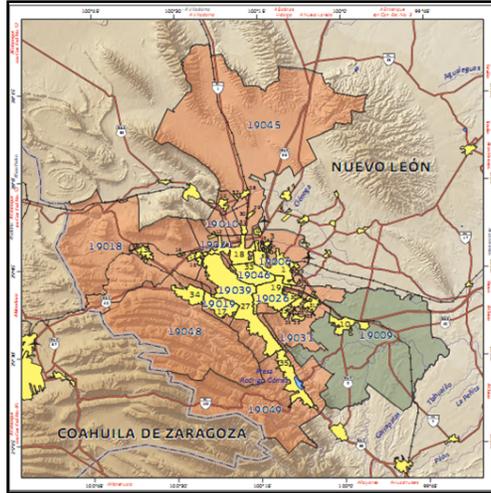


Figura 3: Zona metropolitana de Monterrey tomado del censo poblacional de INEGI 2010

Análisis de información pluviométrica

La base de esta investigación es el tratamiento de la información pluviométrica de las estaciones climatológicas de Nuevo León. El análisis espacial de los datos de precipitación media y precipitación neta se realizó con la ayuda de mapas de isoyetas (creados con arcGIS) y la distribución de la cantidad de precipitación en el estado de Nuevo León. La precipitación neta se obtuvo a través del método descrito por (Anaya Garduño, 2011), ver ecuación 1, en donde se define como la cantidad de agua de lluvia que queda a disposición del SCALL.

$$PN = \sum_{j=1}^n P_j * \eta ; P_j \geq 40 \text{ mm} \quad (1)$$

Donde, PN es la precipitación neta, en mm; P_j es la precipitación media mensual, en mm; η es un coeficiente adimensional.

Se utilizó el valor de 0.85, para el coeficiente adimensional, que representa un 85 por ciento de precipitación media mensual, cumpliendo lo recomendado por el Centro Internacional de Demostración y Captación de Aprovechamiento del Agua de Lluvia. Se calculó la precipitación neta para cada una de las estaciones climatológicas tomando la condición de sumar sólo los meses que reporten más de 40 mm de precipitación. Por lo que se crearon mapas con la distribución de la Precipitación Media Anual y Precipitación Neta Anual.

Áreas de captación

El análisis de áreas de captación se realizó considerando que es posible tomar los techos de las

viviendas de la ZMM como áreas de captación, teniendo así el área total con la cual poder estimar un volumen de agua captado. La información se recabó del Sistema para la Consulta de Información Censal (SINCE), que es una herramienta creada por Instituto Nacional de Estadística y Geográfica (INEGI), que permite asociar la información estadística de diversos censos con el espacio geográfico al que pertenece, con lo cual aporta información complementaria para facilitar la interpretación de los fenómenos sociodemográficos.

La información utilizada de SINCE para este estudio fue en un nivel de desagregación de manzanas, donde la base de datos indica el número de habitantes existente en la manzana, así como el número de viviendas habitadas, el de habitantes por vivienda y el número de viviendas que no cuentan con el servicio de agua entubada, entre otros datos socioeconómicos por manzana (como metadatos de archivo shape); ahora bien, con la información disponible se observa que existe una variación en el tamaño y el material del techo de las viviendas en la zona metropolitana, por lo que se realizaron las siguientes consideraciones:

- 1) Se seleccionaron las manzanas en las que se reporta que existen viviendas con habitantes.
- 2) Se multiplicó el área correspondiente a la manzana por un coeficiente de 0.83. Dicho valor se propuso para disminuir el área verde, suponiendo que las zonas habitacionales cumplan el 17% del área verde que dicta la Ley de Desarrollo Urbano del Estado de Nuevo León en su Artículo 201; esto con el fin de obtener el Área

Efectiva de Captación.

- 3) Se generalizo el material del Techo a losa de concreto, con el fin de unificar el coeficiente de escurrimiento en el área de captación ($C=0.9$).

De la información obtenida se descartaron aquellas manzanas en las que no se presentarán viviendas. Una vez realizado lo anterior, se procedió a calcular el Área Efectiva de Captación, multiplicando el área total de las manzanas seleccionada, por el coeficiente 0.83.

Volumen captado

Cuando ya se conoce la magnitud de una superficie fija que será destinada para la captación del agua de lluvia; tal es el caso de los techos de casas, de escuelas, de industrias, etc.; el razonamiento del diseño de un SCALL está dirigido a calcular el volumen de agua (ecuación 2) que puede ser captado en esta superficie y definir la capacidad para cubrir una demanda.

$$Vol = \frac{PNA * A_e * CE}{1000} \quad (2)$$

Donde, Vol es el volumen captado, en m^3 ; PNA, es la precipitación neta anual, en mm; A_e es el área efectiva de captación, en m^2 ; CE es el coeficiente de escurrimiento adimensional.

Con los datos obtenidos en los puntos anteriores se generaron mapas con la distribución de la Precipitación Neta Anual (PNA) y con las manzanas indicando el Área Efectiva de Captación de cada una de ellas. Se realizó con ayuda del Software arcGIS, una combinación de estos archivos para determinar la Precipitación Neta Anual Promedio presente en cada manzana, y para realizar el cálculo del Volumen Captado por cada manzana seleccionada.

Diseño de los elementos de un SCALL

El diseño de un sistema de captación de lluvia se basa en el dimensionamiento de cada uno de los componentes, contemplando los factores externos que lleguen a afectar el funcionamiento del mismo. Se tuvo la facilidad de resolver este caso en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FIC-UANL).

Los componentes a diseñar fueron: el dimensionamiento de los tanques de primeras lluvias, debido al efecto de lavado natural de la atmósfera y de las superficies de contacto que los primeros milímetros de lluvia recogen, sabiendo que esto puede alterar la calidad del agua es necesario plantear unos contenedores de este volumen que requiere de otro tratamiento para mejorar su calidad, para posteriormente enviarlo a la cisterna que contendrá el agua que se recolectó. El diseño se realizó en función de las condiciones actuales de la zona en estudio, e consideró como zona de estudio el Laboratorio de Hidráulica de la FIC-UANL, como se puede apreciar en la figura 4, ubicado al norte del campus de Ciudad Universitaria, en el municipio de San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

El edificio del laboratorio se encuentra rodeado de vegetación alta y cuenta con un drenaje pluvial que consiste en dos canaletas de acero, situadas a lo largo de los costados del laboratorio y en cada una se conectan 3 bajadas pluviales del mismo material que van a un registro ubicado debajo de cada una y estos se acoplan a una descarga sanitaria.



Figura 4: Vista aérea del Laboratorio de Hidráulica de la FIC-UANL, (Google Earth 2015)

La superficie total de la techumbre es de 500 m², dividida por un partaguas en el centro; la pendiente del techo es de 0.0865 y está recubierta por un impermeabilizante, lo que le da poca rugosidad al techo, proponiéndose un coeficiente de escurrimiento de 0.9. El criterio para el diseño del contenedor de primeras lluvias en el SCALL se basó en parámetros establecidos sobre la variación de los agentes contaminantes en la lluvia conforme continúa lloviendo. La finalidad de incluir este componente es almacenar el agua con mayor contenido de contaminantes y separarla del agua que tuviese mejor calidad para mandarla a la cisterna.

La propuesta para el diseño de este contenedor debe hacerse considerando un volumen de lavado de un litro por metro cuadrado de captación, lo que equivale a los primeros milímetros de precipitación (Hernández & Villa Cisneros, 2013). De acuerdo con proyectos elaborados por Isla Urbana, en la megalópolis del país, se ha implementado que el volumen a separar corresponde a los primeros dos milímetros, para zonas urbanas y el primer milímetro, en zonas rurales por metro cuadrado de captación; esto con el sustento de que se presenta mayor contaminación en las zonas urbanas que las zonas rurales (García Velázquez, 2012). De igual manera se estipula que por cada mililitro de lluvia desviado se aumenta un 50 % más la calidad, en promedio (Martinson & Thomas, 2010).

Por lo anterior, para este estudio se consideró 1.5 milímetros por metro cuadrado de techo, para determinar el volumen que deben de captar dichos contenedores y realizar un diseño adecuado a la calidad que se espera obtener, ya que el principal uso sería como agua “gris”. La cisterna de almacenamiento se calculó con base en el valor de Precipitación Neta Anual obtenido en la zona del laboratorio, el cual cuenta con una cisterna que tiene una capacidad de 80 m³; con este volumen se busca encontrar el volumen final de la cisterna 2 con el fin de almacenar la mayor parte posible de agua, en caso de que el volumen del SCALL sea mayor al actual, siendo el objetivo a futuro es que al implementar un SCALL se obtenga un sistema mixto el cual pueda utilizar el agua de lluvia y el agua potable para, en una investigación futura, evaluar el impacto del sistema a las labores cotidianas del laboratorio.

RESULTADOS

Se realizó el análisis de la Precipitación Neta Anual que reportaría cada una de las estaciones Climatológicas del Estado de Nuevo León, por lo que se creó una base de datos que facilitó el cálculo de la Precipitación Neta, donde se indicaron los criterios expuestos en la ecuación 1; por lo que a continuación se presenta en la Tabla 1 y 2 un resumen de la base de datos utilizada para realizar la distribución de precipitaciones netas anuales.

Tabla 1: Precipitación media mensual para algunas estaciones del estado de Nuevo León

Nombre de estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
AGUA BLANCA	22.78	16.22	15.82	28.76	48.58	75.56	98.11	97.34	135.17	53.19	17.65	17.90
AGUALEGUAS	27.44	24.28	22.23	40.96	62.93	52.03	70.63	77.85	99.00	50.70	20.88	19.48
ALLENDE	35.50	32.00	36.18	69.03	87.79	125.70	98.57	136.33	265.25	106.41	39.80	26.03
ANAHUAC	19.40	18.45	14.63	29.44	62.04	52.37	39.29	60.66	82.54	42.97	18.73	17.63
APODACA	17.40	17.38	17.92	34.69	47.67	67.21	56.27	68.43	141.91	53.98	20.85	21.00
ARAMBERRI I	15.37	10.55	11.69	31.85	45.73	52.52	65.03	63.56	120.82	46.93	10.46	14.44
BENITEZ	29.61	20.75	29.84	54.65	86.24	88.39	75.98	98.82	167.15	80.08	20.21	23.81
CABEZONES	27.76	21.29	31.62	56.70	88.68	107.00	82.08	126.23	205.50	94.26	26.20	21.84
CADEREYTA	23.19	21.29	24.57	54.19	65.01	80.82	62.31	84.63	159.34	89.81	23.00	17.66
CAMACHO	24.51	21.12	26.54	55.43	93.48	99.96	69.96	105.40	173.67	89.47	23.65	19.91
CARBONERA	19.09	11.64	9.61	21.97	34.96	48.18	62.58	55.67	55.59	30.27	14.68	13.74
CASILLAS	19.41	13.40	14.19	30.08	55.16	80.57	70.65	77.76	126.11	55.47	16.56	19.23
EJIDO MARIN	24.32	17.02	16.99	30.13	50.41	62.39	68.79	68.93	107.53	43.73	16.08	23.35
EL BRASIL	21.98	18.64	21.04	34.90	50.07	63.15	45.10	46.76	90.51	37.25	17.27	17.26
EL CUCHILLO	19.62	14.49	14.16	33.12	62.17	65.05	59.62	65.82	115.82	43.16	15.89	16.31
EL CUERVITO	22.03	23.02	22.67	31.30	56.16	63.51	65.49	56.79	84.58	48.16	17.96	17.55
EL CUIJE	24.93	18.34	9.12	20.63	42.04	49.37	55.53	49.97	49.33	30.81	13.47	15.30
EL HOJASE	21.08	13.43	15.23	21.79	36.03	41.21	67.80	58.93	104.03	30.89	13.59	15.48
EL OASIS	10.07	7.22	18.58	21.57	45.44	22.93	33.30	24.19	47.71	21.17	17.33	9.49

EL PAJONAL	13.61	12.45	11.29	23.61	48.61	60.24	73.59	85.17	128.88	47.71	13.78	13.67
EL PEÑUELO	21.77	10.27	5.65	25.09	32.90	44.98	30.88	40.64	43.39	31.77	10.80	13.33

Tabla 2: Precipitación media y neta anual en algunas estaciones del estado de Nuevo León

Nombre de estación	PMA, en mm	PNA, en mm
AGUA BLANCA	627.08	431.75
AGUALEGUAS	568.39	385.98
ALLENDE	1058.61	755.72
ANAHUAC	458.15	255.50
APODACA	564.70	370.16
ARAMBERRI I	488.94	335.40
BENITEZ	775.51	553.61
CABEZONES	889.17	646.39
CADEREYTA	705.83	506.70
CAMACHO	803.11	584.27
CARBONERA	377.99	188.72
CASILLAS	578.60	395.87
EJIDO MARIN	529.67	341.51
EL BRASIL	463.94	251.26
EL CUCHILLO	525.22	349.89
EL CUERVITO	509.22	318.48
EL CUIJE	378.84	209.30
EL HOJASE	439.49	231.18
EL OASIS	279.01	79.17
EL PAJONAL	532.62	377.58
EL PEÑUELO	311.47	109.66

Una vez completa la base de datos con las PNA se realizaron los mapas de distribución con la ubicación de las estaciones y una interpolación IDW (ponderación por distancia, por sus siglas en inglés) que está basada principalmente en la inversa de la distancia elevada a una potencia matemática. La superficie que se interpola debe ser la de una variable dependiente de la ubicación, como es el caso de los valores PNA. En las Figuras 5 y 6, se puede observar cómo varía la precipitación dentro de la zona metropolitana, indicando la zona con mayor cantidad de precipitación, es al sur del municipio de Monterrey, junto con los municipios de Cadereyta

Jiménez y Santiago, siendo este último el municipio donde está ubicada la presa Rodrigo Gómez.

Por otra parte, al noroeste de la ZMM se encuentran en los municipios de García y de Salinas Victoria que son los municipios que reportan una menor cantidad de precipitación. Esto implica que se tendrían algunas dificultades para ver la utilidad de un SCALL en esas localidades, debido a que al realizar el cálculo de la precipitación neta se reportaron valores inferiores a 100 mm de lluvia en esas zonas, dejando a un lado que tiene mayor recurrencia de meses secos, de acuerdo con el criterio mencionado anteriormente.

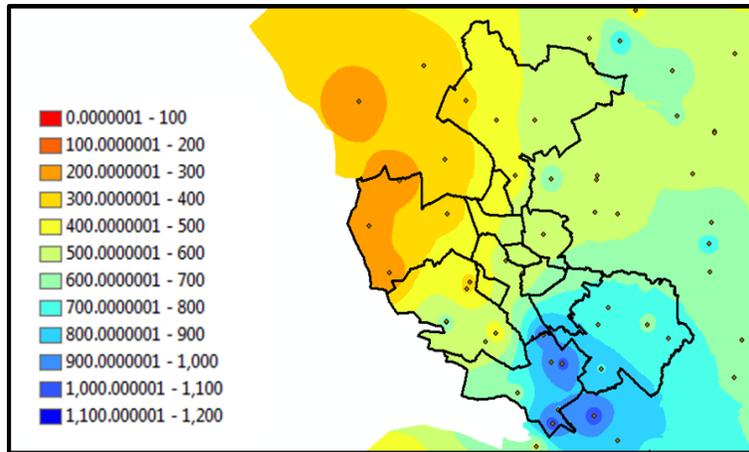


Figura 5: Mapa de distribución de la PMA (mm) de la Zona Metropolitana de Monterrey

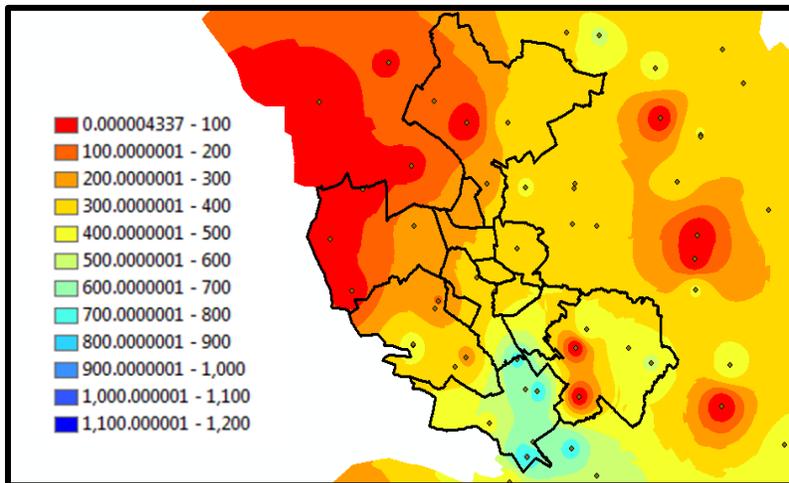


Figura 6: Mapa de distribución de la PNA (mm) de la Zona Metropolitana de Monterrey

El resultado del análisis del volumen de captación se obtuvo en el mismo nivel en el que se encontró la información en el SINCE. En la tabla 3 y 4 se presenta una pequeña parte de los resultados obtenidos mostrando algunas manzanas del municipio de Apodaca (con clave 19006), donde se muestra la población, el número de viviendas habitadas, el área efectiva, la PNA: mínima, la máxima y la media, y el volumen captado. Debido a que presentar los datos por manzana implica tener una

base de datos extensa, se realizó un análisis para presentarlos de manera global por municipio, donde se anexó un análisis de la demanda de agua potable que requiere la población del municipio para los años 2010, 2015, 2020, 2025 y 2030; esto con base en las proyecciones realizadas por la (CONAPO, 2014), en el que se basan los datos históricos estadísticos del Censo de Población y Vivienda anteriores al año 2010.

Tabla 3: Información obtenida del SINCE para el volumen de captación en las manzanas del municipio de Apodaca (19006)

Municipio	Manzana	Población	Viviendas	Viviendas habitadas	Viviendas c/agua	Área efectiva m ²
19006	00010051001	86	24	23	23	4732.7019
19006	00010051002	148	33	32	32	6131.5639
19006	00010051003	259	59	59	56	14917.1575

19006	00010051004	84	23	22	22	6489.8403
19006	00010051005	46	16	12	12	3972.6354
19006	00010051007	98	22	19	18	5341.1084
19006	00010051008	164	45	40	39	12294.3156
19006	00010051010	18	6	6	6	3726.8539
19006	00010051012	34	10	9	8	3158.4401
19006	00010051013	28	8	7	7	3746.1390
19006	00010051015	129	38	31	31	10099.7311
19006	00010051016	70	26	20	20	5416.6715
19006	00010051017	34	15	10	10	3398.3647
19006	00010051018	54	14	14	14	3994.6464
19006	00010051019	58	21	19	18	5627.1928
19006	00010051020	61	21	14	14	5317.9697
19006	00010051027	85	26	21	20	4661.6311
19006	00010051028	49	15	13	13	3305.0403

Tabla 4: Resultados del análisis del volumen de captación en las manzanas del municipio de Apodaca (19006)

Municipio	Manzana	PNA MIN, en mm	PNA MAX, en mm	PNA MEDIA, en mm	Volumen captado m ³
19006	00010051001	435.4510	435.4630	435.4570	1576.579
19006	00010051002	435.4640	436.3310	436.0770	2045.483
19006	00010051003	436.1650	436.3310	436.2440	4978.253
19006	00010051004	435.4520	436.1560	435.8560	2163.906
19006	00010051005	435.4450	435.4530	435.4490	1323.358
19006	00010051007	435.4410	435.4480	435.4440	1779.202
19006	00010051008	435.4620	436.4110	435.8940	4099.649
19006	00010051010	436.0670	436.1630	436.1160	1243.386
19006	00010051012	435.4470	436.0110	435.5690	1052.425
19006	00010051013	435.4420	435.4490	435.4450	1247.897
19006	00010051015	435.4420	435.4570	435.4480	3364.399
19006	00010051016	435.4540	435.4650	435.4600	1804.439
19006	00010051017	435.4620	435.4730	435.4670	1132.105
19006	00010051018	436.1810	436.2850	436.2290	1333.074
19006	00010051019	436.0610	436.1790	436.1180	1877.402
19006	00010051020	435.9600	436.0580	436.0080	1773.788
19006	00010051027	435.4490	435.4580	435.4530	1552.890
19006	00010051028	435.4540	435.4630	435.4590	1100.995

La finalidad de elaborar este análisis es para realizar una comparación sobre el futuro beneficio de implementar los SCALL, contrastándolos con la oferta obtenida. La demanda de agua potable se obtuvo por metro cúbico anual, de manera general, con las proyecciones de la población y en particular, con el registro de la población que habita en las viviendas sin agua. El criterio para determinar el volumen de agua que se requiere, resultó al multiplicar el número de la población por el de una dotación promedio de 300 litros/habitante/ día, con la cual se realizan proyectos de urbanización en la zona.

Otro resultado obtenido de analizar las variables

mencionadas es un volumen promedio por cada metro cuadrado de captación que se tendría por cada municipio, de acuerdo con la PNA media presente en la región, con dicho dato se puede inferir cuál sería el costo beneficio por metro cuadrado de área de captación.

Esto se representa en la Tabla 5 y 6 donde se muestra la oferta de agua que tendrían los SCALL por municipio, indicando el área de captación y la PNA media. Además muestra el análisis de la demanda de agua potable en las viviendas que no cuentan con el servicio de agua entubada, para determinar si se podría cubrir la demanda que corresponde a dichas

viviendas.

Al considerar los coeficientes de escurrimiento del área de captación, así como los componentes a dimensionar que se especifican en el diseño, se tuvieron los siguientes resultados:

Un volumen del interceptor de las primeras lluvias de 0.75 metros cúbicos, que equivalen a retener 750 litros, en promedio, cuando inicie la precipitación, después de largos periodos de sequía. En periodos húmedos, con el primer día de lluvia es suficiente.

DISCUSIÓN

Contrastando los datos presentados se pueden realizar varios comentarios: primero, si se observa de manera global la oferta producida por los SCALL y la

demanda que se tiene de la población que no cuenta con el servicio de agua entubada en su hogar en toda la ZMM, se puede inferir que los SCALL en conjunto cubrirían la demanda de dicha población, considerando como un sistema en conjunto, ya que al realizar el análisis por manzana se observó que no en todas las manzanas se satisface la oferta total propia. Esto se debe a que tanto el número de habitantes como el número de viviendas varían, dependiendo de la extensión de la manzana y, de igual manera, considerando que en algunas manzanas se encuentran centros religiosos y áreas comerciales. Por esto se realizó un plan donde se pudiera gestionar este recurso; añadiendo que se tendrían importantes beneficios.

Tabla 5: Resultados del análisis del volumen de captación en las manzanas del municipio de Apodaca (19006), primera parte

Clave	Municipio	Superficie de captación (viviendas)		PNA MEDIA, en mm	Oferta de agua SCALL (m ³)
		(km ²)	(m ²)		
31. Zona metropolitana de Monterrey		436.825	436 824 700	427	160 201 174
19006	Apodaca	36.638	36 638 429	440	12 184 553
19009	Cadereyta Jiménez	13.332	13 331 948	621	6 370 724
19010	Carmen	3.215	3 215 067	319	790 354
19018	García	12.728	12 728 323	268	2 560 721
19019	San Pedro Garza García	33.655	33 654 620	345	9 364 866
19021	General Escobedo	30.671	30 671 471	373	8 843 252
19026	Guadalupe	50.952	50 952 286	480	18 746 354
19031	Juárez	21.759	21 758 964	564	9 371 705
19039	Monterrey	129.791	129 791 492	403	46 614 062
19045	Salinas Victoria	6.863	6 862 507	340	1 820 050
19046	San Nicolás de los Garza	28.404	28 403 740	421	9 102 681
19048	Santa Catarina	18.973	18 972 984	274	3 896 252
19049	Santiago	49.843	49 842 869	806	30 535 599

Tabla 6: Resultados del análisis del volumen de captación en las manzanas del municipio de Apodaca (19006), segunda parte

Población sin agua entubada 2010, en habitantes	Demanda de población sin agua entubada 2010, en m ³ / año	Volumen promedio por cada m ² de superficie de captación
47 665	5 219 318	0.4270
2 381	260 720	0.4399
740	81 030	0.6214
398	43 581	0.3190
881	96 470	0.2684
708	77 526	0.3446
5 485	600 608	0.3734
3 135	343 283	0.4796
6 600	722 700	0.5641
12 179	1 333 601	0.4025
9 738	1 066 311	0.3402

507	55 517	0.4213
2 673	292 694	0.2739
2 240	245 280	0.8057

Otro dato importante a conocer es el volumen de agua que se puede captar por metro cuadrado de superficie, nos indicó un factor útil para el cálculo de la extensión de la superficie de captación necesaria para cubrir, en específico, una demanda en particular. Sobre el diseño del SCALL, se tiene que lo obtenido hasta este punto fue preliminar para el diseño definitivo, que se implementaría en el Laboratorio de Hidráulica de la FIC-UANL es decir, sólo se mencionaron dimensiones necesarias para los componentes del SCALL.

El diseño definitivo se planteará como un antecedente para una investigación a futuro, donde se evalúe la eficiencia del SCALL. El volumen obtenido del interceptor se dividirá entre las seis bajadas pluviales, por lo que resulta adecuar contenedores para una capacidad mínima de 125 litros; dichos tanque se adecuaran para retener las primeras lluvias y el resto mandarlo a la cisterna de almacenamiento.

La cisterna de almacenamiento se dimensionó con base en la PNA media presente en el municipio donde se ubica el laboratorio, tratándose de almacenar la mayor parte del agua de lluvia. El volumen calculado requerido para captar toda la lluvia en la cisterna o tanque de almacenamiento es de 120 metros cúbicos, restando los 80 metros cúbicos de la capacidad de la cisterna propia del laboratorio; por lo que, para tener un diseño óptimo se necesita plantear un modelo en el que se contemple la variación de la PNA y el consumo de agua para los baños y el jardín; ya que es reutilizada el agua que se almacena en la cisterna del laboratorio y actualmente se utiliza para el funcionamiento de los diversos dispositivos, pues lo que corresponde a los sanitarios y jardín se abastece de la red de agua que abastece al Instituto de Ingeniería Civil de la UANL.

CONCLUSIONES

El propósito fundamental de esta investigación es el de empezar a generar una cultura en la que se puede tener un beneficio mutuo al poner en práctica estos hábitos y poder disminuir los impactos que se tienen actualmente en las fuentes de abastecimiento, en las grandes ciudades del país. En cuanto a la ZMM, no existe algún registro en el que se esté implementando un SCALL en escala pequeña, por lo que es importante empezar a generar un registro de la factibilidad de implementar dichos sistemas.

Con base en lo anterior y al realizar el análisis de los resultados obtenidos de esta investigación, en un nivel general, se puede concluir que el impacto que tendría la implementación de los SCALL en esta zona del país es mínimo, comparado con los datos que se reportan en la zona centro y sur del país, esto si se realiza a pequeña escala; pero si se implementa en el nivel de comunidad, colonia o fraccionamiento, se tendría un impacto mayor, ya que el agua que se captaría en todos los techos de una comunidad se puede juntar y almacenar en una cisterna comunitaria, sirviendo como fuente para abastecer los parques y jardines de esa comunidad, incluso si se realiza una planeación adecuada de este recurso, se puede abastecer de agua potable a las comunidades que se encuentran dentro de la ZMM, que carecen del servicio de agua entubada en su hogar.

Cabe mencionar que el SCALL puede ser muy sencillo o muy complejo dependiendo del uso que se le va a dar al agua captada, ya que para esto interviene la calidad del agua captada y su uso para realizar las actividades donde intervenga la precipitación retenida. Esto implicaría una modificación al tren de procesos (para el tratamiento) para mejorar la calidad inicial que se tenga; es decir, que si el uso principal sería para el riego y el abastecimiento de los dispositivos sanitarios, sólo requiere tener una retención de sólidos tales como las hojas de los árboles o alguna otra basura que se acumule en la superficie de captación; es decir, que no requiere de un proceso de filtración avanzado en el agua o un nivel de purificación de acuerdo con los límites marcados por la norma oficial mexicana NOM-SSA1-127-1994; por lo tanto, es recomendable realizar un análisis de agua previo en la zona donde se implementará el sistema para de esa manera verificar que el agua cumpla con las propiedades necesarias para su uso. De acuerdo a proveedores de sistemas de captación de pluvial de PVC, se tiene que la vida útil es de aproximadamente 35 años, con un costo de \$ 5,000.00 MXN a \$ 25,000.00 MXN dependiendo del nivel tecnológico del equipo.

La finalidad de implantar un SCALL es hacer al laboratorio un edificio sustentable, realizando un sistema de abastecimiento mixto, en que se abastezca primordialmente de agua de lluvia y, en casos extremos, de la red de agua potable.

REFERENCIAS

Adler, I., Carmona, G. & Bojalil, J. A., 2008. Manual de Captación de Aguas de Lluvia para Centros Urbanos. [En línea] Available at: <http://www.irrimexico.org/biblioteca-en-linea/>. [Último acceso: 2013].

Anaya Garduño, M., 2011. Captación del agua de lluvia. Solución caída del cielo.. Primera ed. México, D.F.: Colegio de Postgraduados.

CONAGUA, 2015. Monitor de Sequía en México (SNM). [En línea] Available at: <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico> [Último acceso: 31 agosto 2015].

CONAPO, 2014. DATOS.GOB.MX. [En línea] Available at: <http://catalogo.datos.gob.mx/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico> [Último acceso: 17 08 2015].

Despins, C., 2012. Guidelines for Residential Rainwater Harvesting Systems, Handbook. Primera ed. s.l.:Canada Mortgage and Housing Corporation.

Fewkes, A., 2012. A review of rainwater harvesting in the UK. Structural Survey, 30(2), pp. 174-194.

García Velázquez, J. H., 2012. Sistema de Captación y Aprovechamiento Pluvial para un Ecobarrio de la Cd. de México. México, D.F.: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Guold, J. & E. Nissen-Petersen, 1999. Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply: Design, Construction and Implementation. Action Publishing, EUA.

Hernández, D. J. & Villa Cisneros, O., 2013. La Captacion de Agua de Lluvia en México y el Mundo. Mexico DF: s.n.

Hyoungjun, K., Mooyung, H. & Ju Young, L., 2012. The application of an analytical probabilistic model for estimating the rainfall-runoff reductions achieved using a rainwater harvesting system. Science of the Total Environment, Volumen 424, pp. 213-218.

Martinson, B. & Thomas, T., 2010. Quantifying the First-Flush Phenomenon: Effects of First-Flush on Water Yield and Quality.

Ramírez Lara, E. y otros, 2010. Chemical composition of rainwater in northeastern México. *Atmósfera*, 23(3), pp. 213-224.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2003. WATER FOR PEOPLE, WATER FOR LIFE Executive Summary of the UN World Water Development Report.. Paris: UNESCO.

Wilhite, D., 2000. Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions. En: D. Wilhite, ed. Drought: a Global Assessment. New York, N.Y.: s.n., pp. 3-18.

Este documento debe citarse como: Salinas López, J. C., Cavazos González, R. A., Vera Herrera, J. A. (2016). **Evaluación de un sistema de captación de agua de lluvia en la zona metropolitana de monterrey, para su aprovechamiento como medio alternativo.** Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 20-1, pp. 1-13.