

XII Simposio Iberoamericano sobre planificación de sistemas de abastecimiento y drenaje

“USOS DEL AGUA DE LLUVIA Y POTENCIAL DE CAPTACIÓN EN TRES EDIFICIOS DE LA UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO, MÉXICO”

Xitlali Delgado Galván (1), María L. Fuentes Galván (2), Jesús Mora Rodríguez (3), Josefina Ortiz Medel (4)

(1) (3) (4) Departamento de Geomática e Hidráulica, Universidad de Guanajuato. Juárez No. 77, Zona Centro, C.P. 36000, Guanajuato, Gto., México. Mail: xdelgado@ugto.mx, jesusmora@ugto.mx, jomedel@ugto.mx

(2) Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Ave. Manuel Nava No. 201, 2do piso, Zona Universitaria C.P. 78210 San Luis Potosí, S.L.P., México. Mail: fugalina@gmail.com

RESUMEN

Se estima la cantidad de agua de lluvia que es posible captar en los techos de tres edificios de la Universidad de Guanajuato, considerando tres parámetros: precipitaciones locales, tamaño y material de la superficie de captación. De acuerdo con las características de la población y sus preferencias, se evalúan los usos a los que puede ser destinada el agua captada en cada sitio. Los resultados obtenidos indican que es posible cubrir del 8 al 100% la demanda de agua, y que la comunidad universitaria estaría dispuesta a usar el agua de lluvia principalmente para usos sanitarios y de riego.

Palabras claves: Agua de lluvia, captación, potencial, usos.

ABSTRACT

The quantity of available rainwater harvested in the roof of three buildings in Universidad de Guanajuato (Mexico) is estimated, considering three parameters: local rainfall distribution, catchment area, and material of catchment surface. The possible rainwater uses are assessed bearing in mind water preferences and characteristics of population. Rainwater can cover 8-100% of the water demand depending on the site, university population is able to accept rainwater for sanitary and irrigation uses.

Key words: Rainwater, harvesting, potential, uses.

SOBRE EL AUTOR PRINCIPAL

Xitlali Delgado-Galván: Doctora en Hidráulica y Medio Ambiente por la Universitat Politècnica de València. Maestra en Ingeniería (Gestión Integral del Agua) por la Universidad Nacional Autónoma de México. Licenciada en Administración de Empresas por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Actualmente se encuentra trabajando en la Universidad de Guanajuato (México), en el Departamento de Ingeniería Geomática e Hidráulica como profesora de tiempo completo. Sus labores comprenden actividades de docencia e investigación en el área de gestión integral del agua. Cuenta con publicaciones en revistas científicas internacionales, capítulos de libro y participaciones en congresos

INTRODUCCIÓN

Zona de estudio

La República Mexicana comprende 1.964 millones de km², de los cuales 1.959 millones de km² corresponden a la superficie continental y el resto a las áreas insulares (CONAGUA, 2011). La ubicación geográfica del país y su relieve, resultan los principales componentes en la determinación del clima de México, en donde se presentan desde zonas desérticas hasta tropicales, lo que a su vez, prescribe la disponibilidad hídrica en el país.

El 65% de la superficie del país pertenece a zonas áridas o semiáridas (Verbist, *et al.*, 2010) con precipitaciones anuales menores a los 500 mm, mientras que el sureste es húmedo con precipitaciones promedio que superan los 2,000 mm. En contradicción, la zona centro y norte alberga al 77% de los asentamientos demográficos, junto con los industriales y agrícolas. Esta situación genera una fuerte presión por el recurso hídrico en estas zonas, donde la disponibilidad natural es reducida, y diversos factores, como la contaminación, disminuyen la capacidad de aprovechamiento de los recursos.

El estado de Guanajuato se localiza en el centro de la República Mexicana (Figura 1), representa el 1.6% de la superficie del país con un área de 30,589 km². Colinda con los estados de San Luis Potosí y Zacatecas al norte; con Michoacán de Ocampo al sur; al este con Querétaro de Arteaga y al oeste con el estado de Jalisco. Está conformado por 46 municipios donde se reúnen 8,961 localidades con menos de 2,500 habitantes y que representan el 99% del total de las localidades del estado según el INEGI (2010), y en donde se concentra el 30% de la población, que según el último censo era de 5,486,372 habitantes.

El edificio de Ingenierías (EI) y el laboratorio de hidráulica (LH), dos de los puntos de estudio, se ubican en el municipio de Guanajuato, capital de estado. Localizado entre los paralelos 21°14' y 20°49' de latitud norte y los meridianos 101°03' y 101°27' de latitud oeste, con una altitud que oscila entre los 1700 y los 3000 msnm. Las principales actividades económicas son la minería y el turismo. Dentro de este municipio se encuentran 265 localidades y ocupa el 3.3% de la superficie total del estado. El municipio presenta un clima predominante templado subhúmedo con lluvias en verano de humedad media, el rango de temperatura

oscila entre los 12-20°C, y la precipitación promedio va de los 600-900 mm (INEGI, 2009).



Figura 1. Ubicación del estado de Guanajuato, México.

La población de dicho municipio, que en la actualidad asciende a 171 709 habitantes (INEGI, 2013), ha enfrentado históricamente una serie de dificultades relacionadas con el agua. Uno de los factores que propician lo anterior, es que debido a la transición fisiográfica de la región en donde se asienta la ciudad de Guanajuato, el clima es variable y se presentan eventos climatológicos extremos. Además de eso, las actividades humanas han degenerado el medio y el inadecuado manejo de los recursos ha empeorado la situación.

El tercer punto de estudio, el centro universitario de vinculación con el entorno (VEN), se ubica en el municipio de Silao, localizado en la zona centro oeste del estado. Su superficie es de 538.72 km², se ubica entre los paralelos 21° 10' y 20° 47' de latitud norte y los meridianos 101° 19' y 101° 35' de longitud oeste, con altitudes que se encuentran entre los 1700 y 2700 msnm. Colinda al norte con el municipio de Guanajuato (Figura 2). Dentro de su superficie se establecen 462 localidades, en donde se asientan 173,024 habitantes.

La temperatura en el municipio varía entre los 14-20°C, con un clima predominantemente semicálido subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad en un 56.8% de la superficie del territorio municipal, seguido por el semiseco semicálido en un 32% de la superficie y en el norte del municipio templado subhúmedo con lluvias en verano de humedad media en un 11.2% del municipio. La precipitación va de los 600 a los 900 mm al año (INEGI, 2009a). Las características edafológicas favorecen la práctica agrícola como la principal actividad económica de la región, la cual representa el mayor uso de suelo con un 71.5% de la superficie. La zona se caracteriza por grandes llanuras

interrumpidas por escasas sierras volcánicas, mesetas lávicas y lomeríos. Las áreas urbanas en el municipio de Silao cubren 5.69 km² del territorio, la población en este municipio ha crecido notablemente producto del desarrollo industrial que en las últimas décadas se ha presentado.

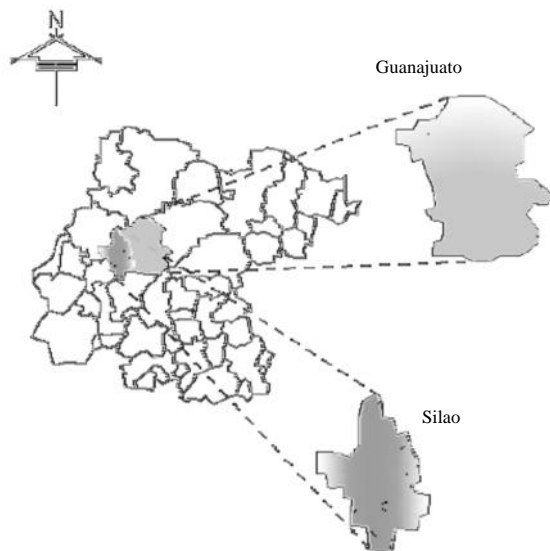


Figura 2. Ubicación de los municipios de Silao y Guanajuato.

En las zonas de estudio las principales actividades económicas han propiciado la explotación del agua subterránea, causando graves consecuencias tanto ambientales, como sociales y económicas. Muestra de ello, son los costos ascendentes de operación y reposición de las fuentes de abastecimiento de agua urbanas y rurales, deterioro de la calidad del agua y/o su salinización, y asentamientos del terreno con los consecuentes daños a la infraestructura pública y privada (Foster y Garduño, 2009).

Captación del agua de lluvia

La práctica del aprovechamiento del agua de lluvia ha permanecido a lo largo del tiempo. Las primeras estructuras de captación de agua de lluvia, se cree, fueron construidas hace más de 9000 años (Al-Aldamat, *et al.*, 2010). Hallazgos arqueológicos demuestran la importancia que tenía el aprovechamiento del agua de lluvia en siglos pasados en diferentes zonas del planeta. En donde los mecanismos desarrollados coincidían en dirigir el escurrimiento de patios, techos y pisos hacia lugares de almacenamiento, para utilizarlos en uso doméstico y agrícola principalmente.

En Mesoamérica, desde tiempos muy antiguos la recolección y el almacenamiento de agua pluvial fueron prácticas comunes, fuera en recipientes, en depósitos subterráneos, o a cielo abierto (CONAGUA, 2009). En el México colonial era común el aprovechamiento del agua de lluvia en monasterios, conventos, haciendas y casas habitación, desarrollados por franciscanos y agustinos principalmente. En la parte central del país el agua de lluvia en forma de escorrentía era ampliamente aprovechada para fines agrícolas, y específicamente en el municipio de Guanajuato, se dirigía el agua de lluvia a aljibes o tanques de almacenamiento como parte del abastecimiento del que se proveían los habitantes de la ciudad, práctica común hasta la llegada del agua entubada.

Los sistemas de captación de agua de lluvia (SCAALL) pueden ser encontrados en la mayoría de las regiones del mundo, con adaptaciones adecuadas a las condiciones climáticas locales (Amin, 2011). Un SCAALL para fines domésticos y de consumo humano consiste por lo general en cuatro componentes básicos: superficie de captación, recolección por canaletas y bajantes, interceptor de primeras aguas y almacenamiento.

La superficie de captación es el área destinada para la recolección del agua lluvia, los techos son la superficie más utilizada en zonas urbanas, mientras que en áreas rurales la captación puede realizarse en zonas con mayor amplitud, como patios y terrenos aledaños. El tamaño de la superficie de captación juega un papel importante en la cantidad de agua que es posible cosechar, al igual que el material de esta. Sin embargo, este último afecta también la calidad del agua. La recolección del agua de lluvia captada corre a cargo de canaletas adosadas comúnmente en los bordes más bajos del techo, con el objeto de acopiar el escurrimiento del agua lluvia y conducirlo hasta el sitio de almacenamiento. El tanque interceptor es el dispositivo que tiene la función de captar las primeras lluvias, correspondientes al lavado del área de captación, con el fin de evitar el almacenamiento de agua que contenga mayor concentración de partículas, polvos y otros componentes que hayan sido depositados en la superficie de captación, en las canaletas y bajantes o en la atmósfera durante el periodo previo a los eventos de precipitación. El tanque de almacenamiento es el depósito destinado para la acumulación, conservación y abastecimiento del agua de lluvia a los diferentes usos establecidos.

METODOLOGÍA

Potencial de aprovechamiento

Una vez descritos los componentes básicos de un SCAALL, se evalúa la cantidad de agua de lluvia que puede ser captada y aprovechada para cada sitio de interés. Según Farreny *et al.* (2011), el potencial de captación de agua de lluvia de un techo puede ser estimado basado en las precipitaciones locales, el área de captación y el coeficiente de escurrimiento.

Precipitaciones locales

En el estado de Guanajuato la distribución de la precipitación se presenta en periodos similares al del resto del país. El 80% ocurre en el acumulado de los meses de junio a septiembre; mientras que en abril, mayo y octubre se precipita el 14%, por último, un 6% sucede en los meses restantes (CEAG, 2001). La principal fuente de información para conocer el agua de lluvia aprovechable es la cantidad de precipitación que cae en cada punto de interés, es por ello, que se han seleccionado las estaciones más influyentes para cada sitio de estudio. De ellas, se emplea la información de la precipitación media mensual (P) para obtener la precipitación neta (PN), la cual es definida por el Indhri (2010) como la cantidad del agua de lluvia que queda a disposición del sistema de captación, una vez que se han considerado las pérdidas por factores como salpicamiento, velocidad del viento, evaporación, fricción, tamaño de la gota, entre otros. En la Figura 3 se presenta la P para cada punto de estudio, extraída de las estaciones Guanajuato para el EI, Valenciana para el LH y Silao para el VEN, todas operadas por la Comisión Nacional del Agua del país.

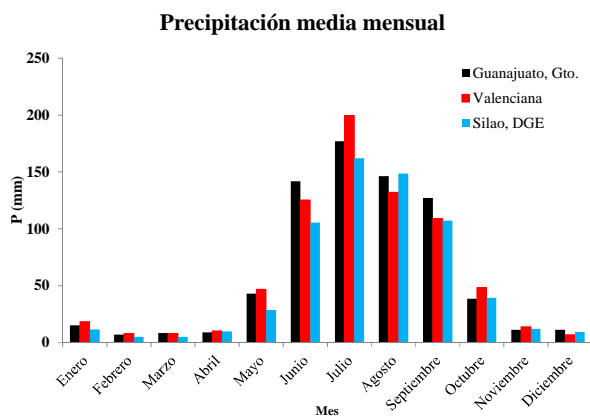


Figura 3. Precipitación media mensual en los puntos de interés.

Área de Captación

Como ya se ha mencionado, el tamaño de la superficie de captación es un factor que repercute en la cantidad de agua de lluvia que es posible aprovechar. Se han considerado las áreas de los techos de los puntos de estudio como superficies de captación, en el caso del EI el área del patio debido a sus características se ha sumado a la superficie del techo. En la Figura 4 se presenta el plano de las superficies aprovechables en el EI, que en total hacen 2191.03 m², en este edificio se concentra una población de 1404 estudiantes y se localiza en la zona centro de la ciudad de Guanajuato.

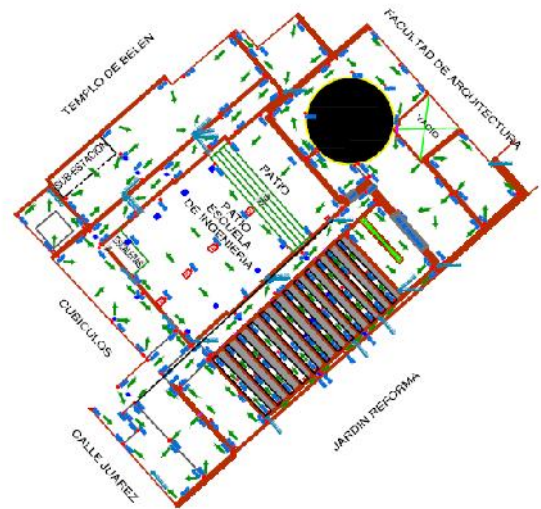


Figura 4. Superficie de captación, EI.

El LH se encuentra en la zona norte de la ciudad de Guanajuato, la superficie aprovechable es la que cubre la red experimental, con un total de 543.72 m². La finalidad de aprovechar el agua de lluvia en este punto es proveer a la red experimental y usarla en las instalaciones sanitarias. La población estudiantil que emplea estas instalaciones es menor que la del EI, con 200 alumnos que utilizan el edificio.

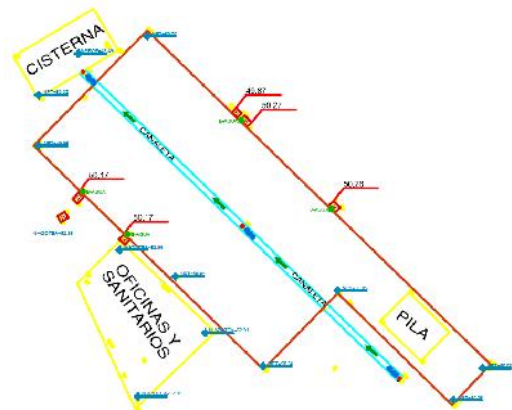


Figura 5. Superficie de captación, LH.

Las instalaciones en donde se localiza el VEN están conformadas por seis módulos, con dos alas cada uno (Figura 6). La superficie total aprovechable es de 3016.164 m², en este centro laboran 80 personas, durante ocho horas por día.

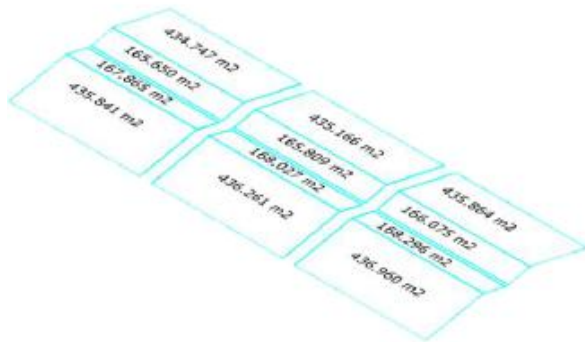


Figura 6. Superficie de captación, VEN.

Coefficiente de escurrimiento

Se considera el material sobre el cual es captada el agua, ya que se relaciona al tipo de superficie con la facilidad con la que el agua circula sobre ella, lo cual determina la cantidad de agua que se pierde por este concepto, es por ello que se contempla el coeficiente de escurrimiento (C_e). Estimaciones consideran que hasta ahora los coeficientes de escurrimiento de techos se encuentran dentro del rango de 0.7-0.95 para tormentas relativamente frecuentes (Farreny, *et al.*, 2011). El material que comúnmente se presenta en las zonas de estudio es el concreto impermeabilizado, con un C_e de 0.8, los techos del EI y el VEN están conformados por este material, por ello la eficiencia de captación ($\eta_{captación}$) del agua de lluvia para estos puntos es de 0.68, considerando un 85% de probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones (C_c) (Anaya & Martínez, 2007).

$$\eta_{captación} = C_e * C_c$$

$$\eta_{captación} = 0.8 * 0.85 = 0.68$$

En el LH el material del techo es lámina metálica, para la cual se ha contemplado un C_e de 0.9, con igual probabilidad de precipitación que los puntos anteriores, así la $\eta_{captación}$ para este punto es de 0.765. Una vez conocida la $\eta_{captación}$ para cada punto, se obtiene la PN , del producto de la P que se presenta en cada sitio por la $\eta_{captación}$. En la Figura 7 se presentan las PN por edificio de estudio, el valor de PN a considerar para que el agua obtenida tenga las cualidades para ser usada se determina mediante la suma de los meses cuya precipitación es

mayor o igual a 40 mm (Anaya & Martínez, 2007; Indhri, 2010; Martínez, 2011).

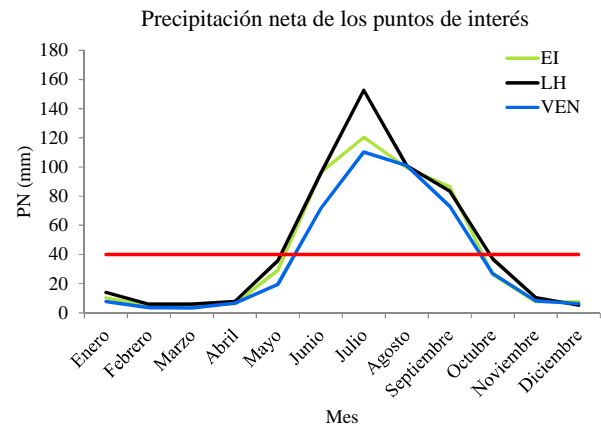


Figura 7. Precipitación neta en los puntos de interés.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se presenta el volumen (V) de agua de lluvia que es posible captar por edificio, considerando los parámetros anteriormente descritos.

Tabla 1. Volumen aprovechable en los puntos de interés.

Sistema	Área	PN	V
	m ²		
EI	2191.03	0.403	882.021
LH	543.72	0.433	235.425
VEN	3016.164	0.356	1073.489

Se aplicó una encuesta a los usuarios de los edificios estudiados para conocer las preferencias, usos y perspectiva que tienen con respecto al agua. Con esta herramienta se identifica la aceptación al empleo del agua de lluvia y en qué podría ser utilizada. Se obtiene además la información necesaria para estimar la demanda de agua en cada punto, y así conocer el porcentaje de cobertura del agua de lluvia según las características de cada edificio. En la Tabla 2, se muestran las demandas diarias obtenidas con la información generada de las encuestas aplicadas a los usuarios de los edificios estudiados.

Tabla 1. Demanda por usos de los puntos de interés.

Sistema	Uso sanitario	Consumo humano	Total
	L/persona	L/persona	
EI	21.53	0.37	21.9
LH	2.95	0.05	3
VEN	27.25	0.67	27.92

Con los datos anteriores es posible conocer el porcentaje de la demanda que es posible cubrir con los V de agua de lluvia aprovechables por edificio, considerando el número de usuarios de cada uno de ellos y el tiempo que transcurren en las instalaciones por día, se han estimado las demandas por usos y totales (Tabla 3), con la finalidad de determinar si el agua de lluvia funcionaría como fuente de abastecimiento total o complementaria según sea el caso.

Tabla 3. Demanda de agua por punto de estudio.

Sistema	EI	LH	VEN
Usuarios (p)	1404	200	80
Estadía (hr/p)	4.4	0.6	8
Demanda Sanitaria (m ³ /año)	10882.12	212.4	784.8
Demanda C. humano (m ³ /año)	187.01	3.6	19.3
Demanda Total (m ³ /año)	11069.14	216	804.10

El agua de lluvia puede cubrir el total de algunas de las demandas por edificio, el mínimo porcentaje de cobertura que se estima es de 8% de la demanda total del EI. En la Tabla 4 se presentan las coberturas de las demandas según el uso, en ella se puede ver que para el LH y el VEN el agua de lluvia podría cubrir el total de las demandas con un excedente que podría emplearse para otros usos, como el riego. En el EI la alta demanda sanitaria y total no es cubierta ni en el 10%, sin embargo, para consumo humano los resultados son favorables.

Tabla 4. Cobertura de la demanda de agua por punto de estudio.

Sistema	Uso sanitario	Consumo humano	Total
	%		
EI	8.11	471.64	7.97
LH	110.84	6539.58	108.99
VEN	136.79	5562.12	133.50

De acuerdo con las características de la población y sus preferencias, se evalúan los usos a los que puede ser destinada el agua captada en cada punto de estudio. Lo anterior, con el propósito de establecer estrategias para que el agua de lluvia sea considerada como una fuente alternativa de abastecimiento y fomentar el uso eficiente del recurso hídrico a través de prácticas sostenibles de manejo y aprovechamiento. En la Figura 8 se aprecia la aceptación que tiene el agua de lluvia para ser empleada en diferentes usos por parte de los usuarios de los tres edificios. En esta figura se observa que se acepta ampliamente el uso del agua

de lluvia en excusados y mingitorios, así como en riego de plantas con un porcentaje de 90% y 94% respectivamente. La limpieza de instalaciones presenta una aceptación del 85%. Sin embargo, al considerar que el agua de lluvia tenga contacto con la población de forma directa, como lo es el uso en lavabos, la aceptación se reduce al 53%. Al cuestionar si beberían el agua de lluvia si esta fuera tratada previamente la población de estudio respondió positivamente en un 69%.

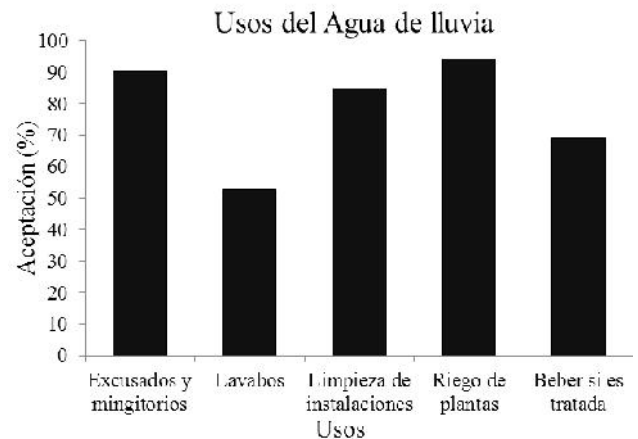


Figura 8. Usos del agua de lluvia y porcentaje de aceptación.

CONCLUSIONES

El agua de lluvia en los edificios de la Universidad de Guanajuato considerados, puede ser una importante fuente de abastecimiento que atenúe los efectos de las intermitencias que con frecuencia se presentan en el servicio de abasto local. Y más importante aún, se puede considerar como un modelo de extensión de prácticas sostenibles de aprovechamiento del agua en la comunidad.

El agua de lluvia es un recurso que con factibilidad puede cubrir un alto porcentaje de las demandas de agua que se presentan en la población, en este caso universitaria. Además, la aceptación al empleo del agua de lluvia para diferentes usos que manifiesta la población de estudio incrementa el valor de esta fuente.

REFERENCIAS

Al-Aldamat R., Diabat A., Shatnawi G., (2010), "Combining GIS with multicriteria decision making for siting water harvesting ponds in Northern Jordan", *Journal of Arid Environments* 74 (2010) 1471 e 1477.

Amin, M.T., Alazba, A.A., (2011), "Probable sources of rainwater contamination in a rainwater harvesting system and remedial options", Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(12): 1054-1064, 2011.

Anaya, J. y Martínez, J., (2007), Manual sobre Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia para Uso Doméstico y Consumo Humano, Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento de Agua de Lluvia, México.

CEAG, (2001), Situación Hidráulica de Guanajuato fortalezas y retos, Guanajuato, México.

CONAGUA, (2011), Estadísticas del agua en México, edición 2011, Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

CONAGUA, (2009), Semblanza Histórica del Agua en México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

Farreny, R., Morales-Pinzón, T., Guisasola, A., Tayà, C., Rieradevall J., Gabarrell X., (2011) "Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain", Water Research, 45, p.p. 3245-3254, 2011.

Foster S., y Garduño H., (2009) Gestión apropiada el recurso hídrico subterráneo en América Latina. Lecciones de experiencias internacionales. Revista Aqua-LAC - Año 1 - No.1.

Indhri, (2010), Aumento de la oferta hídrica, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (Indhri), Primera Edición, República Dominicana, Agosto.

INEGI, (2010), Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 2010, Instituto Nacional de Estadística y Geografía México: INEGI, México.

INEGI, (2009), Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Guanajuato, Guanajuato.

INEGI, (2009), Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Silao, Guanajuato.

INEGI, (2013), Información nacional, por entidad federativa y municipios, Silao, Gto. Consultado en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=11>

Martínez, J.J., (2011), Estrategias para el abastecimiento de agua a comunidades marginadas y urbanas, Tesis Doctoral, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Verbist, K., Santibañez, F., Gabriels, D. y Soto, G., (2010) Atlas de Zonas Áridas de América Latina y El Caribe, CAZALAC, Documentos Técnicos del PHI-LAC.