

DESARROLLO DEL MODELO COMPUTACIONAL COPA LLEN A NACIONAL (CÁLCULO ÓPTIMO DE PARÁMETROS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LLUVIA EN APLICACIONES NACIONALES) PARA DISEÑAR E IMPLEMENTAR SISTEMAS SCALL COMO PRINCIPAL MÉTODO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN ZONAS DE DIFÍCIL ACCESO

ALMA CHÁVEZ MEJÍA

El agua de lluvia es una alternativa para el suministro de agua potable de la población, especialmente en regiones donde la cobertura en el servicio de abastecimiento es baja y que por su situación geográfica y la dispersión poblacional se dificulta la implementación de métodos convencionales de distribución. El Plan Nacional Hídrico vigente plantea incrementar la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado en zonas urbanas y rurales privilegiando a la población vulnerable, además de promover el suministro de agua de calidad para uso y consumo humano mediante el aprovechamiento de nuevas fuentes de abastecimiento, incluyendo el uso de fuentes de agua alternativas como la cosecha de lluvia. En el mismo sentido, los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) son considerados como una fuente mejorada de abastecimiento de agua (OMS y UNICEF 2000).

La instalación de los SCALL a nivel nacional se ha llevado a cabo a través de diversas instituciones públicas (CONAGUA, IMTA, SAGARPA), privadas (CHOICE, ISLA URBANA, ROTOPLAS) y asociaciones civiles (Fondo para la Paz, Fundación Gonzalo Rio Arriente, Ingenieros Sin Fronteras, Fundación Alstom). Los estados que se han visto más beneficiados con estos sistemas son Aguascalientes, BCS, Chihuahua, CDMX, Coahuila, Durango, Edo. de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Veracruz, San Luis Potosí, Querétaro, Campeche, Sonora, Tamaulipas y

Zacatecas. Estos sistemas fueron instalados principalmente para uso agropecuario y consumo doméstico, además han sido aprobados para el uso industrial (Samano *et. al.*, 2016). Sin embargo, un problema que enfrentan dichas instalaciones, es la falta de guías y reglamentación para implementar los lineamientos de diseño, construcción, instalación, desempeño y operación. Esto hace imposible conocer el estado que guarda cada uno de los sistemas así como el estado del arte de éstos a nivel nacional, lo que limita conocer por un lado el uso responsable de fondos públicos (y privados) y por otro los fundamentos de diseño que puedan ser aplicados a las condiciones locales para garantizar su óptimo funcionamiento. Ante esto, se desarrolló una herramienta informática automatizada que genera los parámetros de diseño e información auxiliar necesaria para la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia acoplados a un sistema de potabilización a partir de la integración de variables geográficas, climatológicas y económicas propias del lugar para sustentar, de forma técnico-científica, la viabilidad de los sistemas de captación derivados del *software* denominado *COPA LlenA Nacional, Cálculo Óptimo de Parámetros para el Aprovechamiento de Lluvia en Aplicaciones Nacionales*.

Desarrollo del Modelo computacional

Existe *software* de diseño de sistemas de captación de agua de lluvia, por ejemplo Netuno Brasil (UFSC 2014), Water Harvester EUA (Jones 2008), PluGriSost España (Gabarrell, *et. al.* 2010), y Tankulator Australia (ATA 2010), sin embargo, alguno de ellos tienen la desventaja de aceptar sólo datos climatológicos locales del país de origen y otros requieren que el usuario provea sus propios datos climatológicos. Además, la mayoría de estos *software* tienen como objetivo reducir los costos asociados con el uso de agua de una red centralizada y no el de crear un sistema de captación como fuente única o principal de abastecimiento como se requiere en la problemática estudiada.

Aunque en México existe una metodología de cálculo oficial para obras de captación superficiales, ésta requiere que el usuario tenga conocimientos de ingeniería y obtenga los datos de precipitación pertinentes por sus propios medios, lo que limita su aplicación (CONAGUA 2015) y muchas veces lleva al fracaso del sistema.

El *software* generado, *COPA LlenA Nacional*, contiene un algoritmo propio que toma en cuenta las particularidades del país, dicho *software* considera elementos de entrada como el

Figura 1. Parámetros de entrada para el diseño del sistema SCALL

número de habitantes de una vivienda (aspectos socio-económicos), nivel de servicio deseado (consumo per cápita de agua al día), capacidad del tanque de almacenamiento (según recursos y/o espacio disponible), tipo de material del techo y área de captación (según recursos y/o espacio disponible) los cuales están sujetos a la probabilidad de ocurrencia de lluvia en el área geográfica donde se proyecte la instalación del SCALL (ver figura 1). Con dichos parámetros el sistema desarrolla una estimación confiable del área de captación y el volumen de almacenamiento requerido bajo dos criterios: a) personalizado (con limitantes en las variables utilizadas) o b) ideal para su localidad (sin ninguna restricción de las variables). De manera paralela, el sistema crea una simulación de la cantidad de agua disponible durante el año que permitirá visualizar el funcionamiento del SCALL para decidir sobre su viabilidad y el costo de construcción (ver figura 2). Adicionalmente, el *software* cuenta con un dispositivo para seleccionar tres opciones de barreras múltiples para su potabilización y un manual del usuario para garantizar la operatividad del sistema SCALL.

La herramienta final fue diseñada usando el lenguaje R y su complemento ShinyStudio, que son OpenSource, significa que no requieren *software* propietario y son gratis para usar. La decisión para usar ese tipo de plataforma fue para hacer más transferible el uso del *software* y se pueda usar en cualquier computadora. Además, así se puede poner en línea para usarse

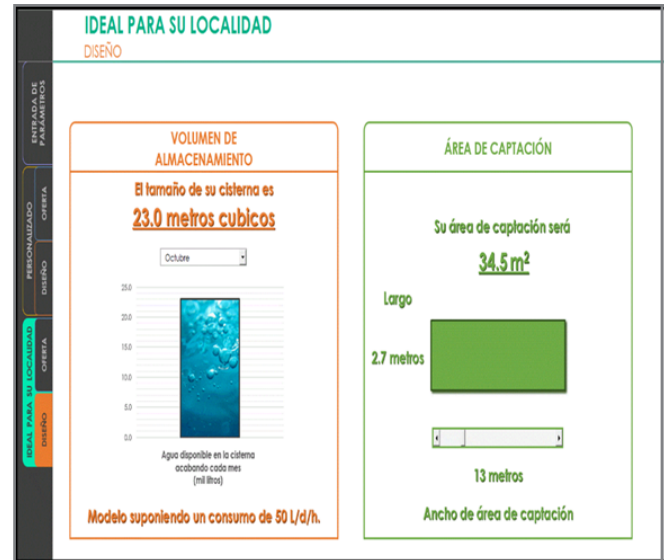


Figura 2. Diseño propuesto con especificación de área de captación y volumen de la cisterna

con contraseña o libremente dependiendo de las decisiones del grupo de investigación. Al mismo tiempo, también se decidió incluir el análisis completo en la entrega de datos final para el proyecto. Eso significa que todos los datos de precipitación para toda la república fueron procesados y los resultados están en un formato accesible para su uso en el programa. Finalmente, se hizo un algoritmo que calcula el uso diario para un sistema diseñado por el usuario. En general, una de las razones más importantes por la que los SCALL fallan es porque hay una brecha entre la cantidad de agua que los usuarios piensan que van a recibir y la cantidad que en realidad reciben. Por esa razón, se incluyó una visualización de uso diario que muestra la cantidad por persona que deben usar para asegurar que hay agua suficiente durante todo el año.

Conclusiones

La herramienta desarrollada permitirá a los usuarios (tomadores de decisiones, ONG, sector público y privado así como la población en general) decidir con parámetros propios del sitio, la conveniencia de adoptar estos sistemas como único método de abastecimiento, como un sistema complementario o en definitiva no optar por ellos.

El uso del *software* impactará de forma directa sobre la planeación de sistemas de potabilización y permitirá ampliar la cobertura de abastecimiento de agua potable en toda la

República Mexicana, con especial atención a las zonas de difícil acceso y bajos recursos. Los resultados del modelo desarrollado permitirán el análisis del aprovechamiento del excedente que precipita en usos agrícolas, forestales y recreativos para fomentar su implementación. Con la aplicación de este sistema es factible medir el impacto social a nivel nacional por el aprovechamiento del agua de lluvia.

El desarrollo de un *software* amigable cuya operación pueda llevarse a cabo por personas que no tengan conocimiento en ingeniería de diseño y que contenga los datos necesarios sin importar la región del país, simplificará el diseño, reducirá tiempo de cálculo y hará accesible el diseño de captación acorde a las necesidades específicas del sitio.

Es de vital importancia contar con una herramienta de fácil acceso al usuario que permita el desarrollo de un prototipo tanto para la captación de agua de lluvia como para su potabilización, que pueda ser implementado fácilmente en cualquier zona del país.

Agradecimientos

Este proyecto estuvo financiado por el fondo del Instituto de Ingeniería, UNAM. Proyecto 6335. *Aseguramiento de la cantidad y calidad del agua almacenada en proyectos de captación de agua de lluvia en México.*

Contacto

Dra. Alma Chávez Mejía

AChavezM@iingen.unam.mx |

Referencias

- Alternative Technology Association (ATA). 2010. The Tankulator. The Victorian Government Sustainability Fund. <<http://tankulator.ata.org.au/questionnaire.php>>
- CONAGUA. 2015. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS). CONAGUA.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). 2011. Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010. CONAPO.
- Gabarrell, X.; Morales-Pinzón, T.; Rieradevall, J.; Rovira, M. R.; Villalba, G.; Josa, A. y Martínez-Gasol, C. 2010. PluGriSost@: a model for design, economic cost and environmental analysis of rainwater harvesting in urban systems. *Sostenipra*. <<http://icta.uab.cat/ecotech/jornada/fitxers/plugrisost.pdf>>
- Jones, Matthew. 2008. Rainwater Harvester 1.5. North Carolina State University (NCSU), Biological and Agricultural Engineering (BAE) Stormwater Engineering Group. <<http://www.bae.ncsu.edu/topic/waterharvesting/model.html>>
- Organización Mundial de Salud (OMS) y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). 2000. Evaluación Global de los Servicios de Agua y Saneamiento 2000. Programa Conjunto de Monitoreo para el Abastecimiento de Agua y Saneamiento.
- Sámano-Romero G, Mautner M, Chavez-Mejía A., Jiménez-Cisneros B. (2016) Assessing Marginalized Communities in Mexico for Implementation of Rainwater Catchment Systems. *Water*;8,140; DOI:10.3390/w8040140.
- Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 2014. Netuno. Laboratorio de Eficiencia Energética en Edificaciones, Brasil. <http://www.labee.ufsc.br/downloads/software/netuno>