



Quinto
Congreso Nacional
de Riego y Drenaje
COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



Artículo: COMEII-19034

*Mazatlán, Sin., del 18 al 20
de septiembre de 2019*

ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO PARA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA MEDIANTE USO DE VANT PARA AGRICULTURA URBANA, JIUTEPEC, MORELOS

Rodrigo Roblero-Hidalgo^{1*}; Jorge Flores Velazquez²

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso. Jiutepec, Morelos, México. C.P. 62550

rodrigo_roblero@tlaloc.imta.mx - 59-59-57-64-19 (*Autor de correspondencia)

² Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso. Jiutepec, Morelos, México. C.P. 62550. Email: jorge_flores@tlaloc.imta.mx.

Resumen

El estudio tiene por objetivo estimar el volumen de escurrimiento, para captación de agua de lluvia, en la agricultura urbana, utilizando Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) para medir y tipificar la superficie de captación. La investigación consta de las fases: fotogrametría, meteorología y cálculo del volumen de escurrimiento medio mensual. Como resultado general se obtuvo un $r^2=1$ entre la medición de las longitudes de las estructuras analizadas y la medición en el ortomosaico obtenido, para dos edificios. Se identificó la capacidad para asignar el coeficiente de escurrimiento a partir de la obtención de tipo de material sobre la superficie de escurrimiento. Se concluye que esta investigación podría ser implementada para el fortalecimiento del diseño de la agricultura urbana, como una alternativa en la captación de agua de lluvia en las grandes urbes y con ello hacer más eficiente el aprovechamiento de agua de lluvia, ya que actualmente en las ciudades el agua precipitada resultante es incorporada al drenaje (contaminación del agua precipitada) después de cada evento.

Palabras claves: Coeficiente de escurrimiento, captación de agua de lluvia.



Introducción

La civilización aprovecha el agua superficial como primera fuente de abastecimiento, consumo y vía de transporte, por ello el desarrollo de las primeras civilizaciones se realizaron a orillas de los ríos, allí el hombre aprendió a domesticar los cultivos y con ello la primera aplicación al agua de lluvia; pero no depende directamente de ella para su supervivencia, debido a la presencia permanente del agua superficial (Ballén-Suárez, Galarza-García, & Ortiz-Mosquera, 2006).

En México, el crecimiento exponencial de la ciudad ha puesto una presión insostenible sobre las fuentes tradicionales de agua. La sobreexplotación de los acuíferos ha causado, en tan sólo el último siglo, 9 metros de hundimiento en la Ciudad de México; por otro lado el sistema Lerma-Cutzamala consume más energía para traer agua a la ciudad que iluminar toda la ciudad de Puebla. Mucha del agua utilizada en la Ciudad de México está causando conflictos con las poblaciones del Estado de México que sufren carencia de agua mientras ven sus reservorios llevados a la capital, la cual sufre de escasez de agua en un 36% de sus viviendas y cada año más viviendas están sujetas a recortes en el suministro. Sin embargo, la crisis en el Valle de México no se debe a una falta real de agua. Cada año, lluvias torrenciales caen sobre la ciudad, haciendo de las calles; caudalosos arroyos, saturando el drenaje, e inundando colonias enteras, fenómeno que nos recuerda que la cuenca estaba dominado por grandes lagos. En la Ciudad de México hay abundancia natural de agua, pero mal administrada. El problema es que se ha perdido la relación con el recurso hídrico así como con sus ciclos naturales. Enviando la lluvia al drenaje, mientras se busca traer agua más lejos, sin embargo debería aprovecharse la condición de que el 60% de las viviendas en la CDMX ya cuentan con cisterna (Isla urbana, 2010).

Estudios de la captación de agua de lluvia

La mayor parte de los estudios, sobre la estimación de agua de lluvia sobre una superficie han sido aplicados a cuencas hidrográficas, como el descrito por Linsley, Kohler, & Paulus (1977), Mario, Demetrio, & Rodiberto (2010), SIAPA (2014), Aparicio-Mirajes (1992), Chereque-Morán (1989) y Fattorelli & Fernández (2011).

Algunos casos prácticos sobre el uso de la captación de agua de lluvia, es en el procesamiento en un beneficio de café (José Andrés, 2016). En el almacenamiento de agua en depresiones y conservación de la humedad en terrenos agrícolas (Critchley & Siegert, 1991), (FAO, 2014), (Mekdaschi-Studer & Liniger, 2013), aplicado a obras de conservación y usos en la agricultura, (Critchley, Siegert, & Chapman, 1991). Para abastecimiento de agua en el hogar (Basán-Nickisch, Sánchez, Tosolini, Tejerina-Díaz, & Jordan, 2018). Uno de los procesos que ha llevado a cerrar el ciclo del proceso de la captación de agua de lluvia y la purificación del agua, se describen por Pérez Hernández, Palacios Vélez, Anaya Garduño, & Tovar Salinas (2018) y Juan-Martínez (2006).



Zunun-Bartolome (2009), describe el procedimiento para el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico, enumerando las ventajas y desventajas de la captación de agua de lluvia.

Ventajas y desventajas de la captación de agua de lluvia para la agricultura urbana

La captación de agua de lluvia para el uso de la agricultura urbana presenta las siguientes ventajas, (OPS, OMS, CEPIS, & COSUDE, 2004):

- Alta calidad físico química del agua de lluvia, (Isla urbana, 2017).
- Sistema independiente y por lo tanto ideal para estructuras dispersas y alejadas, entre sí.
- Empleo de mano de obra y materiales locales, para la captación.
- No requiere energía para la operación del sistema de captación.
- Fácil de mantener el sistema, únicamente se requiere de limpieza al inicio de las primeras lluvias.
- Comodidad, nula mano de obra y ahorro de tiempo en la recolección.

A su vez las desventajas de este método de abastecimiento de agua son las siguientes, (OPS *et al.*, 2004):

- Alto costo inicial que puede impedir su implementación por parte de las familias de escasos recursos económicos.
- La cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.
- En zonas urbanas, por la falta de espacio para la captación, se restringe a los espacios disponibles del usuario, que muchas ocasiones es limitado.

Materiales y métodos

En la descripción de materiales, se presenta la ubicación de la zona de estudio, la descripción general de los equipos y herramienta menor.

Zona de estudio

La investigación se realizó en las instalaciones del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), ubicado en Calle Paseo Cuauhnáhuac, No. 8532, Colonia Progreso, Municipio de Jiutepec, Morelos, Figura 1. En los edificios A1 (anexo 1) y 2, Figura 2.



Figura 1. Ubicación del IMTA, Jiutepec, Morelos, México.

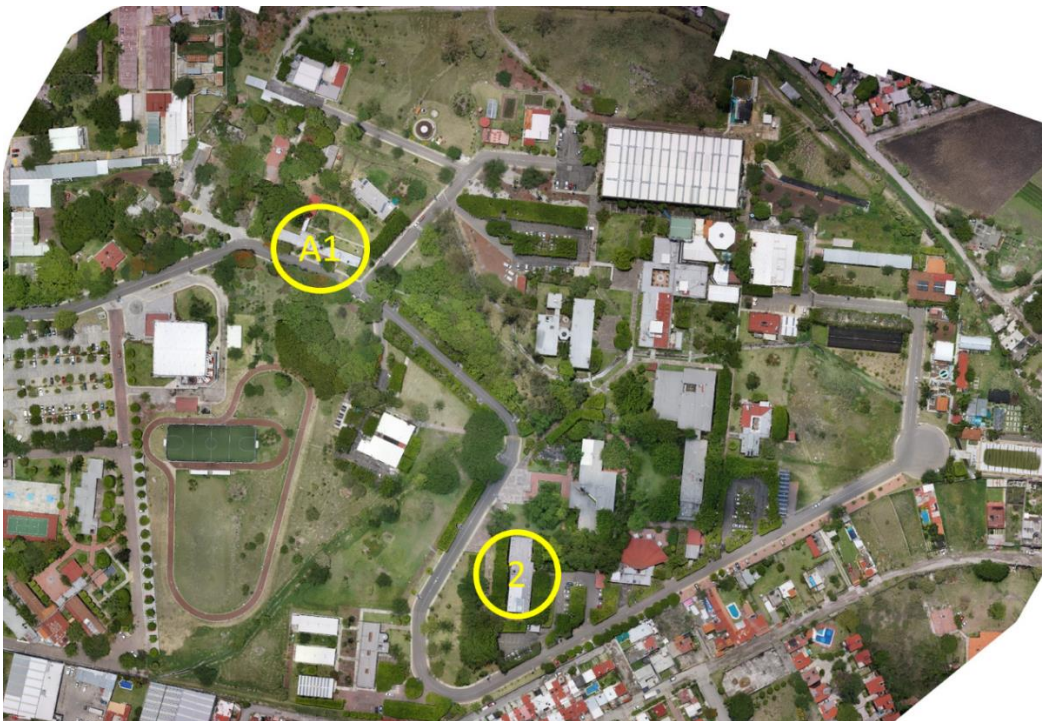


Figura 2. Ubicación de los edificios A1 y 2, en el ortomosaico del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Equipo

Los equipos que se utilizaron son: dron DJI Phantom 4 pro, cámara digital, computadora, flexómetro y cinta de 100 m.

Metodología

La metodología se divide en las fases: fotogrametría, meteorología y estimación del volumen de escurrimiento, Figura 3.

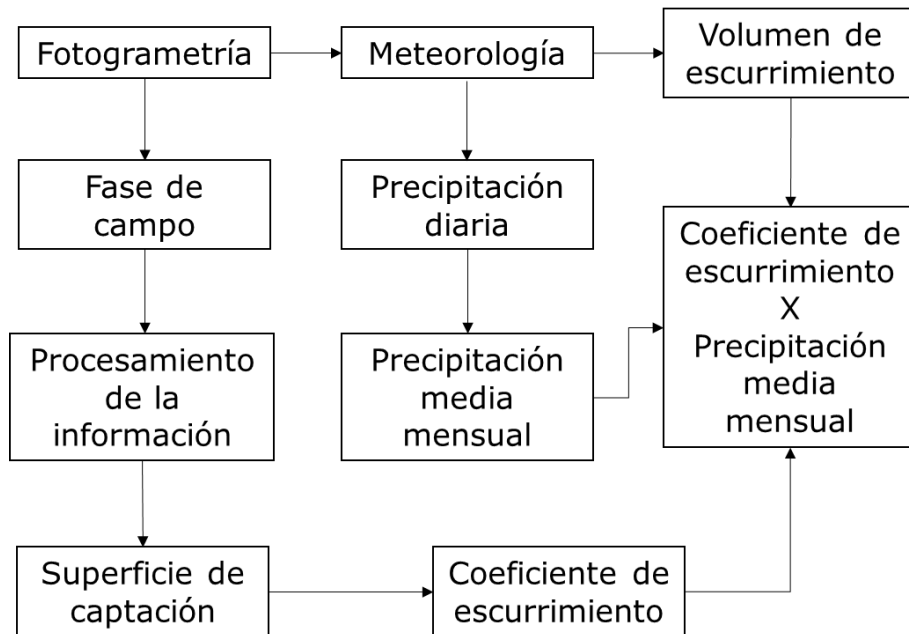


Figura 3. Metodología para determinar el volumen de escurrimiento para captación de agua de lluvia en agricultura urbana.

Fotogrametría

El proceso fotogramétrico, consiste en la recolección de imágenes, obtenidas con el Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT), Figura 4.

El trabajo consistió en volar dos edificios, los cuales se presentan en la Figura 2, para el edificio A1 (anexo 1), se colectaron 39 imágenes con una capacidad de memoria de 187 Mb a una altura de vuelo de 30 m, un traslape del 80% entre imágenes abarcando una superficie en terreno de vuelo de 42mX80m, una longitud de vuelo total de 314 m, distribuida en 4 líneas de vuelo y un tiempo de vuelo de 3 minutos 40 segundos, resultando una resolución de pixel de 0.82 cm.

Para el edificio 2, se colectaron 58 imágenes, con una capacidad de memoria de 278 Mb a una altura de vuelo de 30 m, un traslape del 80% entre imágenes abarcando una superficie en terreno de vuelo de 57mX97m, una longitud de vuelo total de 484 m,

distribuida en 5 líneas de vuelo y un tiempo de vuelo de 4 minutos 33 segundos, resultando una resolución de pixel de 0.82 cm.



Figura 4. Imágenes del equipo a) Fuselaje b) Control c) Carga útil d) Zona de despegue.

El procesamiento, se realizó con el software Agisoft Metashape Pro versión 1.5 de prueba, (Agisoft, 2019) para obtener el ortomosaico y el modelo digital de superficie, en el cual se obtuvieron las medidas de los edificios en planta, de los elementos de interés para definir las áreas de captación de agua de lluvia, Figura 5.



Figura 5. Ejemplo de comparación de longitudes: a) medición real y b) medición obtenida en el ortomosaico, mediante el VANT.

A partir de las medidas de las longitudes obtenidas en campo y las obtenidas en el ortomosaico, se compararon los datos, aplicando el estadístico del coeficiente de determinación (R^2) y el ajuste de la ecuación lineal de tendencia, Figura 6.

Como se aprecia en las gráficas de la Figura 6, existe una buena confiabilidad en el modelo de determinar la geometría del área de captación de agua de lluvia, a través del uso del VANT para estimar el área de captación.

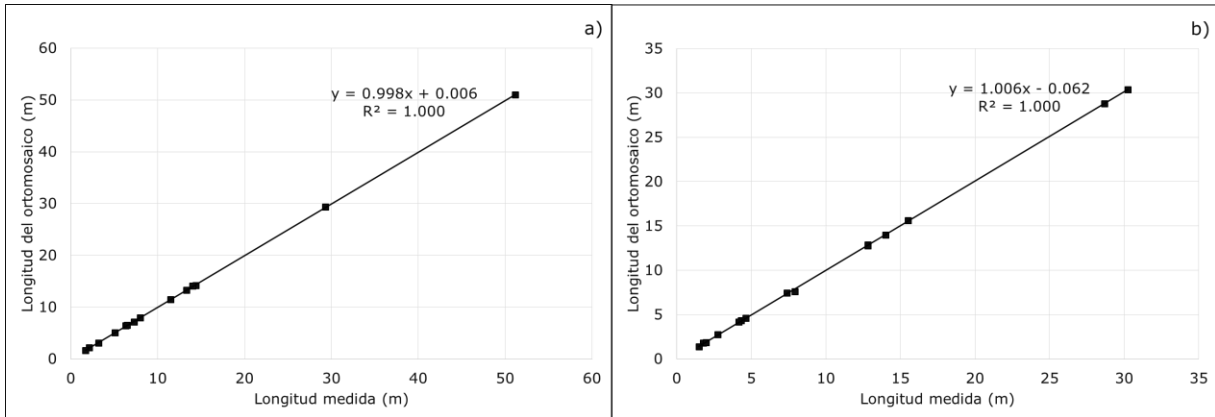


Figura 6. Comparación entre las longitudes medidas y las obtenidas en el ortomosaico por el VANT: a) Edificio A1 (Anexo 1) y b) Edificio 2 (Riego y drenaje)

Meteorología

A partir de la información de precipitación diaria, de la estación meteorológica con clave 17071 denominada Progreso IMTA, que se encuentra en las instalaciones del IMTA, con coordenadas X= 99° 9'31"O, Y= 18°53'04"N y Z= 1,372.2 msnm. Esta información se obtuvo de SMN (2017) y de los datos actualizados que se toman directo del registro diario de la estación. La información que se obtuvo fue del 05/01/1982 al 22/05/2019, generando con ello una matriz de 13,651 días. A partir de estos datos, se calculó la precipitación media mensual y anual, Figura 7.

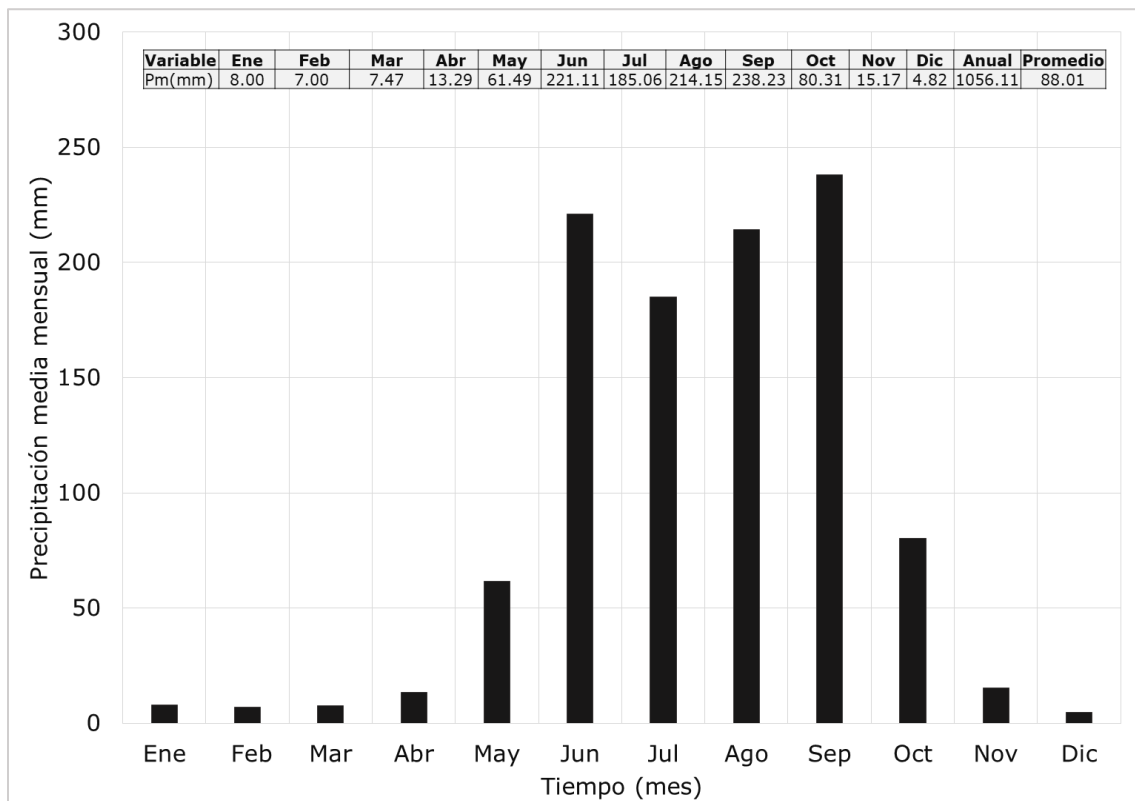


Figura 7. Precipitación media mensual en la estación meteorológica 17071-Progreso

En la Figura 7, se observa que la distribución de la precipitación para la época seca se presenta en los meses de noviembre-abril y la época húmeda de octubre-mayo, presentando en la época húmeda una variación de la sequía intraestival, de junio-septiembre, siendo menor la precipitación en julio. Para el periodo húmedo se comparó con la precipitación promedio en la república mexicana la zona se encuentra por arriba del promedio, considerando que en el año se dispone de 1056 mm de precipitación.

Coeficiente de escurrimiento

La esorrentía superficial (E) provocada por una lluvia puede compararse con la precipitación (P) del evento. Al cociente entre ambos valores se denomina coeficiente de escurrimiento (Ce), Ecuación 1 (Monsalve-Sáenz, 1995).

$$Ce = \frac{E}{P} \quad (1)$$

Donde:

Ce= Coeficiente de escurrimiento, adimensional 0 a 1.

E= Escurrimiento expresado en lámina, mm.

P= Precipitación, mm.

El coeficiente de escurrimiento depende de numerosos factores como: del tipo de precipitación (lluvia, nieve o granizo), de su cantidad, de su intensidad y distribución en el tiempo; de la humedad inicial de la superficie; del tipo de terreno (granulometría, textura, estructura, material, grado de compactación, pendiente, relieve, rugosidad), del tipo de cobertura vegetal existente; de la intercepción que provoque y del lapso de tiempo (minutos, horas, días, meses, año). El coeficiente de escurrimiento al tratarse de una proporción, toma valores entre 0-1, siendo 1 el indicativo de que todo lo que precipita escurre y 0, que por el total de la precipitación, todo se retiene en el área de estudio (Martínez de Azagra-Paredes, 2006).

En estudios de las áreas de captación, pueden existir cubiertas por más de un tipo de superficie (áreas compuestas), ya que combinan diferentes tipos de material, por lo que en esos casos, es necesario aplicar el promedio ponderado por área, a partir de cada área individual y su coeficiente de escurrimiento asignado (Campos-Aranda, 2010), Ecuación 2.

$$Ce = \frac{\sum_{i=1}^n Ce_i * a_i}{A} \quad (2)$$

Donde:

Ce = Coeficiente de escurrimiento ponderado, adimensional 0 a 1.

Ce_i = Coeficiente de escurrimiento del área individual, adimensional 0 a 1.

a_i = Área individual, m².

A = Área total de la superficie de captación, m².

n = Número de áreas individuales consideradas, entero positivo consecutivo 1, 2, ...,n

A partir del proceso de la generación del ortomosaico, georreferenciado en UTM 14N, se determinaron las áreas de captación, asignando así los coeficientes de escurrimiento para cada área, y obteniendo el coeficiente de escurrimiento ponderado por área, aplicando la Ecuación 2.

A partir de la información del coeficiente de escurrimiento ponderado, tanto para el edificio A1 (Anexo 1) y el edificio 2 (Riego y drenaje) presentan un valor de 0.8, con una superficie de 466.06 m² y de 571.95 m², respectivamente, superficie que será necesaria considerar en el cálculo de volumen potencial para captación de agua de lluvia.

Volumen de escurrimiento

Para calcular el volumen de escurrimiento, se obtiene con la Ecuación 3.

$$V_{jk} = C_{eponderado} * A_{Total} * P_m \quad (3)$$

Donde:

V_{jk} = Volumen medio mensual potencial a captar, m³.

$C_{eponderado}$ = Coeficiente de escurrimiento ponderado, adimensional.

A_{Total} = Área total de captación, m².

P_m = Precipitación media mensual, m.

A partir de las ecuaciones anteriores, se calcula el coeficiente de escurrimiento para cada área de captación de agua de lluvia en cada edificio (Figura 8).

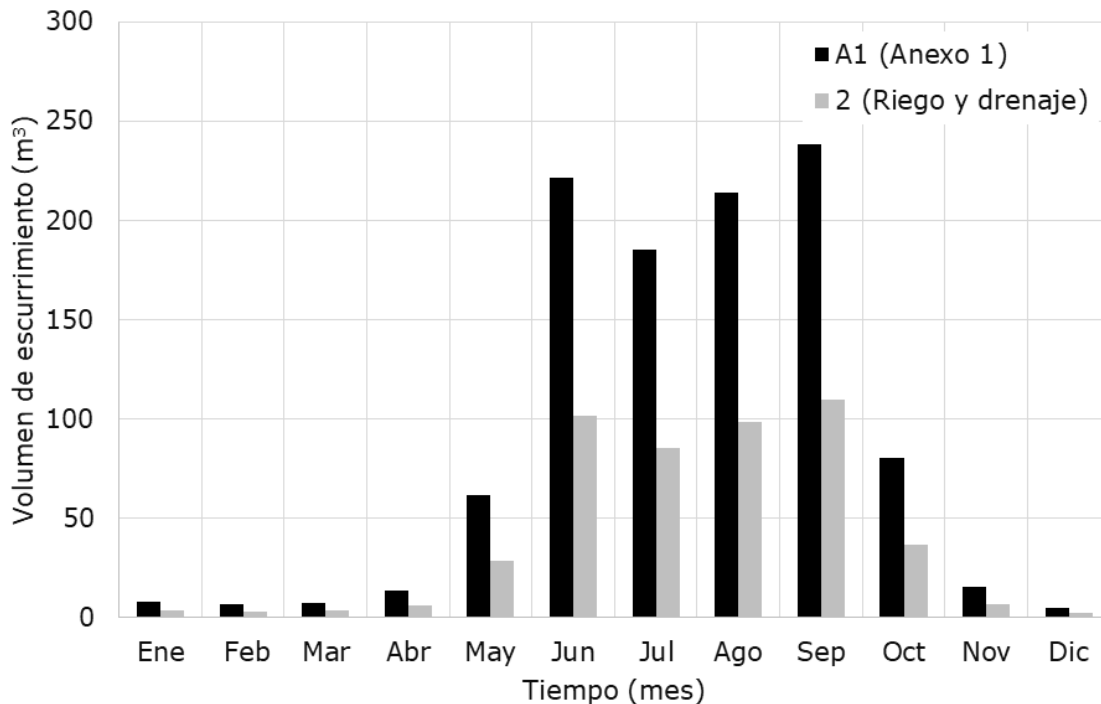


Figura 8. Escurrimiento medio mensual para captación de agua de lluvia en los edificios A1 y 2.



Como se aprecia en la Figura 8, los meses en donde se presenta la menor capacidad para captar agua de lluvia en los edificios A1 y 2, son los meses de noviembre-abril, que corresponden a la época de secas, y los meses de mayo-octubre los meses húmedos. Teniendo el volumen máximo en el mes de septiembre; este proceso depende de la disponibilidad de precipitación.

Resultados y discusión

Para el caso de la agricultura urbana el periodo húmedo para producir sería el periodo de mayo-octubre para obtener el mayor potencial de producción y considerar que esta limitante ubica a la producción en la misma condición que presenta la agricultura de temporal, ya que depende de la disponibilidad de la precipitación en el tiempo, sin embargo suma una condición de las estructuras de almacenamiento que permite amortiguar el estrés hídrico, es por ello que la relación del volumen del almacenamiento es la función óptima y estará sujeta a la demanda.

A partir de la disponibilidad del volumen de agua que el temporal provee, el módulo de agricultura urbana que puede suministrarse, será de las siguientes dimensiones: para el edificio A1 con una capacidad de almacenamiento total de 395.04 m³ y para el edificio 2 con 486.07 m³. Sin embargo con el afán de optimizar la inversión se considera la operación misma del sistema lo que lleva hacer un manejo integral del sistema de oferta y demanda. Ya que no es necesario tener la dimensión total anual, debido a que se requiere de una programación de producción y de disponibilidad diaria del sistema.

Por lo que es necesario considerar un buen diseño agronómico, para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos a producir y con ello proponer el tamaño óptimo de almacenamiento considerando que la época crítica se daría de noviembre-abril (6 meses).

El resultado final de estos estudios, complementan la información para llegar al diseño de los sistemas de captación de agua de lluvia (OPS et al., 2003), considerando las partes que lo conforman de acuerdo a Isla urbana (2017), que son: techo, bajantes, canaletas, tlaloque, filtro de hojas, cisterna y filtros. Por lo que este estudio, sobre la determinación de la captación de agua de lluvia, permite estimar el volumen de agua disponible en forma mensual, identificando la época húmeda de la seca.

Conclusiones

Este estudio aporta una de las fases iniciales para el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia, que consiste en la estimación de volumen de escurrimiento, estructurada la metodología en las fases: fotogrametría, meteorología y estimación del volumen de escurrimiento. En la fase fotogramétrica se introduce las ventajas que tienen el uso de VANT, para obtener dos datos fundamentales como la geometría y el tipo de superficie, teniendo una alta correlación con valores de $r^2=1$ para la geometría. Comparando los datos medidos con los estimados en el ortomosaico, identificando que el plano vertical (X,Y), tiene mejor respuesta con relación a los valores de la vertical (Z), obtenidos en la



ma de puntos del modelo digital de elevación. Se considera que este tipo de herramientas permiten analizar estructura urbana, para identificar rasgos geométricos que se utilizan en el diseño de sistemas de captación. Con la resolución de las imágenes obtenidas por los VANT, se puede observar a gran detalle a nivel de cm, los tipos de superficie que se pueden localizar en los techos, que son las estructuras básicas para la captación de agua de lluvia y asignar un coeficiente de escurrimiento variable a cada área, recurriendo con ello al coeficiente de escurrimiento ponderado. En la fase meteorológica se analizó la información de la matriz de la precipitación diaria hasta llegar a los promedios mensual con 88 mm y anual de 1056 mm, que son un estimado de la capacidad de la zona para almacenar esa precipitación efectiva. Y con la estimación del volumen de escurrimiento, se determinó el potencial de almacenamiento, para el edificio A1 con una capacidad de almacenamiento total de 395.04 m³ y para el edificio 2 con 486.07 m³. En este estudio se generan las bases de diseño de estos sistemas y permiten enfocarlos a la producción de la agricultura urbana, tema que por el crecimiento poblacional y el cambio climático, es una técnica que se ha estado implementando como política pública y en el diseño de la infraestructura verde, por su enfoque equilibrado con el medio ambiente.

Agradecimientos

Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, por el apoyo en el proyecto interno no. RD1902.1, titulado: Evaluación de horticultura vertical en el IMTA en apoyo a la gestión integrada del agua a nivel de edificaciones en zonas urbanas.

Referencias Bibliográficas

- Agisoft. (2019). *Agisoft Metashape Pro*. Obtenido de <https://www.agisoft.com/>
- Agua del cielo. (2010). *Cisternas para el Agua: manual de construcción*. Obtenido de <http://ecotec.unam.mx/Ecotec/wp-content/uploads/ManualDeConstruccion.pdf>
- Anaya-Garduño, M. (2004). *Centro internacional de demostración y capacitación en aprovechamiento del agua de lluvia (CIDECALL)*. Obtenido de <http://www.colpos.mx/ircsa/cidecall/odcs/carpeta.pdf>
- Aparicio-Mirajes, F. J. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie* (Primera re; Editorial Limusa, Ed.). México, D.F.
- Arroyo-Zambrano, T. I. (2013). *Colecta de agua pluvial como medida para el uso eficiente de la energía y reducción de emisiones de CO2e análisis económico y ambiental*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Aurelio Pedroza-Sandoval, Chávez-Rivero, J. A., Trejo-Calzada, R., & Ruíz-Torres, J. (2014). Sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) y bioproductividad en comunidades marginadas de zonas áridas. *Impluvium*, 1(No. 1), 41. Bermejillo, Dgo.
- Ballén-Suárez, J. A., Galarza-García, M. Á., & Ortiz-Mosquera, R. O. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. *VI SEREA -Seminário Iberoamericano Sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água João Pessoa (Brasil)*, 1–12. João Pessoa, Brasil.
- Basán-Nickisch, M., Sánchez, L., Tosolini, R., Tejerina-Díaz, F., & Jordan, P. (2018). Sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano, sinónimo de agua



- segura. *Aqua-LAC*, 10(1), 15–25. <https://doi.org/10.1688-2873>
- Breña Puyol, A. F., & Jacobo Villa, M. A. (2006). Principios y fundamentos de la hidrología superficial. In *Universidad Autónoma Metropolitana (Coordinaci)*. Obtenido de http://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf
- Caballero-Aquino, T. (2006). *Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento. Manual técnico*. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- Campos-Aranda, D. F. (2010). *Introducción a la Hidrología Urbana* (Marzo de 2; D. F. Campos-Aranda, Ed.). San Luis Potosí, S.L.P., México: Printego.
- Chávez, M. J. (2010). *Notas del curso de Hidrología Superficial* (Colegio de). Montecillo, Texcoco, Edo. de México.
- Chereque-Morán, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil* (Pontificia). Obtenido de <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/28689>
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada* (McGraw Hil). Santafé de Bogotá, Colombia.
- CONAGUA, C. N. del A. (2016). Lineamientos técnicos: Sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda. In *Programa nacional para captación de agua de lluvia y ecotecnias en zonas rurales (PROCAPTAR)* (No. 1). Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/152776/LINEAMIENTOS_CAPTACION_PLUVIAL.pdf
- Critchley, W., & Siegert, K. (1991). *Water harvesting*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/U3160E/u3160e00.HTM>
- Critchley, W., Siegert, K., & Chapman, C. (1991). *Water harvesting* (No. AGL/MISC/17/91). Roma, Italia.
- ESPA. Innovative Water Solutions. (2002). *Aprovechamiento agua de lluvia*. Obtenido de <http://global.espa.com/doc-descarga-1/formulario-agua-de-lluviaes.pdf>
- FAO. (2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. In *Santiago de Chile* (FAO). Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/019/i3247s/i3247s.pdf>
- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2014). *Feasibility Study of Rainwater Harvesting for Agriculture in the Caribbean Subregion* (FAO). Roma, Italia.
- Fattorelli, S., & Fernández, P. C. (2011). *Diseño Hidrológico* (WASA-GN). Obtenido de <https://marianiztli.files.wordpress.com/2016/06/disenio-hidrologico.pdf>
- Isla urbana. (2010). *Lluvia para todos. Por la sostenibilidad hídrica de México*. Obtenido de <http://islaurbana.org/wp-content/uploads/2017/04/ISLA-URBANA-CAPTACION-DE-LLUVIA-web.pdf>
- Isla urbana. (2017). *Manual de mantenimiento para su sistema residencial*. Obtenido de <http://islaurbana.mx/wp-content/uploads/2017/12/MANUAL-MANTENIMIENTO-GENERALnov2017-WEB.pdf>
- José Andrés, M.-C. (2016). *Análisis de la viabilidad de un sistema de captura de agua y su almacenamiento para uso en el beneficiado húmedo en la cooperativa de caficultores de Pilangosta R.L., del Cantón de Hojanca, Guanacaste* (Universidad de Costa Rica). Obtenido de http://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2016/09/Tesis_Viabilidad_captura_de_agua.pdf
- Juan-Martínez, J. (2006). *Captación y purificación de agua de lluvia para consumo humano*. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo.



- Linsley, J. R. K., Kohler, M. A., & Paulus, J. L. H. (1977). *Hidrología para ingenieros* (McGraw-Hill). Bogotá, Colombia.
- Lluís-Huguet, J., Oró, J., Tormo, V., Cinta-Pastor, M., & González, S. (2016). *Guía técnica de aprovechamiento de aguas pluviales en edificios*. Obtenido de <http://global.espa.com/doc-descarga-1/guia-tecnica-aprovechamiento-aguas-pluviales-en-edificios.pdf>
- Mario, M.-M., Demetrio, F.-R., & Rodiberto, S.-M. (2010). Hidrología aplicada a las pequeñas obras hidráulicas. In *Unidad Técnica Especializada (UTE) COUSSA* (Vol. 1). Colegio de postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, México.
- Martínez-Saldaña, T., Palerm, J., Castro, M., & Pereir, L. (2011). *Riegos ancestrales en Iberoamérica. Técnicas y organización social del pequeño riego* (Colegio de; T. Martínez-Saldaña, Ed.). Montecillo, Texcoco, Edo. de México: bba.
- Martínez de Azagra-Paredes, A. (2006). *Particularización al método de los coeficientes de escorrentía* (No. 2006). <https://doi.org/www.oasification.com>
- Mekdaschi-Studer, R., & Liniger, H. (2013). *Water Harvesting: Guidelines to Good Practice*. Centre for Development and Environment (CDE) (CDE, Cente). Rome: Bern; Rainwater Harvesting Implementation Network (RAIN), Amsterdam; MetaMeta, Wageningen; The International Fund for Agricultural Development (IFAD).
- Monsalve-Sáenz, G. (1995). *Hidrología en la ingeniería* (Escuela Co). Santafé de Bogotá, Colombia.
- Morales Pinzón, T. (2012). *Modelling and sustainable management of rainwater harvesting in urban systems*. Institute of Environmental Science and Technology (ICTA) at Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).
- OPS, O. P. de la S., OMS, O. M. de la S., & CEPIS, C. P. de I. S. y C. del A. (2003). *Captación de agua de lluvia para consumo humano. Especificaciones técnicas* (No. OPS/CEPIS/02.60-UNATSABAR). Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/046_captacion_lluvia/Captacion_lluvia.pdf
- OPS, O. P. de la S., OMS, O. M. de la S., CEPIS, C. P. de I. S. y C. del A., & COSUDE, A. S. para el D. y la C. (2004). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia* (No. OPS/CEPIS/04.122). Lima, Perú.
- Ortiz-Moreno, J. A., Arroyo-Zambrano, T., & Fuentes-Gutiérrez, A. (2015). *Análisis de la viabilidad de la incorporación de sistemas de captación de agua pluvial en los desarrollos inmobiliarios bajo el programa de hipoteca verde de infonavit* (Vol. 1). Obtenido de <http://ecotec.unam.mx/Ecotec/wp-content/uploads/Analisis-de-la-viabilidad-de-la-incorporacion-de-SCALL-en-desarrollo-inmobiliarios-del-INFONAVIT.pdf>
- Pérez Hernández, A., Palacios Vélez, O. L., Anaya Garduño, M., & Tovar Salinas, J. L. (2018). Agua de lluvia para consumo humano y uso doméstico en San Miguel Tulancingo, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(6), 1427–1432. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i6.313>
- Pizarro, R., Abarza, A., Morales, C., Calderón, R., Tapia, J., García, P., & Córdova, M. (2015). *Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales de Chile* (No. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 36).
- Salinas-Hernández, A. G. (2015). *Impacto ambiental, social y económico derivado de la implementación de sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia en dos estudios de caso en México*. Universidad Nacional Autónoma de México,



Morelia, Michoacán.

- SCT, S. de C. y T. (2000). *Estudios Hidráulico-Hidrológicos para Puentes*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-PRY-CAR-1-06-001-00.pdf>
- Secretaría de economía. *Norma Mexicana. NMX-AA-164-SCFI-2013. Edificación sustentable - criterios y requerimientos ambientales mínimos.*, (2013).
- SIAPA, L. T. para F. (2014). Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades. Hidrología superficial urbana. In *Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades en la Z.M.G.* Obtenido de http://hidrologia.usal.es/temas/Hid_sup_3.pdf
- SMN. (2017). Estaciones Climatológicas 2016. Obtenido de Servicio Meteorológico Nacional website: <http://smn.cna.gob.mx/tools/RESOURCES/estacion/EstacionesClimatologicas.kmz>
- Solano, C., Gonzaga, F., Espinoza, F., & Espinoza, J. (2017). Sistema de captación de agua de lluvia para uso doméstico, Isla Jambelí, cantón Santa Rosa. *Cumbres*, 3(1), 151–159. <https://doi.org/10.1390-9541>
- UNATSABAR, U. de A. T. en S. B. R. (2001). Guía de diseño para captación del agua de lluvia. In *UNATSABAR* (Vol. 1). Obtenido de http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/monte_carlo/monte_carlo.htm?iframe=true&width=95%25&height=95%25
- Zunun-Bartolome, J. (2009). *Elaboración de un procedimiento para el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico*. (Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”). Obtenido de http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1939/T17097BARTOLOME_ZUNUN_JORGE_TESIS.pdf?sequence=1