

**XXVIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA  
BUENOS AIRES, ARGENTINA, SEPTIEMBRE DE 2018**

**REVISIÓN DE METODOLOGÍAS PARA EL APROVECHAMIENTO DEL  
AGUA EN ZONAS URBANAS Y RURALES**

**<sup>1,2</sup>Luisa Martínez Acosta, <sup>2,3</sup>Alvaro López-Lambraño, <sup>1</sup>Alvaro López-Ramos**

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, campus Montería, Colombia;

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California, unidad Ensenada, B.C.,  
México

<sup>3</sup> HIDRUS S.A. de C.V. Querétaro, México

*alopezl@hotmail.com, ingluisamartinez@gmail.com, altoti@gmail.com*

**RESUMEN:**

La captación del agua lluvia ha cobrado interés en la actualidad como fuente de abastecimiento, debido a la distribución inequitativa de la precipitación, por lo tanto, el estudio de las metodologías para su aprovechamiento en zonas rurales y urbanas se ha convertido en un desafío. El presente documento relaciona diversas metodologías aplicadas en ambas zonas, buscando identificar los parámetros básicos requeridos para su análisis y las ventajas y desventajas de cada una.

**ABSTRACT:**

The rainwater harvesting has now gained interest as a source of supply, due to unequal distribution of precipitation, therefore, the study of methodologies for its use in rural and urban areas has become a challenge. This document relates different methodologies applied in both areas, seeking to identify the basic parameters required for their analysis and the advantages and disadvantages of each.

**PALABRAS CLAVES:** *aprovechamiento de agua lluvia, precipitación, escorrentía, área de drenaje*

## INTRODUCCIÓN

La preocupación por la disponibilidad del agua, debido al aumento de la demanda por parte de la población se ha acentuado con la presencia del cambio climático. Es por esto que hoy día en ciudades importantes se habla de problemas de suministro del agua como es el caso de Ciudad del Cabo, donde se está acercando el día cero, en el cual el abastecimiento del agua se verá comprometido y estará regulada la cantidad que cada persona puede gastar (Olivier, 2018).

Lo anterior ocurre en zonas urbanas y rurales de climas áridos, semi áridos, tropicales, mediterráneos, llevando a los entes gubernamentales e investigadores a pensar en soluciones usadas ancestralmente, en las cuales la recolección del agua lluvia para usos agropecuarios y domésticos preponderaba (de Winnaar, Jewitt, & Horan, 2007; Domènech & Saurí, 2011). Estas soluciones se contemplan desde diversas perspectivas, teniendo en cuenta el uso que se le vaya a dar al recurso y la zona climatológica en la cual se encuentre localizada el área de estudio. Por lo tanto, el objetivo del presente artículo es desarrollar una revisión bibliográfica que permita establecer las metodologías y los tipos de recolección de agua lluvia utilizados teniendo en cuenta las zonas climatológicas y los usos a los cuales se destinará el recurso hídrico.

## METODOLOGÍA

Las metodologías utilizadas en el aprovechamiento de aguas lluvias tienen una base fundamental y es el balance hídrico con el cual se determina la cantidad de agua disponible y requerida para satisfacer una necesidad determinada. Dichos balances se realizan a nivel de cuenca hidrográfica para calcular la cantidad de almacenamiento requerido, teniendo en cuenta los usos a los que se va a destinar el recurso hídrico. El modelo general de la ecuación de balance hídrico se muestra en la ecuación [1].

$$P \pm E \pm R \pm I/D \pm \Delta S = 0 \quad [1]$$

Donde  $P$  es la precipitación,  $E$  evaporación,  $R$  escorrentía,  $I/D$  infiltración o drenaje profundo y  $\Delta S$  almacenamiento.

De la ecuación [1] se deduce que la entrada principal es la precipitación, dándole importancia a la cantidad y distribución. Es importante que los datos de las series de tiempo de esta variable sean obtenidos de las entidades encargadas de administrar las estaciones meteorológicas para garantizar su confiabilidad.

Para obtener la escorrentía  $R$  se debe calcular el coeficiente de escorrentía, el cual va a depender del tipo de suelo, vegetación, uso del suelo y pendiente, en el caso del análisis en zonas rurales y el tipo de techo utilizado cuando se trata de recolección de agua en zonas urbanas (Mwenge Kahinda, Taigbenu, & Boroto, 2010). El análisis del uso del suelo se puede realizar mediante imágenes satelitales, mapas de zonificación locales y fotografías aéreas (Mekonnen & Melesse, 2016; Mwenge Kahinda, Lillie, Taigbenu, Taute, & Boroto, 2008).

Cuando se busca definir un sistema de recolección de agua lluvia en zonas rurales y urbanas, se usan los sistemas de información geográfica (SIG), con los cuales se establecen las áreas idóneas para ubicar los sitios óptimos donde se pueden construir la infraestructura hidráulica para el almacenamiento del agua como lo son represas, micro presas, entre otros. La importancia de usar SIG consiste en que es una herramienta que permite evaluar las condiciones topográficas y características del suelo para determinar la capacidad de escorrentía en una cuenca (Bulcock & Jewitt, 2013; de Winnaar et al., 2007).

Una vez localizadas las zonas idóneas para almacenamiento, otro aspecto a tener en cuenta son los costos asociados a la construcción de la infraestructura, convirtiéndose en una preocupación la obtención de recursos económicos. En algunos países de África existen modelos gubernamentales que involucran subsidios para la adopción de sistemas de recolección de agua lluvia (Appan, 2000; Domènech & Saurí, 2011; Karpouzoglou & Barron, 2014). Igualmente, al iniciar un proceso de adopción de aprovechamiento de agua lluvia es importante involucrar a las comunidades afectadas para evitar el fracaso de este tipo de proyectos (Grum et al., 2016).

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

Las metodologías utilizadas normalmente en los sistemas de recolección de agua lluvia, se basan en los SIG con diferentes enfoques teniendo en cuenta la información requerida en la búsqueda de determinar el tipo de aprovechamiento de agua lluvia a utilizar o el lugar más idóneo para ubicar las estructuras de recolección (Adham, Wesseling, Riksen, Ouessar, & Ritsema, 2016; de Winnaar et al., 2007; Sayl, Muhammad, Yaseen, & El-shafie, 2016).

En la tabla 1 se indican las metodologías con los parámetros requeridos para desarrollar la misma. Es importante aclarar que en la tabla 1 sólo se muestran 5 de las 35 metodologías que se han analizado para los casos de la zona rural, donde además de los parámetros mencionados, existen otras consideraciones como el área de la cuenca y a las características del clima (velocidad y dirección del viento, entre otras).

**Tabla 1.-** Parámetros necesarios para la aplicación de las metodologías en zonas rurales

Metodología	Pendiente	Caract. clima		Red de Drenaje	Escorrentía	Suelo				Socio-económico		Distancia		Tipo de estructura hidráulica
		Precipitación	Evaporación			Uso	Textura	Cobertura	Profundidad	Consulta a partes interesadas	Costo	Viviendas	Cultivos	
Enfoque de apoyo a la decisión para seleccionar e implementar técnicas de recolección de agua (árido y semiárido) (Grum et al., 2016)	X	X		X		X	X	X	X	X				X
Enfoque basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar sitios de escorrentía (semiárido) (de Winnaar, Jewitt, & Horan, 2007)	X	X				X	X	X				X	X	X
Metodología para evaluar las técnicas de recolección de agua lluvia (semiárido) (Adham, Riksen, Ouessar, & Ritsema, 2016).	X	X					X		X		X	X		X
Modelo para la evaluación y optimización de sistemas de recolección de agua lluvia (árido y semiárido) (Adham, Wesseling, Riksen, Ouessar, & Ritsema, 2016)	X	X			X									X
Delimitación de sitios potenciales para recarga de aguas subterráneas (árido y semiárido) (Mahmoud, 2014)	X	X	X		X	X	X	X						

De la tabla 1, se puede concluir que la pendiente y la precipitación son parámetros recurrentes en proyectos de recolección de agua lluvia en zonas rurales, en cualquier zona climática. Otro aspecto importante es el suelo (textura, uso, cobertura y profundidad) porque éste permitirá establecer la respuesta hidrológica de la cuenca ante precipitaciones con cierta probabilidad de ocurrencia.

De igual manera, en la tabla 2, se observan los parámetros para las metodologías aplicadas a zonas urbanas, donde los más importantes son la precipitación y la capacidad de almacenamiento. En este caso, el área de cuenca a contemplar es la superficie de los techos de las viviendas o edificaciones, por lo que para el coeficiente de escorrentía se analizan los materiales de estos y las características del suelo ya no toman relevancia.

**Tabla 2.-** Parámetros necesarios para la aplicación de las metodologías en zonas urbanas

Metodología	Caract. clima		Escurrentia	Área de recolección de agua (techos)	Demanda de agua diaria	Capacidad de almacenamiento
	Precipitación	Evaporación				
Sistema dual para aprovechar el agua del techo para usos no potables (Appan, 2000)	X	X				X
Evaluación del rendimiento global de la recolección de agua lluvia (RAL) bajo el cambio climático (Musayev, Burgess, & Mellor, 2018)				X	X	
Un enfoque probabilístico para el diseño y evaluación de sistemas de captación de agua de lluvia (subtropical sin estación seca) (Su, Lin, Chang, Kang, & Lin, 2009)	X				X	X
Tamaño óptimo de los tanques de recolección de agua de lluvia (TRAL) para uso doméstico (Londra, Theocharis, Baltas, & Tsihrintzis, 2015)	X		X	X	X	X
Impactos de los sistemas de recolección de agua de lluvia domésticos y agrícolas en la hidrología de cuencas (Ghimire & Johnston, 2013)	X			X	X	X

En la tabla 3 se consigna la información de las ventajas y desventajas de cada una de las metodologías para las zonas rurales, donde se evidencia que el uso de los sensores remotos y los SIG son herramientas importantes en la selección de los sitios más adecuados para ubicar las estructuras hidráulicas y que el aprovechamiento del agua lluvia sea eficiente.

De igual manera, en la tabla 3 dentro de las desventajas destacan los inconvenientes al involucrar a las partes interesadas, es decir, los expertos en el tema, los usuarios del recurso hídrico, la administración pública, entre otros. Por otro lado, cuando se ponderan o se dan pesos a los parámetros requeridos en algunas de las metodologías, se presentan problemas de subjetividad que pueden conllevar a selección de sitios de captación de agua lluvia poco adecuados, si no se tiene el suficiente cuidado.

**Tabla 3.-** Ventajas y desventajas de las metodologías aplicadas a zonas rurales

Metodología	Ventajas	Desventajas
Enfoque de apoyo a la decisión para seleccionar e implementar técnicas de recolección de agua (árido y semiárido) (Grum et al., 2016)	Se usa una puntuación de idoneidad basada en atributos de mapas temáticos elaborados en un SIG y se superpone con las cosechas de agua propuestas para luego hacer una evaluación multicriterio. La selección final se realiza con las partes interesadas (Grum et al., 2016)	Cuando se reúnen las partes interesadas, la elección de las herramientas de análisis para la situación que se presenta en cuanto a la selección de tipo de aprovechamiento de agua lluvia adecuado se convierte en un desafío y no debe ser compleja en tiempo, costos y cantidad de datos necesarios (Schwilch, Bachmann, & de Graaff, 2012).
Enfoque basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar sitios de escurrentía (semiárido) (de Winnaar et al., 2007)	Mediante el uso de esta metodología se reducen las áreas de la cuenca a zonas específicas donde se pueden ubicar las estructuras para la recolección de agua lluvia (de Winnaar et al., 2007).	Para pequeños embalses que se usen para almacenar la escurrentía y por lo tanto huertos a pequeña escala, por lo cual es poco probable su uso para áreas grandes de recolección de escurrentía (de Winnaar et al., 2007).
Metodología para evaluar las técnicas de recolección de agua lluvia (semiárido) (Adham, Riksen, et al., 2016)	Es una metodología aplicable a sistemas de recolección de agua lluvia existentes o a construir. En los existentes proporciona información adecuada de la eficiencia de las estructuras de recolección y en los proyectados, localiza el sitio más adecuado para su construcción.	Debido a que se deben hacer reuniones con partes interesadas, tiene el mismo inconveniente de la metodología presentada por Grum et al (2016).
Modelo para la evaluación y optimización de sistemas de recolección de agua lluvia (árido y semiárido) (Adham, Wesseling, et al., 2016)	El modelo puede ser usado en regiones con datos escasos, donde se recomiendan modelos con pocos parámetros.	A pesar de sus ventajas y su aplicabilidad, el modelo debe ser calibrado y aprobado para su uso en otras zonas.
Delimitación de sitios potenciales para recarga de aguas subterráneas (árido y semiárido) (Mahmoud, 2014)	Se demuestra que la detección remota, los SIG y el proceso de jerarquía analítica (PJA) son poderosas herramientas para ubicar zonas potenciales que se puedan usar para recarga de agua subterránea (Chowdhury, Jha, Chowdary, & Mal, 2008).	En la metodología, al asignar el peso para cada uno de los criterios, teniendo en cuenta la escala de calificación, se puede incurrir en subjetividades.

En el caso de las ventajas y desventajas de las metodologías aplicadas a zonas urbanas, éstas se presentan en la tabla 4. En dicha tabla se observa que dentro de las desventajas se encuentra la problemática relacionada con el coeficiente de escorrentía, ya que en los casos presentados se asume un valor fijo sin tener en cuenta los diferentes materiales de construcción de los techos, teniendo en cuenta que éste influye en las condiciones del escurrimiento en el área de captación (techos de viviendas o edificaciones).

**Tabla 4.-** Ventajas y desventajas de las metodologías aplicadas a zonas urbanas

Metodología	Ventajas	Desventajas
Sistema dual para aprovechar el agua del techo para usos no potables (Appan, 2000)	Se hace un análisis de la calidad del agua y se busca el tamaño óptimo de tanque de almacenamiento para suplir las necesidades de agua no potable y así disminuir los costos.	Aplicado a sistemas que poseen estructuras hidráulicas y en instituciones que tienen la capacidad para su aplicación
Evaluación del rendimiento global de la recolección de agua lluvia bajo el cambio climático (Musayev et al., 2018)	El estudio se realiza para diferentes países en el mundo, y se establecen tamaños de tanque para el abastecimiento de los usuarios en un 80% del tiempo en zonas áridas, teniendo en cuenta el tamaño de techo y tanque adecuado	Se toma un coeficiente de escorrentía fijo, sin tener en cuenta los diferentes materiales construcción de los techos de las viviendas en las diversas partes del mundo donde fue aplicado.
Un enfoque probabilístico para el diseño y evaluación de sistemas de captación de agua de lluvia (subtropical sin estación seca) (Su et al., 2009)	Involucrando la probabilidad de ocurrencia de la lluvia para el diseño del sistema se mejora la efectividad de la capacidad de almacenamiento para estructuras de RAL y así aliviar la presión en el suministro de agua.	Se requiere de un registro histórico amplio, preferiblemente superior a los 50 años, para que las probabilidades calculadas sean confiables.
Tamaño óptimo de los tanques de recolección de agua de lluvia (TRAL) para uso doméstico (Londra et al., 2015)	Cálculo de tamaños áreas de techos y volumen de tanque de almacenamiento para épocas secas y lluviosas que permiten abastecer a una vivienda durante 50% del año.	Se toma un coeficiente de escorrentía fijo, sin tener en cuenta los diferentes materiales construcción de los techos de las viviendas.
Impactos de los sistemas de recolección de agua de lluvia domésticos y agrícolas en la hidrología de cuencas (Ghimire & Johnston, 2013)	Se desarrolla el balance hídrico combinando la recolección de agua lluvia en zona urbana y rural,	Es necesaria ampliar la investigación en cuanto a la aceptación de las personas en el uso de este tipo de soluciones de abastecimiento de agua.

Una vez analizada la información inicial requerida para un proyecto de recolección en zonas urbanas y rurales, se establece que ambas necesitan la información histórica de los datos de precipitación, así como el coeficiente de escorrentía para realizar los cálculos de agua disponible en el área estudiada.

Conociendo la información existente en una zona y las características del clima, se pueden establecer los tipos de aprovechamiento del agua y la respectiva selección de las áreas idóneas para la ubicar dichas estructuras hidrológicas.

Finalmente, para el caso de las zonas rurales, la metodología con la cual se pueden obtener unos resultados va a depender de la cantidad de información disponible en la zona de estudio, sin embargo, esencialmente debe contemplarse la pendiente, la precipitación y los suelos. También debe involucrar los SIG y los sensores remotos dentro del proceso. Por otro lado, en el caso de las zonas urbanas, se deben conocer los datos de precipitación, el área de captación, así como la demanda necesaria, para obtener datos confiables.

## CONCLUSIONES

Con las posibles consecuencias que el cambio climático generará en un futuro y que actualmente ya se están evidenciando, se hace necesario e importante definir un sistema de recolección de aguas lluvias que mitiguen la escasez o abundancia del recurso, dependiendo de la zona de estudio y del uso que se le piensa dar al recurso hídrico.

## REFERENCIAS

- Adham, A., Riksen, M., Ouessar, M., and Ritsema, C. J. (2016). "A methodology to assess and evaluate rainwater harvesting techniques in (semi-) arid regions". *Water (Switzerland)*, No 8, 1–23. <https://doi.org/10.3390/w8050198>
- Adham, A., Wesseling, J. G., Riksen, M., Ouessar, M., and Ritsema, C. J. (2016). "A water harvesting

- model for optimizing rainwater harvesting in the wadi Oum Zessar watershed, Tunisia”. *Agricultural Water Management*, No. 176, June 2016, pp. 191–202. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.003>
- Appan, A. (2000).** “A dual-mode system for harnessing roofwater for non-potable uses”. *Urban Water*, No. 1, June 2000, pp. 317–321. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00025-X](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00025-X)
- Bulcock, L. M., and Jewitt, G. P. W. (2013).** “Key physical characteristics used to assess water harvesting suitability”. *Physics and Chemistry of the Earth*, No. 66, September 2013, pp. 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2013.09.005>
- Chowdhury, A., Jha, M. K., Chowdary, V. M., and Mal, B. C. (2008).** “Integrated remote sensing and GIS-based approach for assessing groundwater potential in West Medinipur district, West Bengal, India”. *International Journal of Remote Sensing*, No 30, 231–250. <https://doi.org/10.1080/01431160802270131>
- de Winnaar, G., Jewitt, G. P. W., and Horan, M. (2007).** “A GIS-based approach for identifying potential runoff harvesting sites in the Thukela River basin, South Africa”. *Physics and Chemistry of the Earth*, No. 32 August 2007, pp. 1058–1067. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2007.07.009>
- Domènech, L., and Saurí, D. (2011).** “A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): Social experience, drinking water savings and economic costs”. *Journal of Cleaner Production*, No. 19, November 2010, pp. 598–608. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.11.010>
- Ghimire, S. R., and Johnston, J. M. (2013).** “Impacts of domestic and agricultural rainwater harvesting systems on watershed hydrology: A case study in the Albemarle-Pamlico river basins (USA)”. *Ecohydrology and Hydrobiology*, Vol. 13 No 2, 159–171. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2013.03.007>
- Grum, B., Hessel, R., Kessler, A., Woldearegay, K., Yazew, E., Ritsema, C., and Geissen, V. (2016).** “A decision support approach for the selection and implementation of water harvesting techniques in arid and semi-arid regions”. *Agricultural Water Management*, No. 173, Mayo, 2016, pp. 35–47. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.018>
- Karpouzoglou, T. and Barron, J. (2014).** “A global and regional perspective of rainwater harvesting in sub-Saharan Africa’s rainfed farming systems”. *Physics and Chemistry of the Earth*, 72, 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2014.09.009>
- Londra, P. A., Theocharis, A. T., Baltas, E., and Tsihrintzis, V. (2015).** “Optimal Sizing of Rainwater Harvesting Tanks for Domestic Use in Greece”. *Water Resources Management*, No 29, 4357–4377. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1064-1>
- Mahmoud, S. H. (2014).** “Delineation of potential sites for groundwater recharge using a GIS-based decision support system”. *Environmental Earth Sciences*, No 72, 3429–3442. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3249-y>
- Mekonnen, M. and Melesse, A. M. (2016).** “Spatial runoff estimation and mapping of potential water harvesting sites: A GIS and remote sensing perspective, Northwest Ethiopia”. In *Landscape Dynamics, Soils and Hydrological Processes in Varied Climates* (pp. 565–584). Switzerland: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-18787-7>
- Musayev, S., Burgess, E., and Mellor, J. (2018).** “A global performance assessment of rainwater harvesting under climate change”. *Resources, Conservation and Recycling*, No 132, 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.023>
- Mwenge Kahinda, J. marc, Lillie, E. S. B., Taigbenu, A. E., Taute, M. and Boroto, R. J. (2008).** “Developing suitability maps for rainwater harvesting in South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33(8–13), 788–799. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.06.047>
- Mwenge Kahinda, J., Taigbenu, A. E., & Boroto, R. J. (2010).** “Domestic rainwater harvesting as an adaptation measure to climate change in South Africa”. *Physics and Chemistry of the Earth*, No. 35 July 2010, pp. 742–751. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.07.004>
- Olivier, D. (2018).** “Cape Town water crisis: 7 myths that must be bust”. *SABI Magazine-Tydskrif*, Vol. 10, No. 2, pp. 26–27.
- Sayl, K. N., Muhammad, N. S., Yaseen, Z. M., and El-shafie, A. (2016).** “Estimation the Physical Variables of Rainwater Harvesting System Using Integrated GIS-Based Remote Sensing Approach”. *Water Resources Management*, Vol. 30, No. 9, May 2016, pp. 3299–3313. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1350-6>

- Schwilch, G., Bachmann, F., and de Graaff, J.** (2012). “Decision support for selecting SLM technologies with stakeholders”. *Applied Geography*, No. 34, pp. 86–98. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.11.002>
- Su, M.-D., Lin, C.-H., Chang, L.-F., Kang, J.-L., and Lin, M.-C.** (2009). “A probabilistic approach to rainwater harvesting systems design and evaluation”. *Resources, Conservation and Recycling*, No 53, 393–399. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.03.005>