

Revisión sobre los usos y variables para determinar la calidad del agua pluvial en superficies de cubierta

pags 146-159

Grupo de Investigación: territorio y habitabilidad
Línea de investigación: Territorio, ciudad y ambiente
Oscar Cortés Cely•

Recibido: 6 de junio de 2015 Aceptado: 19 de septiembre de 2015

RESUMEN

El artículo profundiza sobre los usos, variables y superficies de cubierta que garantizan la calidad del agua lluvia, los sistemas de captación y la tecnología vigente sobre el tema. Se analizan 50 artículos relacionados con la investigación, siendo Asia y Norte América las regiones con el mayor número de publicaciones científicas. La mayor parte de los artículos están relacionados con el uso final que se da al recurso pluvial en el mundo, en segundo lugar los artículos publicados analizan las variables del agua lluvia para su almacenaje y potencial uso. Y finalmente en menor producción las publicaciones relacionadas sobre las superficies de captación en diferentes tipos y materiales de cubierta.

Palabras clave: Agua pluvial, Calidad agua pluvial, Superficies de cubierta.

ABSTRACT

The article elaborates on the uses, variables and roof surfaces that guarantee the quality of rain water catchment systems and current technology on the subject. 50 articles related to the research are analyzed, with Asia and North America regions with the largest number of scientific publications. Most items are related to the end-use resource to rain occurs in the world, second published articles analyzing the variables rainwater for storage and potential use. And finally in lower production publications they are related to the collection surfaces in different types and cover materials.

Key words: Rainwater, Storm water quality, Indoor surfaces.

• Arquitecto especialista en educación artística y master en arquitectura bioclimática, docente de la facultad de Arquitectura e Investigador de la Fundación Universidad de América. oscar.cortes@profesores.uamerica.edu.co.

INTRODUCCIÓN

Una de las consecuencias del calentamiento global y de las variaciones de los patrones de lluvia es el crecimiento y densificación de los centros urbanos de las grandes ciudades en el mundo, el cambio de las dinámicas sociales, culturales y económicas han convertido a la ciudad en el “lugar” de preferencia de las personas y de las familias que se han desplazado del campo y de las regiones más apartadas a las grandes ciudades del mundo entero. La demanda de agua ejerce presión sobre el recurso hídrico, se requiere por lo tanto pensar en otras alternativas de captación, gestión y utilización de este importante recurso para la supervivencia humana. Países como Alemania, Australia y Canadá, vienen implementando la captación de agua lluvia como una alternativa de sostenibilidad ambiental (Despins et al, 2009). La principal preocupación a nivel mundial es la calidad del agua pluvial captada, su almacenamiento y distribución, considerando que el principal objetivo es el uso doméstico y como usos secundarios; la limpieza y mantenimiento de fachadas, descarga del inodoro, el lavado de autos y riego de plantas (Woltersdorf et al, 2013).

La recolección de agua lluvia es una fuente alternativa de agua frente al cambio climático y déficit de agua potable en el mundo (Steffen et al, 2013). Las superficies de cubiertas conforman un importante volumen del recurso hídrico pluvial cuando se presentan temporadas de lluvia que permiten su captación y aprovechamiento, necesariamente se requiere determinar la calidad de agua pluvial, según el uso y las necesidades de los usuarios en las grandes ciudades por déficit en la demanda y en pequeñas comunidades por la dificultad del abastecimiento o escasas del recurso. En la presente revisión se tuvieron en cuenta tres tópicos fundamentales que hacen parte del análisis de la investigación; el primer tópico hace referencia al uso final del agua pluvial, es decir el destino para el cual se va a emplear, el segundo tópico contempla las variables que determinan la calidad del agua pluvial y por último el análisis del tipo de super-

ficies de cubierta que se emplean para mejorar las condiciones de captación y calidad del agua pluvial.

REVISIÓN CIENTÍFICA

En la revisión científica se incluyeron artículos encontrados en revistas indexadas internacionalmente, a través de bases de datos como Ebsco Host, ISI, y Scopus, el 90% de los artículos consultados están publicados en inglés, dentro del análisis de la información se revisaron 50 artículos publicados entre 2005 y 2014 de los cuales el 58% corresponden al principal tema de investigación; usos del agua pluvial; 29 artículos revisados, en segundo lugar los artículos referentes a la calidad del agua; se revisaron 27 artículos que corresponden al 54% de las publicaciones indexadas y el tercer tópico referente a las superficies de cubierta; se revisaron 13 artículos que corresponden al 26% de las publicaciones científicas, (Ver figura 1).

Figura 1. Número de artículos sobre RWH, relacionados con los tópicos de estudio.

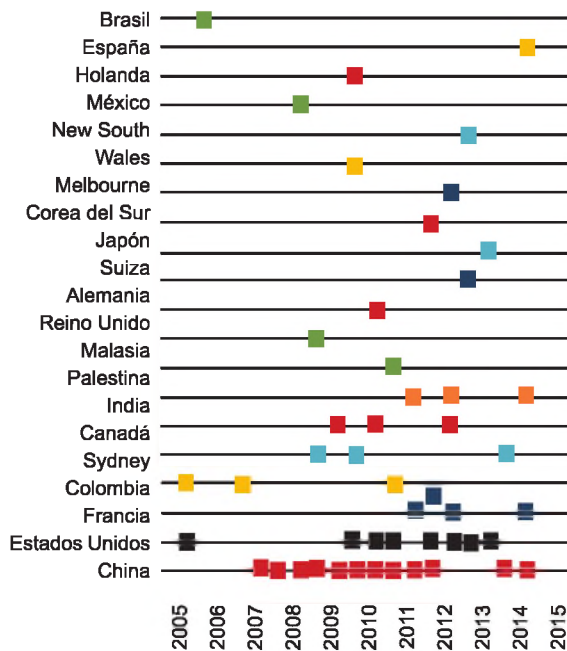
Superficies de cubierta						
Calidad del agua pluvial						
Usos del agua pluvial						
	51	01	52	02	53	0

Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos de Esnob, Isi y Scopus.

La revisión contemplo el análisis de las publicaciones por región y países que han profundizado sobre las ventajas del almacenamiento y uso del agua pluvial: Asía ocupa el primer lugar, con 19 de los 50 artículos revisados, en segundo lugar está Norte américa, con 11 artículos publicados, en tercer lugar Europa con 10 publicaciones indexadas y en cuarto lugar Australia con 5 artículos publicados. Por países se

encuentra que China es el país que mayor publicación a nivel mundial viene cosechando con 12 artículos de las 50 publicaciones revisadas, seguido de Estados Unidos con 7 artículos y en tercer lugar Francia y Colombia, que han publicado 3 artículos científicos en cada región a la que pertenece cada país, (Ver figura 2).

Figura 2. Número de artículos sobre RWH, publicados por país y año de publicación.



Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos de Esnob, Isi y Scopus.

MÉTODO

El método planteado para el presente artículo se basa: i) indagación sobre el número de artículos que plantea los tópicos de interés; superficies de captación, variables que determinan la calidad del agua pluvial y por último calidad del agua pluvial, para ello se indaga en 50 artículos publicados en revistas indexadas, ii) en segundo lugar la revisión se agrupó por número de artículos publicados por país y año de publicación centrándose la revisión en los últimos 10 años, la pertinencia y calidad del ar-

tículo científico permitió profundizar en el área de estudio y iii) se generó una tabla (ver figura 3) que sintetiza los temas y número de artículos revisados en el presente artículo, asignando un código de color a los temas de la revisión y análisis del área de estudio.

USOS DEL AGUA PLUVIAL

El principal tópico que aborda la investigación son los usos del agua pluvial. Las publicaciones revisadas contemplan los siguientes variables a nivel mundial: consumo humano (Aladenola & Adeboye, 2010), para potabilizar el agua pluvial para consumo humano requiere que la calidad de recogida y almacenamiento sea óptima, lo que hace que este uso este reducido a escala mundial, algunas ciudades de la India y China, la emplean bajo condiciones de higiene de mediana calidad. Los estudios sobre el uso del agua lluvia para la descarga de inodoros se concentra en edificios públicos con grandes ventajas en el ahorro y gestión del agua pluvial (Abbasi & Abbasi, 2011), esta estrategia se ha implementado a mayor escala en Asia y Europa y a una menor escala en América, (Li et al, 2010), un avance significativo en términos de eficiencia, costos y beneficio ambiental lo describe el estudio realizado por los autores Chilton, et al (2000) en un sistema de recuperación de agua de lluvia aplicado en el Reino Unido, logrando una eficiencia de recolección del 57,4%.

Solamente uno de los artículos revisados plantea el lavado de autos, sin embargo este uso se ha implementado de manera más espontánea en el mundo entero sin la implementación de tecnología adecuada ni para la captación, como tampoco para el almacenamiento. Un uso que se viene implementando de manera sistemática es el lavado y limpieza de fachadas (Blocken et al, 2013; Borrero et al, 2007), las publicaciones revisadas permiten apreciar los logros obtenidos y el óptimo beneficio en ahorro del recurso hídrico, muy utilizado en Norte y Sur América y como estrategia de sostenibilidad en Europa. Países como Suiza, Colombia y Estados Unidos

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ARQUITECTURA, CIUDAD Y AMBIENTE

están entre los principales países que mayor aplicación dan al uso del agua pluvial para el lavado y mantenimiento de fachadas.

Otro importante uso que se hace del recurso pluvial es el riego de jardines (Woltersdorf et al, 2013 b), las regiones de Asia y Europa son pioneras en el riego de zonas verdes, manteniendo de jardines y en la implementación de sistemas por goteo que permiten una mayor eficacia en la gestión del agua (Gong et al, 2014), los sis-

temas de almacenamiento y tratamiento son mínimos para garantizar la belleza de los jardines y huertas, Japón, Canadá y la India son un buen ejemplo de la implementación de sistemas de goteo permanente y en el mantenimiento de sus jardines domésticos a partir del agua lluvia (Biswas, & Mandal, 2014). Por último encontramos que en menor medida el agua lluvia es un importante recurso en el abastecimiento de los sistemas de aire acondicionado, solo un artículo de la revisión aborda este tema.

Tabla 1. Usos del agua pluvial por países

Usos del agua pluvial a escala global						
Región/País	Inodoros	Limpieza de Fachadas	Limpieza del hogar	Riego de Jardines	Lavado de autos	Consumo humano
Canadá						
Francia						
Suiza						
Colombia						
Malasia						
Inglaterra						
Estados Unidos						
Japón						
China						
México						
Namibia						
España						
Palestina*						
Malasia*						
India*						
*Baja calidad del agua lluvia para consumo humano y escasas de agua potable						

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión de las referencias

Gestión del recurso hídrico pluvial

Considerando el buen manejo del recurso pluvial, algunos artículos de la revisión profundizan en la gestión del agua lluvia y la calidad de la misma, plantean incluso metodologías con gran éxito, como en París donde se concluye que es posible ahorrar hasta un 11% del agua potable corriente total a través del uso de RW

(Rainwater), específicamente para uso doméstico (Belmeziti et al, 2014). Otras publicaciones abordan métodos de gestión a partir de tres variables; el cálculo por demanda (per cápita), la capacidad de almacenamiento y la calidad del agua (Kim & Furumai, 2012), en Japón se establece una clasificación de diferentes edificaciones de acuerdo con su función para el uso eficiente del recurso pluvial, en el siguiente or-

den: residencial, oficinas, locales comerciales, restaurantes y edificios públicos.

En Australia las políticas ambientales se han incorporado a los proyectos de vivienda a partir del 2009, la viabilidad de la utilización de agua de lluvia en edificios de gran altura se viene implementando en cuatro ciudades australianas; Melbourne, Sydney, Perth y Darwin. El análisis de patrones climáticos y los distintos niveles de gestión de la demanda de agua se establecieron como parámetros para las dimensiones de almacenamiento; el consumo anual de agua del tanque; reducción tanto en el flujo de agua importada y disposición de aguas pluviales y derrames de agua de los tanques. (Zhang et al, 2009). Es interesante analizar cómo los patrones de precipitación determinan las dimensiones de los sistemas de almacenamiento; se encontró que para edificios de unidades múltiples, un mayor tamaño del tanque es más apropiado para maximizar el ahorro de agua, los resultados ya se hacen evidentes en edifi-

cios de viviendas en tres ciudades de Australia: Sydney, Newcastle y Wollongong, (Eroksuz et al, 2010).

En la ciudad de Xiamen, China la aplicación del análisis de balance de agua diario sirve como estrategia para el diseño de la capacidad de almacenamiento y aprovechamiento de aguas pluviales, en zonas residenciales se establece bajo la siguiente ecuación; el balance hídrico relevante, y los métodos de cálculo de los principales factores en el balance de agua, incluyendo la recolección de agua de lluvia por escorrentía, el consumo de agua (per cápita), la evaporación y la infiltración (Wu et al, 2008). Los resultados muestran que la captación de agua de lluvia y de utilización de las superficies de techos urbanos, aceras, parques y espacios verdes pueden aumentar la recarga de suministro de los recursos hídricos y del agua subterránea (Xin-gao, et al, 2010). Cabe destacar el estudio realizado por "Lluviatl" en México, sobre la gestión integral del recurso hídrico (Pacheco, 2008).

Tabla 2. Gestión recurso hídrico pluvial por países

Gestión recurso hídrico pluvial						
Región/ País	Cálculo por demanda	Capacidad de almacenamiento	Patrones de precipitación	Análisis de balance diario	Monitoreo; techo patio, carretera	Cálculo y Simulación
Australia	Tamaño óptimo de los tanques					
Reino Unido*				Gestión de aguas urbanas		
Suecia						
Francia	Ahorro del 11% de agua potable					
Estados Unidos	Análisis comparativos por regiones					
China						
Japón						
India	Análisis de vida útil de los tanques a 25 años					
*Modelo de gestión de aguas urbanas adaptadas a las características del usuario y las limitaciones de la ciudad						

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión de las referencias

VARIABLES QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL AGUA PLUVIAL

Existe amplia información relacionada con la calidad del recurso pluvial, las publicaciones analizan aspectos relacionados con la calidad del agua lluvia almacenada, que incluyen la medición de pH, alcalinidad, dureza, sólidos totales disueltos (TDS), hierro, cloruro, nitrato, y la turbidez, utilizando diversos métodos de análisis. Sin embargo autores como Ahmed, et al (2011), señalan las consecuencias sobre este estudio que están asociadas a monitorear la calidad microbiana de agua lluvia y da una idea de los riesgos para la salud y los posibles brotes de enfermedades asociadas con el consumo de agua lluvia almacenada sin tratar, específicamente con bacterias fecales. En esta línea también Despina, et al (2009), estudian otras variables que determinan la calidad del agua lluvia, como son: color, coliformes totales y fecales, carbono orgánico total, nitrógeno total y absorbancia, incluso los parámetros adicionales; incluyendo hidrocarburos aromáticos, policíclicos y metales totales son evaluadas por métodos de recolección de datos que se realizaron a partir de análisis estadísticos para investigar los factores que influyen en la calidad del agua de lluvia, tanto en zonas rurales, como urbanas (Kus et al, 2011)

Dentro de la revisión otros autores señalan que la calidad del agua lluvia depende del uso y disposición final del recurso, análisis posteriores a la recolección de agua lluvia, arrojan variantes dependiendo la época del año, parámetros microbiológicos fluctuaron durante el estudio, con los más altos niveles de contaminación microbiológica observado en escorrentías de techos que recogían el agua durante un tiempo determinado (Vialle et al, 2012; Montréjaud-Vignoles et al, 2012), los autores señalan en general, que el agua de lluvia recogida tiene una relativa buena calidad fisicoquímica pero variable, sin embargo no cumple con estándares para el consumo humano. Los estudios e investigaciones sobre la calidad del agua lluvia se concentran en Europa, particularmente en Francia (De Gouvello et al, 2012), estos autores

plantean en los artículos publicados estrategias y métodos de evaluación y análisis del agua lluvia y su potencial uso como alternativa a la crisis mundial del agua.

Otros estudios realizados en Canadá y Estados Unidos (DeBusk et al, 2013), arrojan como resultados; que, mientras que la calidad varía bajo condiciones ambientales, el agua de lluvia puede ser de alta calidad a través de la selección de materiales de captación y almacenamiento apropiados y la aplicación de tratamiento post-captación (Despina et al, 2009 b). En esta misma línea un estudio demostró que las condiciones climáticas; intensidad de lluvias y variaciones de temperatura afectan la calidad microbiológica del agua almacenada y es más propensa a la contaminación de indicadores fecales y el aumento de la detección de agentes patógenos después de los incidentes de lluvias fuertes (Schets, et al, 2010).

En los países con grandes demandas de agua y crisis del recurso han optado por la recolección del agua lluvia como alternativa, Palestina es uno de los países que han implementado esta práctica, considerando esta premisa la revisión de las publicaciones encontró que las cuantificaciones que miden la calidad del agua se fundan en los siguientes parámetros fisicoquímicos: temperatura, pH, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos disueltos totales, turbidez, nitrato, cobre y plomo. Con pocas excepciones, todos estos parámetros estaban dentro de los valores de referencia de la Organización Mundial de la Salud OMS, (Daoud et al, 2011).

Calidad del almacenamiento: sistemas de captación y reciclaje del agua pluvial

Otro aspecto que concierne a la calidad del agua lluvia, se concentra en los sistemas de almacenamiento, con fines específicos, algunos ya mencionados anteriormente; jardinería, limpieza de elementos sólidos y con fines de mantenimiento; los sistemas de almacenamiento para aplicaciones de menor escala con tan-

Tabla 3. Variables que determinan la calidad del agua pluvial por países

Variables de calidad de agua pluvial (parametros fisico-quimicos)										
Región/País	PH	SDT**	Salinidad	Turbidez	Pb(NO3)2***	Temperatura	Conductividad	Heces	Coliformes	
China	Red			Red						
Australia	Blue	Blue			Blue					
Holanda						Brown		Brown	Brown	
Francia	Blue					Parámetros micro biológicos				
Colombia		Yellow								
Estados Unidos		Blue			Blue			Blue	Blue	
Canadá	Red	Red		Red		Red	Red	Red	Red	
Palestina*	Green	Parámetros micro biológicos					Green			
*Baja calidad del agua para consumo humano										
**Sólidos disueltos totales										
***Nitrato de plomo										
Parámetros establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS).										

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión de las referencias

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ARQUITECTURA, CIUDAD Y AMBIENTE

ques y cisternas para aplicaciones de mayor escala, como por ejemplo los inodoros (Guo, et al, 2007). Se destaca el estudio de Kumari, & Sherring (2012), donde se evalúa la capacidad de almacenamiento a partir de los datos de precipitación diaria y precipitaciones futuras, en un lapso de 10 años. La eficiencia de los sistemas de captación y almacenamiento han hecho que la tecnología contribuya de manera eficaz al ahorro de agua y de costo, que a largo plazo se estiman bajo parámetros de costo-beneficio (Ward et al, 2012; Vargas-Parra et al, 2014).

La calidad del almacenamiento del agua lluvia no es comparable con el agua proveniente del sistema potable, como señalan algunos estudios (Vialle et al, 2011; Villarreal & Dixon, 2005). Dentro de este tema un importante es-

tudio realizado en Colombia, registra que el 83% de las viviendas utiliza el agua lluvia como fuente de suministro en combinación con otros sistemas (Sánchez & Caicedo, 2004), de igual forma otras publicaciones señalan que por los altos costos de infraestructura ven como una alternativa viable el reciclaje del agua lluvia y sus aplicación en zonas de gran demanda (Che-Ani et al, 2009; Kumari & Sherring, 2012). En regiones desérticas y semi-desérticas, la alternativa de almacenamiento del agua lluvia es cada vez mayor, dos artículos exploran las prácticas de recolección de agua de lluvia y examina la calidad del agua de estos sistemas de agua de lluvia almacenada pre-filtración y el agua post-filtración, los autores Stump, et al, (2012), señalan que en algunas regiones la población cree que el agua de lluvia es más saludable que las aguas superficiales o subterráneas.

Tabla 4. Variables que determinan la calidad del agua pluvial por países

SUPERFICIES DE CUBIERTA - CAPTACIÓN AGUA PLUVIAL								
Región/País	Techos Verdes*	Techos de fieltro	Tejas de madera	Tejas de concreto	Tejas de barro	Tejas metálicas**	Tejas cerámicas	Tejas de plástico
Canadá								Membranas***
Colombia								
Corea del Sur			Análisis comparativo					
Australia						Análisis comparativo		
Estados Unidos								
China								
* Mayor eficiencia en el manejo de la escorrentía, por efecto de la acumulación.								
**Mayor calidad; luz ultravioleta y altas temperaturas, calidad microbiológica del agua pluvial.								
***Evaluación de tres membranas blancas de techo: betún modificado en capas, cloruro de polivinilo (PVC), y poliolefina termoplástica (TPO). Potencial de uso para futuras aplicaciones.								

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión de las referencias

SUPERFICIES DE CUBIERTA

Las superficies de cubierta está muy relacionado con la arquitectura y su principal función como sistemas de captación, la revisión reali-

zada a las publicaciones científicas dan una aproximación a partir de la calidad de la captación supeditada al tipo de material de superficie, uno de los estudios más interesantes es el de los autores Afshar, et al, (2010), quienes

defines tres tipos de cubierta: tejas de asfalto y fibra de vidrio, metal galvanizado y baldosas de hormigón, dan como resultado que las superficies metálicas, garantizan una mejor calidad del agua lluvia captada, sin embargo se requieren estudios más profundos para determinar su potencial uso dado que las evaluaciones arrojan residuos de metales pesados (Magyar et al, 2014). Sobre esta misma línea, también otros autores entre ellos Cupido, et al, (2012) realizan análisis en superficies de membranas de color blanco y muestran interesantes resultados; señala el estudio que la favorabilidad de las membranas, supera a las demás superficies, garantizando mayor calidad del agua lluvia, para posible aplicaciones y usos del recurso en edificios públicos, esta aplicación se viene realizando con gran éxito en Canadá. Un importante estudio desarrollado en Colombia, muestra como el agua lluvia de escorrentía sobre tejados de fibro-cemento, se podría adaptar para ser utilizada como fuente alternativa para satisfacer algunos usos domésticos (Torres et al, 2011).

Superficies de techos verdes

Los techos verdes en comparación con otras superficies presentan grandes beneficios ambientales, entre ellas mitigar las crecidas en zonas urbanas, uno de los artículos más interesantes plantea algunos sistemas de drenaje a diferentes profundidades; entre 5 cm. y 14 cm, para observar el comportamiento de las plantas, sus raíces y como afecta el flujo de las aguas pluviales, los resultados mostraron que el aumento de la profundidad del suelo "techo verde" mejora la retención de agua y tiempo de retraso de la escorrentía (Buccola & Spolek, 2011). Otros artículos de la revisión señalan; que los techos verdes también reducen la turbidez, el valor químico del oxígeno y neutraliza la lluvia ácida para estabilizar el pH (Gong et al, 2014). En esta misma línea los autores Morgan, et al, (2012), indican que los sistemas de techo verde reducen significativamente el escurrimiento del agua de lluvia y el diseño de los sistemas de retención, la profundidad de los sustratos de crecimiento y la presencia de plantas mejoran la retención de aguas pluviales.

Uso y tecnología del agua pluvial

Los sistemas de tratamiento han hecho posible que la calidad del agua pluvial pueda convertirse en una alternativa confiable, eficiente y sostenible, las publicaciones revisadas en este tema apuntan a implementar tecnología de punta, es así como un estudio realizado en Australia muestra las bondades del carbón activado granular (GAC), que funciona como filtro de adsorción, el refuerzo GAC elimina los contaminantes a través de un mecanismo de adsorción (Kus et al, 2011). Otro importante aporte lo realizan los autores Lstiburek, et al (2005), quienes crearon un sistema de recolección de aguas lluvias a través de las fachadas con un sistema de protección multicapas. En el contexto urbano, el aprovechamiento de aguas pluviales en la ciudad tiene una gran importancia para el desarrollo sostenible de la sociedad, el medio ambiente y la economía (Wang, et al 2007; Xin-gao et al, 2010).

En esta línea de pensamiento los investigadores del Reino Unido, Ward, Memon, & Butler (2012) plantean dos interesantes sistemas de captación; se compara el desempeño real con el rendimiento estimado basado en dos métodos recomendados por el (British Standards Institute) en primer lugar: un sistema Intermedio (cálculos sencillos) y el segundo, un sistema Detallado (basado en la simulación) denominado Enfoques. "Los resultados destacan que el ahorro de agua promedio de eficiencia medido (cantidad de agua de la red guardada) del sistema de captación de aguas pluviales en la consulta fue del 87% a través de un período de 8 meses, debido al sistema de gran tamaño para el nivel de ocupación real".

Por último un interesante estudio analiza los sistemas de captación que se han generado en la historia de la humanidad para suplir las necesidades de abastecimiento del recurso hídrico a nivel mundial: "los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia sólo se implementan cuando no existe una red de acueducto, el suministro es deficiente, la calidad del agua es muy baja o los costos del agua potable son muy altos"(Suárez, et al, 2006).

CONCLUSIONES

Actualmente existe en el mundo una vasta producción científica sobre el tema de calidad del agua lluvia (RWH, siglas en inglés). Sin embargo los énfasis temáticos y tópicos de investigación se centran en la disposición final del recurso pluvial y las variables para determinar la calidad del agua, desde su captación hasta su disposición en tanques de almacenamiento. Los estudios relacionados sobre los usos también son amplios y bien detallados, las publicaciones determinan muy bien las condiciones de calidad que debe

tener el agua recolectada a partir de análisis microbiológicos hasta serios estudios estadísticos de patrones de precipitación, demográficos y tipo de edificación. Sin embargo las publicaciones sobre el tema de superficies de cubierta son escasas, algunos artículos mencionan algún tipo de material, otras publicaciones la eficiencia en cuanto a carga de escorrentía, tal como lo mencionan los artículos relacionados con techos verdes, pero no existen estudios que profundicen sobre materiales que garanticen la sostenibilidad integral en todo el proceso de captación, disposición y destino final del recurso pluvial. (Ver figura 3).

Tabla 5. Uso eficiente del agua lluvia; ventajas y desventajas

Uso eficiente del recurso pluvial		
Tópicos	Ventajas	Desventajas
Calidad almacenamiento	• Beneficios en términos tecnológicos, económicos, ambientales y sociales.	• No existen políticas de recogida y almacenamiento de aguas pluviales. *Aumenta la recarga de suministro de los recursos hídricos y las aguas subterráneas. • Minimizar el sobre-dimensionamiento de los tanques de almacenamiento.
	• Aliviar el conflicto entre la oferta y demanda de agua en las ciudades.	
	• Fuente alternativa de agua	
Superficies de captación	• Utilización sostenible de los recursos hídricos.	• El agua de lluvia almacenada por mucho tiempo en diferentes reservorios es propenso a la contaminación con heces y patógenos humanos. • Factores que afectan la calidad del agua lluvia almacenada; material de cubierta, la temperatura del sitio, la frecuencia de uso del tanque, y uso de la tierra circundante.
	• La recolección de agua de lluvia de los techos, su almacenamiento y posterior uso de inodoro puede ahorrar 42 m ³ de agua potable al año.	
	• Las cubiertas vegetales evitan daños por escorrentía con fuertes lluvias	
Tecnología para la gestión	• Beneficios económicos, sociales y ecológicos al medio ambiente.	• Los costos de inversión en materiales plantean un problema de financiación. • Mejorar los métodos de desinfección y la gestión desde la captación de agua para evitar la contaminación en los sistemas de almacenaje. • Los costos del agua potable son muy altos
	• Ahorro de agua y de costos.	
	• Aparatos de bajo consumo de agua estándar.	
	• Reducción de la escorrentía de aguas pluviales; aplicación en cuencas de drenaje residencial	
La grave sequía que actualmente padecen muchos países del mundo, junto a la demanda de los recursos hídricos cada vez más escasos ha acelerado el uso de fuentes alternativas de agua, incluyendo el agua de lluvia doméstica.		

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión de las referencias

Figura 3. Número de artículos revisados RWH, publicados por tema, región, país y año de publicación.

Revisión bibliográfica sobre los usos y variables para determinar la calidad del agua pluvial en superficies de cubierta							
Artículo	Tópicos o temas de análisis			Publicación indexada			
	Uso	Calidad	Superficie	Región	País	Tema	Año
1		X		Asia	India	Estrategias de gestión	2011
2		X	X	Norte América	E. U.	Material y agua pluvial	2011
3		X		Norte América	E. U.	Calidad del agua en superficies	2010
4	X			Norte América	Canadá	Potencial agua lluvia/uso doméstico	2010
5	X	X		Asia	India	Uso doméstico del agua pluvial/calidad	2014
6	X			Europa	Francia	Recogida agua pluvial en París	2014
7	X			Europa	Suiza	Lavado de fachadas	2013
8	X			Sur América	Colombia	Lavado de fachadas	2007
9			X	Norte América	E. U.	Techos verdes/gestión recurso hídrico	2010
10	X			Asia	Malasia	Reciclado de agua pluvial	2009
11	X		X	Europa	UK	Reciclado de agua pluvial, para inodoro	2010
12		X	X	Norte América	Canadá	Superficies de membranas (Betún, PVC, TPO)	2012
13		X		Asia	Palestina	Calidad del agua pluvial almacenada	2011
14		X		Europa	Francia	Evaluación calidad del agua	2012
15	X			Norte América	E. U.	Caracterización agua pluvial en E. U.	2013
16		X		Norte América	Canadá	Evaluación calidad del agua	2009
17	X			Australia	Sydney	Almacenamiento de agua pluvial	2010
18		X	X	Asia	China	Calidad de agua lluvia en techos verdes	2014
19		X	X	Asia	China	Almacenamiento de agua pluvial	2014
20	X		X	Asia	China	Almacenamiento de agua pluvial	2008
21			X	Asia	India	Costo almacenamiento agua lluvia	2012
22	X			Australia	Melbourne	Dimensionamiento óptimo tanques de reserva	2009
23	X			Asia	Japón	Evaluación por tipo de construcción	2012
24		X		Australia	New South Wales	Calidad del agua en los tanques	2013
25		X	X	Asia	Corea del Sur	Calidad del agua en superficies de techos	2012
26	X			Asia	China	Agua lluvia para el inodoro	2010
27	X			Norte América	E. U.	Control de humedad en las fachadas	2005
28	X			Asia	China	Jardín y gestión del agua lluvia	2008
29		X	X	Australia	Sydney	Contaminación del agua por superficies de cubierta	2014
30		X	X	Norte América	E. U.	Calidad del agua en techos verdes	2012
31	X			Centro América	México	Gestión del agua y consumo sostenible	2008
32	X			Sur América	Colombia	Uso del agua lluvia, múltiples usos	2004
33	X	X		Europa	Holanda	Evaluación calidad del agua pluvial	2010
34	X			Norte América	E. U.	Gestión y recolección del agua pluvial en residencias	2013
35		X		Norte América	E. U.	Calidad del agua y sistemas de captación	2012
36	X			Sur América	Brasil	Sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias	2006
37	X	X		Sur América	Colombia	Calidad de la escorrentía de agua pluvial en Bogotá	2011
38		X	X	Europa	España	Sistemas de recolección aguas pluviales, Barcelona	2014
39		X	X	Europa	Francia	Calidad del agua pluvial en una vivienda en Francia	2012
40		X	X	Europa	Francia	Calidad del agua pluvial en los techos	2011
41	X	X		Europa	Suecia	Recolección de agua lluvia para el suministro de agua doméstica	2008
42	X	X		Asia	China	Calidad del agua lluvia, uso y recolección	2008
43	X			Asia	China	Uso y tecnología del agua lluvia	2007
44	X			Asia	China	Uso y tecnología del agua lluvia en edificios	2010
45	X	X		Asia	China	Calidad del agua lluvia en la escorrentía	2009
46	X			Europa	Alemania	Agua lluvia para jardinería	2013
47	X			Asia	China	Almacenamiento de agua lluvia en zonas residenciales	2008
48	X			Asia	China	Potencial del agua lluvia	2009
49		X		Asia	China	Calidad del agua lluvia, en poblaciones en China	2009
50	X	X		Australia	Cities	Uso del agua lluvia en edificios en altura	2009

Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos de Esnob, Isi y Scopus.

REFERENCIAS

- Abbasi, T., & Abbasi, S. A. 2011. Sources of pollution in rooftop rainwater harvesting systems and their control. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(23): 2097-2167.
- Afshar, B. R., Kinney, K., Barrett, M. E., & Kirisits, M. J. 2010. Effect of roof material on water quality for rainwater harvesting systems. Texas Water Development Board.
- Ahmed, W., Gardner, T., & Toze, S. 2011. Microbiological quality of roof-harvested rainwater and health risks: a review. *Journal of environmental quality*, 40 (1), 13-21.
- Aladenola, O. O., & Adeboye, O. B. 2010. Assessing the potential for rainwater harvesting. *Water Resources Management*, 24(10): 2129-2137.
- Biswas, B. K., & Mandal, B. H. 2014. Construction and evaluation of rainwater harvesting system for domestic use in a remote and rural area of Khulna, Bangladesh. *International Scholarly Research Notices*, 2014
- Belmeziti, A., Coutard, O., & de Gouvello, B. 2014. How much drinking water can be saved by using rainwater harvesting on a large urban area? Application to Paris agglomeration. *Water Science & Technology*, 70 (11), 1782-1788.
- Blocken, B., D. Derome, and J. Carmeliet. 2013. Rainwater runoff from building facades: A review. *Building and Environment* 60: 339-61.
- Borrero, J. A. L., Abello, A. E. T., Pinilla, M. C. C., Castro, L. D., & Robayo, J. I. E. 2007. Aprovechamiento del agua lluvia para riego y para el lavado de zonas duras y fachadas en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá). *Ingeniería y Universidad*, 11 (2): 193-202.
- Buccola, N., & Spolek, G. 2011. A pilot-scale evaluation of greenroof runoff retention, detention, and quality. *Water, Air, & Soil Pollution*, 216 (1-4): 83-92.
- Che-Ani, Al, N. Shaari, A. Sairi, MFM Zain, and MM Tahir. 2009. Rainwater harvesting as an alternative water supply in the future. *European Journal of Scientific Research* 34 (1): 132-40.
- Chilton, JC, GG Maidment, D. Marriott, A. Francis, and G. Tobias. 2000. *F. Urban Water* 1 (4): 345-54.
- Cupido, A., Baetz, B., Guo, Y., & Robertson, A. 2012. An evaluation of rainwater runoff quality from selected white roof membranes. *Water Quality Research Journal of Canada*, 47 (1): 66-79.
- Daoud, A., Swaileh, K., Hussein, R., & Matani, M. 2011. Quality assessment of roof-harvested rainwater in the West Bank, Palestinian Authority. *Journal of water and health*, 9 (3): 525-533.
- De Gouvello, B., Nguyen - Deroche, N., Lucas, F., & Gromaire, M. C. 2012. A methodological strategy to analyze and improve the French RWH regulation on quality topic. *Water Science and Technology*, 67 (5): 1043-1050.
- DeBusk, K. M., Hunt, W. F., & Wright, J. D. 2013. Characterizing rainwater harvesting performance and demonstrating storm water management benefits in the humid southeast.
- Despins, C., Farahbakhsh, K., & Leidl, C. 2009. Assessment of rainwater quality from rainwater harvesting systems in Ontario, Canada. *Aqua*, 58 (2): 117.
- Eroksuz, Erhan, and Aatur Rahman. 2010. Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities. *Resources, Conservation and Recycling* 54 (12): 1449-52.
- Gong, K., Wu, Q., Peng, S., Zhao, X., & Wang, X. 2014. Research on the characteristics of the water quality of rainwater runoff from green roofs. *Water Science & Technology*, 70 (7): 1205-1210.
- Guo, Yiping, and Brian W. Baetz. 2007. Sizing of rainwater storage units for green building applications. *Journal of*

Hydrologic Engineering 12 (2): 197-205.

Guoqing, Pan, Che Wu, Li Junqi, Li Haiyan, He Jianping, and Wang Hongling. 2008. Study on the volume optimization for rainwater collection by storage tank. *Water and Wastewater Engineering* 34 (12): 42-7.

Kumari, R., & Sherring, A. 2012. Planning and cost estimation of roof rainwater harvesting structure" A case study". *International Journal of Agriculture Environment & Biotechnology*, 5 (3): 225-232.

Khastagir, A., & Jayasuriya, N. 2010. Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. *Journal of Hydrology*, 381 (3): 181-188.

Kim, J., & Furumai, H. 2012. Assessment of rainwater availability by building type and water use through GIS-based scenario analysis. *Water resources management*, 26 (6): 1499-1511.

Kus, B., Jaya K., Saravanamuth V., and Hokyong S., 2011. Water quality in rainwater tanks in rural and metropolitan areas of New South Wales, Australia.

Lee, J. Y., Bak, G., & Han, M. 2012. Quality of roof-harvested rainwater—Comparison of different roofing materials. *Environmental Pollution*, 162, 422-429.

Li, TT, JR Liu, Dong Li, and ZJ Liu. 2010. Case analysis of

using roof rainwater as toilet flushing water. *China Water & Wastewater* 26 (16): 122-5.

Lstiburek, Joseph William, P. Eng, and MA Westford. 2005. Rainwater management performance of newly constructed residential building enclosures during August and September.

Luo, Hong-mei, Wu CHE, Jun-qi LI, Hong-ling WANG, Guang-hui MENG, and Jianping HE. 2008. Application of rainwater garden to storm and flood control and utilization. *China Water and Wastewater* 24 (6): 48.

Magyar, M. I., Ladson, A. R., Diaper, C., & Mitchell, V. G. 2014. Influence of roofing materials and lead flashing on rainwater tank contamination by metals. *Australian Journal of Water Resources*, 18(1): 71.

Morgan, S., Celik, S., & Retzlaff, W. 2012. Green roof storm-water runoff quantity and quality. *Journal of Environmental Engineering*, 139(4): 471-478.

Pacheco, M. M. 2008. Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL): contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de "Lluviatl" en México. *Revista Internacional de sostenibilidad, tecnología y humanismo*, (3): 39-57.

Sánchez, L. D., & Caicedo, E. Y. 2004. Uso del Agua Lluvia en la Bocana Buenaventura. Universidad del Valle. Usos

Múltiples del Agua: para la Vida y el Desarrollo Sostenible. Cartagena de Indias, CINARA: 1-9.

Schets, F., Italiaander, R., Van Den Berg, H. H. J. L., & de Roda Husman, A. 2010. Rainwater harvesting: quality assessment and utilization in The Netherlands. *Journal of water and health*, 8(2): 224-235.

Steffen, J., Jensen, M., Pomeroy, C. A., & Burian, S. J. (2013). Water supply and stormwater management benefits of residential rainwater harvesting in US cities. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 49 (4), 810-824.

Stump, B., McBroom, M., & Darville, R. 2012. Demographics, practices and water quality from domestic potable rainwater harvesting systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 61(5): 261-271.

Suárez, J., García, M., & Mosquera, R. 2006. Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. VI SEREA. Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua João Pessoa (Brasil), 5.

Torres, A., Méndez-Fajardo, S., López-Kleine, L., Marín, V., González, J. A., Suárez, J. C. & Ruiz, A. 2011. Evaluación preliminar de la calidad de la escorrentía pluvial sobre tejados para su posible aprovechamiento en zonas periurbanas

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ARQUITECTURA, CIUDAD Y AMBIENTE

de Bogotá. *Revista UDCA Act. & Div. Cient.*, 14 (1):127-135.

Vargas-Parra, M., Rovira, M., Gabarrell, X., & Villalba, G. 2014. Cost-effective rainwater harvesting system in the metropolitan area of Barcelona. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 63 (7): 586-595.

Vialle, C., Sablayrolles, C., Lovera, M., Huau, M., Jacob, S., & Montréjaud-Vignoles, M. 2012. Water quality monitoring and hydraulic evaluation of a household roof runoff harvesting system in France. *Water resources management*, 26 (8): 2233-2241.

Vialle, C., Sablayrolles, C., Lovera, M., Jacob, S., Huau, M. C., & Montréjaud-Vignoles, M. 2011. Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. *Water Research*, 45 (12): 3765-3775.

Villarreal, Edgar L., and Andrew Dixon. 2005. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in ringdansen, norrköping, swe-

den. *Building and Environment* 40 (9): 1174-84.

WANG, Guang-zhou, and Jian-en GAO. 2008. Problems of rainwater quality in rainfall collection and usage and its countermeasure [J]. *Journal of Irrigation and Drainage* 4: 034.

Wang, Hui-zhen, and JQ Wu. 2007. Technology and analysis of rain water utilization in city. *Industrial Water & Wastewater* 38 (1): 9.

Ward, S., FA Memon, and D. Butler. 2012. Performance of a large building rainwater harvesting system. *Water Research* 46 (16): 5127-34.

WEI, Sa, Yong-chen GUO, and Jun WANG. 2009. The quality monitoring and influencing factors of urban area runoff [J]. *Journal of Hebei Normal University (Natural Science Edition)* 1: 032.

Woltersdorf, L., Jokisch, A., & Kluge, T. (2013). Benefits of rainwater harvesting for gardening and implications for future policy in Namibia.

WU, Peng, Shao-hua CHEN, Chang-zhou YAN, and Kai-song ZHANG. 2008. Design of storage volumes for rainwater utilization in urban residential areas based on daily water balance [J]. *China Water & Wastewater* 16: 014.

Xin-gao, LU, Pang Qing-jiang, and Deng Aili. 2010. Potential, bene-fit analysis and utilization mode of urban rainwater resources. *Journal of Economics of Water Resources* 1: 1-4.

ZHANG, Guozhen, Chunsheng HE, and Fuping WU. 2009. Evaluation system of water quality for source rainwater in villeages and towns of Northwestern China [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment* 11: 020.

Zhang, Yan, Donghui Chen, Liang Chen, and Stephanie Ashbolt. 2009. Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities. *Journal of Environmental Management* 91 (1): 222-6