

# Gestión del recurso pluvial en el campus de la Universidad América: Estudio de modelos de recolección

## Pluvial resource management in college campus America: model study collection

págs. 133-149

Grupo de investigación: BiotecFUA

Línea de investigación: Aprovechamiento de residuos agroindustriales

Elvia Isabel Casas Matiz• Luz Rocío Corredor González•• Martha Lucía Malagón Micán•••

Recibido: agosto 01 de 2016 Aceptado: noviembre 25 de 2016

### RESUMEN

El artículo revisa desde las variables de diseño, condiciones químicas de almacenamiento y costos económicos, los distintos modelos, nacionales e internacionales, de recolección de aguas lluvias. Observa de manera comparada las ventajas y desventajas, con el fin de revisar el comportamiento de estos modelos, y encontrar elementos comunes y apropiados que permitan su utilización o ajuste dentro del campus de la Universidad América.

**Palabras clave:** gestión agua lluvia urbana, modelos de captación de aguas lluvias, cambio climático.

### ABSTRACT

The paper reviews from design variables, chemical storage conditions and economic costs, different models, national and international, rainwater harvesting. Comparing the advantages and disadvantages in order to review the behavior of these models, and to find the common and appropriate elements that allow their use in the campus of Universidad América.

**Key words:** Urban Water Management rain Models rainwater catchment, climate change

• Arquitecta. Docente Investigadora. Fundación Universidad de América. Correo: elvia.casas@investigadores.uamerica.edu.co

•• Economista. Docente Investigadora. Fundación Universidad de América. Correo: luz.corredor@profesores.edu.co

••• Ingeniera Química. Docente Investigadora. Fundación Universidad de América. Correo: martha.malagon@investigadores.uamerica.edu.co

## INTRODUCCIÓN

No es ajeno al discurso actual, abordar los desastres ambientales generados por inundaciones, sequías, incendios o pérdidas de especies, entre otros. Estas adversidades surgidas a causa de fenómenos multifactoriales, están especialmente determinadas por las acciones humanas; muchas de las cuales se asocian a la sobreexplotación de los medios, que no tiene en cuenta el equilibrio necesario para la supervivencia de las especies y del sistema como territorio articulador (Leopold, 1999).

Como evidencias del cambio climático se observan el aumento y la disminución de los registros de pluviosidad en temporadas de lluvias y temporadas secas, lo cual ocasiona inundaciones o sequías en las distintas ciudades y regiones de Colombia.

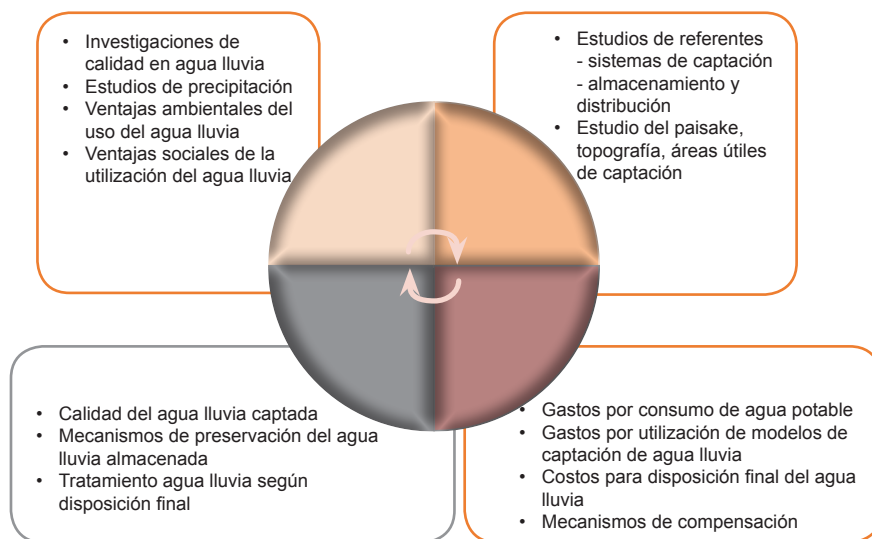
La preocupación por el daño ambiental y las consecuencias del mismo es observada desde un amplio y diversificado abanico disciplinar. Así, la física, la filosofía, la economía, la química y la arquitectura, entre otras, se han aproximado al tema optando por posturas cada vez más ambientalistas y ecocéntricas, que tienen como línea primigenia de enlace mediar y reducir el impacto antrópico en el hábitat natural. Algunas de ellas definiendo la necesidad de determinar los límites de la acción humana para desarrollar una verdadera actitud sustentable (Riechmann, 2005).

Los anteriores presupuestos determinan el sesgo de este trabajo y orientan para que sirva de apoyo a estudios sobre el tema del agua, que aborden de manera simultánea varios puntos de vista en la búsqueda de soluciones eficientes e integrales.

## METODOLOGÍA

La investigación se soporta en los principios del modelo sistémico<sup>1</sup> propuesto por Bertandalfy buscando desarrollar con ellos un modelo final ecosistémico, el cual observa las diversas variables

1 “El paradigma sistémico es integrador, tanto en el análisis de las situaciones como en las conclusiones que nacen a partir de allí, proponiendo soluciones en las cuales se tienen que considerar diversos elementos y relaciones que conforman la estructura de lo que se define como “sistema”, así como también de todo aquello que conforma el entorno del sistema definido. La base filosófica que sustenta esta posición es el Holismo (del griego holos = entero). El holismo sería el principio organizador del universo.” Benito Sánchez Lara Los sistemas: enfoque y teoría.



## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

que intervienen en la investigación, así como sus relaciones de inercia, estabilidad, intercambio, entre otras. Para este primer acercamiento se presenta un estudio comparado de seis sistemas de captación de aguas lluvias, algunos nacionales otros internacionales, que observa sus ventajas y desventajas, no solo espaciales, sino económicas y químicas (Bertandalfy, 2003).

Estas primeras observaciones atienden al objetivo de plantear un modelo ecosistémico de desarrollo y gestión integral, que permita el aprovechamiento de aguas lluvias en el campus de la Universidad de América y sirva de soporte para futuras intervenciones o propuestas en otros lugares del país.

Como intervienen tres dimensiones distintas, este primer avance reconocerá en cada una los siguientes aspectos:

- Dimensión económica. Analizar los costos e impactos de la disposición final de aguas lluvias que pretenden compensar los costos ambientales, desde el punto de vista económico.
- Dimensión química. Analizar el manejo, aprovechamiento y disposición de aguas lluvias, desde el saber de la Ingeniería Química.
- Dimensión de diseño: Analizar de forma comparada y crítica los sistemas actuales, nacionales e internacionales, que se utilizan para la recolección de aguas lluvias, desde la perspectiva del diseño.

La variable de investigaciones se irá desarrollando de forma transversal a todo el proceso, las otras tres variables, abordan desde su campo sus propias búsquedas, cuyos resultados serán cruzados dentro del sistema, a lo largo de la investigación, observando las afectaciones e impulsos creados entre los diversos subsistemas (Bertandalfy, 2003)

## RESULTADOS

La gestión urbana de reúso de aguas lluvias se está convirtiendo en una posibilidad de acción ambiental (Palacio Castañeda, 2010) El agua lluvia, al ser calificada como bien ambiental, cambia de perspectiva y en lugar de ser un problema, por su carencia o por las inundaciones que puede traer la alta pluviosidad sin un manejo adecuado, puede implementarse como variable de diseño y gestión en la planeación territorial y en el desarrollo local (Dirección General Ambiente Sectorial, 2002)

Su aprovechamiento abre la posibilidad no solo de disminuir la dependencia del sistema principal de acueducto, sino también de disminuir el consumo de agua potable, organizando su aprovechamiento de forma multisectorial. Es importante aclarar que este sistema de reúso se encuentra limitado, debido a que esta agua no es apta para consumo humano, y su dependencia de los distintos eventos de pluviosidad a los que se encuentre expuesto el lugar.

El agua lluvia está pasando de considerarse un desecho, del cual hay que deshacerse lo antes posible, a considerarse un recurso (Vishwanath, 2001; De Graaf, Van der Brugge y Lankester, 2007; Fletcher, Mitchell y Delectic, 2007). La recolección de aguas Lluvias para usos domésticos representa una práctica interesante, tanto económicamente para el consumidor como ambientalmente para el planeta. Sin embargo, esta solución no es neutra desde el punto de vista sanitario (Chocat, 2006) (Lázaro, 2016).

La utilización del agua lluvia y su reincorporación a las actuales condiciones del hábitat ya se está realizando en diversas partes del mundo. Su correcto uso y en algunos casos la captura de niebla, requiere prever varias etapas en el proceso, las cuales deben tener como propósito permitir que el destino final del agua colectada pueda ampliar su rango de empleo y a la vez simplificar su posterior tratamiento.

En la búsqueda de alternativas para enfrentar y superar el problema de la falta de acceso al agua potable y aprovechando el potencial pluviométrico de muchas regiones en el mundo, dentro de las cuales se encuentra Colombia, la adecuada recolección y disposición del agua lluvia, se ha convertido efectivamente en una opción asequible, rentable y con un fuerte componente de responsabilidad social y ambiental, la cual la convierte sin lugar a dudas en un eje de desarrollo sostenible que debe valorarse en todas sus dimensiones, proyectarse y visibilizarse adecuadamente como una oportunidad real para contribuir a la solución de la problemática que aqueja la humanidad (Cabrera-Marcet, 2016).

La disposición adecuada de aguas lluvias no sólo genera impactos positivos en el medio ambiente, así como en los aspectos urbanístico y fisicoquímico, sino que puede convertirse fácilmente en una muy interesante alternativa de disminución de la matriz de costos de producción por consumo de agua, utilizando tecnologías limpias, que garantizan la trazabilidad ambiental y permiten apostar a niveles más altos de competitividad desde los distintos sectores económicos (Manrique, 2016).

Utilizar agua lluvia dispuesta de manera eficiente y eficaz puede garantizar mayor productividad en los cultivos agrícolas por su aprovechamiento en irrigación. Por lo tanto el ahorro económico estaría representado en la disminución de consumo de agua de la red de acueducto y socialmente representaría racionalidad y responsabilidad de un recurso, así como la posibilidad para acceder a incentivos agrícolas e incluso financieros, derivados de la política comercial por uso de tecnologías limpias y productos orgánicos, que redundará en alta productividad y generación de excedentes para la exportación que a su vez generarán más ingresos y mejor calidad de vida (Klohn, 1999).

En el mundo existen muchos mecanismos para efectuar la recolección de aguas lluvias, atendiendo perfiles topográficos y de accesibilidad a la zona, dentro de los que se encuentran los sistemas urbanos de captación de aguas lluvias, scalls (Momparler, 2008), con los cuales se intenta sensibilizar a las comunidades urbanas en la eficiente y eficaz recolección, transporte y almacenamiento del agua lluvia que cae sobre una superficie natural o hecha por el hombre. El Programa de Naciones Unidas para el medio ambiente PNUMA estructuró un manual (Adler, 2008), que da cuenta de la importancia del tema, así como de las interesantes iniciativas que existen al respecto desde lo práctico, la investigación y lo institucional, las cuales se deben socializar y apropiar

Como lo expone Kinkade-Levario, algunos beneficios de los sistemas de captación de aguas lluvias (scalls) son:

“proveer de una fuente de agua autosuficiente localizada cerca del usuario,...que... reduce el costo y la necesidad de bombear el agua del subsuelo, el agua de lluvia es baja en minerales y es de alta calidad, el agua cosechada de manera pasiva ayuda a realimentar los mantos acuíferos, mitiga los efectos de las inundaciones, es de menor costo, los sistemas scall son fáciles de construir, operar y mantener, ocasionalmente hay ventajas económicas como descuentos en los pagos de agua a la delegación” (KINKADE- LEVARIO, 2007)

## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Así, desde la interceptación hasta el almacenamiento y la disposición final las aguas lluvias requieren ser observadas con particular detenimiento, como un proceso integral que tenga en cuenta la infraestructura básica para la recolección, los costos de construcción del sistema y los análisis fisicoquímicos necesarios con el fin de determinar la viabilidad técnica y económica de su aprovechamiento.

## El agua lluvia en escena

### *El caso de Holanda*

Países como Holanda consideran que el proceso de recolección se debe observar de forma directa, lo cual conlleva a revisar el tipo de superficies de primer contacto.

“Rainwater or fog harvesting collects water directly where it falls as rain or snow, from ground surfaces or rooftops or by intercepting fog. Rooftop rainwater and intercepted fog are commonly of a good quality, but may be affected by air pollution, dirt on roofs or rust on metal sheets. If measures are taken to prevent the first polluted flush entering storage tanks, water can be fit for drinking and other domestic use with little or no treatment.”(Berry van Waes, Dick Bouman, et ál., 2007)<sup>2</sup>

Este primer contacto, hace imprescindible tener en cuenta el tipo de acabado de la superficie de recolección, y así poder determinar el tratamiento a seguir; se hace hincapié en que la superficie esté libre de metales como plomo o asbesto, por ser perjudiciales para la salud humana; o para el caso de superficies de paja, la primera cantidad de agua debe ser filtrada y tratada antes de su disposición final.

“A catchment surface for rainfall or fog interception. For collecting rainfall from rooftops, a clean impervious roof made from non-toxic materials (e.g. galvanised iron, cement or tin, without asbestos or lead) is essential. Water from thatched roofs should be filtered or treated before being used for drinking”<sup>3</sup> (Ibid, 2007)

Generalmente el uso de superficies inclinadas, en techos es aprovechado para el direccionamiento del agua lluvia, la cual se reconduce a través de canales y bajantes hacia los tanques de almacenamiento. La escorrentía que ha sido contaminada por polvo o residuos presentes en estas superficies es desviada del almacenamiento por un dispositivo *firstflush*, manual o automático. Hay casos aplicados de este sistema de recolección en Burkina y otras zonas de baja pluviosidad.

2 **Traducción del autor.** “El agua lluvia o niebla se recoge directamente donde cae desde las superficies del suelo o los tejados o interceptando la niebla. El agua lluvia en la azotea y la niebla interceptada son comúnmente de buena calidad, pero pueden verse afectadas por la contaminación del aire, la suciedad en los techos o el óxido del metal. Si se toman medidas para evitar que la primera descarga contaminada entre en los tanques de almacenamiento, el agua puede ser apta para beber y otros usos domésticos con poco o ningún tratamiento.

3 **Traducción del autor:** “Una superficie de captación de lluvia o niebla. Para la recolección de la lluvia de los techos, este debe ser impermeable, limpio y hecho de materiales no tóxicos (por ejemplo, hierro galvanizado, cemento o estaño, sin amianto o plomo). El agua de los techos de paja debe ser filtrada o tratada antes de ser utilizada para beber”



Figura No 1 Familia frente a un depósito de almacenamiento de ferrocemento, Burkina Faso (photo: RAIN foundation).

Fuente: [www.nwp.nl](http://www.nwp.nl)

Los puntos de recolección deben estar ubicados de manera apropiada según las condiciones del lugar y su capacidad se estima sobre la base de la precipitación estacional, los patrones de niebla si es el caso, la captación y la superficie, las duraciones de los periodos de baja pluviosidad y la demanda frente al uso y disposición final.

La captación de la escorrentía superficial incluye variedad de sistemas que permiten su recolección y su conservación, ya sea a través de almacenamiento abierto (estanques), cuyo destino es la ganadería y el riego para la agricultura principalmente; ya que para uso doméstico el agua requiere de tratamientos adicionales; o de almacenamiento sellado, que permiten la verificación permanente del estado del agua almacenada.

Hasta aquí los modelos de captación dependerán primero de si es el agua precipitada o es captura en forma de niebla, lo cual a su vez determina el tipo de elemento de captación inicial, de primera cosecha y de almacenamiento y disposición final. En el caso de la niebla.



Figura 2. Los Exprimidores de Nubes o captadores de Niebla

Fuente: <http://wp.cienciaycimento.com/>



## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Los captadores NRP 3.0 son un sistema de precipitación del agua que se encuentra en el aire. El sistema está desarrollado por Montes Verdes Ingeniería Agraria, una empresa de Canarias, que ha registrado el diseño de estos captadores: con una base rectangular para el acopio del agua y una estructura vertical para la captación que le otorgan el tamaño idóneo (menos de 1 m<sup>2</sup>) para no necesitar de estructuras de sujeción auxiliares para su estabilidad y obtener la versatilidad para poder transportarlo e instalarlo en zonas forestales... Los captadores NRP pueden recoger entre 20 y 140 litros de agua al día (<http://www.montesverdes.es>)

### Canadá

En Toronto, Canadá, en el 2007 se propuso un plan para el manejo y aprovechamiento de aguas lluvias, el cual incluye la siembra de árboles, instalación de barreras de bioretención, techos verdes, instalación de túneles y tanques subterráneos de almacenamiento.

Las investigaciones realizadas por Kinkade-Levario para el desarrollo de sistemas de cosecha de agua, scall, determinan que los mismos pueden ser pasivos o activos. Diferenciándose unos de otros por el uso o no de sistemas mecánicos como bombas y filtros activos, que por lo tanto en el caso de los sistemas activos pueden requerir electricidad. Los sistemas pasivos, buscan aprovechar las condiciones topográficas, ya sea para absorción natural al subsuelo o para cosecha superficial.

Los componentes del scall se identifican en la siguiente figura.

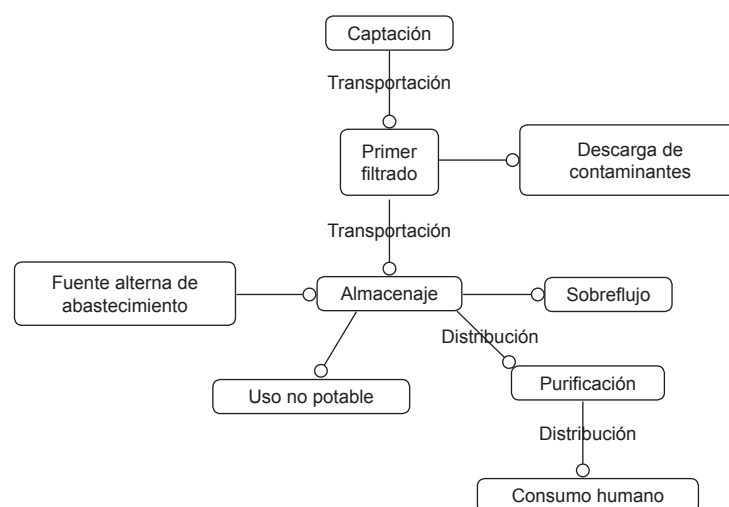


Figura 3. Modelo de captación

Fuente: <http://www.agua.unam.mx/>

Según Kinkade-Levario, para determinar el tipo de superficies, en la etapa de captación, se debe prever el destino final y los mejores materiales para recolectar agua para uso potable son:

El concreto y el barro. Para consumo humano no se deben de usar techos que contengan recubrimientos de zinc, cobre, asbestos o componentes de asfalto ni que hayan sido pintados con productos fabricados con plomo. Un recubrimiento aceptable para las superficies que van a captar agua para consumo humano es el Raincoat 2000. Producto aceptado por la "NSF" (National Sanitation Foundation, Canadá) para cosecha de agua para consumo humano (KINKADE-LEVARIO, 2007).

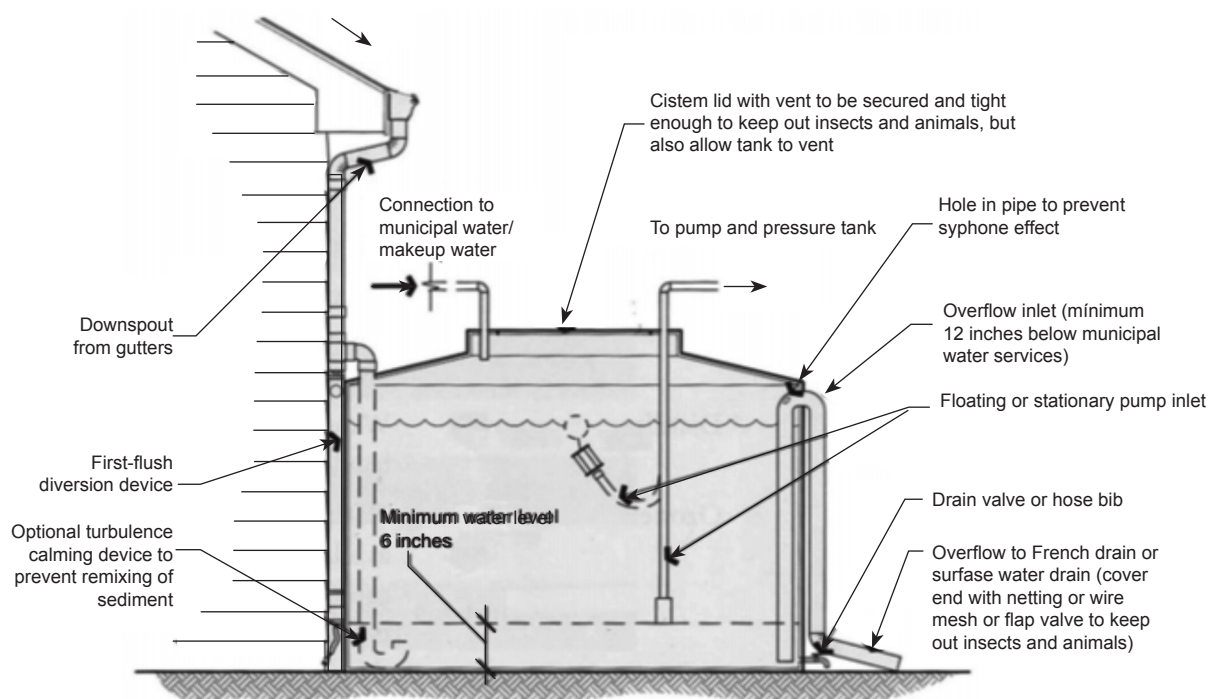


Figura 4. Aplicación del Modelo de Captación de Agua Lluvia

Fuente: Kinkade- Levario 2004

## El por qué y el cómo de la captación

### Otros ejemplos

En el desarrollo de sus estudios para la implementación de sistemas de captación de aguas lluvias, La FAO, considera importante tener en cuenta, que a pesar que las técnicas utilizadas en países como Israel, Estados Unidos y Australia, pueden adaptarse a las condiciones latinoamericanas y del caribe, algunas son limitadas al tratar de implementarse en áreas pobres y zonas áridas y semiáridas de la región. (FAO, 1987; Banco Mundial, 1988).

En Israel, por ejemplo, el énfasis de la investigación está en los aspectos hidrológicos de microcaptación para árboles frutales como almendros y pistachos. En los Estados Unidos y Australia, la captación de agua de lluvia se aplica principalmente para abastecer de agua a la ganadería y al consumo doméstico; la investigación está dirigida principalmente hacia lograr incrementos en la escorrentía superficial a través de tratamientos en las áreas de captación. No obstante, cabe mencionarse las experiencias de México (Anaya M., 1994), Brasil (Porto R. y Silva A., 1988), y las técnicas de captar agua de nieblas desarrolladas en Chile y Perú (Schemenauer S. y Cereceda P., 1993).

De la misma manera la FAO recomienda que en el desarrollo y la implementación de las técnicas de captación de agua lluvia, se consideren los siguientes puntos (FAO, 1987; Banco Mundial, 1988):

- Uniformizar la terminología y técnica en el diseño de los sistemas de captación de agua.



## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

- Establecer bancos de datos regionales y nacionales de información sobre nuevos y antiguos sistemas de captación de agua y sobre clima, hidrología, geomorfología, uso de la tierra, etc., así como fortalecer las instituciones relacionadas.
- Desarrollar principalmente sistemas de captación de agua con base en la experiencia local de técnicas tradicionales.
- Integrar sistemas de captación de agua dentro del paquete de soluciones para contrarrestar problemas de medio ambiente, sequía y sobrepoblación
- Dar atención a los aspectos sociales (adopción y participación), económicos (costos y beneficios) y ambientales en la planificación, implementación y monitoreo de los sistemas de captación de agua.

En algunas ciudades de EE.UU. como Nueva York, Los Ángeles y Chicago están invirtiendo en iniciativas verdes de control de aguas lluvias como protección ante el cambio climático. El estado de Pensilvania aprobó un plan de 25 años para una Ciudad Verde y Agua Limpia en el 2011 (Salud pública México, 2012).

Tomando como base el conocimiento disponible acerca de las características de cada tipo de estructura de almacenamiento, se deben tener en cuenta los criterios para la selección de los sistemas más adecuados a cada situación.

La estructura de almacenamiento ideal es aquella que cumple con los siguientes requisitos:

- Responde a las necesidades de uso previsto en términos de volumen almacenado y de la calidad del agua requerida en cada caso.
- Permite mantener o mejorar la calidad del agua captada, por medio de sistemas de filtro, decantación u otro mecanismo.
- Es segura y ofrece facilidades de manejo y mantenimiento.
- Es de bajo costo y fácil de construir, como estanques de hormigón, tanques de PVC u otros materiales entre ellos polietileno y polipropileno disponibles desde 0,5 hasta 50 m<sup>3</sup>, mezclas con fibra de vidrio, etc.

### **Agua lluvia como alternativa de uso: panorama colombiano**

El uso del agua lluvia en el mundo, constituye un ejemplo en muchos lugares que se han convertido en verdaderos referentes que evidencian la responsabilidad social y ambiental, enfatizando la urgente necesidad de optimizar los recursos existentes, así como acceder a otros adicionales, que permitan realizar las inversiones iniciales significativas en términos de infraestructura, las cuales garanticen la recolección y disposición del agua lluvia de manera adecuada y a los pueden accederse por cooperación internacional, lo que se constituye en un componente adicional en términos de cohesión social y participación de la comunidad a través de la responsabilidad compartida, lo cual indudablemente representa no sólo participación, sino apropiación y garantía de permanencia y éxito del proyecto (Lázaro, 2016).

México, que se considera un pionero en el tema a nivel de América Latina, habla incluso de gestión integral de agua lluvia a nivel de política de Estado, lo cual no sólo evidencia la importancia que

tiene el agua lluvia para la agenda pública sino que los compromete a las regiones y a los municipios alrededor de ella (Montes, 2008).

En Colombia, la Universidad Javeriana tiene un interesante proyecto para aprovechar el agua lluvia en riego y lavado de fachadas y superficies duras, que es parte de la investigación Reciclado de aguas en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana (Borrero, 2007), sobre este también se han desarrollado otros proyectos en el mismo sentido, como el de Requerimientos de infraestructura para el aprovechamiento sostenible del agua lluvia en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana Sede Bogotá (Estupiñán Perdomo, 2011) y el de Equipamientos urbanos sostenibles, que busca caracterizar e identificar los posibles usos del agua lluvia, así como la infraestructura requerida para lograr la recolección y disposición adecuada de la misma (Torres, 2013).

En el mismo sentido se han propuesto interesantes modelos en el sector educativo, como el diseñado por la institución María Auxiliadora en el municipio de Caldas, Antioquia, en el que con la intención de contribuir al desarrollo sostenible plantea un sistema de aprovechamiento de aguas lluvia como alternativa para el ahorro del agua potable en usos tales como la descarga de sanitarios y el lavado de zonas comunes entre otros, a partir del cálculo de volúmenes disponibles de agua lluvia en la zona, la evaluación del volumen de agua potable ahorrado, así como la estimación del presupuesto para la construcción del sistema y la proyección del ahorro generado al utilizarlo (Palacio Castañeda, 2010).

Como existen casos variados con perfiles distintos y motivaciones y énfasis particulares, tomaremos los que resultan más significativos para esta investigación. En la ciudad de Bucaramanga, Santander, estudiantes de la especialización de Ingeniería Ambiental de la Universidad Industrial de Santander, UIS, realizaron un trabajo de grado titulado Diseño de un sistema de captación de aguas lluvias para la utilización eficiente del recurso, en el Estadio 1o de marzo de la Universidad con el objetivo de ahorrar agua potable utilizada en el riego de la gramilla del lugar (Sanabria Cala & Pérez García, 2012).

En la Universidad del Valle, estudiantes de la Facultad de Ingeniería realizaron de igual manera un trabajo de grado titulado Aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable en la sede Meléndez de la Universidad, donde se encuentra dicha facultad (Feijoo Moreno & Perea Agredo, 2014).

En la ciudad de Cartagena, los estudiantes Carlos Andrés Bocanegra Gamarra y Carlos Augusto Almanza Pérez realizaron la investigación Diseño de sistema piloto de almacenamiento de agua lluvia a escala laboratorio en la sede piedra de Bolívar de la Universidad de Cartagena, para optar al título de ingeniero civil (Bocanegra Gamarra & Almanza Pérez, 2015).

Las anteriores experiencias resaltan la importancia y pertinencia del tema desde lo ambiental y también desde la dimensión económica que afecta tanto de los estudiantes como al entorno social de las Universidades e instituciones de educación en general, lo cual se refleja en proyecciones de ahorro y responsabilidad ambiental.

El agua es entonces definitivamente un recurso escaso e irremplazable en todos los entornos de la vida, que se ha convertido en un reto desde la política, la economía y las relaciones internacionales, a través de la cooperación, que implica establecer su uso eficiente y eficaz para optimizar

todo su potencial disminuyendo los costos no sólo económicos y ambientales, sino también el costo de oportunidad (Velasco, 2005).

### **Acercamiento a la Universidad América – ventaja económica**

Para poder calcular la relación costo/beneficio de un proyecto como el que se propone diseñar, desarrollar e implementar para la Universidad, es definitivo tener claros los objetivos. Uno de ellos es disminuir el volumen de agua utilizada para baterías sanitarias y lavado de áreas comunes, y por consiguiente, generar ahorro en los gastos por disminución en el consumo de agua potable (indirectamente se obtiene un beneficio económico y, lo más importante, se disminuyen los impactos ambientales), y adicionalmente, se promueve una consciencia ambiental con responsabilidad, lo cual con el paso del tiempo redundará en mayores beneficios en lo social, ambiental, económico, educativo, cultural, etc. Es decir, son externalidades aportando permanentemente al desarrollo sostenible desde un objetivo ambiental específico (Dirección General Ambiente Sectorial, 2002).

También resulta de gran relevancia y pertinencia - cuando estén definidos los programas puntuales y específicos, con un cronograma de actividades y unas metas e indicadores definidos para el seguimiento- medir los impactos intangibles positivos, que muchas veces pueden constituir mayores beneficios de los calculados para la Universidad y su Proyecto de Responsabilidad Social con componente ambiental, a partir del cual se sugiere construir una tabla comparativa de las medidas, programas y actividades propuestas versus los potenciales impactos de cada una de ellas, tanto para la Universidad como para su entorno y la Red de Universidades que pueda constituirse (Dirección General Ambiente Sectorial, 2002). La justificación de este punto dentro del Proyecto, tiene que ver, de manera directa con la opción de presentar el Proyecto propuesto para la Universidad, ante organismos internacionales para buscar acceder a recursos técnicos, tecnológicos y financieros de la cooperación internacional que tendrán un valor agregado importante para el mismo, porque le darán mayor resonancia en distintos escenarios a nivel local, nacional e internacional, lo cual puede constituirse en nuevas posibilidades de recursos, así como en mayor compromiso y visibilidad para el Proyecto y la Universidad.

El gobierno colombiano en la búsqueda de sensibilizar y lograr un nivel elevado de apropiación del tema, desde hace algunos años ha venido desarrollando iniciativas al respecto, una de ellas es la Guía de ahorro y uso eficiente del agua, publicada por el Ministerio del Medio Ambiente (Dirección General Ambiente Sectorial, 2002), a partir de la cual referenciamos la relación costo/beneficio de disponer y gestionar de manera adecuada el agua lluvia, con el objetivo de mostrar los impactos positivos en los entornos donde sea aprovechada.

El análisis costo/beneficio puede realizarse a partir del cálculo de las ventajas netas de alguna medida de reducción

$$\text{BNTA } (\$/\text{AÑO}) = \text{AECA } (\$/\text{AÑO}) = \text{CACO } (\$/\text{AÑO}) - \text{CAOA } (\$/\text{AÑO})$$

Donde BNTA es el beneficio total anual neto, en (\$/año), y equivale al beneficio económico neto que resultaría si se implementa esa medida (Dirección General Ambiente Sectorial, 2002).

AECA son los ahorros esperados en costos anuales, relativos a la operación actual, en \$/año (disminuciones en pagos de cuentas por abastecimiento de agua y alcantarillado, eventuales sobrecargos y posiblemente de energía). Este es un aspecto de los más significativos debido a que,

con el paso del tiempo, puede representar opciones para participar en Programas de eficiencia energética, lo que implica en acceso a recursos, viabilización de proyectos y beneficios tributarios y financieros (Dirección General Ambiente Sectorial, 2002).

CACO son los costos amortizados de capital de operación, en (\$/año), que incluyen los equipos, materiales e instalaciones requeridos, amortizados a lo largo de su vida útil esperada (Dirección General Ambiente Sectorial, 2002).

CAOA son los *costos adicionales de operación anual*, sobre la operación actual, en (\$/año), que corresponden a los extras que resultarían por mano de obra, mantenimiento, energía, materiales y disposición de residuos (Dirección General Ambiente Sectorial, 2002).

Para realizar el análisis costo beneficio es importante incluir el costo de capital estimado para las obras de rehabilitación de infraestructura, así como los ahorros netos logrados por erogaciones para contribuir a este propósito de administración eficiente del recurso hídrico, y del período de amortización, incluyendo la búsqueda de alternativas para alcanzar dicho objetivo. Adicionalmente, deben considerarse otras ventajas no cuantificables, incluyendo aquellas relacionadas con el medio ambiente, el bienestar (social, salud, confort) de los usuarios del agua, los impactos en términos de liderazgo de iniciativas de este tipo y los objetivos que se pretenden con el proyecto más allá de la protección y respeto del medio ambiente, un ejemplo a las nuevas generaciones; los cuales no es conveniente que dejen de ser incluidos en el cálculo de los beneficios netos (Dirección General Ambiente Sectorial, 2002).

## **Definición del procedimiento fisicoquímico para análisis del agua lluvia**

### ***Características fisicoquímicas del agua***

La calidad del agua debe ser analizada en función del uso que se le va a dar, y la presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en ella —que pueden ser de origen natural o antropogénico— define su composición física y química.

La evaluación de la calidad del agua se realiza usando técnicas analíticas óptimas para cada caso. Con el fin de que los resultados de estas determinaciones sean representativos, es necesario realizar procesos de muestreo adecuados.

Se realizan análisis para determinar: la temperatura, pH, turbidez, aspecto, olor, cloro residual libre, dureza, fósforo, oxígeno disuelto, sólidos totales.

**Temperatura:** la temperatura se puede determinar in situ mediante el uso de un termómetro, realizando diferentes medidas durante el muestreo o al llegar al laboratorio, para lo cual se toma una muestra en un vaso de precipitados, se introduce el termómetro digital en este y se espera hasta que la lectura del termómetro se estabilice.

**pH:** el pH se determina mediante la utilización de un electrodo específico de pH, in situ. Al igual que la medición de temperatura, la medición del pH se puede realizar en el laboratorio por medio de un pH - metro. Por lo general las aguas naturales tienen un cierto carácter básico con unos valores de pH comprendidos entre 6,5 y 8,5.

## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

**Dureza:** concentración total de iones de calcio y magnesio expresada como su equivalente en carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

**Turbidez:** la turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua.

**Cloro residual:** si al analizar el agua se encuentra que todavía existe cloro libre en ella, entonces se comprueba que la mayoría de los organismos peligrosos ya fueron eliminados y por lo tanto es seguro consumirla.

**Fósforo:** los fosfatos y compuestos de fósforo se encuentran en las aguas naturales en pequeñas concentraciones. Su origen es el lixiviado de los terrenos que atraviesa o la contaminación orgánica. Actualmente existe una fuente contaminante de fósforo artificial por el uso de los detergentes polifosfatados.

**Oxígeno disuelto:** el oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Es un indicador de la contaminación del agua o de la calidad requerida para el soporte de agua para la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

**Sólidos totales:** son materiales suspendidos y disueltos en el agua. Los sólidos pueden afectar negativamente la calidad del agua

### ***Características microbiológicas***

Los factores que inciden en la flora bacteriana son:

- La acidez disminuye el contenido de microorganismos.
- La materia orgánica lo aumenta.
- Mucho oxígeno disuelto disminuye los microorganismos anaerobios.
- Las sales, si son abundantes, producen que el agua sea casi estéril.
- Si la cantidad de sales es baja se estimula el desarrollo bacteriano.
- La filtración disminuye el número de microorganismos.
- La temperatura puede aumentar o disminuir el contenido bacteriano.
- La turbidez hace que el contenido bacteriano pueda aumentar, ya que los rayos UV no tienen influencia.
- Los protozoos fagocitan bacterias y así disminuyen el número de éstas.

El interés se centra en los microorganismos patógenos, que son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades.

Los coliformes reagrupan ciertas especies bacterianas pertenecientes a la familia *Enterobacteriaceae*, de morfología bacilar, Gram negativas, aerobias o anaerobias facultativas, oxidasa negativa, no esporuladas y que fermentan la lactosa con producción de ácido a 37°C en 24 - 48 horas.

## Muestreo

Es importante tener en cuenta que los resultados de los análisis de laboratorio no tienen validez si la muestra es captada sin cumplir la normatividad sobre criterios y técnicas de muestreo, puesto que aquella debe ser representativa.

Una muestra es representativa en la medida en que sus características correspondan a la existencia de una gran masa total. Para lograr esta condición deben tomarse en cuenta varios factores como la homogeneidad del cuerpo de agua a muestrear, números de sitios muestreados, frecuencia de muestreo, tamaño de las muestras individuales (volumen de la muestra de acuerdo a las mediciones que se vayan a efectuar), técnicas de captación, identificación de la muestra y su transporte para los análisis tanto físicos, químicos como microbiológicos.

Además deben utilizarse métodos de preservación de las muestras de agua, con el fin de evitar cambios significativos en su composición debido a la inestabilidad de ciertos constituyentes, que podría traer como consecuencia una incorrecta interpretación de la verdadera calidad del agua, al disminuir la representatividad de las muestras.

Los cambios químicos que pueden ocurrir en una muestra de agua son debidos a reacciones químicas y físicas como la oxidación, reducción, precipitación, absorción e intercambio de iones.

Los métodos de preservación van dirigidos a retardar la acción biológica y la hidrólisis de compuestos y complejos químicos, y a reducir la volatilidad de algunos constituyentes. Entre estos métodos están la adición de algunas sustancias químicas y la refrigeración.

## Tipos de muestra

Las muestras pueden ser simples o compuestas.

**Muestras simples:** Es una muestra recogida en un lugar y un momento determinados que sólo puede representar la composición de la fuente en ese específico momento y lugar.

**Muestras compuestas:** En la mayoría de los casos se refiere a una mezcla de muestras simples recogidas en el mismo punto en distintos momentos. De esta manera, se considera como estándar para la mayoría de los análisis una muestra compuesta que represente un periodo de 24 horas. Las porciones individuales se recogen en envases de abertura amplia, con un diámetro de al menos 35 mm en la boca y con una capacidad de 120 mL. Se recogen estas muestras cada hora, media hora o 5 minutos, y se mezclan una vez concluida la toma. La temperatura del agua es importante en el análisis de aguas.



## CONCLUSIONES PARCIALES

Lograr una adecuada administración y gestión del recurso hídrico se convierte entonces en un reto de política pública pero también de responsabilidad social, lo cual amerita la búsqueda de alternativas que involucren todas las dimensiones de la esencia de la vida de un territorio, como por ejemplo, la implementación de incentivos para disposición y utilización del agua lluvia de manera adecuada, la disminución de impuestos por utilizar formas alternativas de protección del recurso hídrico, la financiación y viabilización de proyectos que establezcan claros compromisos del recurso hídrico y que puedan ser utilizados como Modelos o Pilotos con efecto multiplicador en distintos sectores y territorios.

Porque es claro que lo que no sea visualizable y medible en la matriz Costo – Beneficio que permite identificar claramente, para todos los actores, los impactos de las acciones para proteger las fuentes hídricas y el logro de darle una utilización óptima y adecuada, en términos financieros y económicos, será difícil de apropiar el tema, por muy evidente que sea el interés colectivo en este propósito.

Ahora estas acciones es muy importante verlas desde diferentes ópticas, para que tengan una trascendencia mayor, como por ejemplo desde el Rol de las universidades, como parte de la Responsabilidad Social Universitaria que “obliga” no sólo a sensibilizarnos frente al tema sino a apropiarnos de él, tomando acciones contundentes, en las que debe ser involucrada la investigación y el propio entorno para articularlo a la proyección social de la misma.

Adicionalmente, como esto requiere recursos no sólo técnicos sino financieros, puede buscarse, la articulación de proyectos de investigación a consorcios o empresas u organismos de cooperación a nivel local, regional, nacional e internacional interesados en estos temas, participar en Convocatorias y construir Redes de investigación sobre el tema, que faciliten además de la consecución de recursos, la sinergia con macro proyectos de orden local, regional, nacional e internacional que redunden en impactos reales para las comunidades y mayor visibilidad para la universidad y los entornos académicos.

## BIBLIOGRAFIA

Adler, I. C. (2008). *Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos*. México DF: International Renewable Resources Institute Mexico.

Aqua for All (Berry van Waes, Dick Bouman) (2007) (Smart Water Harvesting Solutions Examples of innovative low-cost technologies for rain, fog, runoff water and groundwater. World Water Week in Stockholm, Sweden in August 2007. Co-operation between the Netherlands Water Partnership, Aqua for All, Agromisa and all indicated organisations. Edition Partners for Water .

Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, Empresas Públicas de Medellín (2009). *Manual de Gestión Socio-Ambiental para Obras de Construcción*. Centro de Publicaciones, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Bertalanffy, Ludwing von (2003) *Teoría General de los Sistemas*, Fondo de Cultura Económica, Decimoquinta reimpresión.

- Bocanegra Gamarra, C. A., & Almanza Pérez, C. A. (2015). *Diseño de sistema piloto de almacenamiento de agua lluvia a escala laboratorio en la sede piedra de Bolívar de la Universidad de Cartagena*. Cartagena: Universidad de Cartagena.
- Borrero, J. A. (2007). 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*, 193 -202.
- Cabrera-Marcet, E. (2016). Retos del agua para usos residenciales e industriales. *Agua y Territorio*, 100-107.
- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana / Unión Temporal Construcción Sostenible S.A y Fundación FIDHAP (Consultor). – Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012. 200 p. ISBN: 978-958-8491-58-5
- Dirección General Ambiente Sectorial. (2002). *Guía de Ahorro y uso eficiente del agua*. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente de Colombia.
- Estupiñán Perdomo, J. L. (2011). *Requerimientos de infraestructura para el aprovechamiento sostenible del agua lluvia en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Feijoo Moreno, V., & Perea Agredo, A. D. (2014). *Aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable en la Universidad del Valle Sede Meléndez*. Cali: Universidad del Valle.
- Galvez Agudelo, S. (s.f.). *Modelo de captación de aguas lluvia en fachadas de edificaciones*. Bogotá: Colegio Mayor de Cundinamarca.
- Herrsher, Enrique (2005) *El pensamiento sistémico*, Granica.
- KINKADE-LEVARIO, HEATHER. *Design for water, rainwater harvesting, stormwater catchment and alternate water reuse*. 2007. New Society Publishers. Canada
- Klohn, W. &. (1999). Agua y agricultura. *Revista cidob d'afers internacionals*, 105-126.
- Lázaro, R. P. (2016). La Nueva Cultura del Agua, el camino hacia una gestión sostenible. Causas e impactos de la crisis global del agua. *Cuadernos de Trabajo Hegoa*.
- Leopold Aldo (P. ed1999) *Una ética de la Tierra*. Edición. Jorge Riechmann. Libros Catarata. Colección de Pensamiento Crítico.
- Manrique, O. B. (2016). Sistema de captación de agua de lluvia para la producción hortícola en condiciones de organopónico. *Universidad&Ciencia*.

## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

- Momparler, S. P.-D. (2008). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia". *Revista Técnica de Medio Ambiente. C&M Publicaciones*, 124, , 92-104.
- Montes, M. P. (2008). Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL): contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de "Lluviat" en México. *Revista Internacional de sostenibilidad, tecnología y humanismo*, (3), 39-57.
- Noticias de salud ambiental EHP (Environmental Health perspectives) - SPM (Salud Pública de México). *Salud pública de México / vol. 54, no. 2, marzo-abril de 2012.*
- O'connor, Joseph & McDermott, Ian (1998) Introducción al pensamiento sistémico, URANO.
- Palacio Castañeda, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable en la Institución Educativa Maria Auxiliadora de Caldas Antioquia. *Gestión y Ambiente*, 25-40.
- Primer Simposio del agua. Asociación Colombiana de Ingeniería Química. Junio 30 – julio 1/ 2016.
- Riechmann Jorge (2001). Todo tiene un límite. *Ecología y transformación social, Debate*, Madrid 2001. Véase también mi libro *Un mundo vulnerable* (Los Libros de la Catarata, Madrid: 2005; segunda edición).
- Sanabria Cala, J. A., & Pérez García, F. A. (2012). Diseño de un sistema de captación de aguas lluvias para la utilización eficiente del recurso, en el Estadio 1ero de marzo de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander
- Sánchez L., B. (2005) Notas del curso: Metodología del Enfoque de Sistemas, UACM.
- Sánchez L., B. (2006) Boletín de la Academia de Ingeniería, Números 14, 15, 16 y 19, Universidad
- Torres, A. M.-F.-B. (2013). Hacia equipamientos urbanos sostenibles: aprovechamiento de aguas lluvias en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*.
- Velasco, I. O. (2005). Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *Región y sociedad*, 17(34), 35-71.

**WEBGRAFIA**

[http://www.geocities.com/ingenieria\\_uacm](http://www.geocities.com/ingenieria_uacm) Autónoma de la Ciudad de México.

[www.nwp.nl/\\_docs/2007-08-Smart-Water-Harvesting-Solutions.pdf](http://www.nwp.nl/_docs/2007-08-Smart-Water-Harvesting-Solutions.pdf)

<http://www.bogota.gov.co/ciudad/clima>