

# Evaluación del aprovechamiento para consumo humano del agua de lluvia en una microcuenca urbana de Ibagué, Tolima, Colombia

Assessment of rainwater for human consumption in an urban watershed in Ibagué, Tolima, Colombia

COLCIENCIAS TIPO 1. ARTÍCULO ORIGINAL

RECIBIDO: MAYO 27, 2015; ACEPTADO: JUNIO 28, 2015

Oscar Efrén Ospina Zúñiga, M.Sc

[oscar.ospina@campusucc.edu.co](mailto:oscar.ospina@campusucc.edu.co)

Yuri Caterine Moyano Díaz

[moyanodiaz@hotmail.com](mailto:moyanodiaz@hotmail.com)

Universidad Cooperativa de Colombia, Ibagué

## Resumen

Este trabajo presenta los resultados del estudio realizado por la Universidad Cooperativa de Colombia sede Ibagué, en el 2014, sobre la evaluación del aprovechamiento del agua de lluvia para consumo humano en la ciudad de Ibagué, recolectándola en una microcuenca urbana delimitada en la comuna 2 donde es factible su potabilización y posterior transporte por gravedad a la red de distribución del sistema de acueducto urbano existente, siendo una potencial fuente alternativa a partir de la determinación de sus condiciones fisicoquímicas y microbiológicas. Para ello se tomaron muestras en el sitio de recolección de la microcuenca para su caracterización, que incluyó la medición de turbiedad, color aparente, pH, conductividad, temperatura, nitritos, nitratos, alcalinidad total, cloruros, dureza total, coliformes totales y fecales, obteniéndose que estos parámetros están dentro de los rangos exigidos para agua potable, exceptuando la turbiedad y coliformes fecales susceptible de potabilización mediante tratamiento convencional al no encontrar niveles altos de contaminación, lo cual hace viable la implementación de microcuencas urbanas para su aprovechamiento como fuente alternativa en Ibagué.

## Palabras Clave

Calidad de agua; agua de lluvia; potabilización; microcuenca urbana; Ibagué.

## Abstract

This study aimed to assess rainwater as a source of water for human consumption. The rainwater was collected in an urban watershed (located in the commune 2, Ibagué), where it is possible its purification and subsequent transportation, by gravity, to the distribution network of existing urban water supply system. In order to determinate if this rainwater really represents a potential alternative source of water for human consumption, the researchers evaluated its physical, chemical and microbiological conditions. They asset samples taken at the collection site. The water characterization included: measurement of turbidity, apparent color, pH, conductivity, temperature, nitrite, nitrate, total alkalinity, chloride, total hardness, and fecal and total coliforms: The obtained parameters are within the ranges required for drinking water, except for turbidity and fecal coliform, which could be improved by conventional purification treatment. There are not find high levels of pollution, which makes feasible the implementation of urban watersheds for its use as an alternative source Ibagué.

## Keywords

Quality of water; rainwater; water treatment; urban watershed; Ibagué.

## I. INTRODUCCIÓN

La calidad del agua de fuentes superficiales se ve cada vez más afectada por el deterioro de sus cuencas hidrográficas ante la actividad antrópica, cada vez más lesiva y sin el adecuado control ambiental. El abastecimiento de la mayoría de la población asentada en la región andina de Colombia depende de este tipo de fuentes; está expuesta a pérdida de calidad y cobertura del servicio de agua para consumo, especialmente en temporadas lluviosas, por estar ligadas a altos niveles de turbiedad que obligan al racionamiento y la suspensión de este servicio. La disponibilidad de agua de lluvia como fuente alternativa de abastecimiento, por demás barata y abundante en algunas épocas del año, es una opción viable que puede acogerse en zonas urbanas aprovechando la disposición topográfica que permita su recolección, tratamiento y entrega a la población, como es el caso de la ciudad de Ibagué.

Estas áreas de recolección se definen como *microcuencas urbanas de agua de lluvia* donde y por efecto de la gravedad el agua de lluvia en ellas precipitada, concurrirá a un solo sitio por tener la menor altitud, donde es factible realizar su recolección, potabilización y posterior entrega al sistema de acueducto existente. Las superficies de contacto, por donde escurrirá esta agua, no deben afectar su calidad, de manera que sea inviable su potabilización mediante sistemas de tratamiento convencional. Para ello se delimitó un área urbana en la ciudad de Ibagué que reúne las condiciones descritas: la microcuenca urbana de la comuna 2, cuya agua de lluvia se evaluó para definir los potenciales contaminantes que se pueden presentar, en mayor o menor concentración, estudiando parámetros físicos, químicos y microbiológicos, en un día de lluvia antecedido por una larga temporada seca en 2014. Se analizaron las muestras a través de los ensayos de laboratorio. De estas microcuencas urbanas solo se extrae superficialmente el agua de lluvia precipitada, sin comprometer ninguna fuente hídrica permanente.

## II. MARCO TEÓRICO

La cosecha del agua lluvia, que como la describe Pacheco (2009), sigue siendo, afortunadamente, un bien público, requiere ser seriamente considerada como una alternativa para la prevención de riesgos urbanos y regionales. Cosechar la lluvia ha sido una actividad milenaria, practicada por muchas culturas en regiones húmedas y áridas, en contextos de pobreza y de riqueza.

Según Palacio (2010), el aprovechamiento del agua lluvia es una práctica interesante, tanto ambiental como económicamente, si se tiene en cuenta la gran demanda del recurso sobre las cuencas hidrográficas, el alto grado de contaminación de las fuentes superficiales y los elevados costos por el consumo de agua potable. Dependiendo de las condiciones ambientales y locales, el agua lluvia puede considerarse para proporcionar un sistema de abasto complementario o único.

Para Mbugua (2002) la cosecha de agua se puede implementar en zonas urbanas, urbano-marginales y rurales con dificultades de acceso a fuentes superficiales o subterráneas; también en comunidades con condiciones técnicas desfavorables para la construcción de sistemas entubados a gravedad o por bombeo. La aplicación debe considerar condiciones sociales y culturales que garanticen el uso de este tipo de técnica. En muchos países en desarrollo el agua lluvia es usada para reemplazar sistemas entubados de suministro de agua.

Según Sánchez y Caicedo (2003), ignorar el potencial suministro de agua a partir de la lluvia deja de lado la posibilidad de implementar sistemas sostenibles en regiones donde otras alternativas tienen reducida viabilidad.

La planificación y gestión del agua lluvia puede reducir riesgos, prevenir daños a la salud y mitigar desastres. Pacheco (2008) enuncia que los avances en la gestión del agua lluvia son poco alentadores a pesar de la crítica situación del agua en muchas ciudades. El cambio hacia el paradigma de la autosuficiencia y residuo-cero de agua incluye necesariamente opciones que estimulen la ética del consumidor y la responsabilidad de la ciudadanía en el manejo de los recursos naturales y en la adaptación al cambio climático.

La inundación en áreas urbanas, por sobrecarga de las redes de drenaje, es descrita por Rosatto et al., (2013) como un problema recurrente de importancia creciente; en las cuencas urbanas, el escurrimiento se encuentra marcado por una característica particular: la impermeabilización superficial, mediante distintos tipos de solados, que es cada vez mayor y va reemplazando espacios verdes o superficies infiltrantes.

Conocer la calidad del agua de lluvia en un entorno urbano puede proporcionar a las autoridades competentes y a los gestores del agua urbana, herramientas muy válidas para la gestión integral del agua de lluvia en una ciudad.

Llopart et al., (2010) describen que en un ámbito urbano, la gestión sostenible del agua de lluvia puede plantearse, tanto desde un punto de vista de minimización de los vertidos a medios receptores en tiempo de lluvia, como desde un punto de vista de recurso para diferentes usos donde la calidad de agua potable no es necesaria.

Según Garcés y Hernández (2004) la lluvia se convierte en uno de los principales mecanismos por los cuales los contaminantes atmosféricos retornan a la superficie, lo que posibilita la toma de mediciones de la concentración de éstos, presentes en la atmósfera, en función de la cantidad de agua caída y almacenada mediante un proceso de captación. Lo anterior es aplicable especialmente a los centros urbanos industrializados, los cuales, en general, presentan los mayores problemas de contaminación susceptibles de ser medidos.

Los niveles de contaminantes dependen del grado de emisiones atmosféricas de las diferentes fuentes, lo que aumenta la concentración de éstos en la atmósfera. Para Bravo, Sosa y Torres (1991), su presencia se ve disminuida en la medida que las precipitaciones sean mayores. Dependiendo de la intensidad y duración de la lluvia, se realiza un lavado atmosférico que termina con el transporte de los elementos contaminantes hacia la tierra, donde sus efectos se sienten.

Adler, Carmona y Bojalil (2008) señalan que el mal uso del agua gratuita que cae del cielo, ha contribuido al problema de escasez y contaminación de esta, ya que no solo no se aprovecha el agua pluvial, sino que además se contamina y se desperdicia. Al llegar al drenaje, el agua pluvial se mezcla con aguas negras, jabonosas y residuos industriales, convirtiéndose en agua contaminada.

El estudio de la caracterización del agua lluvia ha sido motivo de estudio en diferentes países. Para el caso de Chile, la investigación adelantada por Montt, Rivera, Fernández y Valenzuela (2003), acerca de la *caracterización de la calidad de las aguas lluvias urbanas de Santiago*, consistió en el monitoreo de las lluvias en doce lugares de esa ciudad, tomando muestras desde el sistema de captación del alcantarillado pluvial o algunas desde el escurrimiento en las cunetas, arrojando como resultado que los parámetros aluminio, manganeso, nitrógeno, DBO y sólidos suspendidos sobrepasaron persistentemente la norma chilena de emisiones a aguas superficiales.

El análisis físico-químico del agua lluvia en Buenos Aires, realizado por Pérez et al., (2012) consistió en ubicar

sofisticados instrumentos de muestreo a fin de medir variables como la concentración de material particulado en el ambiente, cuantificar la contaminación y determinar la composición física y química del agua lluvia. La investigación encontró que los valores de contaminantes presentan alta concentración de nitratos debido a las emisiones de óxidos de nitrógeno.

A nivel nacional, Torres et al., (2011) realizaron un estudio preliminar de la calidad de la escorrentía pluvial sobre tejados para su posible aprovechamiento en las localidades de Soacha y Kennedy en la Ciudad de Bogotá, donde infieren que el agua lluvia no es apta para consumo humano ya que presenta altos niveles de metales como el Pb, Cd, Zn y Cu. Sin embargo debido a la variabilidad de espacio y tiempo, concluyen que el agua lluvia de escorrentía sobre tejados podría ser adaptada para usos domésticos como vaciado de sanitarios, lavado de pisos y fachadas.

El aprovechamiento de aguas lluvias en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá, fue investigado por Torres et al., (2012) quienes mostraron resultados, en cuanto a la calidad de agua lluvia disponible y aprovechable, para facilitar la selección de alternativas de aprovechamiento, como ejemplo de gestión del agua en un campus universitario sostenible como equipamiento comunitario urbano.

En la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia se realizó la evaluación económica de la captación de agua lluvia como fuente alternativa en dicha institución, concluyéndose que la implementación de proyectos de construcción sostenible en torno al recurso hídrico y al aprovechamiento de aguas lluvias como fuente alternativa del recurso puede ser viable desde las perspectivas económica, social y ambiental, de acuerdo con el análisis que se realice del contexto en el cual se quiera implementar el proyecto (Arroyave, Díaz, Vergara, & Macías, 2011).

Cortes, Hernández, Guerrero y Vega (2011) plantean la captación y aprovechamiento del agua de lluvia mediante el techo de los hogares para su aplicación como fuente alternativa para usos caseros en Tabasco, México.

Rojas, Gallardo, y Martínez (2012) presentaron la implementación de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, realizando análisis microbiológicos y fisicoquímicos basados en la normatividad vigente en México, proponiendo la

adaptación de un sistema de captación en una edificación ya construida ubicada en la zona Sur del Distrito Federal, con un tren de tratamiento, el cual debe proporcionar la calidad del agua adecuada para las necesidades actuales.

Córdova y López (2013) publicaron la evaluación tecnológica de dispositivos integrados de naturación y captación pluvial en la vivienda de México, que pretende proponer un instrumento metodológico de evaluación tecnológica que facilite, mediante los resultados de su aplicación, el rediseño y la generación de soluciones integradas de naturación y captación de agua de lluvia, de manera novedosa y adecuada a las particularidades que plantea la gestión del agua y de las áreas verdes en la vivienda mexicana.

Según el estudio sobre caracterización físico química de las aguas lluvias en la ciudad de Ibagué, realizado en 2012 por el grupo de investigación AQUA de la Universidad Cooperativa de Colombia, la calidad del agua lluvia en la ciudad de Ibagué es apta para ser potabilizada al no presentar altos niveles de contaminación, luego de analizar los parámetros de aluminio, hierro total, turbiedad, ph, conductividad, temperatura, color, nitritos, alcalinidad total, cloruros, dureza total, sulfatos y coliformes totales, análisis que arrojó resultados que se encuentran dentro de los rangos de la resolución 2115 de 2007 para el agua potable, con excepción de los parámetros de pH, turbiedad y coliformes totales en algunos puntos de la ciudad (Ospina-Zúñiga y Ramírez-Arcila, 2014).

### III. METODOLOGÍA

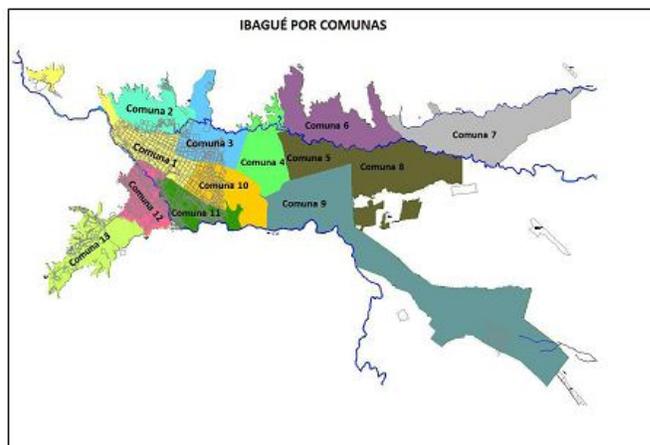
La investigación, de tipo exploratorio, describe las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de lluvia (A.LL.) precipitada en una microcuenca previamente delimitada en la ciudad de Ibagué, analizando parámetros como turbiedad, color aparente, pH, conductividad, temperatura, nitritos, nitratos, alcalinidad total, cloruros, dureza total, coliformes totales y fecales; se asumen estos parámetros al no existir normativa en Colombia para la calidad del agua de lluvia como fuente de abastecimiento, basados en un muestreo de tipo no probabilístico, por lo que los resultados serán solo una aproximación que deja la puerta abierta a futuras investigaciones de tipo descriptivo y explicativo.

Este trabajo hace parte de la investigación denominada “Sistema integral de aprovechamiento de agua lluvia en zonas urbanas – SINALZU”, realizada por el grupo de

investigación AQUA de la Universidad Cooperativa de Colombia (Moyano, Galeano, & Ospina, 2015), complementaria a la investigación realizada durante 2012 respecto de la evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico (Ospina-Zúñiga & Ramírez-Arcila, 2014).

La topografía del perímetro urbano de Ibagué, capital del departamento del Tolima, se inclina en sentido Noroccidente – Sureste, estando localizada justamente en el punto de confluencia entre la parte llana y la zona montañosa, de tal manera que los barrios de la parte alta se enmarcan dentro del paisaje cafetero con una temperatura cercana a los 18°C, mientras los barrios ubicados en las zonas bajas se enmarcan dentro de un paisaje de meseta, caracterizado por la agricultura mecanizada, especialmente de arroz, y una temperatura cercana a los 24°C (Cortolima, 2002). La topografía permite deducir que la delimitación de una microcuenca urbana para recolección de agua lluvia puede darse en la parte alta, para ser transportada por gravedad a la red de distribución del sistema de acueducto existente, correspondiente a las comunas 1, 2, 3, 4 y 6 de la ciudad de Ibagué (ver su localización en la Figura 1).

Figura 1. Localización de las comunas urbanas de la ciudad de Ibagué (Harker & Perdomo, 2012)



El marco geográfico de la investigación se desarrolló en la comuna 2 de la zona urbana de Ibagué, delimitándose una microcuenca correspondiente a una zona de superficie terrestre urbana en la cual todas las gotas de agua procedentes de precipitación que caen sobre ella, se van a dirigir hacia el mismo punto de salida, siendo el de menor cota o altitud de esta microcuenca y donde se realiza la recolección. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones, denominada *límite de aguas*.

Las muestras de agua fueron recogidas por los integrantes del equipo con una previa instrucción para su recolección en el sitio escogido, referenciado en coordenadas geográficas y planas, utilizando guantes y tapaboca para evitar cualquier riesgo de contaminación, en recipientes de polietileno esterilizado de forma cilíndrica y capacidad de 1000 ml, refrigerados y transportados al laboratorio de control de calidad de la Empresa Ibaguerena de Acueducto y Alcantarillado, IBAL S.A. ES.P. Oficial, con certificado ISO 9001, para su respectiva caracterización.

El 24 de junio de 2014 se tomaron dos muestras de agua; la primera lluvia duró aproximadamente quince minutos e inició a las 12:40 horas; la muestra se tomó a las 12:48 horas. A las 21:40 horas se presentó la segunda lluvia, con una duración aproximada de trece minutos; la muestra se tomó a las 21:48 horas.

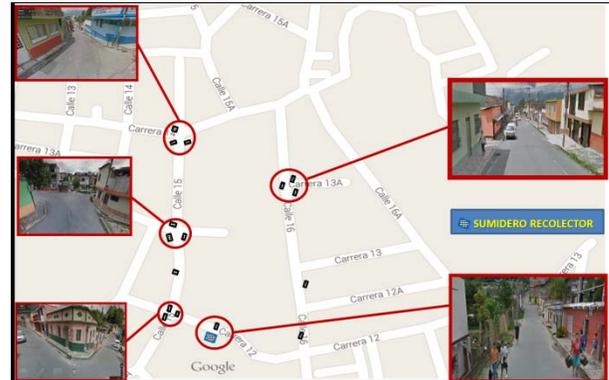
Ese día estuvo antecedido por una temporada de tiempo seco en el cual se acumularon, en la superficie de la microcuenca urbana, diferentes sedimentos, que por efecto de la escorrentía superficial pudieron incorporarse al agua lluvia recopilada en la primera lluvia, lo que puede explicar la condición más desfavorable de la calidad del agua en ella recolectada. La segunda lluvia escurre por una superficie ya *lavada*; la calidad del agua proveniente de ella, en consecuencia, mejora con relación a la primera.

La determinación del potencial uso doméstico que puede darse al agua se realizó considerando los valores máximos de los contaminantes establecidos en el Decreto 3930 de 2010, que establece los criterios de calidad admisibles para la destinación del uso humano y doméstico que para su potabilización requiere solamente tratamiento convencional. La potabilización del agua lluvia debe cumplir con los requerimientos establecidos en la Resolución 2115 de 2007, la cual señala las características, los instrumentos básicos y las frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

El manejo actual de agua lluvia en la microcuenca urbana se realiza mediante escorrentía superficial por las cunetas de las vías vehiculares existentes que descargan en sumideros localizados preferiblemente en intersecciones viales, los cuales están conectados al sistema de alcantarillado, como se describe en la Figura 2, en la cual se ubican 17 sumideros, entre ellos el escogido en el sitio de recolección. Esta situación dificulta la realización de un

estudio hidrológico que permita calcular el caudal de agua lluvia que la microcuenca urbana es capaz de producir, por lo que se realizaron aforos en la cuneta que concurre al sumidero recolector para las dos lluvias presentes ese día, teniendo así una aproximación del caudal que puede concurrir a la PTAP proyectada.

**Figura 2. Localización de sumideros de agua lluvia, microcuenca urbana de la comuna 2 de Ibagué (Moyano et al., 2015)**



El diseño hidráulico de la cuneta se realiza definiendo la capacidad de una cuneta dependiendo de su forma, pendiente y rugosidad. Si se conocen las pendientes transversal y longitudinal de la calle, la cuneta puede representarse como un canal abierto de sección triangular, y su capacidad hidráulica puede estimarse con la fórmula de Manning de flujo uniforme, aunque la suposición de flujo uniforme en cunetas no es estrictamente correcta, pues se tienen condiciones de flujo espacialmente variado en la medida en que los aportes se incrementan en la dirección de flujo en la cuneta (IBNORCA, 2007). El cálculo del caudal de la cuenta se realiza mediante la ecuación 1.

$$Q_0 = 0,375 \cdot \sqrt{I} \cdot \left( \frac{Z}{n} \right) \cdot y_0^{8/3} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde,

Q<sub>0</sub>: caudal en la cuneta en m<sup>3</sup>/s;

I: pendiente longitudinal;

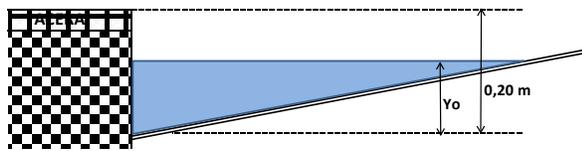
1/z: pendiente transversal;

n: coeficiente de rugosidad de Manning; e

y<sub>0</sub>: profundidad de flujo en m.

La sección transversal de la cuneta que concurre al sumidero recolector de la microcuenca urbana se describe en la Figura 3.

Figura 3. Sección transversal de la cuneta que concurre al sumidero recolector - microcuenca urbana, comuna 2, Ibagué

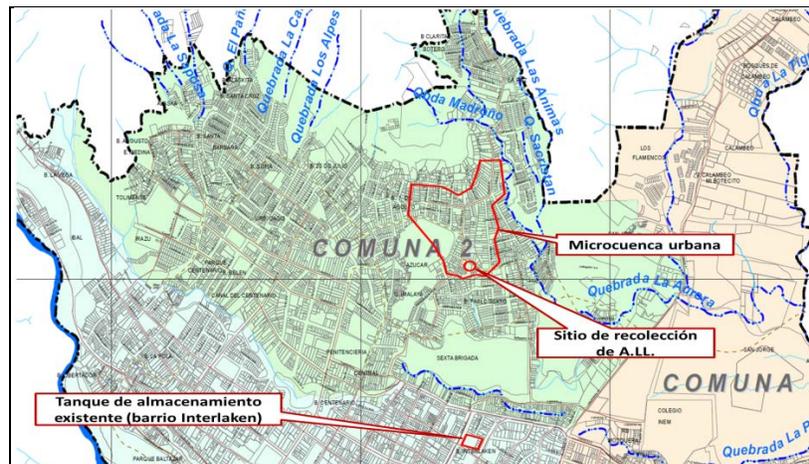


El coeficiente de rugosidad de Manning para la cuneta en estudio se adopta de 0.012 que corresponde a concreto con buen acabado (IBNORCA, 2007).

#### IV. RESULTADOS

La microcuenca escogida está localizada en la parte alta del perímetro urbano, comuna 2 de la ciudad de Ibagué, lo cual permite transportar, por gravedad y a presión, el agua lluvia recolectada, hasta el tanque de almacenamiento existente del actual sistema de acueducto urbano, más cercano, en este caso el del barrio Interlaken (calle 16 con carrera 7), con el fin de entregar el agua potable a la red de distribución (ver Figura 4).

Figura 4. Localización de la microcuenca urbana en la comuna 2 de la ciudad de Ibagué (Fuente: P.O.T. Ibagué, 2014)



El punto de salida de menor cota de la microcuenca urbana, donde está el sumidero recolector, está frente a un predio privado sin ningún tipo de construcción, donde funciona actualmente un parqueadero público y es factible proyectar la planta de tratamiento de agua potable (PTAP). Las coordenadas planas y geográficas de localización del sumidero recolector se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas planas y geográficas del sumidero recolector de la microcuenca urbana (Moyano et al., 2015)

Coordenadas planas	Coordenadas geográficas
X: 819357.26	N: 4°26'21.65"
Y: 966962.23	O: 75°12'19.26"

El uso del suelo de esta microcuenca urbana, predominantemente residencial, contribuye a la baja incidencia de producción de contaminantes lesivos a la calidad del agua lluvia (por no existir zonas comerciales o industriales que generan mayor impacto por potenciales residuales químicos y metales pesados).

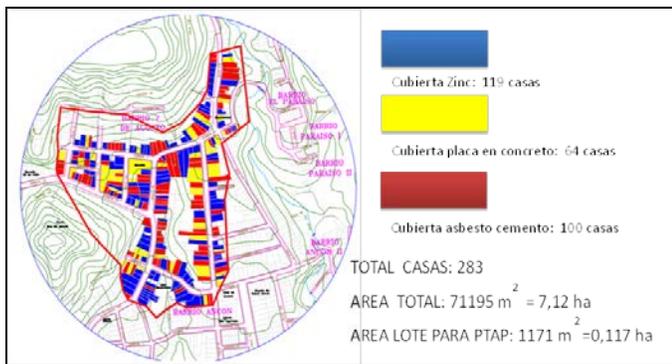
Las vías vehiculares, en su totalidad, están pavimentadas; predomina el asfalto como carpeta de

rodadura y las cunetas revestidas por donde se maneja la escorrentía superficial para evacuar el agua lluvia mediante sumideros al sistema de alcantarillado existente.

Las viviendas existentes corresponden a casas de habitación hasta de 3 niveles, cuyas cubiertas con placa de concreto (64 casos), tejas de zinc (119) o asbesto-cemento (100). En total se censaron 345 viviendas para un área total de 71.198 m<sup>2</sup>, de las cuales 283 arrojan el agua lluvia precipitada en sus cubiertas a la vía pública, desde donde posteriormente llega al sitio de recolección. Las 62 restantes recogen el agua lluvia y la evacuan mediante su sistema de alcantarillado domiciliario.

El terreno disponible para proyectar la PTAP posee 1.171 m<sup>2</sup> (Moyano et al., 2015). La localización de viviendas existentes y que contribuyen con caudal de agua lluvia en la microcuenca urbana, así como el tipo de cubierta, se describen en la Figura 5. La imagen de la Figura 6, por su parte, permite visualizar las viviendas existentes, la conformación vial de la microcuenca, el sitio de recolección de A. L.L. y el lote disponible para proyectar la PTAP.

**Figura 5. Localización de viviendas existentes y que aportan agua lluvia a la microcuenca urbana en la comuna 2 de la ciudad de Ibagué (Moyano et al., 2015)**



La recolección de agua lluvia para su análisis se realizó en un día antecedido por un largo periodo de tiempo seco,

con el fin de obtener concentraciones altas de contaminación (durante este periodo se acopian contaminantes en las superficies por donde escurrirá el agua lluvia, que permitan deducir altos niveles de contaminación presentes en el agua para evaluar su potencial aprovechamiento).

Como se indicó, el 24 de junio de 2014 se presentaron dos períodos de lluvia en el sector donde se localiza la microcuenca urbana. Se tomaron dos muestras de agua (ver resultados en la Tabla 2), la muestra 1 corresponde a la primera lluvia, la muestra 2 a la segunda. En ambos casos se verificó el cumplimiento de la normativa colombiana respecto del agua apta para consumo humano previo tratamiento convencional (Decreto 3093 de 2010) y el agua potable (Resolución 2115 de 2007).

**Figura 6. Localización de viviendas existentes, sitio de recolección y lote disponible para PTAP en la microcuenca urbana en la comuna 2 de la ciudad de Ibagué (Google Earth)**



De acuerdo con la caracterización realizada a las dos muestras de agua, ella no cumple con el color aparente ni con el nivel máximo de coliformes fecales, según lo establecido por el Decreto 3930 de 2010. En relación con la Resolución 2115 de 2007, las muestras no se cumplen con la turbiedad, el color, y el nivel de coliformes (totales y fecales). Si se tiene en cuenta que el color aparente incluye la turbiedad –o sea que se mide el color debido a sustancias en solución y en suspensión–, la escorrentía superficial del A. LL. en la microcuenca urbana puede incorporar materiales vegetales o minerales en disolución, debido a la presencia de materia orgánica en proceso de descomposición, a óxidos de hierro, zinc y manganeso, a excretas de organismos vivos, entre otros factores. La presencia de coliformes fecales obedece a presencia de

excretas depositadas principalmente por animales domésticos –especialmente mascotas– que hacen parte de la cultura urbana, tanto en vías vehiculares, zonas duras y verdes, como en las cubiertas en placa de concreto.

La contaminación del A.L.L. recolectada tiende a disminuir en la medida en que se va limpiando la superficie por donde escurre. En la primera lluvia se obtienen las mayores concentraciones de contaminantes; este valor va disminuyendo en la medida que se prolonga la temporada lluviosa, como se evidenció con diferencia entre la muestra 1, que presentó mayor contaminación respecto de la muestra 2.

Los parámetros que superan los valores máximos permisibles pueden remediarse mediante tratamientos

convencionales, definidos según el RAS 2000 como: mezcla rápida, coagulación-floculación, sedimentación, filtración y desinfección, lo cual es conveniente, de acuerdo con las características de la comunidad, el nivel de

desarrollo y la capacidad técnico administrativa de la entidad responsable de la operación y mantenimiento de los sistemas (Resolución 1096 de 2000).

**Tabla 2. Resultados de calidad de A.L.L. para las dos muestras en la microcuenca urbana (Moyano et al., 2015)**

Parámetro	Unidad	M1	M2	Cumplimiento de la norma	
				Decreto 3093 de 2010	Resolución 2115 de 2007
Turbiedad	NTU	39,40	26,40		No
Color aparente	UPC	214,00	143,00	No	No
Potencial de hidrógeno		8,47	8,03	Si	Si
Conductividad	μSiemens/cm	53,30	39,20		Si
Temperatura	°C	18,50	19,30		
Nitritos	mg/l	0,03	0,03	Si	Si
Nitratos	mg/l	4,30	4,30	Si	Si
Alcalinidad total	CaCO <sub>3</sub>	9,00	12,00		Si
Cloruros	mg/l	5,60	4,30	Si	Si
Dureza total	CaCO <sub>3</sub>	49,00	38,00		Si
Coliformes fecales	NMP/100ml	2419,60	2419,60	No	No
Coliformes totales	NMP/100ml	2419,60	2419,60	Si	No

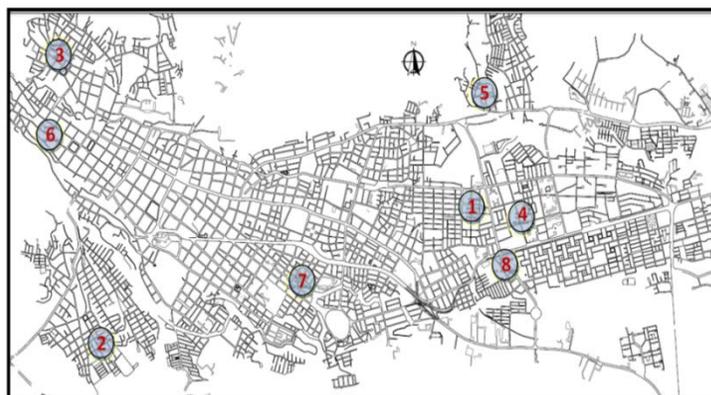
Kawamura (2000) establece 3000 NTU como valor máximo de turbiedad para tratamiento convencional, por lo que no se tendría inconveniente para su remoción en el A.L.L. recolectada en la microcuenca urbana; además, no requiere pre-sedimentación pues ella se recomienda para turbiedades del agua cruda superiores a 1000 NTU. Ejemplo de esto es la potabilización del agua del río Cauca, fuente de abastecimiento de la ciudad de Cali, cuya agua es sometida a tratamiento convencional más tratamientos complementarios –o sea la aplicación de carbón activado en polvo y polímero, que puede tratar agua cruda con una turbiedad hasta de 3000 NTU (Emcali, 2005).

La calidad del agua lluvia precipitada sin contacto con superficie alguna en el sector donde está la microcuenca urbana definida, se determina según la investigación realizada por la Universidad Cooperativa de Colombia en 2012 (Ospina-Zúñiga & Ramírez-Arcila, 2014), correspondiente al punto de muestreo 3 que hace parte de la comuna 2 de Ibagué, según se indica en la Figura 7.

Los resultados obtenidos son adecuados para realizar el proceso de potabilización y sus parámetros están dentro de los términos establecidos por la Resolución 2115 de 2007.

Al hacer el comparativo con la calidad del agua recolectada en las dos muestras de la microcuenca urbana, según se describe en la Tabla 3, es claro que todos los parámetros aumentaron su concentración debido al contacto con las superficies de escorrentía.

**Figura 7. Puntos de muestreo de agua lluvia sin contacto - perímetro urbano de Ibagué (Ospina & Ramírez, 2014)**



**Tabla 3. Calidad de A.L.L.: sin contacto de superficies y de las dos muestras tomadas en la microcuenca urbana (Moyano et al., 2015)**

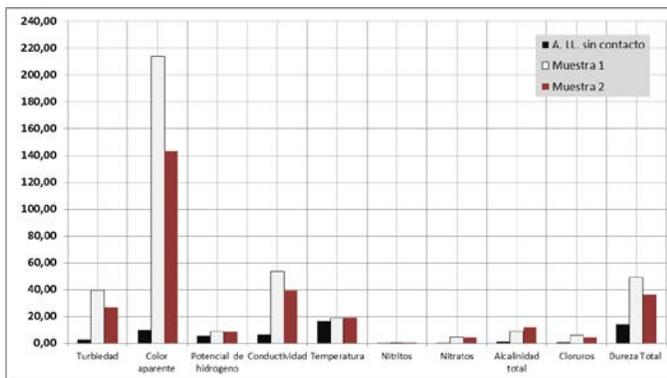
Parámetro	Unidad	Muestra A.L.L. sin contacto	M1	M2
Turbiedad	NTU	2,70	39,40	26,40
Color aparente	UPC	10,00	214,00	143,00
Potencial de hidrógeno		5,48	8,47	8,03
Conductividad	μSiemens/cm	6,00	53,30	39,20
Temperatura	°C	16,10	18,50	19,30
Nitritos	mg/l	0,003	0,03	0,03
Nitratos	mg/l	0,40	4,30	4,30
Alcalinidad total	CaCO <sub>3</sub>	1,00	9,00	12,00
Cloruros	mg/l	0,80	5,60	4,30
Dureza total	CaCO <sub>3</sub>	14,00	49,00	38,00

Al graficar estos valores (Figura 8), es evidente una mayor concentración en todos los parámetros, con excepción de la alcalinidad total, en la primera lluvia, y su consecuente disminución para la segunda lluvia.

El pH del A.L.L. sin contacto tiende a ser ligeramente ácida, al ser menor que 5.6, según la clasificación del IDEAM (s.f), pero por su contacto con las superficies de escorrentía aumenta a valores superiores a 8, no requiriéndose la neutralización de su acidez en el tratamiento convencional.

La presencia de alta concentración de coliformes fecales además del proceso de desinfección riguroso, antecedido por la clarificación con coagulantes para remover turbiedad y con ello micro-organismos, implica concientización social en la comunidad de la microcuenca urbana para un cambio cultural y ambiental respecto al manejo y disposición final de excretas de animales domésticos, especialmente de las mascotas para evitar que se contaminen las superficies de contacto del A.L.L.

**Figura 8. Comparativo de la concentración de contaminantes en A.L.L. sin contacto de superficies y las dos muestras en la microcuenca urbana**



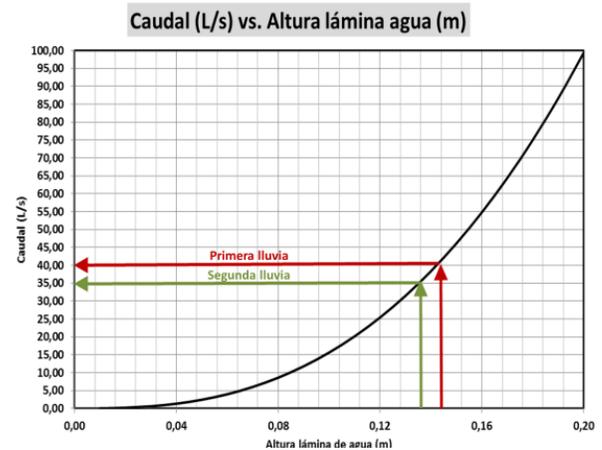
La cantidad de agua que podría recolectarse en la microcuenca urbana depende de las condiciones de intensidad, frecuencia y duración de la lluvia.

Para el caso específico del sumidero del sitio de recolección escogido, se realizó mediante el aforo de caudal en la cuenca existente y que descarga en este, con sección transversal triangular, pendiente longitudinal (I) de 2.4%, pendiente transversal (z) de 1.5 y revestimiento en concreto (coeficiente de Manning  $n=0.012$ ).

El cálculo de caudal se realizó cada centímetro de altura de la cuneta para obtener la curva descrita en la Figura 9. Para el caso de la primera lluvia del 24 de junio de 2014, la altura promedio medida en la cuneta fue de 0.14 m, valor

que corresponde a un caudal de 40 l/s, y la segunda de 0.13 m, para un caudal de 35 l/s. Si se tiene en cuenta que en la microcuenca urbana existen 16 sumideros adicionales al recolector escogido, en los cuales también se está captando A.L.L., el caudal que aporta la microcuenca es considerablemente mayor al calculado.

**Figura 9. Curva de caudal vs. altura de lámina de agua para cuneta del sumidero recolector**



De acuerdo con las concesiones de agua otorgadas al sistema de acueducto urbano de Ibagué por la Corporación Autónoma Regional del Tolima – CORTOLIMA, el río Combeima provee 1860 l/s (IBAL, 2008) y es la principal fuente de abastecimiento que, en una posible suspensión del servicio por elevadas concentraciones de turbiedad por eventos de lluvia, podría ser suplida por varias microcuencas urbanas en similares condiciones a la evaluada, aprovechando la altimetría de algunas comunas de la ciudad.

Esta sería una opción técnica viable que contribuiría como fuente alterna inagotable y barata a la problemática de falta de abastecimiento humano urbano que aqueja a Ibagué. Considerando que el sumidero recolector captó entre 35 y 40 l/s en las lluvias del 24 de junio de 2014, se necesitarían entre 45 y 55 sumideros en similares condiciones para completar los 1860 l/s que suministra el río Combeima, lo cual es factible teniendo en cuenta que en la microcuenca urbana escogida existen 17.

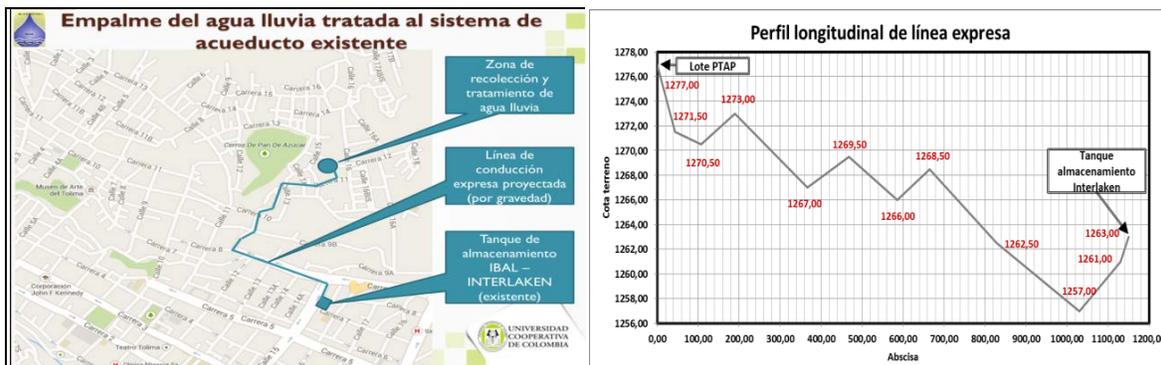
La capacidad de captación de caudal en la microcuenca urbana escogida puede incrementarse a partir del aprovechamiento de la infraestructura existente, mediante la proyección de un colector que interconecte los 17 sumideros existentes, como se indica en la Figura 10, para descargar en el sitio donde se proyecta la PTAP.

**Figura 10. Proyección de colector interceptor para 17 sumideros de aguas lluvias de la microcuenca urbana (Moyano et al., 2015)**



La favorabilidad de la microcuenca urbana definida también se da por su altimetría, la cual permite entregar el caudal de agua captado a la actual red de distribución del acueducto urbano, específicamente al tanque de almacenamiento ubicado en el barrio Interlaken (calle 16 con carrera 7), mediante una línea expresa localizada por vías públicas para no afectar predios privados que puedan dificultar la realización del proyecto, como se describe en la Figura 11, la misma que además incluye el perfil longitudinal que muestra las diferencias de cotas a lo largo de la misma.

**Figura 11. Proyección de la línea expresa entre el lote para la PTAP y el tanque de almacenamiento del barrio Interlaken existente (Moyano et al., 2015)**



## V. CONCLUSIONES

El uso de agua lluvia en la zona urbana de Ibagué, mediante la microcuenca escogida, es una alternativa viable desde las perspectivas técnica, económica, ambiental y social, que permite su utilización para obtener agua apta para consumo humano, previo tratamiento.

Comparativamente con otras soluciones de captación de agua, como pueden ser superficiales o subterráneas, esta solución plantea la reducción de infraestructura, lo que redundaría en una menor inversión; su aprovechamiento implica mejoras en el control del ciclo hídrico en el entorno urbano, previniendo la ocurrencia de avenidas e inundaciones; se minimiza la desertización y escasez de agua en la región mediante la utilización potencial de un recurso natural local barato, abundante y de fácil acceso; se favorece el desarrollo de una nueva cultura del agua, al estar implicada la población en el establecimiento de cambios sociales, de carácter cultural, para mejorar la calidad del agua, además del favorecimiento en el desarrollo sostenible.

Esta propuesta técnica no solo resolvería el problema de desabastecimiento en época de lluvia, sino que

amortiguaría las implicaciones que conlleva el transporte de agua lluvia mediante sistemas de alcantarillado proyectados como sanitarios, ocasionándole daños en los mismos al copar su capacidad hidráulica en cualquier evento de lluvia, poniendo en riesgo su estabilidad y causando daños en la infraestructura vial y en las edificaciones, además de contaminar una fuente de origen natural con buenas condiciones de calidad al mezclarla con aguas residuales.

Se definió la contaminación microbiológica como la más álgida, debido a los altos valores de contaminantes fecales, especialmente por animales que depositan sus excretas en el espacio público, y que por efecto del agua lluvia indefectiblemente se incorpora como contaminante. La costumbre de pasear mascotas es parte de la vivencia cultural de esta comunidad, sin que se tomen medidas de mitigación por sus deposiciones, tal y como se pudo constatar en las visitas de campo realizadas. Sumado a ello se tiene la presencia de animales callejeros en la zona de estudio que aprovechan las áreas verdes de los cerros noroccidentales donde consiguen su alimento, pernoctan sin ningún control. En general no se presentan fuentes contaminantes de alto impacto en la zona de estudio que

atente contra la calidad del agua lluvia, pero existen algunos focos que pueden ser controlados puntualmente para mejorar las condiciones de calidad físico-química del agua.

El depósito de residuos sólidos en vías y zonas públicas, como efectivamente se evidenció en algunos sectores donde existen lotes sin construir, aportan sedimentos que al incorporarse al agua de escorrentía aumentan la turbiedad y color.

Los materiales de construcción acopiados en zonas de influencia del agua lluvia, es otra fuente de contaminación. Además de su control, es posible el establecimiento de trampas de sedimentación en cunetas para evitar su transporte en el agua. La apropiación cultural del espacio público por parte de la comunidad, permitirá mitigar en gran escala la posible presencia de este tipo de contaminantes en el agua de escorrentía.

El caudal de diseño de la planta de tratamiento se definirá dependiendo de la capacidad de recolección de agua lluvia en el sector, que para el caso específico del proyecto, y de acuerdo con los dos periodos de lluvia del 24 de junio de 2014, podría ser de 40 l/s, pero con posibilidades de incrementarlo mediante la concurrencia de otros sumideros de aguas lluvias existentes o por periodos más largos de tiempo de lluvia.

## VI. REFERENCIAS

- Adler, I., Carmona, G., & Bojalil, J. (2008). *Manual de Captación de Aguas de Lluvia para Centros Urbanos*. México: PNUMA / International Renewable Resources Institute.
- Agenda Ambiental del Municipio de Ibagué - Resumen ejecutivo. Junio 2002. Ibagué, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Tolima [Cortolima] & Alcaldía de Ibagué.
- Arroyave, J., Díaz, J., Vergara, D., & Macías, N. (2011). Evaluación económica de la captación de agua lluvia como fuente alternativa de recurso hídrico en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. *Producción + Limpia*, 6(1), 76-84.
- Bravo, A H., Sosa, R., & Torres, R. (1991). Ozono y lluvia ácida en la Ciudad de México. *Ciencias*, 22, 33-40.
- Córdova, F. & López, E. (2013). Evaluación Tecnológica de dispositivos integrados de naturación y captación pluvial en la vivienda de México. *Arquitectura y Urbanismo*, 34(1), 48-63.
- Cortes, M., Hdez., C., Guerrero, C., & Vega, R. Captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. *Kukulkab*, 17(33), 73-75.
- Decreto 3930 (2010, octubre 25). *Diario Oficial No. 47837*. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional.
- Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado [IBAL]. E.S.P. (2008). *Monitoreo de cuencas hidrográficas y fuentes de abastecimiento*. Recuperado de: <http://www.ibal.gov.co/proyectos/44monitoreocuecas.htm>
- Empresas Municipales de Cali, EICE ESP [Emcali]. (2005). *Manual de operación planta Puerto Mallarino* [Código MO-PM-01]. Cali, Colombia: Emcali.
- Garcés, L. & Hernández, M. (2004). La lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(2), 67-72.
- Harker, H. & Perdomo, S. (2012). Primer censo: Centro de Actividad Física Sistemática desarrollado en el Municipio de Ibagué 2011. *EFDeportes.com, Revista Digital*, 16(165), [en línea]. Recuperado de <http://www.efdeportes.com/efd165/primer-censo-actividad-fisica-sistemica-ibague-01.jpg>
- Instituto Boliviano de Normalización y Calidad IBNORCA (2007). Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros. Tercera revisión - ICS 13.060.30 - Aguas residuales. Ministerio del Agua, Viceministerio de Servicios Básicos de Bolivia. Abril 2007.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] (s.f). *La química de la lluvia acida*. Recuperado de: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/83>
- Kawamura, S. (2000). *Integrated design and operation of water treatment facilities* [2a ed.]. New York, NY: John Wiley & Sons.
- Llopert, A., Gil, A., Martínez, M., Puertas, J., Suárez, J., Del Río, H., & Paraira, M. (2010). Caracterización analítica de las aguas pluviales y gestión de las aguas de tormenta en los sistemas de saneamiento [Jornadas Técnicas, Ponencia 112]. Murcia, España: ESAMUR. Recuperado de <http://esamur.com/jornadas/ponencias/ponencia112.pdf>
- Mbugua, J. (2002). Artificial recharge. En *Small community water supplies. Technology people and partnership* [Technical Series, Paper No. 40], (pp. 129-149). Delft, Netherlands: IRC.
- Montt, J., Rivera, P., Fernández, B., & Valenzuela, R. (2003). *Caracterización de la calidad de las aguas lluvias urbanas de Santiago* [ponencia en XVI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. Santiago, noviembre de 2003.
- Moyano, Y., Galeano, R., & Ospina, O. (2015). *Sistema integral de aprovechamiento de agua lluvia en zonas urbanas – SINALZU* [tesis]. Universidad Cooperativa de Colombia: Ibagué, Colombia.
- Ospina-Zúñiga, Ó.E. & Ramírez-Arcila, H. (2014). Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 129-142. doi: 10.16925/in.v9i17.812.
- Pacheco, 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 Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, (3), 39-57.
- Pacheco, M. (2009). *La gestión del agua lluvia y la reducción de riesgos urbanos*. Recuperado de <http://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/margarita-pacheco.pdf>
- Palacio, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la

- institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia.  
*Gestión y Ambiente*, 13(2), 25-40.
- Pérez, C., Gassmann, M., Righetti, S., Tonti, N., Covi, M., ... & Baumgardner, D. (2012). *Análisis físico-químico del agua de lluvia en Buenos Aires y condiciones meteorológicas asociadas* [ponencia en Congreso Argentino de Meteorología 2012, Mendoza, Argentina. Buenos Aires, Argentina: FCEN, UBA, CONICET.
- Resolución 1096 de 2000 - Ministerio de Desarrollo Económico [Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico, RAS] (2000, noviembre 19). *Diario Oficial No. 44242*. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional.
- Resolución 2115 - Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007, junio 22). *Diario Oficial No. 46679*. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional.
- Rojas, M., Gallardo, J., & Martínez, A. (2012). Implementación y caracterización de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. *D.R. © TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 15(1), 16-23.
- Rosatto, H., Villalba, G., Rocca, C., Meyer, M., Bargiela, M., ... & Caso, C. (2013). Eficiencia en la retención del agua de lluvia de cubiertas vegetadas de tipo "extensivo" e "intensivo". *Rev. FCA UNCUYO*, 45(1), 169-183.
- Sánchez, L. & Caicedo, E. (2003). Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible. Uso del agua lluvia en la Bocana, Buenaventura.
- Torres, A., Méndez, S., Lara, J., Estupiñán, J., Zapata, H., Torres, O. (2012). Hacia equipamientos urbanos sostenibles: aprovechamiento de aguas lluvias en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 5(9), 124-141.
- Torres, A., Méndez, S., López, L., Marín, V., González, J., ... & Ruiz, A. (2011). Calidad de aguas lluvias sobre tejados. Evaluación preliminar de la calidad de la escorrentía pluvial sobre tejados para su posible aprovechamiento en zonas periurbanas de Bogotá. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 14(1), 127-135.

## CURRÍCULOS

*Oscar Efrén Ospina Zúñiga*. Ingeniero Civil, Magister en Gestión Ambiental. Profesor Investigador del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Ibagué.

*Yuri Caterine Moyano Díaz*. Estudiante Ingeniería Civil de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Ibagué.