

Calidad del agua lluvia

Rainwater quality

JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS¹ - IVÁN CAMILO ANDRADE SANTANA² - FELIPE NICOLÁS MORA RUSINQUE³

1. Ingeniero civil. MEEE. Profesor titular. Escuela Colombiana de Ingeniería.

2. Ingeniero civil. Escuela Colombiana de Ingeniería.

3. Ingeniero civil. Escuela Colombiana de Ingeniería.

jairo.romero@escuelaing.edu.co - ing.camiloandrade@gmail.com - felipenicolasm@yahoo.com

Recibido: 22/01/2013 Aceptado: 15/02/2013

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Resumen

Para aprovechar el agua lluvia como fuente alterna es necesario conocer su calidad. En este artículo se presentan resultados de evaluación de calidad del agua lluvia, medida por su pH, alcalinidad, acidez, dióxido de carbono (CO₂), dureza, turbidez, color, conductividad, absorción ultravioleta (AUV), demanda química de oxígeno (DQO) y conteo de coliformes. Se encontró que todos los parámetros de calidad del agua lluvia analizados cumplen con la norma colombiana de agua potable, con excepción de pH, turbiedad, color y conteo de coliformes. Los análisis indican que la calidad del agua lluvia depende de la captación, así como del periodo y recorrido en el ambiente⁽¹⁾.

Palabras claves: agua lluvia, calidad del agua, reúso de agua.

Abstract

The harnessing of rainwater as an alternative resource requires the knowledge of its quality. This article evaluates rainwater quality parameters such as pH, alkalinity, acidity, carbon dioxide, hardness, turbidity, color, conductivity, ultraviolet absorption, chemical oxygen demand and coliform count. It was observed that all the parameters of rainwater quality measured were within the permissible limits specified in the Colombian drinking water standard with the exception of pH, turbidity, color and coliform count. The analysis showed that the quality of rainwater depends on the conditions of the catchment and the period and way of its transportation⁽¹⁾.

Keywords: rainwater, water quality, reuse of water.

INTRODUCCIÓN

El agua lluvia es un componente que forma parte del ciclo hidrológico y alimenta la escorrentía superficial, subsuperficial y subterránea. Los sistemas de captación de agua lluvia interceptan el fluido antes de continuar en el ciclo natural para su aprovechamiento en múltiples usos. El empleo de este tipo de sistemas se caracteriza por la recolección, concentración y almacenamiento del agua que corre por una superficie natural o artificial hecha por el hombre. Se trata de un recurso que debe ser considerado dentro del abanico de opciones planeadas para el mejoramiento o la ejecución de un sistema de suministro de agua en una comunidad.

En las ciudades de Barcelona, Santiago de Compostela y La Coruña se realizó una caracterización de las aguas pluviales (figura 1) desde su precipitación o primer contacto con la superficie (lluvia urbana); su paso por los tejados (escorrentía de tejado); su paso por la superficie de la ciudad (escorrentía superficial urbana); en caso de haberlos, su entrada en sistemas de Tedus (técnicas de drenaje urbano sostenible); su entrada en colectores (alcantarillado pluvial y alcantarillado sanitario) e instalaciones asociadas (tanques de tormenta)⁽²⁾.

El estudio comprendió un total de 17 puntos de control representativos de zonas urbanas y de unos 60 episodios de lluvia, en los que se analizan más de 100 parámetros (microbiológicos, indicadores de sólidos, nutrientes, indicadores de salinidad, materia orgánica, metales, disolventes clorados, fármacos, pesticidas y otros parámetros). Del estudio de Llopard-Mascaro⁽²⁾

se destacan las siguientes conclusiones: en cuanto a contaminación microbiológica, las concentraciones de *Escherichia coli* y enterococos intestinales aumentan a escala logarítmica, en varios órdenes de magnitud, al avanzar en el recorrido urbano del agua lluvia; a medida que se avanza en el recorrido del ciclo urbano del agua lluvia, el volumen de agua que se puede captar es mayor, aunque también es mayor su carga contaminante; para una valorización o aprovechamiento del agua pluvial, cuanto más avanzado se encuentre el punto de captación dentro del ciclo, más necesarias son las técnicas de minimización o de tratamiento de esta contaminación.

Del estudio llevado a cabo por la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica de los diferentes parámetros físico-químicos del agua lluvia⁽³⁾, en doce lugares de Santiago, durante siete tormentas del invierno del 2001, se destaca que en todos los eventos se observó gran variabilidad en la concentración de los contaminantes durante el transcurso de la tormenta, con los valores más altos, casi siempre, para los diez primeros milímetros de lluvia (figura 2).

En un análisis hecho de la calidad del agua lluvia en La Bocana de Buenaventura se hallaron coliformes fecales en los tanques, situación causada por la falta de cubrimiento de los tanques y por la ausencia de desinfección. Sin embargo, el agua lluvia, antes de interceptar el techo, no presentó riesgo microbiológico. El estudio determinó que el agua lluvia se usa y es aceptada por la comunidad de La Bocana; el 83 % de las viviendas la utilizan en diferentes formas: agua lluvia sola (27 %),

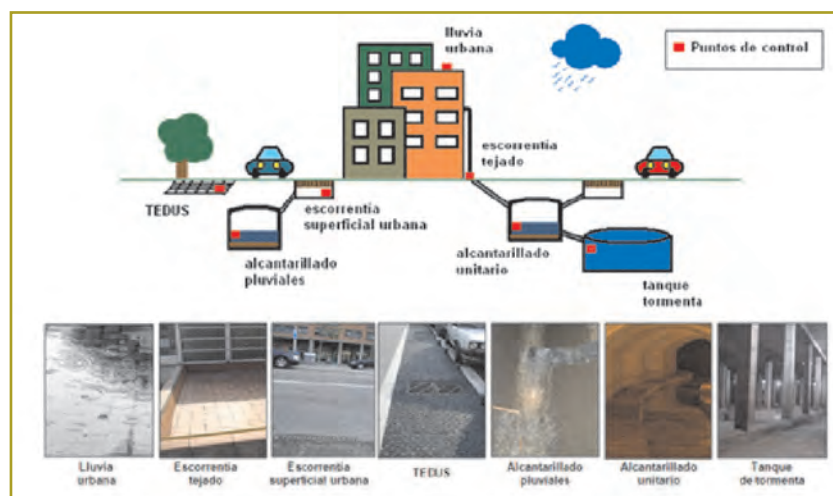


Figura 1. Puntos de control en el recorrido del agua lluvia⁽²⁾.

agua lluvia-acueducto (42 %), agua lluvia-acueducto-río (7 %), agua lluvia-aljibe (2 %). El agua lluvia se emplea para consumo doméstico, lavado de ropa, alimentos y aseo personal. Esta técnica ha garantizado la satisfacción de la demanda básica de la comunidad, dado que el sistema entubado no ha cumplido con el nivel de servicio esperado. Las precipitaciones son suficientes en cantidad y calidad para el suministro, aunque existen limitaciones para un mejor aprovechamiento por deficiencias en el área de techos y en la capacidad de los tanques de almacenamiento⁽⁴⁾.

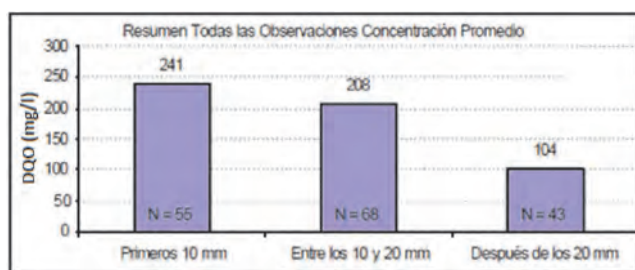


Figura 2. Variación de DQO durante una tormenta⁽³⁾.

Caracterizaciones de aguas lluvias llevadas a cabo por Méndez⁽⁵⁾ y Kim⁽⁶⁾ se muestran a renglón seguido (tabla 1).

Tabla 1
Características de las aguas lluvias^(5,6)

	Méndez	Kim
pH	5,8 - 6,9	6,3 - 6,7
Conductividad $\mu\text{s/cm}$	9 - 102	54 - 37
Turbiedad	5 - 35	0,8 - 1,4
SST mg/L	10 - 150	1,2 - 1,7
NO_3 mg/L	0 - 4,7	2,8 - 3,1
COT mg/L	-	1,1 - 1,3
CT, UFC/100 mL	64 - 1367	5000 - 10.000
CF UFC/100 mL	1 - 253	-

Las aguas procedentes de escorrentía superficial, de sistemas de drenaje pluvial, presentan un grado de contaminación no despreciable, dependiendo de su exposición a las posibles fuentes de contaminación (tabla 2).

METODOLOGÍA

Las muestras de agua lluvia atmosférica, agua sin ningún contacto adicional, se tomaron del techo del edificio F de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Las muestras de agua lluvia del tejado son de agua de la caja de recolección de agua lluvia del techo del edificio F, tomadas en la parte baja del edificio F, donde descarga la red de agua lluvia. Las muestras se almacenaron y analizaron de acuerdo con las especificaciones de los métodos estándar⁽⁷⁾.

RESULTADOS

Oferta de agua

La precipitación promedio mensual en la zona de estudio, tomada de la estación de Guaymaral, de la Secretaría de Ambiente del Distrito Capital, ubicada en la Escuela Colombiana de Ingeniería, ignorando la evaporación, se presenta posteriormente (tabla 3 y figura 3). Los datos analizados muestran que el mes más lluvioso del año es octubre, con valores promedio superiores a los 104 mm/mes y que el mes más seco es enero, con un valor promedio de 23 mm/mes.

Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitación; el material del techo; una pérdida por evaporación del 20 % anual a causa de la textura del material del techo, de las pérdidas en las canaletas, del almacenamiento y de la ineficiencia del sistema de captación, distribuida uniformemente durante los doce meses del año; un coeficiente de escorrentía superficial

Tabla 2
Fuentes principales de contaminación⁽²⁾

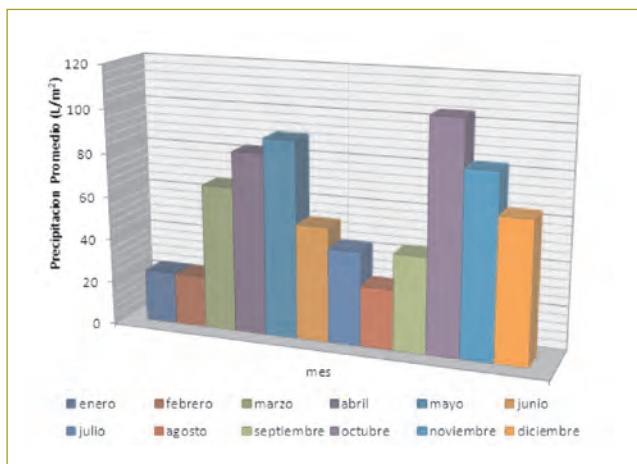
Categoría	Punto de control	Fuentes principales de aportes de contaminación
Carga contaminante baja	Lluvia urbana	Contaminación atmosférica: combustiones incompletas originadas por el tráfico rodado, sistemas de calefacción, actividad industrial, etc.
	Escorrentía superficial	Lavado de la superficie de tejado: arrastre de sedimentos depositados en la superficie de tejado durante el tiempo seco y corrosión de los materiales del propio tejado.

de 0,83⁽⁸⁾ y el área superficial del techo del edificio F de 170 m², se calculan las ofertas mensuales de agua de la tabla 4.

Tabla 3

Precipitación promedio mensual, periodo 1998 - 2010

Mes	Precipitación (mm/mes)	Mes	Precipitación (mm/mes)
Enero	23	Julio	42
Febrero	23	Agosto	27
Marzo	66	Septiembre	43
Abril	82	Octubre	104
Mayo	89	Noviembre	83
Junio	52	Diciembre	64
Promedio anual	59		

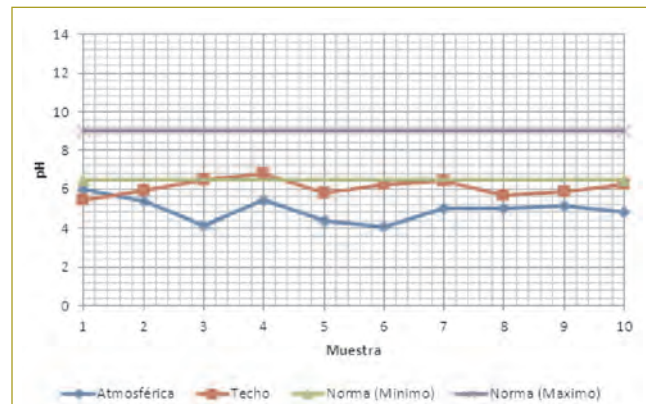
**Figura 3.** Precipitación promedio mensual, periodo 1998 - 2010.**Tabla 4**Oferta mensual de agua en m³

Mes	m ³	Mes	m ³
Enero	3,28	Julio	5,94
Febrero	3,25	Agosto	3,81
Marzo	9,21	Septiembre	6,05
Abril	11,48	Octubre	14,49
Mayo	12,43	Noviembre	11,55
Junio	7,26	Diciembre	8,93

CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Las características del agua lluvia atmosférica y del agua lluvia del tejado determinadas (pH, turbiedad, color, dureza, conductividad, AUV, DQO, CF, alcalinidad acidez y CO₂) se presentan más adelante (tablas 5 y 6).

El pH (figura 4) del agua lluvia atmosférica es de 4,9 ± 0,5 y el del agua lluvia de tejado 6,1 ± 0,4, valores inferiores al de la norma para agua potable colombiana⁽⁹⁾. El incremento del pH en el agua lluvia del tejado puede originarse en el contacto con los depósitos de sedimentos en el tejado que, al parecer, introducen un aumento en la alcalinidad. Los valores de pH son consecuentes con los valores encontrados en la bibliografía^(5,6).

**Figura 4.** pH del agua lluvia según su origen.

La alcalinidad presente en todas las muestras tomadas es causada por bicarbonatos. Las muestras atmosféricas exhiben una alcalinidad menor que las de tejado, exceptuando la última muestra; con valores entre 6 y 26 mg/L - CaCO₃ y un promedio de 14 mg/L - CaCO₃. Las muestras de tejado indican una alcalinidad entre 12 y 32 mg/L - CaCO₃ y un valor promedio de 17 mg/L - CaCO₃. Los valores observados de alcalinidad cumplen la norma colombiana para agua potable⁽⁹⁾. El incremento de la alcalinidad en el agua lluvia del tejado puede originarse en el contacto con depósitos de sedimentos del tejado.

Las muestras atmosféricas exhiben una acidez muy variable, con valores entre 4 y 20 mg/L CaCO₃ y un promedio de 10 ± 5 mg/L CaCO₃. Las muestras de tejado indican una acidez entre 8 y 14 mg/L CaCO₃ y un valor promedio de 11 ± 2 mg/L CaCO₃. La causa de acidez es CO₂, como resultado de la disolución de dióxido de carbono atmosférico, debido a que el único contacto que tiene es con la atmósfera⁽¹⁰⁾.

Las muestras atmosféricas exhiben valores de CO₂ entre 3 y 17 mg/L - CO₂ y un promedio de 9 ± 4 mg/L - CO₂ mientras que las de tejado presentan valores entre 7 y 12 mg/L - CO₂ y un promedio de 10 ±

Tabla 5
Calidad del agua lluvia atmosférica

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio	Intervalo	
Turbiedad (UNT)	7,1	7,2	4,6	2,1	3,8	6,4	6,7	7,8	3,2	4,3	5,4	± 1,9	2,1
Color (UPC)	30	20	25	10	10	10	10	10	15	10	15	± 7	10
pH	6	5,4	4,1	5,5	4,4	4,1	5	5	5,2	4,8	5,0	± 0,6	4,10
Dureza mg/L - CaCO ₃	24	10	20	32	20	20	20	20	16	24	21	± 5	10
Conductividad (µs/cm)	16	20	10	16	20	14	11	12	18	22	16	± 4	10
AUV (cm ⁻¹)	0,04142	0,03105	0,02575	0,02125	0,06415	0,03455	0,06555	0,03735	0,02455	0,02975	0,0375	± 0,0148	0,02
DQO - mgO ₂ /L	3,2	12,8	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	9,6	6,4	5,12	± 3,26	3
Coliformes fecales (UFC/100 mL)	10	30	16	40	30	60	38	18	42	73	36	± 19	10
Alcalinidad mg/L - CaCO ₃	24	8	6	12	12	12	10	10	22	26	14	± 7	6
Acidez mg/L - CaCO ₃	16	4	6	14	10	4	8	6	16	20	10	± 5	4
CO ₂ mg/L	14	4	5	12	9	4	7	5	14	18	9	± 5	4

Tabla 6
Calidad del agua lluvia del tejado

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio	Intervalo	
Turbiedad (UNT)	5,8	2,6	3,5	6,0	3,0	4,9	5,4	4,0	3,0	5,4	4,4	± 1,2	2,6
Color (UPC)	30	20	20	20	25	20	20	30	20	25	23	± 4	20
pH	5,5	5,9	6,5	6,8	5,8	6,2	6,4	5,7	5,8	6,3	6,1	± 0,4	5,5
Dureza mg/L - CaCO ₃	24	16	28	14	18	28	16	30	16	18	21	± 6	14
Conductividad (µs/cm)	51	25	27	23	23	25	25	24	26	22	27	± 8	22
AUV (cm ⁻¹)	0,017742	0,02911	0,01355	0,01415	0,02141	0,01454	0,01836	0,02155	0,01741	0,01878	0,0187	± 0,0044	0,01
DQO - mgO ₂ /L	3,2	3,2	6,4	6,4	6,4	3,2	6,4	6,4	3,2	6,4	5,12	± 1,57	3
Coliformes fecales (UFC/100 mL)	24	42	38	52	42	74	46	26	54	76	47	± 17	24
Alcalinidad mg/L - CaCO ₃	32	12	28	18	12	16	16	14	16	12	18	± 7	12
Acidez mg/L - CaCO ₃	10	13	12	8	14	10	14	14	12	8	12	± 2	8
CO ₂ mg/L	9	11	11	7	12	9	12	12	11	7	10	± 2	7

1mg/L - CO₂, valores que cumplen con la norma de agua potable colombiana⁽⁹⁾.

Los valores de conductividad del agua lluvia atmosférica varían entre 10 y 22 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un promedio de $16 \pm 4 \mu\text{S}/\text{cm}$, y entre 22 y 51 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un promedio de $27 \pm 8 \mu\text{S}/\text{cm}$, en el agua de tejado, dejando en evidencia que la calidad del agua se deteriora con el incremento de su recorrido (figura 5). Los valores obtenidos de conductividad, tanto en las muestras del tejado como en las atmosféricas, cumplen con la norma vigente de calidad del agua potable colombiana.

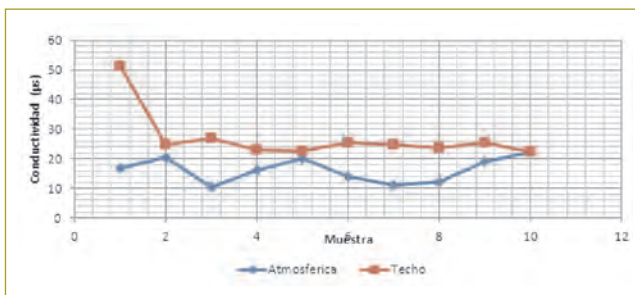


Figura 5. Conductividad del agua lluvia.

El color del agua lluvia (figura 6) oscila entre 10 y 30 UPtCo, con un promedio de $15 \pm 7 \text{UPtCo}$ en el agua atmosférica, mientras que en las muestras del tejado los valores oscilan entre 20 y 30 UPtCo, con un valor promedio de $23 \pm 4 \text{UPtCo}$, valores similares a los obtenidos por Montt et al. en las aguas de Santiago de Chile (3), que no cumplen en todos los casos con la norma colombiana para agua potable⁽⁹⁾.

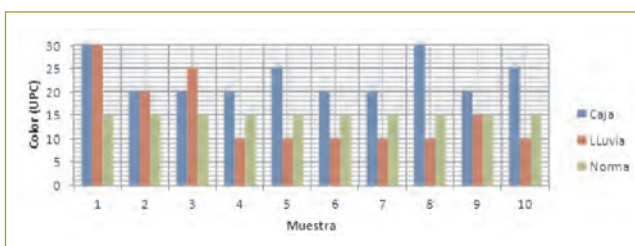


Figura 6. Color del agua lluvia.

Se obtuvieron valores de turbiedad para las muestras atmosféricas entre 2 - 7 UNT, con un promedio de $5,3 \pm 1,8 \text{UNT}$, y para muestras del tejado valores muy similares, entre 2 - 6 UNT, con un promedio de $4,3 \pm 1,2 \text{UNT}$, que no cumplen con la norma para agua potable colombiana⁽⁹⁾.

La dureza de las muestras atmosféricas oscila entre 10 y 32 mg/L CaCO₃, con un valor promedio de $20 \pm 5 \text{mg/L CaCO}_3$; para las muestras de tejado entre 14 y 30 mg/L CaCO₃, con un valor promedio de $20 \pm 5 \text{mg/L CaCO}_3$. Todos los valores de dureza cumplen ampliamente con el límite establecido en la norma colombiana de agua potable de 300 mg/L - CaCO₃⁽⁹⁾. Dichos valores indican que el agua lluvia analizada es un agua blanda, de dureza carbonácea⁽¹⁰⁾.

Las muestras de agua lluvia atmosférica arrojaron valores de DQO entre 3 y 12 mg O₂/L, con un promedio de $5 \pm 3,2 \text{mg O}_2/\text{L}$; las de tejado, valores entre 3 y 6 mg O₂/L, con un promedio de $5 \pm 1 \text{mg O}_2/\text{L}$, que indican concentración orgánica baja y agua de muy buena calidad.

La AUV puede usarse para cuantificar compuestos orgánicos tales como sustancias húmicas, alifáticas y aromáticas, que absorben fuertemente la radiación ultravioleta, para correlación con variables como el color, el contenido de carbono orgánico, los precursores de trihalometanos y otros subproductos de la desinfección. En la práctica se ha encontrado que valores por debajo de 0,04 cm⁻¹ son un indicador de que el agua tiene un contenido mínimo de COT, es decir, que son aguas de excelente calidad⁽¹⁰⁾.

En las muestras de agua lluvia analizadas se encontraron valores de AUV desde 0,02 cm⁻¹ hasta 0,06 cm⁻¹ (figura 7), que confirman los resultados observados de DQO (figuras 8 y 9) e indican que la calidad del agua analizada es excelente desde el punto de vista orgánico.

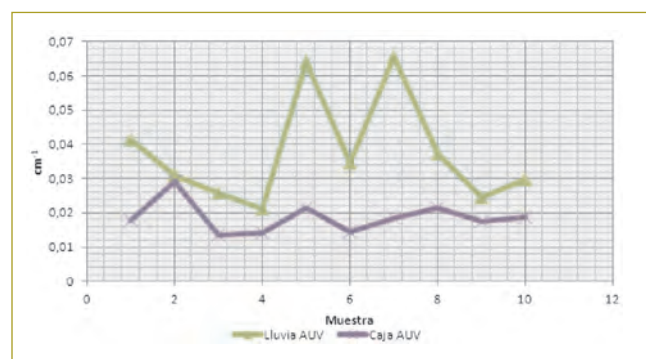


Figura 7. AUV del agua lluvia.

En todas las muestras de agua lluvia analizadas no se observó existencia de coliformes fecales. Sin embargo, se encontraron conteos de coliformes totales para las muestras atmosféricas, entre 10 y 73 UFC/100 mL, con

un valor promedio de 36 ± 19 UFC/100 mL, y para las muestras del tejado entre 24 y 76 UFC/100 mL, con un valor promedio de 47 ± 17 UFC/100 mL (figura 10), valores que no cumplen con la norma colombiana para agua potable⁽⁹⁾.

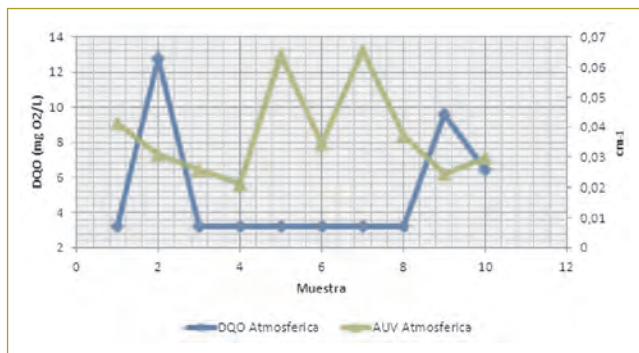


Figura 8. DQO y AUV del agua lluvia atmosférica.



Figura 9. DQO y AUV del agua lluvia del tejado.

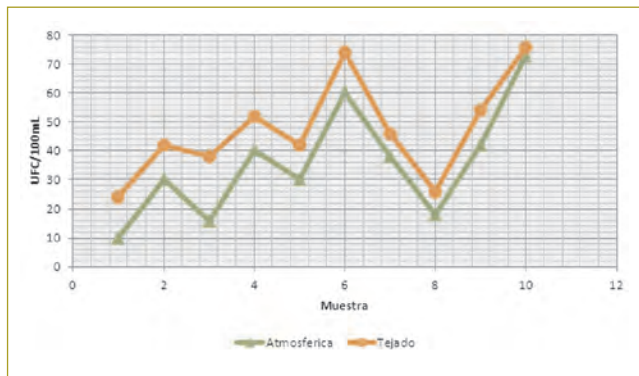


Figura 10. Coliformes totales del agua lluvia.

En la figura anterior (figura 10) se observa claramente que las muestras atmosféricas tienen valores de CT menores que las de tejado, pero también se hace

evidente que el aporte del tejado no es significativo y es proporcionalmente similar en todos los muestreos. Los valores son mayores en tormentas de larga duración, que corresponden a los eventos 6 y 10. La presencia de CT en el agua lluvia puede estar asociada con su existencia en los sólidos suspendidos en el ambiente y con su disolución y precipitación durante los eventos de lluvia.

REÚSO

La factibilidad de reutilizar el agua lluvia depende de los criterios de calidad establecidos para cada uso, del costo que represente su aprovechamiento y de la necesidad y aceptación de los usuarios; en la actualidad no existen normas específicas de calidad para reutilización de aguas.

En la tabla 7 se resumen los resultados de calidad de agua lluvia y se comparan con criterios sugeridos para su reutilización como agua potable, como agua para riego ambiental y para usos similares, como agua para lavado de vehículos y como agua para arrastre de residuos de sanitarios y de urinarios.

Como se puede observar, los parámetros analizados del agua lluvia no cumplen con los criterios sugeridos de pH, color y turbiedad para consumo humano, ni tampoco con los criterios sugeridos de turbiedad y CT para riego ambiental y usos similares, como lavado vehicular y descarga de sanitarios y urinarios (tabla 7).

CONCLUSIONES

El reúso del agua lluvia analizada, para riego ambiental, lavado de vehículos y descarga de sanitarios y urinarios es factible con tratamiento previo por filtración y desinfección.

El agua lluvia analizada podría emplearse como fuente de agua potable con tratamiento convencional por coagulación, filtración, desinfección y ajuste de pH.

La calidad del agua lluvia atmosférica y del tejado es sensiblemente similar.

Tabla 7
Resumen de resultados y criterios sugeridos de reúso^(9, 10, 11, 12)

Parámetro	Agua lluvia		Tipo de reúso	
	Atmosférica	Tejado	Agua potable	Todo tipo de riego ambiental (campos de golf, parques, cementerios) y lavado vehicular, descarga de sanitarios y urinales
Turbiedad, UNT	5,3	4,4	2	5
Color, UPtCo	15	23	15	-
pH	5	6,1	6,5 - 9,0	5 - 9
Alcalinidad, mg/L-CaCO ₃	14	18	200	-
Acidez, mg/L-CaCO ₃	10	12	200	-
CO ₂ , mg/L	9	10	-	-
Dureza, mg/L- CaCO ₃	21	21	300	-
Conductividad, μ S/cm	16	27	50 - 1000	1000
DQO, mg O ₂ /L	5	5	-	-
AUV, cm-1	0,038	0,019	-	-
CT, UFC/100 mL	36	47	0	0
CF, UFC/100 mL	0	0	-	0

REFERENCIAS

- Andrade, S.I.C. & Mora, R.F.N. (2011, diciembre). Análisis de calidad del agua lluvia. Trabajo dirigido en ingeniería civil. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, Centro de Estudios Ambientales.
- Llopard-Mascaro, A., Gil, A., Martínez, M., Puertas, J., Suárez, J., Del Río, H. et al. (2009). Caracterización analítica de las aguas pluviales y gestión de las aguas de tormenta en los sistemas de saneamiento. Barcelona.
- Montt, J.P. et al. (2003). Caracterización de la calidad de las aguas lluvias urbanas de Santiago. Santiago.
- Caicedo, E.Y. & Sánchez, L.D. (2000). Uso del agua lluvia en La Bocana - Buenaventura. Cali: Universidad del Valle, Instituto Cinara.
- Méndez, C. et al. (2011). The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. *Water Research*, 45, (5), pp. 2049-2059.
- Kim, M. et al. (2011). Stormwater quality and quantity in the urban environment. Auckland.
- APHA. AWWA. WEF (2011). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22.^a ed.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007). Resolución 2115 del 22 de junio de 2007.
- Romero Rojas, J.A. (2009). *Calidad del agua*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ministerio de Salud (1984). Decreto 1594 del 26 de junio.
- U.S. Environmental Protection Agency (2004). Guidelines for Water Reuse.