Cuaderno Activa
Revista científica de la Facultad de Ingeniería

Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua lluvia para los potenciales usos domésticos. Caso de estudio: Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia

Evaluation of the physicochemical and microbiological quality of rainwater for potential domestic uses. Case study: University Institution Colegio Mayor de Antioquia

Joan Amir Arroyave-Rojas [1], María Elena González-Duque [2], Carlos Andrés Medina-Restrepo [3]

Tipo de Artículo: investigación.

Recibido: 14/11/2023. Aprobado: 20/11/2024. Publicado: 00/00/0000

Resumen: El uso del agua está determinado por la disponibilidad y la calidad. Es importante buscar fuentes alternativas de agua, como la captación del agua lluvia. Por ello, se instaló un sistema piloto de cosecha de agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia y se evaluó la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua. El agua lluvia captada presentó un deterioro de la calidad fisicoquímica y microbiológica asociado al proceso de arrastre de partículas, y heces, que se presentan en los tejados; con turbiedad promedio de 3.82 UNT y pH promedio de 6.65. Para la alcalinidad y conductividad se encontraron valores similares a aguas claras. Los parámetros microbiológicos presentaron deterioro por la presencia de microorganismos como coliformes totales y fecales (*E. coli*), *Enterococcus faecales* y *Pseudomonas aeruginosa.* En conclusión, el agua lluvia captada presenta alteraciones en la calidad fisicoquímica y microbiológica similares a un agua natural con presencia de partículas y microorganismos.

Palabras clave: Calidad del agua lluvia, cosecha de agua lluvia, fuente alternativa de agua, aprovechamiento de agua lluvia, gestión ambiental.

Abstract. The use of water is determined by availability and quality. It is important to look for alternative sources of water, such as rainwater harvesting. A pilot rainwater harvesting system was installed at the I.U. Colegio Mayor de Antioquia and the physicochemical and microbiological quality of the water was evaluated. The collected rainwater presents a deterioration in the physicochemical and microbiological quality associated with the process of dragging particles and feces that appear on the roofs; with average turbidity of 3.82 NTU and average pH of 6.65. For alkalinity and conductivity, values like clear waters were found; The microbiological parameters show deterioration due to the presence of microorganisms such as Total and Fecal Coliforms (*E. coli*), *Enterococcus faecales* and *Pseudomonas aeruginosa*. In conclusion, the collected rainwater presents alterations in physicochemical and microbiological quality similar to natural water with the presence of particles and microorganisms.

Keywords: Rainwater quality, Rainwater harvesting, alternative water source, rainwater use, environmental management.

1 Magister en Desarrollo Sostenible. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Colombia, Medellín. Correo electrónico: joan.arroyave@colmayor.edu.co ORCID: 0000-0002-3827-5312

2 Especialista en Gestión Ambiental. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Colombia, Medellín. Correo: maria1.gonzalez@colmayor.edu.co ORCID: 0000-0002-3375-5026

3 Doctor en Estudios Organizacionales. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Colombia, Medellín. Correo: carlos.medina@colmayor.edu.co ORCID: 0000-0001-5967-602X

PREPRINT

[1] Autor correspondiente: Joan Amir Arroyave-Rojas. Mayor título: Magíster en Desarrollo Sostenible. Filiación institucional: Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: joan.arroyave@colmayor.edu.co

2 Autor correspondiente: María Elena González-Duque. Mayor título: Especialista en Gestión Ambiental. Filiación institucional: Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: maria1.gonzalez@colmayor.edu.co

[3] Autor correspondiente: Carlos Andrés Medina-Restrepo. Mayor título: Doctor en Estudios Organizacionales. Filiación institucional: Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: carlos.medina@colmayor.edu.co

PREPRINT

I. Introducción

El agua es uno de los recursos naturales renovables más importantes para el desarrollo de la humanidad; es el elemento fundamental para las funciones metabólicas de los seres vivos, la regulación hidrometeorológica, variabilidad climática, entre otras. Históricamente, la gestión del agua se ha enfocado sobre su calidad, haciendo prevención y tratamiento del grado de contaminación [1, 2, 3] que puede presentar un cuerpo de agua o un vertimiento [1, 4, 5].

El crecimiento de las urbes y el modo de construcción de las mismas conlleva a una significativa demanda de bienes y servicios ambientales [6] por la necesidad de suministrar alimentos, uso del suelo, energía, agua, entre otros [7, 8]. La construcción requiere y demanda suelo para su edificación y configuración, generando una mayor área construida, que altera la permeabilidad de las superficies, esto facilita la concentración en un menor tiempo de las aguas pluviales y dificulta el drenaje de estas [9, 10]. A medida que la ciudad avanza y crece, este tipo de problemáticas se agudizan por fenómenos severos de precipitación, esto asociado a la variabilidad climática que se presenta debido al cambio climático [11]. Provocan incremento en la precipitación, mayor escorrentía, avenidas torrenciales, inundaciones [10] y en algunos casos la anegación de las zonas bajas de las ciudades [12]. Sin embargo, realizando la captación del agua lluvia y valorando sus potenciales usos, se contribuye a disminuir este tipo de problemáticas [9], además de darle un valor agregado. De esta forma, se consiguen diferentes beneficios sociales y económicos, al evitar pérdidas materiales y humanas por los fenómenos de vulnerabilidad y gestión del riesgo, y los beneficios económicos al emplear una fuente alternativa de agua de bajo costo [3, 13, 14], disminuyendo la demanda de bienes y servicios ambientales como el agua de los ecosistemas aledaños a la ciudad.

Los usos irracionales del agua conllevan a un sin número de impactos ambientales, desequilibrios ecológicos [15], pérdida de biodiversidad, problemáticas de deforestación y desertización, disminución de la oferta ambiental del recurso hídrico, contaminación de las fuentes de agua, entre otras problemáticas [7]. Aportar a mejorar el desempeño ambiental de las edificaciones [3], la disminución de los impactos ambientales y la demanda del recurso hídrico [14, 16], buscando posibles fuentes alternativas y programas de ahorro y uso eficiente de recurso hídrico [5, 7, 17, 18], puede reducir el suministro y abasto de agua potable [14, 19, 20], disminuir vertimientos de aguas servidas, costos económicos en las tarifas de los servicios públicos y potenciar una fuente alternativa de suministro de agua [5, 12, 14, 21, 22].

A partir de la reunión de Marrakech impulsada por la Organización de Naciones Unidas (ONU) se busca mejorar el desempeño ambiental de los sectores productivos, para lo cual se han desarrollado estrategias como la Producción Más Limpia – PML. Se ha trabajado sobre los temas de la ecoeficiencia, la contaminación y la acelerada pérdida de recursos naturales, lo que constituye un indicador de ineficiencias en la producción y en el uso de productos y servicios [14, 16]. En la medida en que estas ineficiencias sean evitadas a través de la instrumentación de alternativas preventivas, los sectores mejoran su desempeño ambiental, y al hacerlo obtienen beneficios económicos [3, 12, 14].

La construcción sostenible asociada a la normatividad nacional se define como el conjunto de medidas pasivas y activas en diseño y construcción de edificaciones, que permitan alcanzar los porcentajes mínimos de ahorro de agua y energía señalados en la resolución 0549 de 2015, encaminada al mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes y al ejercicio de actuaciones de responsabilidad ambiental y social [17].

Por otro lado, la construcción sostenible trata de alternativas de gestión ambiental, ingeniería, construcción y la arquitectura, para hacer estos procesos más amigables con el ambiente [3]. Propendiendo por hacer que las construcciones sean más eficientes en el uso y requerimiento de los recursos empleados para el desarrollo de las edificaciones y construcciones en general, además de buscar disminuir los impactos ambientales de las salidas del sistema como los Residuos de Construcción y Demolición – RCD´s, vertimientos, consumos energéticos, entre otros, para mejorar las condiciones de calidad de vida de las comunidades y la sociedad.

La captación de agua de lluvia es un medio fácil de obtener agua para consumo humano y/ o uso agrícola [5, 14, 21, 22]. En muchos lugares del mundo con alta o media precipitación en donde no se dispone de agua en cantidad y/ o calidad necesaria para consumo humano, se recurre al agua de lluvia como fuente de abastecimiento [5, 23]; el agua lluvia es interceptada, recolectada y almacenada en depósitos para su posterior distribución y empleo de acuerdo con los usos para los cuales se disponga. Hay investigaciones que plantean usos agrícolas, pecuarios, domésticos [14, 24, 25, 26, 27] y no domésticos [19, 28, 29, 31] del agua lluvia para sus diferentes aplicaciones, haciendo mayor énfasis en riego, procesos de limpieza, descarga de sanitarios y aseo general [12, 28, 29, 31]. Asimismo, existen tendencias a emplear el agua lluvia como fuente de abastecimiento.

En la cosecha del agua lluvia con fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie de la planta de techos para la captación, esto contribuye a minimizar la contaminación del agua por la cercanía para el consumo [5, 18]. Adicionalmente, los excedentes de agua pueden ser empleados en pequeñas áreas verdes para la producción de algunos alimentos que puedan

PREPRINT

complementar la dieta. La captación del agua para uso agrícola necesita mayores superficies de captación, por lo que se requiere de extensas superficies impermeables para recolectar la mayor cantidad posible de agua, todo esto asociado a una mayor demanda de agua dependiendo de los requerimientos de los cultivos que se desean abastecer por esta fuente [22].

A nivel mundial ha existido una preocupación por la calidad del agua para consumo, toda vez que la misma limita sus usos, en el caso de la fuente alternativa del agua lluvia, se presentan estudios que determinan la importancia de la contaminación fisicoquímica [14, 31] y la inocuidad de la misma para determinar su empleo [12, 32-36]. En zonas industriales y de ciudad se tienen concentraciones de diversos contaminantes que son arrastrados por la lluvia o la escorrentía que se presenta en las cubiertas de las edificaciones y que terminan disueltos o suspendidos en el agua.

La calidad del agua condiciona sus potenciales usos; a nivel mundial hay varias investigaciones que se enfocan en cuantificar la disponibilidad en la captación del agua lluvia [5,12]. Sin embargo, se vienen centrando en determinar la calidad del agua desde la perspectiva fisicoquímica con parámetros como pH, turbiedad, color, conductividad, sólidos disueltos, sólidos totales, sólidos suspendidos, alcalinidad, dureza, nitritos, nitratos, algunos metales de interés sanitario [5, 14, 25, 29] y contaminantes emergentes [28]. En los diferentes estudios han encontrado alteraciones en las concentraciones de algunos parámetros fisicoquímicos lo que limita su empleo [25, 29], pero contribuyen a conocer el estado de la calidad del agua lluvia en diferentes lugares. De igual forma, se ha estudiado la calidad microbiológica del agua lluvia recolectada mediante parámetro como coliformes totales, mesófilos, coliformes fecales, *enterococos fecales* y *pseudomonas aeruginosa* [14, 26, 28, 32, 35] encontrando deterioro por presencia de materia fecal en las cubiertas de las zonas evaluadas. Lo anterior dificulta el empleo del agua lluvia para consumo humano, determinando otro tipo de usos como descarga de baterías sanitarias, riego y actividades de limpieza [5,14, 28, 29].

Poder valorizar y emplear el agua lluvia como fuente alternativa de recurso hídrico contribuye a alcanzar las metas de algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS como son el sexto y onceavo ODS – Agua limpia y saneamiento y Ciudades y comunidades sostenibles.

II. Materiales y métodos

Para el desarrollo experimental se instaló un sistema piloto para la captación de aguas lluvias, con un área aferente de captación de agua lluvia, en una de las cubiertas de techo de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, correspondiente a 30 m^2; compuesto de dos tanques plásticos con una capacidad de 1000L cada uno, interconectados por una tubería de una pulgada de diámetro (Figura 1). La instalación se complementó llevando todos los bajantes de cuatro pulgadas de la red de agua lluvia a los reservorios [5]. La calidad de agua lluvia recolectada se evaluó de acuerdo a la metodología definida en los Análisis de Aguas y Aguas Residuales de los estándar métodos [37, 38] a la cual se le cuantificaron los parámetros de turbiedad, conductividad eléctrica, pH y alcalinidad acordes a la norma de calidad de agua para consumo humano [39, 40].

Figura 1: Sistema de captación de agua lluvia en la I.U Colegio Mayor de Antioquia.

Nota: elaboración propia.

El periodo de recolección de datos de calidad del agua lluvia estuvo comprendido entre los meses de agosto de 2017 y marzo de 2019. En total se analizaron fisicoquímicamente 90 muestras de agua lluvia en los eventos que se presentaron de precipitación en dicho periodo; una vez tomada la muestra, se procedía a realizar el vaciado y lavado del sistema a la espera del próximo evento de precipitación. Por otro lado, se evaluaron parámetros fisicoquímicos a dos muestras de agua al comienzo de la temporada de lluvias entre el mes de febrero y marzo de 2019, considerando que a comienzo de estas temporadas se presentan las condiciones más desfavorables de calidad de agua, toda vez, que durante la época de sequía se deposita el material particulado en las cubiertas deteriorando la calidad del agua lluvia [25, 29]. A estas muestras se les determinaron los parámetros de turbiedad, color aparente, pH, alcalinidad, dureza total, cloruros, sulfatos, hierro, nitratos y algunos metales pesados referenciados en la literatura y que revisten importancia sanitaria y sobre la salud como cadmio, aluminio, plomo y zinc [25, 26, 27, 36, 40]. Estas muestras fueron analizadas en un laboratorio externo acreditado por el IDEAM para dar validez a los resultados obtenidos

PREPRINT

empleando los procedimientos de los estándar métodos [37].

Por otro lado, se evaluaron parámetros microbiológicos de forma periódica para determinar el deterioro de la calidad microbiológica del agua lluvia, debido al contacto con la superficie de captación y cuantificar el grado de contaminación microbiológica que determina si el agua lluvia es apta para consumo humano acorde a la normatividad nacional [39, 40] y otros adicionales; los parámetros microbiológicos analizados fueron coliformes totales, coliformes fecales (*E. coli*), *Enterococcus faecales*, aerobios mesófilos y p*seudomonas aeruginosa* por filtración en membrada de acuerdo al estándar métodos [36, 37, 38, 41]. Posterior a la recolección de datos se realizó una línea de tiempo determinando el promedio y desviación estándar para cada parámetro de calidad del agua y, por último, se comparó con el valor permisible con la normatividad de calidad del agua [39, 40].

.

III. Resultados y discusiones

En la Tabla 1 se presentan los resultados promedio de los parámetros fisicoquímicos de campo para el agua lluvia captada en el sistema piloto en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia. Se recolectaron muestras de agua en la mayoría de los eventos que presentaron precipitación y recolección de agua lluvia, para un total de 90 muestras, valor superior de muestras al tamaño muestral determinado con un nivel de confianza del 92% y un error esperado del 8%.

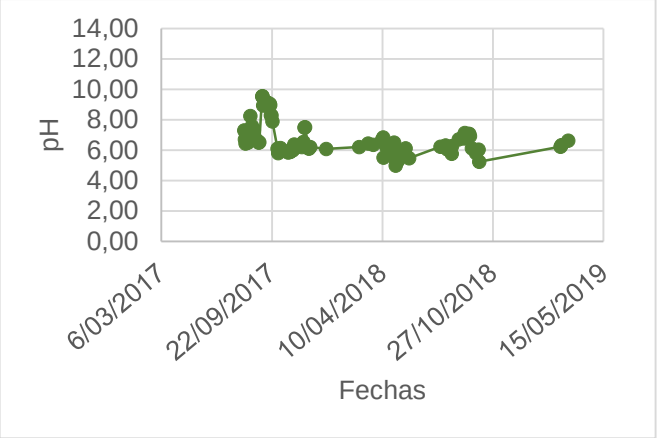
Tabla 1. Determinación de parámetros fisicoquímicos al agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.

Parámetro	Concentración Promedio	Desviación Estándar
Turbiedad (UNT)	3,82	1,80
pH	6,65	1,01
Conductividad (µS)	33,3	22,4
Alcalinidad (mg/L $CaCO_3$)	8,0	2,9

Nota: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Tabla 1 y en la Figura 2 se obtuvo un pH promedio de las muestras analizadas de 6,65 unidades de pH y una desviación estándar de 1,01; lo que indica que existe una variabilidad de los datos de una unidad de pH. Por otro lado, el valor promedio obtenido muestra que no se presenta un fenómeno marcado de lluvia ácida o de acidificación de la precipitación, toda vez que el promedio del valor de pH es superior a 5,6; valor de pH que define la existencia de lluvia ácida, estos resultados son similares a los de otros estudios [5,12,14, 25].

Figura 2. *pH del agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia*.



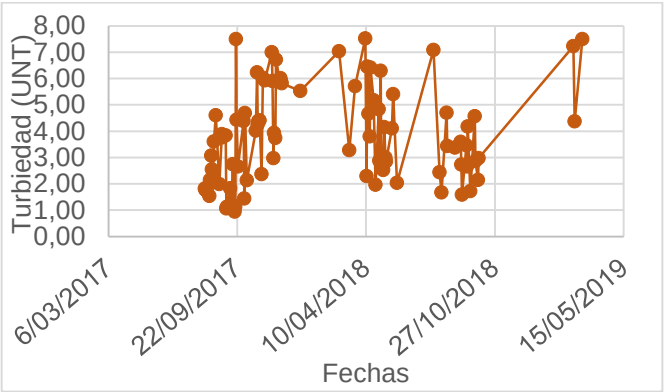
Nota: elaboración propia.

Adicionalmente, se observa en la Tabla 1 y en la Figura 3, que la turbiedad del agua lluvia recolectada tienen un valor promedio de 3,82 UNT con una desviación estándar de 1,80 UNT; esto se debe a que al comienzo de las temporadas de lluvia el efecto de limpieza y barrido de las primeras lluvias provocan el arrastre de los depósitos, suciedad, hojas de los árboles, heces de las aves, material particulado, entre otras impurezas que se pueden depositar en las superficies de las cubiertas de las edificaciones.

Como se observa en la Figura 1, el área aferente de captación de agua lluvia del sistema piloto ubicado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia se encuentra aledaña a árboles de altura significativa, además de su cercanía a vías arteriales como la carrera 78 y 80 que cuentan con un alto flujo vehicular. Por tal razón, es significativo el aporte de impurezas y por ende del incremento de la turbiedad en el agua lluvia de las primeras precipitaciones. Por otro lado, el valor promedio de la turbiedad (3,82 UNT) es superior a límite permisible de turbiedad en la normatividad colombiana [32, 33] por lo que se requiere su acondicionamiento para algunos usos potenciales en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia, toda vez que el color y la turbiedad juegan un papel importante en la percepción organoléptica del agua y puede desfavorecer los potenciales usos del agua lluvia.

Figura 3. Turbiedad del agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.

PREPRINT

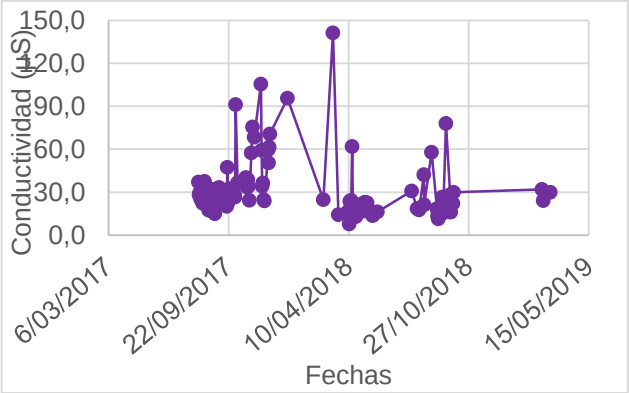


Nota: elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 1 y la Figura 4, la conductividad eléctrica presento un valor promedio de 33,3 µS con una desviación estándar de 22,4 µS, la cual representa una variabilidad en los datos significativa, debido a lo explicado anteriormente y se relaciona con el efecto de lavado o arrastre de las primeras lluvias. No obstante, es un valor de conductividad eléctrica relativamente bajo comparado con aguas naturales, estos resultados son similares a los de otros estudios [25, 29, 42].

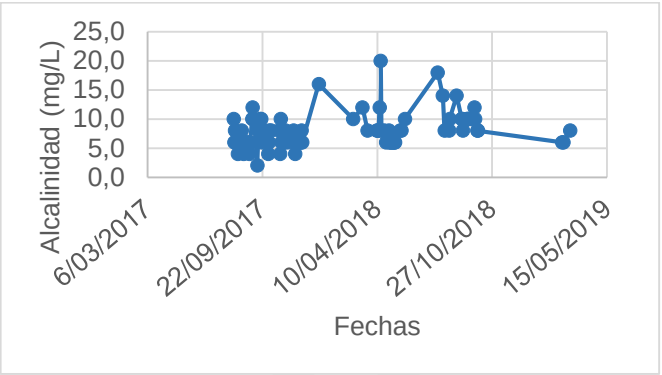
Adicionalmente, se presenta un valor promedio de alcalinidad del 8,0 mg/L de $CaCO_3$ con una desviación estándar de 2,9 mg/L de $CaCO_3$ como se puede evidenciar en la Tabla 1 y la Figura 5, el cual es un valor bajo comparado con un agua natural, lo que significa que tanto para la conductividad eléctrica y la alcalinidad no existe un arrastre de iones de la atmósfera ni de la superficie aferente de captación del agua lluvia, estos resultados son similares a los de otros estudios [27, 29].

Figura 4. Conductividad eléctrica del agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.



Nota: elaboración propia.

Figura 5. Alcalinidad del agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.



Nota: elaboración propia.

Para fortalecer el diagnóstico de la calidad fisicoquímica del agua lluvia, se realizó el análisis de dos muestras de agua lluvia recolectada en las primeras lluvias del mes de febrero y marzo de 2019; en la transición de temporada seca a lluvia, donde se presenta una mayor carga de partículas y contaminantes por el efecto de barrido y limpieza de los agentes contaminantes depositados en las cubiertas y techos de la I.U. Colegio Mayor de Antioquia; por lo tanto, en la Tabla 2 se consignan los resultados del análisis fisicoquímico del agua lluvia realizados en un laboratorio externo acreditado por el IDEAM, con el fin de dar validez a los resultados obtenidos.

Como se observa en los resultados de la Tabla 2, se presenta un deterioro de la calidad del agua lluvia para los parámetros organolépticos como color aparente (15,5 y 23,0 UPC) y turbiedad (11,0 y 5,0 NTU); adicionalmente, se presenta un valor de pH de 5,12 y 5,31 con presencia de acidez significativa asociado a la normatividad [32, 33].

Por otro lado, cuando se analiza la presencia de sulfatos (<5,00 mg (SO_4)/L) y nitratos (<6,20 mg NO_3/L), ambos parámetros están por debajo del nivel de detección de la técnica; por lo que se puede expresar que a pesar de que el estudio se realizó en una atmósfera de ciudad con niveles en algunos casos significativos de contaminantes atmosféricos, no se presenta un deterioro de calidad de agua lluvia por los gases de azufre y nitrógeno en el agua [28, 29, 42].

Observando las muestras de dureza, se evidencia que es muy baja, por lo que se puede catalogar el agua lluvia recolectada como un agua blanda, con presencia baja de cationes como el calcio, magnesio y manganeso; propios de la dilución de este tipo de iones de las formaciones geológicas. Por lo tanto, se puede decir que no hay un arrastre significativo de cationes (calcio, magnesio y manganeso) de la atmósfera o de las precipitaciones que se pueden presentar en las cubiertas.

Para los demás iones: Cadmio total (<0,050 mg Cd/L), Aluminio (<0,1 mg Al/L), Cloruros (<5,00 mg Cl/L), Hierro total (<0,200 mg Fe/L), Plomo total (<0,005 mg Pb/L) y Zinc Total (0,239 y 0,136 mg Zn/L), se presentan niveles inferiores a los exigidos por la normatividad colombiana [33] y se correlacionan estos resultados con los niveles bajos de la conductividad eléctrica presentados en la Tabla 1 y 2; y la Figura 4.

Tabla 2. Análisis fisicoquímico del agua lluvia recolectada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.

Parámetro	**Resultado Muestra (20 febrero 2019)**	**Resultado Muestra (1 marzo 2019)**
Cadmio total (mg Cd/L) N	<0,050	<0,050
Dureza total (mg $CaCO_3$/L)	8,7	13,4
Aluminio (mg Al/L)	<0,1	<0,1
Alcalinidad, pH final titulación (U de pH)	4,32	4,38
Cloruros (mg Cl/L)	<5,00	<5,00
Alcalinidad total (mg $CaCO_3$/L)	3,10+/-0,20	3,38+/-0,21
Color aparente (UPC)	15,5	22,3
Hierro total (mg Fe/L)	<0,200	<0,200
Nitratos (mg NO_3/L)	<6,20	<6,20
pH 25°C (unidades de pH)	5,12	5,31
Plomo total (mg Pb/L)	<0,005	<0,005
Sulfatos (mg (SO_4)/L)	<5,00	<5,00
Turbiedad (NTU)	11	5
Zinc Total (mg Zn/L)	0,239	0,136

Nota: elaboración propia.

Para determinar la calidad microbiológica del agua lluvia captada en el sistema piloto en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia, se recolectaron muestras de agua en la mayoría de los eventos que presentaron precipitación y recolección de agua lluvia, se recolectaron y analizaron 38 muestras de agua, a las cuales se determinaron los parámetros microbiológicos de coliformes totales, coliformes fecales, coliformes fecales (*E. coli*) mesófilos, *Enterococcus faecales* y *Pseudomonas aeruginosa*; en la Tabla 3 se consigna los datos promedios de los diferentes parámetros determinados.

En la Tabla 3 se puede observar que durante el periodo de recolección de muestras de agua lluvia en el sistema piloto en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia se presentó contaminación por microorganismos; esto de acuerdo con la presencia de mesófilos y coliformes totales; es claro que esto se da debido al contacto del agua lluvia con la superficie de captación y recolección de dicha agua.

Por otra parte, se aprecia la presencia de indicadores microbiológicos de origen fecal como lo son los coliformes fecales y *Enterococcus faecales*, los cuales se dan por la presencia de heces de diferentes animales en las cubiertas como aves y roedores entre otros [25, 27, 29, 42]. De esta forma, se limita considerablemente los potenciales usos del agua lluvia, toda vez que la presencia de microorganismos patógenos favorece la trasmisión de enfermedades de origen hídrico; por lo tanto, esta agua no es apta para consumo humano debido a la presencia de estos microorganismos potencialmente patógenos.

Tabla 3. Determinación de parámetros microbiológicos al agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.

Coliformes Totales (UFC/100mL)	**Coliformes Fecales (UFC/100mL)**	**Mesófilos (UFC/100mL)**	***Eenterococcus fecales* (UFC/100mL)**	***Pseudomonas aeruginosa* (UFC/100mL)**
>200	>200	>200	>200	>200

De acuerdo a la calidad del agua lluvia registrada durante el periodo de estudio, es un agua que presenta algunas alteraciones en su composición lo que limita sus potenciales usos. A pesar de ello, es claro que se puede emplear para usos que no requieren la ingesta del agua, como limpieza, aseo, vaciado de sanitarios, lavado de superficies y otros usos. De igual forma, se pueden evaluar procesos de tratamiento que favorezca

PREPRINT

la remoción de las sustancias que proveen color y turbiedad al agua lluvia y la eliminación de los microorganismos indicadores de contaminación fecal y microorganismos patógenos. Si se logra acondicionar o potabilizar dicha agua, se puede ampliar los potenciales usos de agua lluvia en la Institución, a empleos de consumo humano.

IV. Conclusiones

La construcción sostenible y todas las estrategias de gestión ambiental se pueden implementar para disminuir los impactos ambientales y la demanda de bienes y servicios ambientales. Contribuyen a mejorar el desempeño ambiental de las instituciones, las empresas y la sociedad en general, en la búsqueda permanente de lograr las metas propuestas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS.

La captación o cosecha y el empleo del agua lluvia como fuente alternativa de recurso hídrico puede favorecer y ayudar a alcanzar las metas del sexto y onceavo ODS – Agua limpia y saneamiento, y Ciudades y comunidades sostenibles. De igual forma, la construcción sostenible y gran parte de sus estrategias se han transformado en mecanismos de resiliencia ante fenómenos de gestión del riesgo.

En el caso de la captación de agua lluvia apoya a disminuir la posibilidad de avenidas torrenciales, equidad al acceso de servicios básicos, inundaciones, entre otros fenómenos de riesgo que se pueden presentar de acuerdo a los diferentes contextos donde se pueda emplear; de esta forma, se contribuye al desarrollo sostenible, a la equidad en el acceso de las comunidades a servicios públicos y de bajo costo, además de disminuir la demanda de agua de las fuentes hídricas que abastecen los sistemas de acueducto de los municipios o ciudades.

El agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia presenta alteraciones en la calidad fisicoquímica y microbiológica similares a un agua natural con presencia de partículas y microorganismos, toda vez que el proceso de barrido que genera el agua lluvia sobre las cubiertas y techos arrastra el material particulado depositado, hojas y materia orgánica de la cobertura de los árboles aledaños a las cubiertas, las heces de aves, entre otras fuente de contaminación, que se pueden presentar, las cuales deterioran la calidad del agua lluvia captada o cosechada en las cubiertas de la Institución. Sin embargo, no se presenta un deterioro que sobrepase los niveles de normatividad nacional [32] con respecto a los iones y metales que se pueden presentar en una atmósfera de ciudad con presencia de industrias.

Realizar el aprovechamiento del agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia para los usos potenciales que no requieran agua potable o apta para el consumo humano disminuye la demanda de bienes y servicios ambientales asociados al agua. Se recomienda la adecuación o construcción de una red ecológica dedicada al riego, actividades de aseo y lavado que no son exigentes en la calidad del agua para su realización.

V. Referencias

[1] J. A. Arroyave-Rojas, L. F. Garcés-Giraldo, A. Arango-Ruíz y C. M. Agudelo-López, “Degradación del colorante tartrazina mediante fotocatálisis homogénea empleando lámpara de luz ultravioleta”, Revista Lasallista de Investigación, vol. 5, n° 2, pp. 6-12, 2008.

[2] J. A. Arroyave-Rojas, L. F. Garcés-Giraldo, A. Arango y C. Agudelo, “La Tartrazina, un colorante de la industria agroalimentaria, degradado mediante procesos de oxidación avanzada”, Revista Lasallista de Investigación, vol. 5, n° 1. pp. 20 – 27, 2008.

[3] J. A. Arroyave-Rojas, L. F. Garcés-Giraldo y A. F. Cruz-Castellanos, “Comparación de tecnologías avanzadas de oxidación (TAO´s) para la degradación del pesticida Mertect”, Nova: Publicación científica en ciencias biomédicas. Vol. 9 n° 15, pp. 1-112, 2011.

[4] J. A. Arroyave-Rojas, L. F. Garcés-Giraldo, A. Arango-Ruiz, C. M. Agudelo-López, C.M., “Photo degradation of the tartrazine dye by means of photofenton, using an ultraviolet light lamp”, Revista Lasallista de Investigación. vol. 5, n° 2, pp. 6-12, 2008.

[5] J. A. Arroyave-Rojas, J. C. Díaz-Vélez, D. Vergara y N. David-Macías, “Evaluación económica de la captación de agua lluvia como fuente alternativa de recurso hídrico en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia”, Revista Producción + Limpia, vol. 6, n° 1. pp. 76-84, 2011, disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.phpscript=sci_abstract&pid=S190904552011000100007&lng=e&nrm=iso&tlng=es

[6] C. J. Granero, S. M. Ferrando, A. M. Sánchez y B. C. Pérez, Evaluación de impactos ambientales. Guía metodológica para la redacción de estudios de impactos ambientales, 2 ed., España: Fundación Confemetal, 2015.

[7] C. Bedoya, Construcción sostenible para volver al camino, Colombia: Biblioteca Jurídica Diké, 2011.

[8] C. M. Bedoya, Del residuo al material. Minería a la inversa, Colombia: Biblioteca Jurídica Diké, 2015.

[9] J. Stedinger, “Statistical Methods for Assessing Flood Risk and the Climate Change Challenge”, Revista de Ingeniería, [serial online], vol. 36, pp. 48-53.

[10] I. Douglas, K. Alam, M. Maghenda, Y. McDonnell, L. McLean, J. Campbell, “Unjust waters: climate change,

PREPRINT

flooding and the urban poor in Africa", Environment & Urbanization, [serial online], vol. 20 n° 1, pp. 187-205, 2008.

[11] M. Alam, C. Siwar, A. Jaafar, B. Talib, "Climatic changes and household food availability in Malaysian east coast economic region", Journal of Developing Areas, [serial online], vol. 50 n° 5, pp. 143-155, 2016.

[12] T. Grabowski, K. Jozwiakowski, A. Bochniak, A. Micek, "Changes in the Amount of Rainwater in the Roztocze National Park (Poland) in 2001–2020 and the Possibility of Using Rainwater in the Context of Ongoing Climate Variability", Water, vol. 14, n° 9, 2022. https://doi.org/10.3390/w14091334

[13] J. A. Arroyave-Rojas y L. F. Garcés-Giraldo, "Tecnologías Ambientalmente Sostenibles", Revista Producción + Limpia, vol. 1, n° 2. pp. 78 -86, 2007.

[14] J. A. Arroyave-Rojas, Evaluación de la cantidad, calidad fisicoquímica y microbiológica del agua lluvia para los potenciales usos domésticos. Caso de estudio: Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, [Tesis de Maestría], ITM Institución Universitaria, Medellín, Colombia, 2022.

[15] F. Rahel, J. Olden, "Assessing the Effects of Climate Change on Aquatic Invasive Species" Conservation Biology, [serial online], vol. 22 n° 3, pp. 521-533, 2008.

[16] C. M. Bedoya, Construcción sostenible. Para volver al camino, Medellín, Colombia: Biblioteca Jurídica Diké, 2007.

[17] Resolución 0549 de 2015. Por la cual se reglamenta el Capítulo 1 del Título 7 de la parte 2, del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015, en cuanto a los parámetros y lineamientos de construcción sostenible y se adopta la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones, 2015. Consejo Colombiano de Construcción Sostenible.

[18] Decreto 1285. Por el cual se modifica el Decreto 1077 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, en lo relacionado con los lineamientos de construcción sostenible para edificaciones, 2015, Ministerio de Vivienda, Ambiente y Desarrollo territorial.

[19] E. A. Cano, Agua lluvia para uso no potable en edificios de vivienda en altura. Incidencias legales, ambientales, técnicas y económicas, [Tesis de Maestría], Universidad Nacional de Colombia, Naranjal, Medellín, Colombia, 2016.

[20] Norma técnica colombiana NTC 1500: Código Colombiano de fontanería, Colombia: Icontec, 2004.

[21] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, "Guía de diseño para captación del agua de lluvia", Lima, Perú, 2001.

[22] N. Palacio, 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. Colombia, 2010.

[23] M. Silvero, J. E. Hoyos y J. A. Ocaña, "Water sustainable management for buildings", Actas Universitarias vol. 22 n° 8, pp. 12 – 18, 2012.

[24] O. E. Ospina-Zúñiga y H. Ramírez-Arcila, "Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia", Ingeniería Solidaria, vol. 10, n° 17, pp. 125 - 138, 2014.

[25] H. Ramírez-Arcila y O. E. Ospina-Zúñiga, "Evaluation of Rainwater Quality for its Utilization and Domestic Use in the City of Ibagué, Tolima, Colombia", Ing. Solidar, vol 10, n° 17, pp. 125-137, 2014, doi: 10.16925/in.v9i17.812

[26] J. A. Calvopiña-Beltrán, S. M. Guerra-Punina y N. P. Grefa-Alvarado, "Calidad de agua lluvia almacenada de los techos de las viviendas para el consumo humano, "Revista Multidisciplinaria Perspectivas Investigativas, vol. 4, pp. 175-183, 2024.

[27] J. E. Abanto Cubas, E. Morales Rojas y E. A. Díaz Ortiz, "Calidad de agua de lluvia en prototipos de captación en las comunidades nativas de Tunants y Yahuahua, Amazonas – Perú", Revista de la Universidad del Zulia, Año 13 n° 36. Pp. 189-199, 2022. http://dx.doi.org/10.46925//rdluz.36.13

[28] T. Grabowski, K. Jozwiakowski, A. Bochniak, P. Stachyra, B Radlinski, "Assessment of Rainwater Quality Regarding Its Use in the Roztocze National Park (Poland)—Case Study", Appl. Sci., vol. 13, 6110, 2023. https://doi.org/10.3390/ app13106110

[29] A. Lempart-Rapacewicz, J. Zakharova, E. Kudlek "Rainwater Quality Analysis for Its Potential Recovery: A Case Study on Its Usage for Swimming Pools in Poland" Sustainability, vol. 15, 15037, 2023. https://doi.org/10.3390/ su152015037

[30] E. A. Cano y C. M. Bedoya, "Agua lluvia para uso no potable en edificios de vivienda en altura en Medellín. Incidencias técnicas, económicas, legales y ambientales", Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI, Cartagena, 2016.

[31] M. Pacheco, "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, n° 3, 2008. pp. 39-57, 2008.

[32] A. Daoud, K. Swaileh, R. Hussein y M. Matani, "Quality assessment of roof-harvested rainwater in the West Bank, Palestinian Authority", Journal of Water and Health [serial online], vol. 9 n° 3 pp. 525-533, 2011.

[33] W. Ahmed, T. Gardner, S. Toze, "Microbiological Quality of Roof-Harvested Rainwater and Health Risks: A Review", Journal Of Environmental Quality, [serial online], vol. 40 n° 1 pp. 13-21, 2011.

[34] W. Ahmed, A. Goonetilleke, T. Gardner, “Implications of faecal indicator bacteria for the microbiological assessment of roof-harvested rainwater quality in southeast Queensland, Australia”, Canadian Journal of Microbiology, [serial online], vol. 56 n° 6 pp. 471-479, 2010.

[35] W. Ahmed, L. Hodgers, J. Sidhu, S. Toze, “Fecal indicators and zoonotic pathogens in household drinking water taps fed from rainwater tanks in Southeast Queensland, Australia”, Applied and Environmental Microbiology, [serial online]. Vol. 78 n° 1 pp. 219-226, 2012.

[36] S. L. Ávila de Navia, S. M. Estupiñán Torres, L. M. Caicedo Cardona, X. M. Calderón Cárdenas y W. L. Rubiano Aguirre, “Diagnóstico de la calidad bacteriológica del agua del Humedal Córdoba, Bogotá”, Nova, vol. 17 n° 31 pp. 87-95, 2019.

[37] APHA – AWWA – WPCF, Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, Madrid, España: Ediciones Diaz de Santos, 1992.

[38] G. R. Marín, Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas, Madrid, España: Ediciones Diaz de Santos, 2003.

[39] Resolución 2115. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. 2007. Bogotá, Colombia. Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

[40] Decreto 1575. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano”. Bogotá, Colombia. 2007. Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

[41] J. Arboleda, Teoría y práctica de la purificación del agua, Bogotá, Colombia: McGraw – Hill, 2000.

[42] A. D. Galván, J. A. López, L. A. Rangel y J. J. Barrientos, (2019). Estudio de la Calidad del Agua de Lluvia Captada en la ENMSGTO”, Jóvenes en la ciencia, vol. 5, n° 1, 2019.

PREPRINT