

Evaluación de la calidad del agua lluvia en el pacífico biogeográfico. Estudio preliminar Quibdó, Chocó, Colombia

Assessment of rainwater quality in the biogeographical pacific. Preliminary study Quibdó, Chocó, Colombia

Yarly E. Mosquera-Torres¹  Eduar García Quejada¹  Deymer A. Mena Cordoba¹ 

¹Grupo de Investigación Ingeniería Civil – IC, Universidad Tecnológica del Chocó, Quibdó, Colombia.

Resumen

Esta investigación permitió conocer la calidad físico – química y microbiológica del agua lluvia recolectada en la Zona Centro y barrio Medrano de la ciudad de Quibdó – Chocó. Esta población presenta una alta tasa de precipitación la cual oscila entre 1500mm/año y 8500mm/año, tanto en la actualidad como en el futuro, aunque esta situación contraste con la baja cobertura de agua potable que tan solo es del 28,5%. Para realizar dicho estudio se identificaron 5 puntos de muestreo, en cada punto se recolectaron 4 muestras con una periodicidad de 1 muestreo semanal durante 4 semanas, para un total de 20 muestras representativas; las cubiertas seleccionadas fueron de zinc, asbesto cemento y manto; además, están ubicadas en zonas de alta actividad vehicular y peatonal. Las muestras recolectadas fueron analizadas en un laboratorio acreditado para tal fin. Los parámetros evaluados de la calidad del agua lluvia fueron; color aparente, color real, conductividad, pH, alcalinidad total, nitritos, nitratos, Coliformes totales y Escherichia Coli. El resultado de los análisis microbiológicos fue negativo en el 100% de los casos, mientras que el 15% de los análisis físicos y el 34% de los análisis químicos también arrojaron resultados negativos. Debido a la presencia principalmente de unidades formadoras de colonia de Escherichia Coli y Coliformes totales, se concluyó que el agua lluvia en la zona centro y el barrio Medrano de la ciudad de Quibdó - Chocó, no cumple con los estándares establecidos en los parámetros evaluados y requeridos por la norma, lo que significa que no es segura para el consumo humano debido al nivel de contaminación que presenta.

Abstract

This research allowed us to understand the physical-chemical and microbiological quality of rainwater collected in the downtown area and Medrano neighborhood of the city of Quibdó - Chocó. This population has a high precipitation rate which ranges from 1500mm/year and 8500mm/year, both currently and in the future, although this situation contrasts with the low drinking water coverage, which is only 28.5%. To carry out this study, 5 sampling points were identified, and 4 samples were collected at each point with a periodicity of 1 weekly sampling for 4 weeks, for a total of 20 representative samples. The selected roof tops coverings were made of zinc, asbestos cement, and mantle, and are located in areas of high vehicular and pedestrian activity. The collected samples were analyzed in an accredited laboratory for this purpose. The parameters evaluated for rainwater quality were: apparent color, real color, conductivity, pH, total alkalinity, nitrites, nitrates, total coliforms, and Escherichia Coli. The result of the microbiological analyzes was POSITIVE in 100% of the cases, while 15% of the physical analyses and 34% of the chemical analyses also yielded negative results. Due to the presence mainly of colony-forming units of Escherichia Coli and total coliforms, it was concluded that rainwater in the downtown area and Medrano neighborhood of the city of Quibdó - Chocó, does not meet the standards established in the evaluated parameters and required by the regulations, which means that it is not safe for human consumption due to its level of contamination.

Palabras clave: calidad del agua lluvia, pacífico biogeográfico, características físico – químicas y microbiológicas, Quibdó, Chocó, Colombia.

Keywords: rainwater quality, biogeographical pacific, physical – chemical and microbiological characteristics, Quibdó, Chocó, Colombia.

How to cite?

Mosquera-Torres, Y.E., García, E., Mena, D.A. Assessment of rainwater quality in the biogeographical pacific Preliminary study Quibdó, Chocó, Colombia. Ingeniería y Competitividad, 2024, 26(2) e-20212985.

<https://doi.org/10.25100/iyc.v26i2.12985>

Recibido: 02-06-23
Aceptado: 20-04-24

Correspondence:

yamostorres@hotmail.com

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike4.0 International License.



Conflict of interest: none declared

OPEN  ACCESS

¿Por qué se llevó a cabo?

Este proyecto permitió realizar la evaluación físico-química y microbiológica del agua de lluvia y así reducir el grado de incertidumbre de no conocer la calidad del agua que están consumiendo, además el proyecto permitirá abastecer gran parte del déficit de agua potable de la habitantes de la zona centro y del barrio Medrano de la ciudad de Quibdó. Además de reducir la probabilidad de inundaciones en la ciudad, el uso del agua de lluvia también puede tener otros beneficios, tales como: el almacenamiento de agua de lluvia puede reducir la cantidad de líquido que se vierte a las alcantarillas, reduce el costo de pago de los servicios públicos para el población, es respetuoso con el medio ambiente y puede conducir a un uso óptimo del agua.

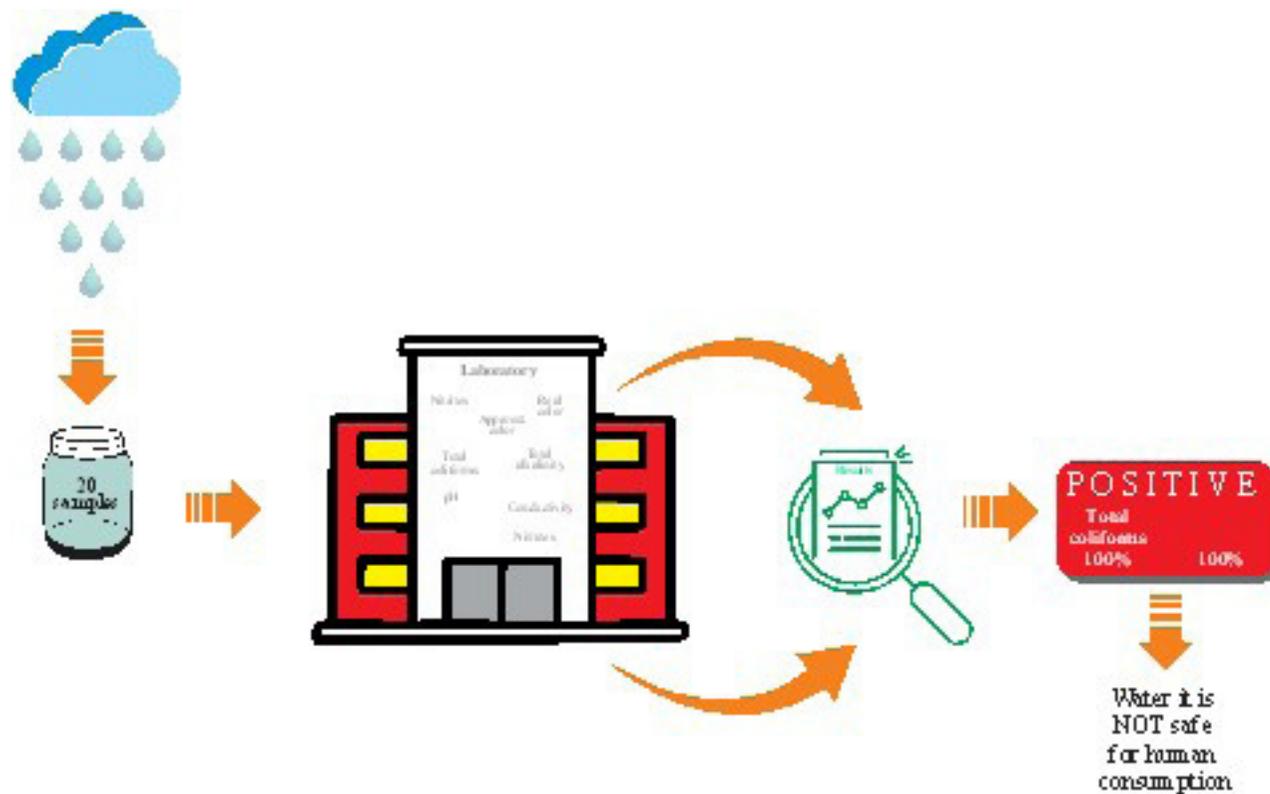
¿Cuáles fueron los resultados más relevantes?

De los resultados obtenidos se deduce que el agua con presencia de Coliformes no es apta para el consumo humano. Además, hay presencia de bacterias dañinas, como la Escherichia Coli, que pueden provocar enfermedades gastrointestinales. En la evaluación de la calidad físicoquímica y microbiológica del agua de lluvia captada en edificaciones de la zona centro y barrio Medrano de la ciudad de Quibdó – Chocó, se evidenció que el agua no es apta para el consumo humano, debido a que los factores físicoquímicos y microbiológicos Los análisis microbiológicos de los parámetros establecidos en la Resolución 2115 de junio de 2007, se encuentran fuera del rango.

¿Qué aportan estos resultados?

Teniendo en cuenta que el agua de lluvia no es apta para el consumo humano, se recomienda a la comunidad en general abstenerse de consumir agua de lluvia sin realizar ningún proceso de potabilización o tratamiento; y también se recomienda que futuros investigadores amplíen los estudios a otras áreas que incluyan el diseño de sistemas de abastecimiento de agua lluvia con su respectivo sistema de tratamiento. Entre las opciones a utilizar como correspondientes medidas de tratamiento se encuentran: calefacción, cloración, ozonización, filtros cerámicos, ultravioleta, ácido clorhídrico (HCl), carbonato de calcio, filtros de arena, carbón activado, láminas, entre otras.

Graphical Abstract



Introducción

Desde tiempos remotos el ser humano ha tenido la necesidad de abastecerse del agua. El agua es esencial para la vida de todo ser vivo y juega un papel importante por ser un elemento útil e indispensable para la realización de las actividades personales y las inherentes al desarrollo social y económico de la humanidad quien a lo largo de la historia ha usado diferentes fuentes de abastecimiento, entre ellas las superficiales, subterráneas y agua lluvia. Alrededor de todo el mundo y en diferentes épocas de la humanidad, el agua lluvia se ha utilizado para el consumo humano (1).

En África, desde 1970 se han realizado campañas para recuperar tradiciones ancestrales de captación de agua de lluvia para abastecer a comunidades rurales utilizando la técnica Fanya juus (2). Esta técnica consiste en el desarrollo de terrazas las cuales se construyen hasta formar un dique (3 - 4).

En edificios de Inglaterra y Alemania usan el agua de lluvia, para la descarga de los baños y en los sistemas contra incendios. Mientras que en Reino Unido la captación de agua lluvia ha sido una técnica alternativa para suministrar agua de calidad para consumo humano (2 - 3) (5).

En la ciudad de Vancouver (Canadá) se entrega un subsidio para la compra de tanques plásticos para recolectar el agua de lluvia proveniente de los techos, que luego es utilizada para regar los jardines (2). En algunos estados de los Estados Unidos, se ha creado una legislación que exige la gestión del agua de lluvia (2). En América Latina, principalmente en zonas rurales de Sur y Centro América, así como en el caribe, se han instalado sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico como una medida de solución para el abastecimiento hídrico. Básicamente estos sistemas consisten en colocar canaletas alrededor de los techos de las viviendas y estos se conectan a las tuberías recolectoras y posteriormente es depositada en cisternas o tanques (2).

En Colombia existen empresas que tienen incorporado tecnologías en relación con el desarrollo sostenible que realizan un ahorro de agua, mediante el aprovechamiento de agua de lluvia, la cual es sometida a procesos de potabilización para consumo humano y/o tratada para los procesos de producción (6). En las zonas rurales se convierte en una alternativa altamente utilizada (7).

Respecto al departamento del Chocó es considerado como uno de los lugares con mayor biodiversidad y más lluviosos del mundo. La precipitación en este territorio oscila entre 1500mm/año y 8500mm/año (8 - 9) y la estación de la Red Nacional de Isotopía (RNI) Quibdó posee el valor más alto de 20.91% en el intercepto de la recta meteórica local de cantidad de lluvia (10). Sin embargo, esta situación va en contraste con las cifras del Departamento Nacional de Planeación (DNP) donde se evidencia que solo un 28.5% de la población tiene cobertura de acueducto, mientras que Colombia cuenta con el 74.4%. Estos datos reflejan un índice bajo y lo convierte en el departamento con el menor acceso al servicio de agua potable del país (11). Esta alternativa de abastecimiento hídrico es una de las más usadas en este departamento y a pesar de no contar con estudios que garanticen su calidad, este recurso es utilizado para desarrollar actividades agrícolas y domésticas (12 -13).

El agua lluvia es un recurso fácil de obtener y de acuerdo a la zona en la que se encuentre ésta es relativamente limpia, libre de residuos químicos como cloro y la cal, no entra en contacto con el suelo ni las rocas donde se disuelven las sales y los minerales y tiene una

producción rentable, en especial en la actualidad, donde el recurso hídrico es cada vez más costoso (14 - 16). Sumado a lo anterior, el almacenamiento del agua lluvia permite una mitigación del riesgo por inundación (17). Sin embargo, se requiere que sus características fisicoquímicas y microbiológicas sean evaluadas para determinar su viabilidad para el consumo humano.

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (18), el agua lluvia es la cantidad de precipitación de partículas líquidas de agua de diámetro mayor a 0.5mm que se precipitan sobre un área específica. De igual forma la precipitación se puede definir como los elementos líquidos o sólidos procedentes de la condensación o sublimación del vapor de agua que caen de las nubes o son depositadas desde el aire en el suelo (19). De acuerdo al Estudio Nacional del Agua (ENA) (8) el porcentaje de precipitación para Colombia en un escenario futuro (año 2070) se mantendrá en la región Pacífica donde está ubicado el área de estudio. Por lo tanto, los habitantes podrían tener garantizado en sus viviendas soluciones en materia de agua potable en la medida que se hagan estudios que permitan conocer su calidad y posible tratamiento (20), lo cual además ayudaría a dar cumplimiento al objetivo de desarrollo sostenible No. 6 (agua limpia y saneamiento) o podría ser usada para fines no potables (11).

En esta investigación se evalúa la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de lluvia en la ciudad de Quibdó, Chocó, Colombia, que permita la identificación de posibles factores y/o parámetros de contaminación de acuerdo con los puntos de muestreo establecidos (21). Además, se determinan los posibles usos que le pueden dar los pobladores según el decreto 2115 de 2007 previa identificación de factores y/o parámetros de calidad (22).

Los sitios de interés establecidos en esta investigación son la Universidad Tecnológica del Chocó, una institución educativa y un restaurante, los cuales son lugares donde concurren mucha afluencia de personas. Por lo tanto, se hace necesario conocer si el agua lluvia utilizada en estos sitios puede ser usada para el consumo humano como método alternativo por la deficiente cobertura de acueducto. También se tiene en cuenta un muestreo en un barrio de la capital chocona (horizonte) y una vivienda unifamiliar, con el objetivo de tener información de zonas de distinto nivel socioeconómico. Además, al realizar la identificación de los puntos de muestreo y la actividad, se busca cubrir la mayor extensión posible entre los sitios de interés. Los puntos de muestreo están ubicados estratégicamente para garantizar que sean muestras representativas.

Este artículo está organizado de la siguiente manera: la sección 2 describe los materiales y métodos usados en esta investigación. La sección 3 muestra los resultados obtenidos y las discusiones. Finalmente, las conclusiones son presentadas en la sección 4.

Materiales y métodos

Área de Estudio

Quibdó (ver figura 1) es la capital del departamento del Chocó. Su clima es tropical húmedo correspondiente con el clima de la región biogeográfica del Pacífico y está ubicado en la margen derecha del río Atrato sobre los 43msnm. Tiene una superficie de 3,075Km² y cuenta con una población de 133,906 habitantes, el 84.91% de su población es negra y sus ingresos totales per cápita son de \$1,112,119. La asignación del Sistema General de Regalías para el sector agua potable con corte al año 2020 fue del 2.73% a pesar de que la cobertura de acueducto es de tan solo un 25.2% (23).

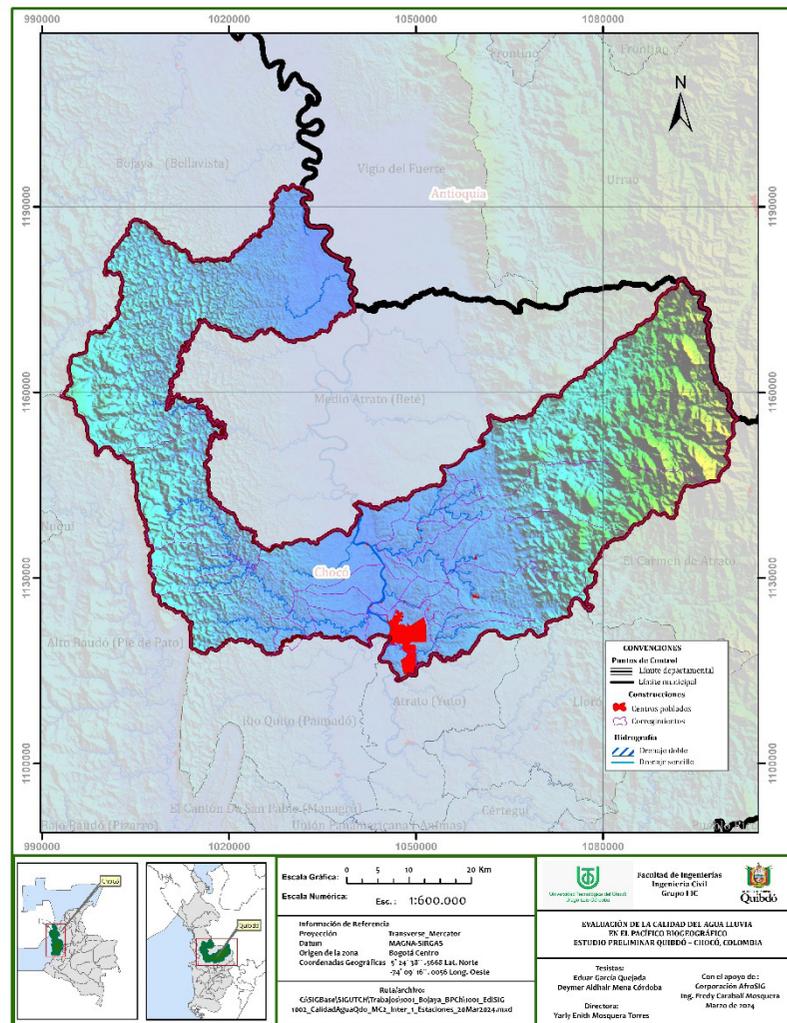


Figura 1. Casco urbano municipio de Quibdó

Intensidad de la lluvia en la zona de estudio

Según el ENA (8), al observar el mapa nacional de escorrentía media anual y mensual multianual de Colombia, los valores más altos de precipitación se presentan en la región del Pacífico. La subzona con mayor escorrentía corresponde al río Andágueda, justamente en la zona hidrográfica del Atrato, con 8,307 mm/año. Adicionalmente, el cambio de la precipitación para Colombia en un escenario futuro (2070) indica que las condiciones de precipitación se mantendrán en esta zona, por lo tanto, se pronóstica que la intensidad de la lluvia en la ciudad de Quibdó tendría continuidad por un periodo de tiempo largo (8). Lo anterior ratifica que Quibdó posee altos excedentes de agua de lluvia (19).

Muestreo

La recolección del agua de lluvia se realizó durante un periodo de dos meses contados a partir de septiembre del año 2022, evitando en lo posible la contaminación por sustancias extrañas y teniendo en cuenta el procedimiento descrito por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (24) y demás normas vigentes (25). Las muestras se recolectaron utilizando superficies plásticas conectadas directamente a los galones plásticos de 400 mililitros, las cuales fueron enviadas a laboratorios certificados para su evaluación.

Tabla 1. Parámetros a evaluar, unidades de medida y método usado

Parámetro	Unidad	Método
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	Espectrofotométrico
Color real	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	Espectrofotométrico
Alcalinidad total	mg de CaCO ₃ /L	Titulométrico
Conductividad	micro siemens/cm	Refractómetro
Coliformes totales	UFC/100 mL	Tubos múltiples (Fluorocult, caldo sulfato de laurilo; Incubación durante 48 horas a 35°C
Escherichia Coli	UFC/100 mL	Tubos múltiples (Fluorocult, caldo sulfato de laurilo; Incubación durante 48 horas a 35°C
Nitratos	mg de (NO ₃)-/L	Fotométrico por kit de Merck
Nitritos	mg de NO ₂ -/L	Fotométrico por kit de Merck
pH	Unidades de pH	Electrométrico

Resultados y discusión

Análisis estadístico descriptivo

Se utilizó un análisis estadístico descriptivo para comparar los resultados de las 20 muestras y realizar las ponderaciones del caso conducentes a la determinación de la calidad del agua lluvia en la ciudad de Quibdó (26 - 28).

En el análisis microbiológico se encontró presencia de unidades formadoras de colonia de Escherichia Coli y Coliformes totales en el 100% de las muestras representativas, lo que indica basado en la norma vigente que el agua no es apta para el consumo humano debido a que la resolución 2115 de 2007 establece que el valor admisible aceptable es de 0 UFC/100 mL, es decir que ningún agua usada para el consumo humano debe contener E. Coli ni Coliformes totales (22). Ver figuras 3 y 4.

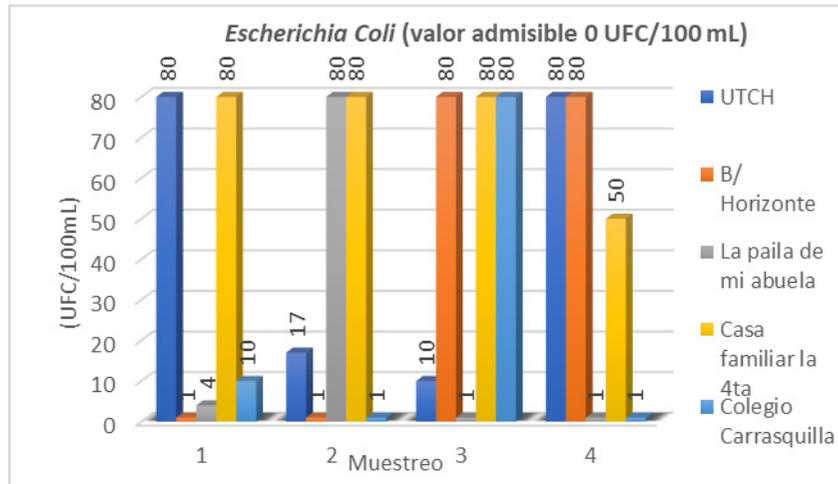


Figura 3. Resultados de la Escherichia Coli

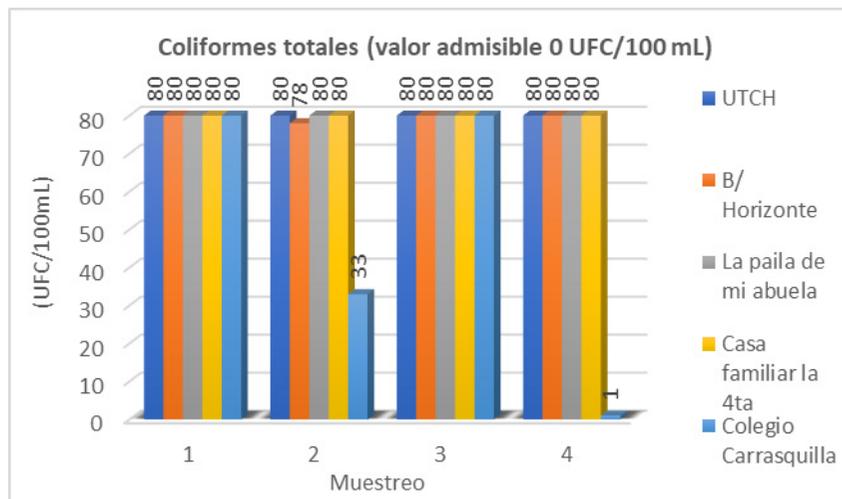


Figura 4. Resultados de Coliformes Totales

En el análisis físico el 15% de las muestras en el parámetro color aparente no cumple con el valor admisible (15 UPC), esto pudo haberse ocasionado por sequias leves entre los periodos de la toma de muestra, ver figuras 5, 6, 7 y 8.

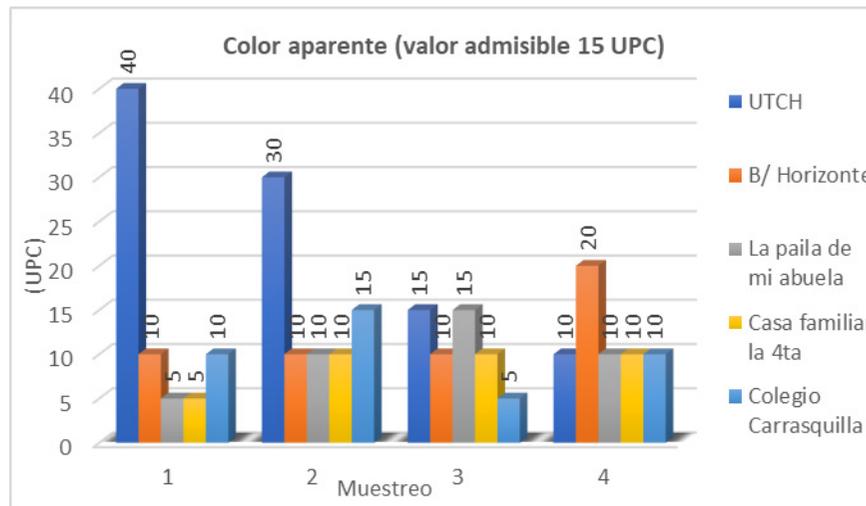


Figura 5. Resultados de color aparente

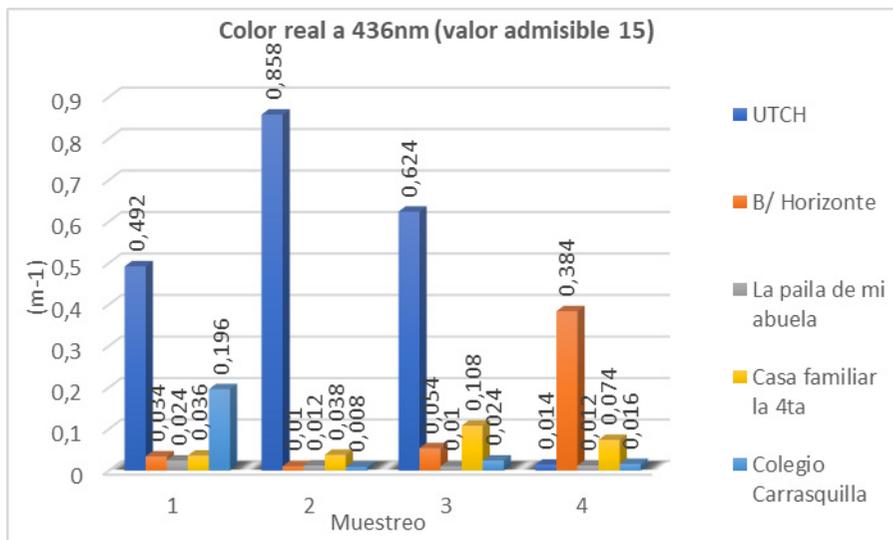


Figura 6. Resultados de color real a 436nm (m-1)

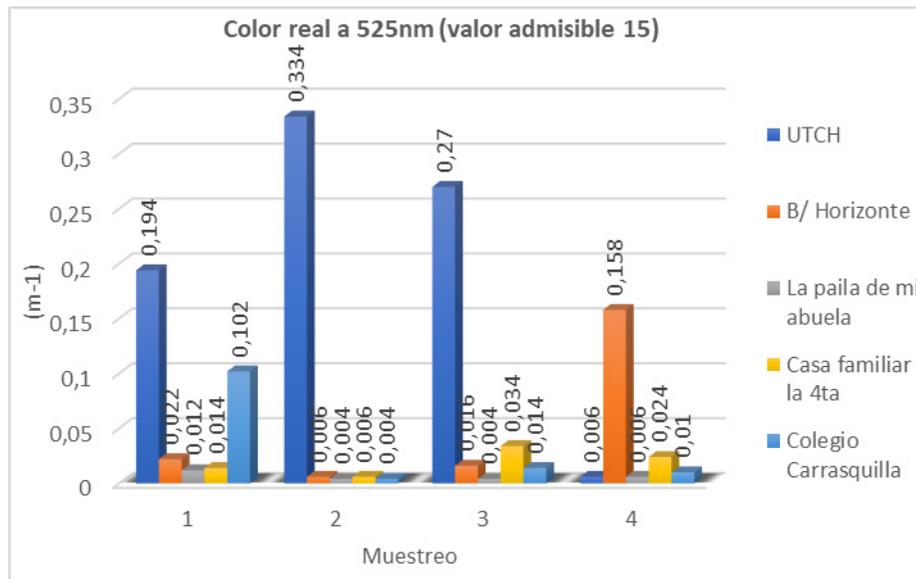


Figura 7. Resultados de color real a 525nm (m-1)

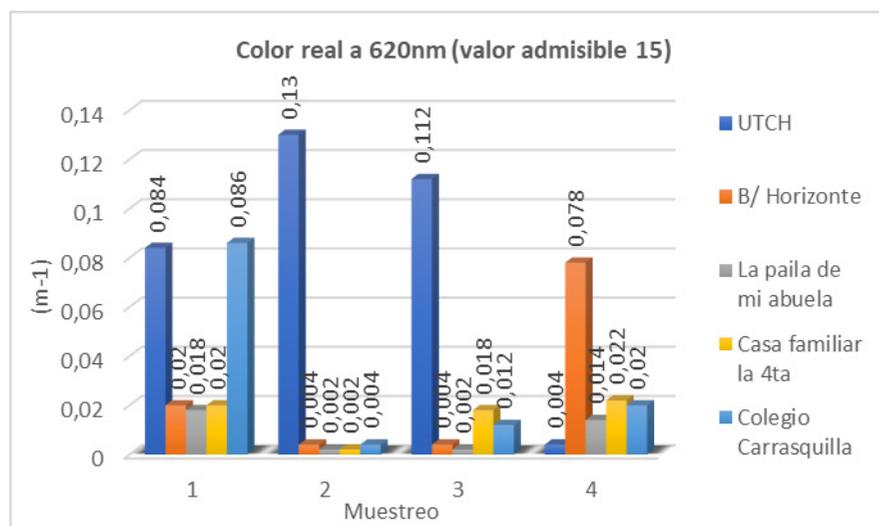


Figura 8. Resultados de color real a 620nm (m-1)

Al realizar el análisis químico el 34% de las muestras en el parámetro pH no cumple ya que está por debajo del valor mínimo admisible, el cual oscila entre 6.5 y 9.0 unidades de pH. Los resultados obtenidos en los análisis indican que el agua es ácida, ver figura 9.

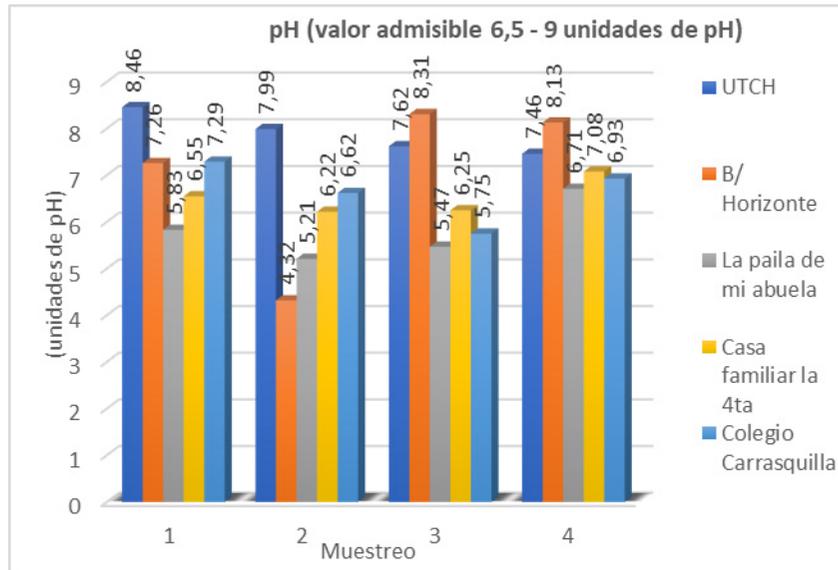


Figura 9. Resultados del Ph

En relación con los parámetros de alcalinidad (200 mg CaCO₃/L), conductividad eléctrica (1000 µs/cm), nitritos (0.1 mg (NO₂)-/L) y nitratos (10 mg (NO₃)-/L) se observa que están dentro de los valores admisibles, según la resolución 2115 de 2007, ver figuras 10, 11, 12 y 13.

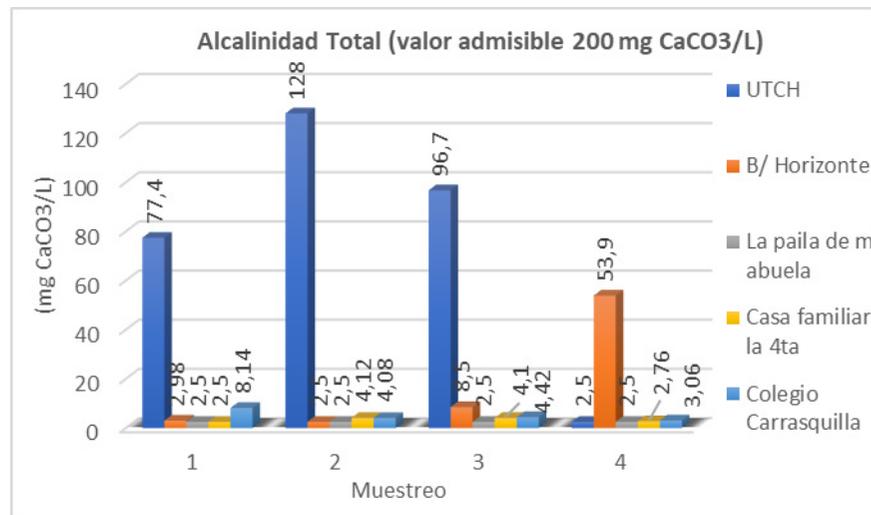


Figura 10. Resultados de la alcalinidad

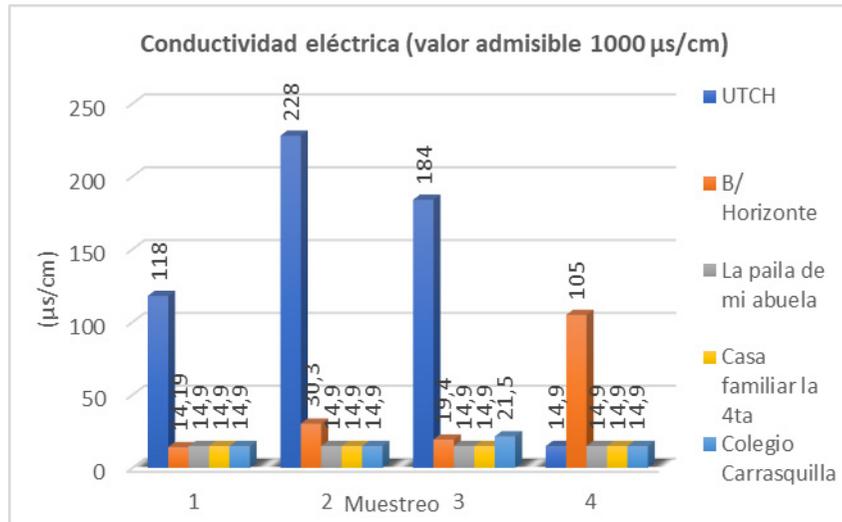


Figura 11. Resultados de la conductividad eléctrica

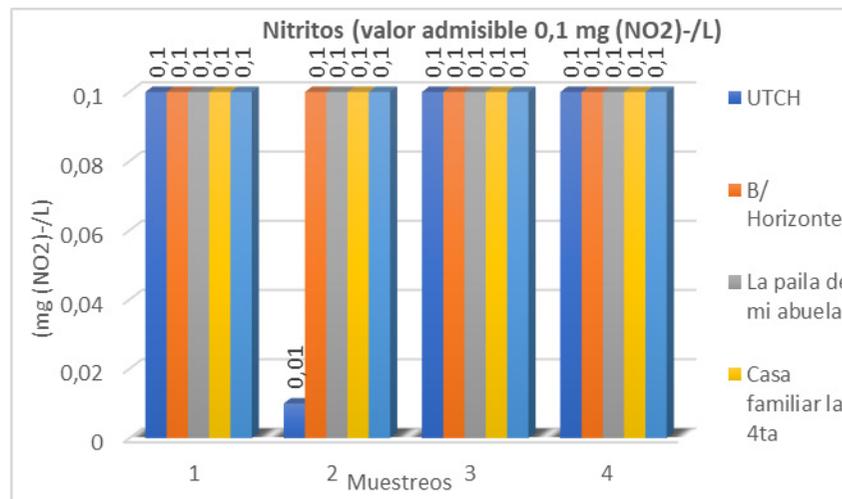


Figura 12. Resultados de nitritos

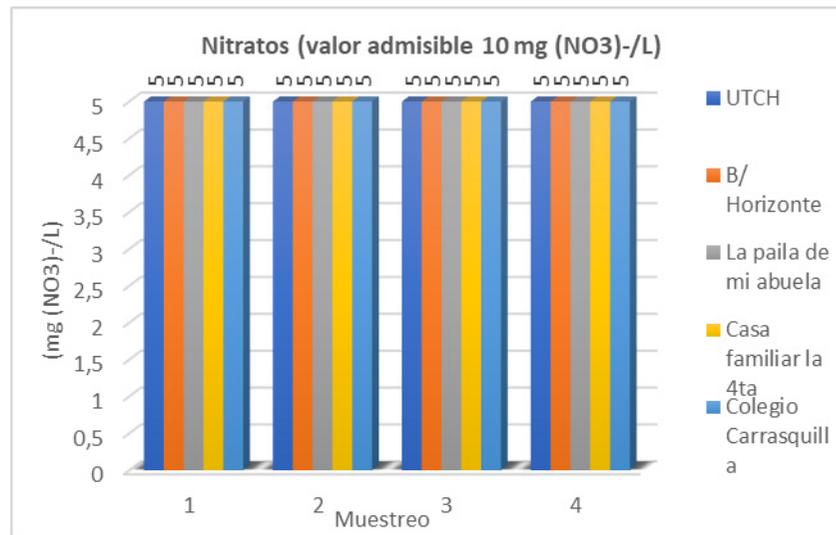


Figura 13. Resultados de nitratos

Con los valores obtenidos se hizo la extrapolación en un mapa con un espectro fisicoquímico, el cual muestra los resultados del color aparente (CA) del muestreo 1. En este mapa, se puede ver que los puntos 2, 3, 4, y 5 están sombreados con un color verde, lo que significa que cumplen con los valores máximos aceptables cuyo rango normativo es de 15 UPC. Sin embargo, el punto 1 muestras 1683WEO1 y 1749WEO1 se encuentran por encima del valor aceptable ya que según resultados tienen 40 y 30 UPC respectivamente, por lo tanto, este parámetro en esas muestras no es admisible, ver figura 14.

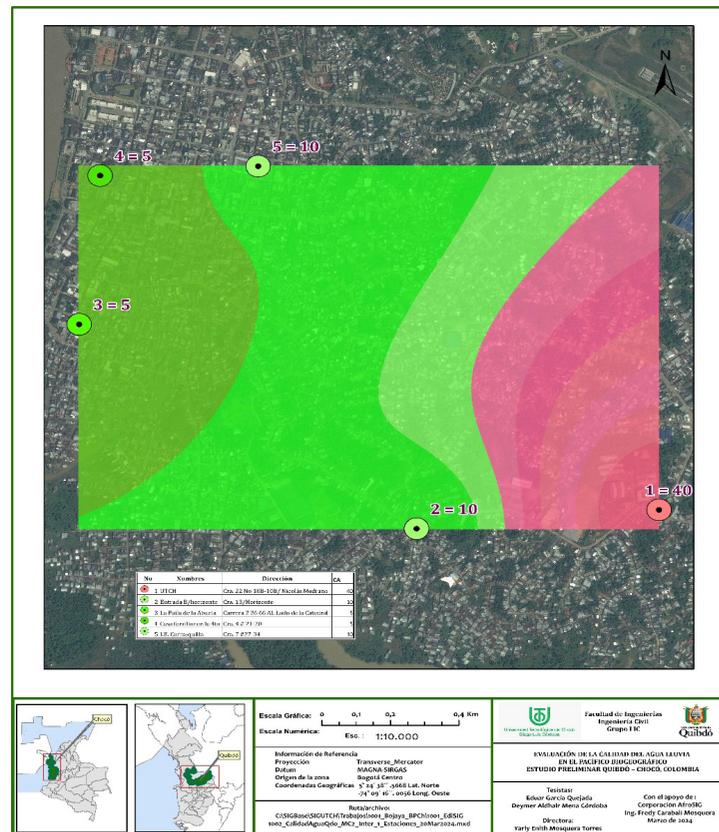


Figura 14. Mapa de distribución espacial Color Aparente (CA)

Adicionalmente, la figura 15 (mapa con un espectro microbiológico) presenta los resultados del muestreo del parámetro Escherichia Coli (CE). Según las figuras 3 y 4, ninguno de los puntos cumple con los valores establecidos para este parámetro, el cual debe ser 0 UFC/100 mL. Los puntos 1 y 4 tienen una intensidad más alta, lo que significa que tienen niveles más elevados de Escherichia Coli en comparación con los puntos 2, 3 y 5. Esto sugiere que los puntos 1 y 4 presentan un mayor riesgo para la salud y requieren una atención inmediata.

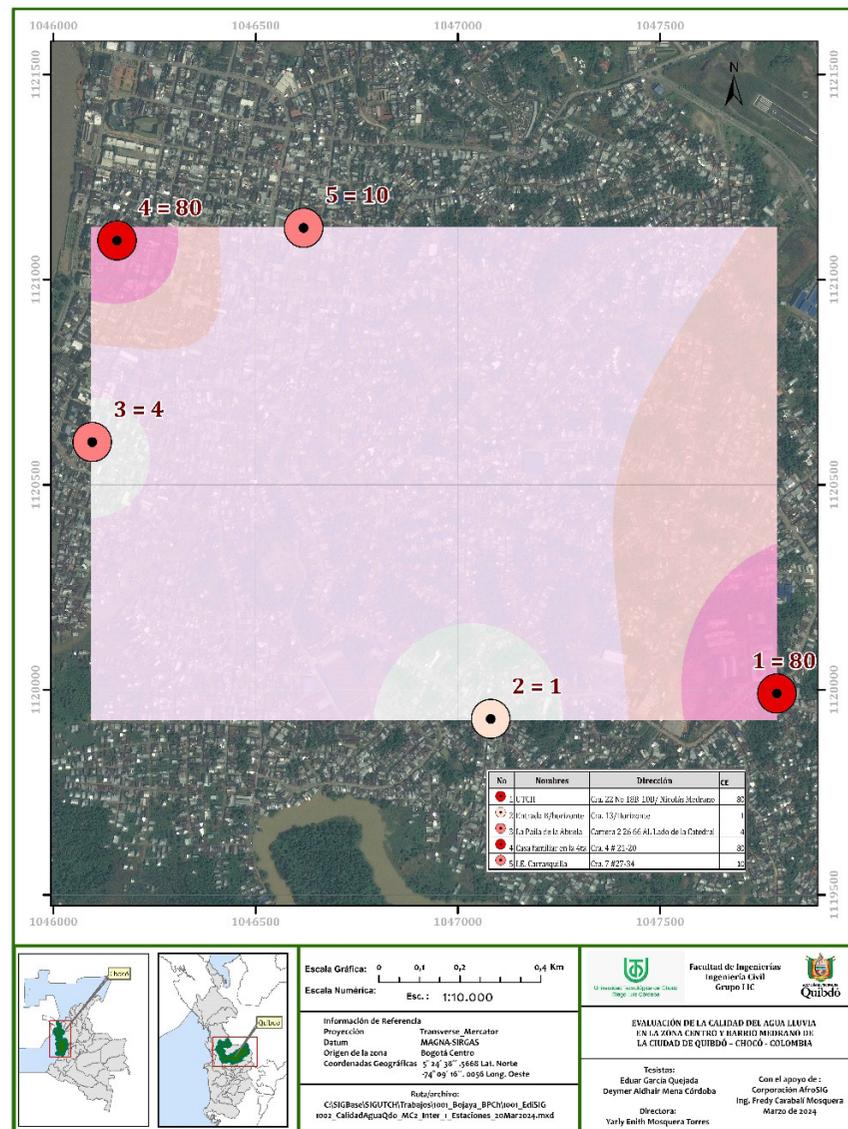


Figura 15. Mapa de distribución espacial Escherichia Coli (CE)

Discusión

Los resultados indican que el pH de las muestras 1683WEO2, 1647WEO3, 1683WEO3, 1749WEO3, 1683WEO4, 1749WEO4 y 1749WEO5 está por debajo del límite aceptable, lo que indica que el agua es ácida. Esto puede haber sido causado por las condiciones climáticas y atmosféricas en el momento en que fue recogida. Se observa que el color aparente no se ajusta a los límites permitidos en los puntos 1647WEO1, 1683WEO1 Y

1814WEO2, lo cual podría ser causado por sequías leves durante el momento de recolectar las muestras, la hora y lugar en que se realizó la recolección. En un estudio realizado en Guangzhou, Sur de China, el resultado de la investigación arrojó valores de pH por debajo del rango permisible (29).

Al analizar los resultados obtenidos en el laboratorio se pudo determinar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua recolectada en las viviendas de la Zona Centro y barrio Medrano de Quibdó - Chocó. Al evaluar estos resultados, se analizó que el agua no es apta para el consumo humano debido a que no cumple con los parámetros establecidos en la resolución Conjunta 2115 del 22 de junio de 2007, expedida por el Ministerio de la Protección Social y por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la cual establece las características, herramientas básicas y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua destinada al consumo humano.

Según el párrafo 2 de la resolución en mención, ninguna muestra de agua destinada al consumo humano debe contener E. Coli en un volumen de 100 mL de agua, independientemente del método de análisis utilizado. Basándose en esta premisa, ninguna de las muestras analizadas cumple con el parámetro microbiológico, ya que presentan unidades formadoras de colonia (UFC) debido a factores externos como plantas, animales, roedores, etc., que, al establecerse en las cubiertas de las edificaciones, dejan estas bacterias que son perjudiciales para la salud. De igual manera, un estudio realizado en las muestras de agua de tanques recolectadas en zonas urbanas y área periurbana en el sureste de Queensland (Australia) encontró contaminación del agua lluvia originada por material fecal de aves (30).

De acuerdo con los parámetros evaluados, se observa que el color, la conductividad eléctrica, los nitritos y los nitratos se encuentran dentro de los límites permitidos por la Resolución 2115 de junio de 2007. Los resultados para los nitritos no superaron el valor el 0.1 (mg (NO₂)-/L), los nitratos no superaron el valor de 10 (mg (NO₃)-/L) y la conductividad eléctrica no superó los 1000 (µs/cm).

La Universidad de Toulouse en Francia llevó a cabo un estudio llamado "Monitoreo de la calidad del agua de escorrentía del techo: interpretación mediante análisis multivariado", que reveló la presencia simultánea de Escherichia Coli y enterococos en las muestras de agua recolectadas. Este estudio destaca la importancia de evaluar la calidad del agua en cualquier lugar antes de su consumo, para determinar las medidas necesarias que se deben tomar antes de utilizarla (31). Al comparar este estudio con esta investigación, ambos textos destacan la importancia de evaluar la calidad del agua antes de su consumo y de seguir las normativas y regulaciones establecidas para garantizar la seguridad del agua para consumo.

De igual forma, un estudio realizado en la Facultad de Ingeniería de la universidad Islámica de Malasia, concluyó que el agua recolectada de la precipitación, no es apta para el consumo humano, pero sí es apta para ser utilizada en jardines, enjuague o limpieza (32). En la ciudad de Kleinmond (Cabo – Occidental, Sudáfrica) se realizaron estudios para conocer la calidad del agua lluvia, estos evidencian la presencia de coliformes totales en rangos superiores a los permitidos para agua potable (33). De igual forma, un estudio realizado en Austin Texas, sugiere que previo al uso del agua para consumo humano se deben realizar tratamientos que eliminen la diversidad microbiana presente en ella (34).

En un estudio realizado en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia se encontró la presencia de Coliformes totales y Escherichia Coli, los cuales se originan

principalmente por las heces de diferentes animales (aves, roedores, felinos, etc.) que pueden ser depositadas en las cubiertas y canales de las edificaciones (35). De igual forma, en un estudio realizado en la ciudad de Ibagué (Tolima) (21) y en Los Lagos (Buenaventura) (36) se detectó la presencia de coliformes totales. Por lo tanto, al contener estos agentes microbiológicos el agua no es apta para el consumo humano como lo establece la Resolución 2115 de junio de 2007.

Los resultados del presente estudio indican que el agua de lluvia en la zona Centro y barrio Medrano de la ciudad de Quibdó - Chocó puede ser utilizada para algunos usos, como el riego de cultivos y la limpieza doméstica, pero no es apta para el consumo humano sin un tratamiento previo. Los valores de pH, color aparente y color real indican que el agua de lluvia en Quibdó es relativamente limpia, pero la presencia de Escherichia Coli y Coliformes totales sugiere que está contaminada con materia orgánica y bacterias de origen fecal.

El uso del agua de lluvia para el consumo humano requiere de un tratamiento adecuado, ya sea mediante procesos físicos, químicos o biológicos, para garantizar su calidad y seguridad. En este sentido, es necesario implementar estrategias y políticas públicas que promuevan la recolección y tratamiento adecuado del agua de lluvia, con el fin de aprovechar este recurso de manera sostenible y contribuir a la conservación del agua dulce en la región.

Además, es necesario seguir monitoreando la calidad del agua de lluvia en Quibdó y en otras regiones, para identificar posibles cambios en su composición y tomar medidas preventivas en caso de detectar contaminantes o alteraciones significativas. En este sentido, es importante involucrar a la comunidad en el monitoreo y cuidado del agua de lluvia, con el fin de promover una cultura de conservación y uso responsable de este recurso vital.

Conclusiones

En esta investigación, la cual se realizó con una serie de datos limitados, se logró determinar que el agua de lluvia recolectada en los diferentes puntos seleccionados tiene componentes que alteran sus cualidades fisicoquímicas y microbiológicas, tales como: color aparente, Coliformes totales, pH y Escherichia Coli.

De los resultados obtenidos, se deduce que el agua con presencia de Coliformes no es apta para consumo humano. Además, se evidencia la presencia de bacterias nocivas para la salud, como Escherichia Coli, que pueden causar enfermedades gastrointestinales. Utilizar para baño el agua contaminada con Coliformes puede aumentar el riesgo de infecciones en la piel o del tracto urinario, y puede ser especialmente peligroso para personas con sistemas inmunológicos debilitados. La Universidad Tecnológica del Chocó (UTCH) y la Institución Educativa Carrasquilla Industrial, pueden emplear estas aguas con fines que no requieran altos estándares de calidad, como el riego, el aseo, el lavado, y el vaciado de baterías sanitarias, con el objetivo de satisfacer sus demandas y consumos de agua.

En la evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua lluvia recolectada en las edificaciones de la Zona Centro y barrio Medrano de la ciudad Quibdó – Chocó, se evidenció que el agua no es apta para el consumo humano, debido a que los parámetros de análisis fisicoquímico y microbiológicos estipulados en la resolución 2115 de junio de 2007 están fuera del rango.

Teniendo en cuenta que el agua lluvia no es apta para el consumo humano se recomienda a la comunidad en general abstenerse de consumir agua lluvia sin realizarle ningún proceso de purificación o tratamiento y se recomienda a futuros investigadores expandir los estudios a otras zonas donde se contemple el diseño de sistemas de abastecimiento de aguas lluvia con su respectivo sistema de tratamiento. Entre las opciones a utilizar como medidas de tratamiento correspondiente están: calentamiento, cloración, ozonización, filtros de cerámica, ultravioleta, ácido clorhídrico (HCl), carbonato de calcio, filtros de arena, carbón activado, de lámina, entre otros.

Vale la pena destacar la importancia que tiene el agua lluvia y se debería considerar no como un residuo sino como un recurso, y por lo tanto, incorporarlo en la gestión del recurso hídrico en el país, mediante una política de Manejo Integrado del Agua Lluvia (MIAL). Por otro lado, un buen manejo del agua lluvia contribuye a la reducción de los niveles de inundación en las ciudades.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Tecnológica del Chocó, al Centro de Investigación de Energías Renovables y Climatología (CIERCLIMA), a la Corporación AfroSIG y a los docentes del grupo de investigación Ingeniería Civil - IC.

Referencias

1. Simbaña-Farinango K, Romero-Estévez D, Yáñez-Jácome G, Benavides D, Navarrete H. Evaluación de la calidad del agua del río Pita (Ecuador), implicación para la conservación de la vida acuática y silvestre. *infoanalítica* [Internet]. 2019 [citado 27 de febrero de 2024];7:71–93. Disponible en: <https://doi.org/10.26807/ia.v7i2.104>
2. Ballén J, Galarza M, Ortiz R. Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. In: VI SEREA - Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Água João Pessoa (Brasil) [Internet]. 2006 [citado 27 de febrero de 2024]. p. 1–12. Disponible en: https://www.academia.edu/33576289/VI_SEREA_Semin%C3%A1rio_Iberoamericano_sobre_Sistemas_de_Abastecimiento_Urbano_de_%C3%81gua_Jo%C3%A3o_Pessoa_Brasil_5_a_7_de_junho_de_2006
3. Fernández I. Aprovechamiento de las aguas pluviales [Tesis]. Cataluña: Universitat Politècnica de Catalunya; 2009 [citado el 28 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/7222/pfc-e%202009.058%20mem%C3%B2ria.pdf>
4. Hernández Avilés DM, Chaparro T. Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. [Internet]. 2020 [citado 27 de febrero de 2024];30(2):97–107. Disponible en <https://doi.org/10.18359/rcin.4409>
5. Campisano A, Butler D, Ward S, Burns MJ, Friedler E, DeBusk K, et al. Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water Research* [Internet]. 2017 [citado 27 de febrero de 2024];115:195–209. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>
6. Gómez-Monsalve M, Domínguez IC, Yan X, Ward S, Oviedo-Ocaña ER. Environmental performance of a hybrid rainwater harvesting and greywater reuse system: A case study on a high water consumption household in Colombia. *Journal of Cleaner Production*.



- 2022 [citado 27 de febrero de 2024];345:131125. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131125>
7. Cure S, Gómez W. Análisis de alternativas para la potabilización de agua lluvia para uso doméstico en zonas rurales de Colombia [Tesis]. Medellín: Universidad de Antioquia; 2020 [citado el 28 de febrero de 2024]. Disponible en: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15410/13/CureSara_2020_PotabilizacionAguaLluvia.pdf
8. Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales. Estudio Nacional de agua 2018 [Internet]. Bogotá: IDEAM; 2019 [citado el 2 de marzo de 2024]. Disponible en: https://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf
9. Velásquez Restrepo M, Poveda Jaramillo G. Estimación del balance hídrico de la región Pacífica Colombiana. Dyna [Internet]. 2019 [citado 27 de febrero de 2024];86(208):297–306. Disponible en: <https://DOI:10.15446/dyna.v86n208.73587>
10. Instituto de Hidrología, Hidrología Metereología y Estudios Ambientales. Estudio Nacional del Agua 2022 [Internet]. Bogotá IDEAM; 2022 [citado el 28 de febrero de 2024]. Disponible en: https://www.andi.com.co/Uploads/Estudio%20Nacional%20del%20Agua%202022_compressed.pdf
11. Departamento Nacional de Planeación. Informe Anual de Avance de la implementación de ODS en Colombia [Internet]. Bogotá: DNP. 2020 [citado el 28 de febrero de 2024]. Disponible en: https://assets.ctfassets.p7ivvbl4bs/7myPrzLxNgtrIV0ZZ9PLS6/4fcaa686e86371ab12de75c69f382571/2021-12-29_Informe_final_2021.pdf
12. Castillo M. El proceso urbano territorial de Quibdó: una relación entre la gestión de los servicios públicos domiciliarios y las acciones de ordenamiento 2001 - 2014 [Internet] [Trabajo de grado]. Bogotá: Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario; 2016 [citado el 28 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://repository.urosario.edu.co/server/api/core/bitstreams/68bde628-4e8e-4e01-9dd8-56d8df294b9a/content>
13. Gutiérrez J. Aprovechamientos de aguas lluvias y aguas subterráneas instituciones prestadoras de salud departamento del Chocó [Internet] [Trabajo de grado]. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito; 2016 [citado el 28 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/382>
14. Correa Avendaño G. Importancia de incluir las aguas lluvias como abastecimiento de redes hidrosanitarias, en las normas y documentos de estudio y diseño del país. Instituto Universitario Colegio Mayor Antioquia [Internet]. 2015 [citado el 2 de marzo de 2024]. Disponible en: https://www.colmayor.edu.co/wp-content/uploads/2019/10/315_gustavo_correaaguas_lluvia.pdf
15. Castañeda N. 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. Revista Gestión y Ambiente [Internet]. 2010 [citado el 28 de febrero de 2024];13:1–16. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/25392/25903>
16. Reyes M, Rubio J. Descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias [Internet] [Trabajo de grado]. Bogotá: Universidad Católica de Colombia; 2014 [citado el 28 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2089/1/Recoleccion-aguas.pdf>

17. Jamali B, Bach PM, Deletic A. Rainwater harvesting for urban flood management – An integrated modelling framework. *Water Research* [Internet]. 2020;171:115372. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115372>
18. Organización Mundial de Meteorología OMM. Atlas Internacional de Nubes - Manual de Observación de Nubes Y Otros Meteoros [Internet]. 1993. 1–184 p. Disponible en: https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_407_es-v1.pdf
19. Lineamientos para potenciar el uso del agua Lluvia. Bogotá D. C. Colombia: Dirección de gestión Integral del Recurso Hídrico Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2022. Disponible en: <https://www.andi.com.co/Uploads/LINEAMIENTOS-USO-AGUAS-LLUVIAS.pdf>
20. Fazillah SNA, Azimah I, Juahir H, Badlishah RA, Faturrahman L, Umar R, et al. Rainwater Harvesting Opportunities: Water Resource Sustainability. *J Sustain Sci Manag.* [Internet]. 2022;17(1):84–98. Disponible en <https://doi.org/10.46754/jssm.2022.01.006>
21. Ospina-Zúñiga O, y Ramírez-Arcila H. "Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en la ciudad de Ibagué, Tolima, Colombia". *Ingeniería Solidaria.* 2014;10(17): 25-138. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.812>
22. Resolución 2115 de 2007, 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. Bogotá: Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. 2017;2007(2):23, (22 de junio de 2007). Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resolución_2115_de_2007.pdf
23. Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas DANE. La información del DANE en la toma de decisiones regionales, Quibdó - Chocó [Internet]. Vol. 261. Bogotá; 2021 [citado el 1 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/planes-departamentos-ciudades/210130-InfoDane-Quibdo-Choco.pdf>
24. Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. Muestreo de suelos y muestreo de aguas para análisis fisicoquímico y biológico [Internet]. Instituto Geografico Agustin Codazzi, guía de muestreo de agua para análisis fisicoquímico y biológico Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC; 2013 p. 1–8. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbnmnncbjpcglclefindmkaj/https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/guademuestreo.pdf>
25. Subdirección Ambiental Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Manual para el monitoreo de aguas superficiales. Guía para la toma de muestras de agua para análisis fisicoquímicos. Manual para el monitoreo de aguas superficiales Colombia; jun 5, 2019 p. 1–62.
26. Meneses J. Introducción al análisis multivariante [Internet]. Primera edición. FUOC, editor. Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya. Barcelona; 2019. 1–52 p. Disponible en: <https://femrecerca.cat/meneses/publication/introduccion-analisis-multivariante>
27. Rivera M. Clasificación de la calidad de agua de la región de Atacapi utilizando análisis multivariado, en el periodo 2019 - 2020 [Proyecto de grado]. Vol. 1, Universidad Técnica de Cotopaxi. Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi; 2020.
28. Posada G. Elementos básicos de estadística descriptiva para el análisis de datos [Internet]. Editorial Luis Amigó. Luis Amigó, editor. Fondo Editorial Universidad Católica



- Luis Amigó. Medellín; 2016. 1–158 p. Disponible en: http://www.funlam.edu.co/uploads/fondoeditorial/120_Ebook-elementos_basicos.pdf
29. Cao YZ, Wang S, Zhang G, Luo J, Lu S. Chemical characteristics of wet precipitation at an urban site of Guangzhou, South China, *Atmospheric Research* [Internet]. 2009;94(3):462–469. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.07.004>
30. Ahmed W, Staley C, Hamilton KA, Beale DJ, Sadowsky MJ, Toze S, et al. Amplicon-based taxonomic characterization of bacteria in urban and peri-urban roof-harvested rainwater stored in tanks. *Sci Total Environ* [Internet]. 2017;576:326–34. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.090>
31. Vialle C, Sablayrolles C, Lovera M, Jacob S, Huau MC, Montrejaud-Vignoles M. Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. *Water Research* [Internet]. 2011;45(12):3765–75. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2011.04.029>
32. Kabbashi NA, Jami MS, Abdurahman NH, Puad NIM. Rainwater harvesting quality assessment and evaluation: IIUM case study. *IIUM Engineering Journal*. 2020;21(1):12–22. Disponible en: <http://doi.org/10.31436/iiumej.v21i1.1139>
33. Waso M, Khan S, Khan W. Microbial source tracking markers associated with domestic rainwater harvesting systems: Correlation to indicator organisms. *Environ Res* [Internet]. 2018;161(September 2017):446–55. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.043>
34. Bae S, Maestre JP, Kinney KA, Kirisits MJ. An examination of the microbial community and occurrence of potential human pathogens in rainwater harvested from different roofing materials. *Water Research* [Internet]. 2019;159:406–13. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.029>
35. Arroyave Rojas J, Quintero García KL, Medina Restrepo CA, González Duque ME. 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 [Trabajo de grado Maestría]. [Medellín]: Instituto Tecnológico Metropolitano; 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.26507/ponencia.1939>
36. Arboleda Montaña N. Diagnóstico del sistema de aprovechamiento del agua lluvia en el consejo comunitario de la comunidad negra de Los Lagos, Buenaventura. *Luna Azul* [Internet]. 2016 [citado el 2 de marzo de 2024];43(43):29–55. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n43/n43a03.pdf>