

## Potencial de Uso del Agua proveniente de los Sistemas de Aire Acondicionado en el Caribe Seco Colombiano

Sonia E. Aguirre, Nelson V. Piraneque\* y Arturo Rozo

Universidad del Magdalena, Santa Marta-Colombia. (e-mail: [npiraneque@unimagdalena.edu.co](mailto:npiraneque@unimagdalena.edu.co); [saguirre@unimagdalena.edu.co](mailto:saguirre@unimagdalena.edu.co); [artur29ias@gmail.com](mailto:artur29ias@gmail.com))

\* Autor a quien debe ser dirigida la correspondencia

*Recibido Feb. 21, 2018; Aceptado May. 7, 2018; Versión final Jul. 10, 2018, Publicado Dic. 2018*

---

### Resumen

Se estudió y evaluó el potencial uso del agua generada por unidades de aire acondicionado. Se cuantificó la disponibilidad, la calidad y se valoró su uso en la Universidad del Magdalena. La disponibilidad del recurso hídrico es fundamental, por lo que su estudio es crucial para el desarrollo humano. A finales de 2015 debido a la escasez de agua fue declarada calamidad pública en Santa Marta, Colombia, porque el abastecimiento de las redes se redujo y no se logró suplir las necesidades de la población. Los resultados muestran que 330 unidades de aire generan en promedio 4.26 m<sup>3</sup> de agua por día, con adecuadas condiciones físico químicas. No obstante, el análisis microbiológico reveló contaminación por coliformes fecales por lo que es necesario tratamiento para uso doméstico. Se evidenció que el recurso es óptimo para uso agrícola y como fuente para los destiladores de los laboratorios. Así, el uso del agua generada por las unidades de aire acondicionado es una alternativa viable y sostenible.

*Palabras clave: disponibilidad de agua; aire acondicionado; trópico seco; uso adecuado del agua*

## Potential Use of Water from Air Conditioning Systems in the Dry Colombian Caribbean

### Abstract

Potential use of water generated by air conditioning units was studied and evaluated. The availability and quality were quantified and its use was evaluated at the Universidad del Magdalena. Availability of water resources is essential, so their study is crucial for human development. At the end of 2015, due to the scarcity of water was declared as a public disaster in Santa Marta, Colombia, because the supply was reduced and networks are not able to meet the needs of the population. The results showed that 330 air units generate on average 4.26 m<sup>3</sup> of water per day, with adequate physical-chemical characteristics. However, the microbiological analysis shown fecal coliforms contamination making it necessary to treat the water for domestic use. The resource is optimal for agricultural use and as a source for distiller's laboratories. Thus, the use of water generated by air conditioning units is a viable and sustainable alternative.

*Keywords: water availability; air conditioner; dry tropics; proper use of water*

## INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura señaló que los factores como el crecimiento demográfico, la urbanización, la industrialización, el incremento de la producción de cultivos y el consumo, aumentan la demanda de agua potable (UNESCO, 2015). Al considerar que el acceso al agua potable es fundamental para la salud humana y el uso doméstico (Bain et al., 2014b), surge la necesidad de buscar alternativas para monitorear la disponibilidad del recurso y la eficiencia del sistema. Así mismo, se requiere mapear las áreas problemáticas para la intervención de políticas y el manejo adaptativo, con lo que se mitigaría un déficit del recurso ante el escenario de cambio climático. De acuerdo con Mialhe, et al. (2008), como resultado del Foro Mundial del Agua de Kioto de 2003 se planteó que la gestión de los recursos hídricos debe cambiar su énfasis y pasar de regulación estatal a la gobernanza de los mismos que implica una concepción del recurso hídrico como una propiedad común de la sociedad. Por otro lado, la concentración elevada de gases de efecto invernadero en la atmósfera aumenta la temperatura modificando diversas funciones ecosistémicas, como el ciclo hidrológico, la disponibilidad hídrica, las propiedades edáficas y la vegetación, entre otras (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014), lo que se traduce en veranos intensos y reducción en la disponibilidad hídrica que se acentúa en las zonas semiáridas, siendo necesario identificar las opciones para mitigar y afrontar estos efectos, así como explorar las estrategias ante los nuevos escenarios (Gray y Brady, 2016).

Ante este escenario es necesario una gestión sostenible del agua, con una visión holística y funcional de los servicios ecosistémicos, que represente un alto valor sociocultural y que cuente con diseños de eco-ingeniería para una operación dinámica y constante. Esto permitiría mantener activa la infraestructura y la función ecológica que respalda la provisión del servicio en un contexto de flujo hídrico cambiante. De esta manera, se deben proyectar diferentes estrategias como la rehabilitación de las infraestructuras (techos) de colecta de agua lluvia, la construcción de represas y la reutilización del recurso (Zaman, 2016). Para Foley et al. (2011) la recolección de agua es un medio efectivo y económico para lograr este objetivo. De acuerdo con estos mismos autores, una característica de las regiones semiáridas es que la lluvia resulta insuficiente para suplir las necesidades básicas de la población. Así, la sequía es un peligro natural que impide satisfacer las demandas del ecosistema las actividades humanas (Van Loon, 2015). La UNESCO (2015) señala que la degradación de la tierra no solo supone un peligro para la vida, sino que también es una amenaza para la paz y la estabilidad. La creciente sequía evidencia una compleja interacción entre los problemas socioeconómicos y ambientales que incrementa la posibilidad de enfermedades respiratorias, infecciosas, quemaduras, malnutrición y la inanición, entre otras. Por otro lado, aunque buena parte de los alimentos del mundo se producen en tierras de regadío, alrededor de una décima parte de la superficie irrigada del planeta está saturada de sal, lo que se ha convertido en un peligro para la seguridad alimentaria (Pinstrup-Andersen 2009). En este sentido, la calidad del agua para riego es fundamental en la producción de los alimentos y en la preservación del suelo.

La ciudad de Santa Marta, localizada sobre la costa caribe colombiana, presenta una situación compleja por el déficit de agua potable, lo cual llevó a que en el año 2015 el gobierno declarara la calamidad pública. Una solución temporal fue el empleo de las reservas de agua del subsuelo, de manera que se construyeron pozos profundos. No obstante, estas medidas resultan limitadas y transitorias, por lo cual deben ser manejadas con cautela, principalmente por las condiciones geológicas del acuífero y la cercanía al mar. Las aguas subterráneas abastecen cerca de 2500 millones de personas y su uso continuo puede generar hundimiento del suelo y salinización de los acuíferos por intrusión de agua salada (UNESCO, 2015; Gleeson et al. 2012; Konikow 2013). Además, puede incrementar el riesgo de contaminación del líquido por bacterias fecales (Bain et al., 2014a; Bain, et al., 2014b). De la misma manera, la valorización del agua presenta muchos beneficios para la sostenibilidad urbana y surge como una estrategia clave para hacer frente a la escasez. Sin embargo, no hay conocimiento sobre la utilidad de algunas fuentes del recurso, entre las que se encuentra la condensación por aires acondicionados que normalmente, se desperdicia. En algunas regiones, la recolección y tratamiento de este recurso puede cubrir las necesidades de agua potable, riego, suministro para baños y otros usos, si se estudia un sistema integrado, que combina la extracción de agua del aire, equipado con tratamiento de agua específico (Magrini et al., 2017). Todos los esfuerzos que se realicen para reducir el riesgo de escasez de agua permiten reducir la vulnerabilidad y mantener la calidad y cantidad del líquido, toda vez que 780 millones de personas aún no cuentan con fuentes de agua potable (WHO y UNICEF, 2015).

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue valorar y evaluar el potencial de uso del agua generada por las unidades de aire acondicionado dispuestos en las instalaciones de la Universidad del Magdalena. Para lograr esto, se cuantificó el recurso obtenido de las unidades, se determinaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos de calidad del agua, y se catalogó su uso. Así mismo, se estableció el inventario de unidades de aire acondicionado de la universidad, se aforó el volumen de agua generada. Se registró pH, dureza, sólidos disueltos, conductividad, metales pesados, turbiedad, alcalinidad, olor, sabor, nitritos, nitratos, demanda química de oxígeno (DQO) y unidades formadoras de colonias (UFC) de coliformes totales y

coliformes fecales, y se consideró el diseño de tanques para su almacenamiento. Este estudio constituye un piloto que podría ser implementado en otras edificaciones de la ciudad y/o la región para hacer frente a las condiciones antes mencionadas.

## MATERIALES Y MÉTODO

La investigación se realizó en el campus de la Universidad del Magdalena, ubicada en la ciudad de Santa Marta, departamento del Magdalena, Colombia ( $11^{\circ}13'18,31''N$ ,  $74^{\circ}11'08,80''W$ , elevación 21 m; ver Figura 1). El área de investigación se ubica en la zona de vida del bosque seco tropical con régimen de precipitación de tipo bimodal. La mayor intensidad en las precipitaciones ocurre en el mes de octubre, mientras que el periodo con mayores temperaturas va de diciembre hasta abril y el veranillo de julio hasta agosto. La región, cuenta con precipitación media anual de 578 mm, temperatura promedio anual de  $27^{\circ}C$ , temperatura media máxima anual  $32.6^{\circ}C$  y la media mínima de  $23.3^{\circ}C$ . El clima es semiárido con un marcado déficit hídrico en la época seca (Rangel y Carvajal, 2012). El campus tiene un área de 30 ha, de las cuales 10 están ocupadas por edificaciones, zonas verdes y un lago artificial. Las restantes pertenecen al Centro de Servicios Agropecuarios.

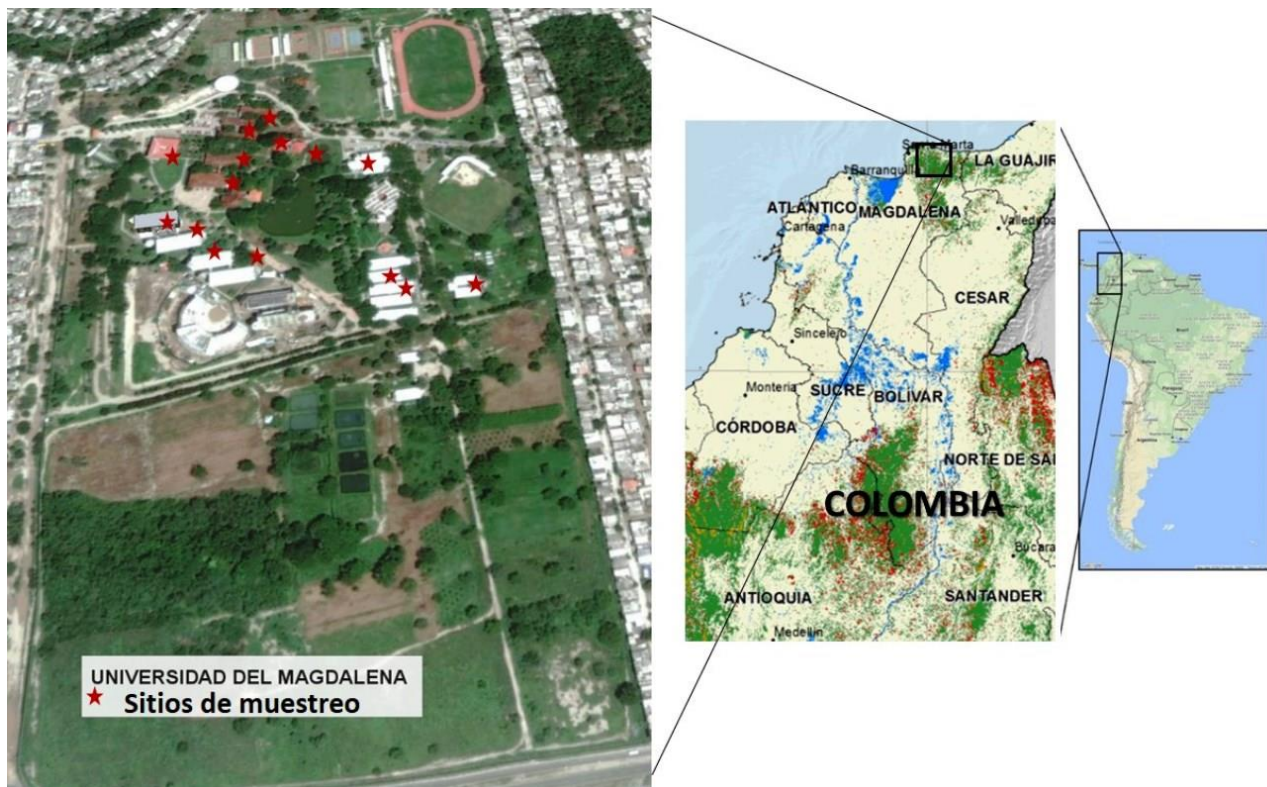


Fig. 1: Localización sitios de muestreo Campus Universidad del Magdalena, Santa Marta – Colombia.

En cuanto a los aspectos metodológicos, la presente investigación consideró alternativas de análisis de tipo cualitativo y descriptivo. En este sentido, se realizó el inventario de las unidades de aire acondicionado del campus de la universidad donde en una matriz de triple entrada se asoció la marca, la capacidad de refrigeración (BTU/h) y la facilidad de acceso para la recolección del agua generada. Para estimar el volumen generado por cada equipo se utilizó el método volumétrico (aforado), de manera que se calculó la descarga de flujo en 30 minutos durante 3 días. Con los datos obtenidos se deduce el caudal promedio generado a partir de 10 horas de uso por unidad o equipo de refrigeración. La selección de los parámetros de calidad del agua está en función de la procedencia, el tratamiento y el uso. El rango más alto es para el agua potable, a partir de la evaluación de los caracteres organolépticos, fisicoquímicos y microbiológicos. Los resultados obtenidos deben cumplir con los niveles fijados por la Resolución 2115, publicada por el Ministerio de la Protección Social, y el Decreto 1575 de 2007 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, las cuales se enfocan en el control de la calidad del agua para consumo humano. Para la caracterización química y física del agua, se efectuó un muestreo selectivo, teniendo en cuenta la facilidad de acceso para la recolección de recurso. Durante cuatro días y en diferentes horas se recolectaron seis muestras por cada punto (un litro de agua), en cinco edificios (Bienestar Universitario – BU, Hangar B – H.B, Hangar C – H.C, Hangar D – H.D, e INTROPIC – In). Como muestra de referencia se utilizó agua del grifo del laboratorio de aguas de la Universidad, la cual proviene de pozo profundo. El procedimiento de toma y preservación de muestras se efectuó de acuerdo a los lineamientos técnicos de la NOM-014-SSA1-1993.

El pH se registró mediante potenciómetro, la dureza, los sólidos disueltos, la conductividad con conductímetro y la turbiedad a partir del turbidímetro digital HANNA hi 93703 - 0-1 FTU, la alcalinidad a partir de la volumetría y los metales pesados mediante la digestión en ácido (ICP). Igualmente, los nitritos y los nitratos mediante la técnica de la espectrofotometría, las cantidades de Ca, Na, Mg y K gracias a una espectrofotometría de absorción atómica y el DQO. Los procedimientos se realizaron en los laboratorios del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), con el método estándar para la evaluación del agua y del agua servida de propuesto por APHA-AWWA-WEF (2012).

La tabla 1 muestra los principales equipos empleados en los procesos analíticos. Para determinar coliformes totales y coliformes fecales (*E. coli*) se recolectaron 10 muestras por sitio, a partir del método de filtración por membrana con sustrato enzimático (SM 9223 B) Agar Chromocult 1.10426.0500 merck®, aceptado por US EPA. Así mismo, por 48 horas y a 36°C se incubó para los totales y a 44 °C para los *E.coli*, realizando el conteo directamente en caja. Para la realización de la prueba de oxígeno disuelto sólo se emplearon muestras que una vez se recolectaron, fueron analizadas por lo que el procedimiento se llevó a cabo en el laboratorio de aguas de la Unimagdalena.

Tabla 1: Procedimientos analíticos y equipos empleados para la caracterización física y química del agua proveniente de los aires acondicionados en el caribe seco colombiano.

Parámetro	Técnica Analítica	Equipo	Margen de error
pH	Potenciometría	pH-metro digital Hanna HI2020	1%
Conductividad	Electrométrico	Conductímetro Hanna HI2030	1%
Nitratos	Electrodo de ión selectivo	Medidor de iones Ion Meter 692 con Electrodo Selectivo de Nitrato	5%
Sulfatos	Espectrofotómetro	Espectrofotómetro ultravioleta-visible UV-VIS a 420nm	5%
Ca	Espectrofotometría de absorción atómica	Espectrofotómetro Unicam 969 Solar	5%
Na	Espectrofotometría de absorción atómica	Espectrofotómetro Unicam 969 Solar	5%
Mg	Espectrofotometría de absorción atómica	Espectrofotómetro Unicam 969 Solar	5%
K	Espectrofotometría de absorción atómica	Espectrofotómetro Unicam 969 Solar	5%
Pb	Espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente	ICP-OES Thermo Scientific™ iCAP™ 7200 DUO	5%
Cd	Espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente	ICP-OES Thermo Scientific™ iCAP™ 7200 DUO	5%
Turbiedad	Turbidimetría	Turbidímetro digital HANNA hi 93703 - 0-1 FTU	5%
Temperatura		Termómetro de mercurio en vidrio de inmersión parcial precisión mínima en 0,1 °C	5%
Color	Colorimetría	Espectrofotómetro	5%

Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores máximos permisibles establecidos en la Resolución 2115, publicada por el Ministerio de la Protección Social, y el Decreto 1575 de 2007 del Ministerio de Ambiente. Esta información se comparó posteriormente con los criterios modernos para evaluación de calidad de agua para riego establecidos en García (2012) y el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. Por otro lado, para estimar el promedio de agua de lluvia que se capta por los techos de los edificios Sierra Nevada y Ciénaga Grande, se analizaron los datos del ciclo medio anual de las precipitaciones en la estación Simón Bolívar del IDEAM. En este lugar se observó el comportamiento típico bimodal de las precipitaciones en la región caribe, siendo octubre el mes con mayor promedio (108.4 mm/mes) y marzo el mes con menor promedio de precipitaciones (1.8mm/mes). Las dimensiones de la superficie colectora de los techos fueron obtenidas de la Oficina de Infraestructura y comprobadas en campo. Teniendo en cuenta lo anterior, se estimó que sobre los edificios Sierra Nevada y Ciénaga Grande se puede albergar aproximadamente entre 340 m<sup>3</sup> y 388 m<sup>3</sup> de agua de lluvia que puede almacenarse.

Para el diseño de los tanques de almacenamiento se realizó un estudio sanitario considerando los principios de capacidad de persistir con funcionalidad e integridad a condiciones ambientales cambiantes y la capacidad

de adaptación (ser modificado rápidamente y con bajos costos). En este sentido, se tuvo en cuenta la infraestructura civil existente en los edificios, tales como los ductos y drenajes que facilitaron la captación del agua, sin alterar la actividad académica, ni interferir en el diseño paisajístico de la institución.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se observa el inventario de las unidades de aires acondicionados del campus universitario y la distribución por edificio.

Tabla 2: Distribución de las unidades de aire acondicionado por edificio en el campus de la Universidad del Magdalena.

<i>Edificio</i>		<i>Unidades</i>		<i>Edificio</i>		<i>Unidades</i>	
Anfiteatro Orgánico	AO	2		Hangar A	HA	7	
Biblioteca	BI	22		Hangar B	HB	8	
Bienestar Universitario	BU	7		Hangar C	HC	12	
Bloque 3	B3	12		Hangar D	HD	6	
Bloque 4	B4	12		Hangar E	HE	8	
Bloque 5	B5	15		INTROPIC	In	13	
Bloque 6	B6	19		La granja	Gr	7	
Bloque 8	B8	58		Lb de acuacultura	La	8	
Bloque 9	B9	9		B. administrativo	B	18	
Ciénaga Grande	Cg	46		Edificio docente	ED	61	
Sierra Nevada	Sn	49					
Total Unidades						399	

En la Tabla 3 se presentan los caudales diarios promedio, la potencia de las unidades de refrigeración y el caudal total obtenido (4.26 m<sup>3</sup> de agua/ día), flujo no despreciable bajo las condiciones climáticas del área de estudio. Es necesario señalar que de las 399 unidades no se logró caracterizar 69, debido a la dificultad de acceso a los sitios de disposición o a la imposibilidad de recolectar el fluido. A partir de este proceso se estableció que los edificios Sierra Nevada, Ciénaga Grande, Bloque 8 y Docente son los que generan más líquido. Por esta razón, se priorizó el diseño de tanques para el almacenamiento y la recolección del recurso en estos edificios, los cuales reúnen 95 unidades de aire acondicionado y generan en promedio 2052 L/día.

Tabla 3: Estimación de Caudales diarios promedio generados por los aires acondicionados de la Universidad del Magdalena – Colombia. \*No cuantificado por dificultad en el acceso.

<i>Capacidad de refrigeración BTU/h</i>	<i>Potencia (HP)</i>	<i>Caudal L día<sup>-1</sup></i>	<i>Nº de aires acondicionados</i>	<i>Caudal total L/día</i>
9000	0.75	3.1	13	40.3
12000	1.0	3.0	61	183.0
18000	1.5	3.7	8	29.6
36000	3.0	15.4	42	616.0
60000	5.0	21.6	206	3391.2
Sin caracterizar	-	-	69*	-
				4260.1

Los análisis se realizaron con el fin de determinar el riesgo y/o la magnitud de los efectos adversos que se pueden presentar cuando un parámetro físico, químico o microbiológico está por encima de las normas establecidas toda vez que a nivel internacional existe mayor exigencia para que se incluyan estos parámetros entre los análisis para reutilizar agua de manera segura (Huertas et al., 2008). Los resultados analíticos de caracterización física y química (Tabla 4) se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la norma (no exceden el valor de referencia VR) y, por tanto, se puede inferir que existe inocuidad física y química del recurso y así, el agua es adecuada para ser utilizada.

Respecto a la concentración de metales pesados, se determinó la inexistencia de níquel y cromo, mientras que los niveles de plomo (<0.001 ppm) y cadmio (<0,003 ppm) son bajos, lo que no supone riesgo para la salud humana. En el agua del grifo, se detectó baja concentración de metales pesados, a pesar de que el agua es extraída de un pozo subterráneo y no presenta tratamiento. Sin embargo, los niveles observados se encuentran dentro de los límites establecidos en la normatividad vigente.

Tabla 4: Promedio de Parámetros Físico Químicos del Agua Recolectada en las unidades de aires acondicionados y del grifo en la Universidad del Magdalena – Colombia. (\*) Valores de Referencia según resolución número 2115 del decreto 1575 de 2007. SR: Sin Referencia; UPC: Unidades Platino Cobalto; NR: No reportado

Parámetro	Unid	Edificio					Grifo	V.R*
		(BU)	(HB)	(HC)	(HD)	(In)		
pH	Un	7.1±0.45	6.4±1.2	7.3±0.36	6.53±1	6.5±0.7	7.9±0.2	6.5 - 9
Dureza CaCO <sub>3</sub>	mg L <sup>-1</sup>	11.8±4.10	9.3±3.0	11.0±4.6	8.8±2.9	7.0±2.7	285±0.25	Max. 300
Sólidos Disueltos	mg L <sup>-1</sup>	29 ±7.00	20±4.3	56±6.2	31±12	33±8.7	220±0.1	NR
Conductividad	mg L <sup>-1</sup>	62.4±2.90	32.9±2.7	78.7±10	65±6.2	60.9±6.2	856±0.25	Max.1000
Alcalinidad (CaCO <sub>3</sub> )	mg L <sup>-1</sup>	21±4.00	14 ±3.0	15±2.6	46±16	19±8.6	35.8±0.4	Max.200
Nitratos	mg L <sup>-1</sup>	0.68±0.04	0.413±0.23	0.25±0.2	0.35±0.07	0.97±0.7	1.07±0.01	Max.10
Sulfatos	mg L <sup>-1</sup>	4.6±0.27	1.5 ±1.6	2.4±0.4	1.6±0.6	2.4±2.5	72±0.12	Max.250
Ca	mg L <sup>-1</sup>	1.77 ±0.32	1.13±0.4	0.77±0.1	1.1±	0.64±0.1	67.42±0.4	Max.60
Na	mg L <sup>-1</sup>	0.48±0.05	0.36±0.15	0.487±0.07	1.07±0.13	0.54±0.02	26.4±0.25	NR
Mg	mg L <sup>-1</sup>	1.68±0.80	0.2±0.04	0.105±0.04	0.41±0.3	0.0935±0.01	28.1±0.3	Max 36
K	mg L <sup>-1</sup>	0.20±0.03	0.17±0.01	0.08±0.08	0.12±0.02	0.005±0.01	2.34±0.1	SR
Pb (ICP)	ppm	0.002±1.20	0.0	0.002±0.01	0	0.002±0.2	0.022± 0.3	Max. 0.01
Cd (ICP)	ppm	0.001±0.20	0.1±0.12	0	0.0004±0.04	0.00087±0.04	0.000049±0.1	Max.0.003
Cr (ICP)	ppm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.024±	Max. 0.05
Ni (ICP)	ppm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Max. 0.02
DQO	mg L <sup>-1</sup>	51±16.60	58 ±11	49±6.2	60±13	56±12	36±0.4	SR
Turbiedad	NTU	1.58±1.00	2.31±0.4	2.27±1.3	2.08±0.8	3.24±1.4	1.3±0.02	Max. 2- 5
Temperatura	°C	17	23	18	17	20	22	SR
Color	UPC	2.4	3.8	1.5	1.6	1.8	1.4	Max. 15

Para evaluar el pH, el número de protones (iones H<sup>+</sup>) y de iones hidroxilo (OH<sup>-</sup>) debe ser igual para considerar que el agua es neutra (pH=7), rango que garantiza que el líquido no representa riesgos conocidos a la salud (Romero et al. 2010). Al comparar los valores medios obtenidos, los cuales oscilan entre 6.5 y 7.2 unidades, con lo establecido en la norma vigente, se observa que no existe restricción de uso. En general, los resultados obtenidos respecto a los parámetros químicos están acordes con lo exigido en la normativa vigente en Colombia (Decreto 1575 de 2007) y de esta manera no representa un riesgo para la salud. No obstante, se resalta que los valores de turbidez obtenidos en este estudio oscilan entre 1.6 y 3.8 UNT y, a pesar de encontrarse entre los valores permisibles (2-5 UNT), se verificó que existe dificultad del líquido para transmitir la luz por presencia de materiales en suspensión, lo cual puede estar relacionado con los sistemas de desagüe y de conducción de agua que se encuentran en mal estado y carecen de mantenimiento. En este sentido, se requiere un sistema de filtración una vez almacenada para superar esta dificultad.

Siguiendo con el análisis, se observa que al comparar los promedios de los parámetros analíticos (de conductividad, alcalinidad, contenido de nitratos, sulfatos, sodio, magnesio, calcio y potasio) de las muestras de agua generadas por las unidades de aire acondicionado con los del agua de grifo, se evidencia que el agua que proviene de los primeros, poseen concentraciones mínimas de sales. Esto posiblemente se debe al proceso de condensación, aspecto que resulta favorable para las condiciones de la zona. Con respecto al contenido de sales que presentó el agua proveniente de pozo profundo, se observó que supera los 250 mL/L,

lo que muestra la dureza del recurso. Tal como los resultados lo muestran, el contenido de nitritos y nitratos es mínimo en el agua generada por las unidades de aire acondicionado, de manera que no representan riesgo alguno para los humanos. Adicionalmente, se corrobora la presencia de sales en forma de cloruros, sulfatos, nitratos y bicarbonatos, que probablemente se unen a los cationes de sodio, calcio, magnesio y potasio. Una medida indirecta de la cantidad de iones en la solución (cloruro, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio) es la conductividad, entendida como la capacidad de conducir la corriente eléctrica y que se encuentra relacionada con la dureza (Rodríguez, 2009). El máximo valor que es aceptado por la resolución 2115 de 2007 (Capítulo II, artículo 3) es de 300 mL L<sup>-1</sup>. Por lo tanto, es posible afirmar que los valores para la variable medida en el agua generada proveniente de las unidades de aire en cada punto de muestreo, son favorables en el contexto del estudio. No obstante, la muestra de agua del grifo, que proviene de pozo profundo, reportó 285 mL L<sup>-1</sup>, concentración que, aunque no supera el valor permisible, resulta alto.

El alto contenido de sales en el agua es una preocupación en la Universidad por el continuo daño a los equipos de laboratorio y debido a los potenciales efectos negativos en la salud. Aunque no existe acuerdo científico, varios estudios epidemiológicos plantean una relación inversa entre la dureza del agua y las enfermedades cardiovasculares, de manera que se plantea que esta propiedad es un factor protector para el infarto de miocardio. Otros autores le atribuyen a esta característica daños renales, retraso en el crecimiento y, desordenes reproductivos y alergias en la piel (dermatitis atópica en los niños expuestos al consumo de agua dura). Es por ello, que se requiere el desarrollo de estudios adicionales que ratifiquen estas posturas (Sengupta, 2013). Los resultados obtenidos evidencian que las aguas generadas por las unidades de aire acondicionado presentan mínimo contenido de sales y carbonatos. Por lo tanto, se plantea que este recurso puede surtir el agua de los destiladores de los laboratorios de la institución, los cuales pueden presentar problemas por la dureza del agua del grifo que los obstruye y aumentar los costos de mantenimiento, al tiempo que disminuye la calidad del servicio analítico de la universidad. Por otro lado, los resultados del estudio mostraron DQO promedio de 54.8 mL L<sup>-1</sup> para el agua generada por las unidades de aire acondicionado y de 36 mL L<sup>-1</sup> para el agua de grifo, que permiten inferir que el agua analizada presenta indicios de contaminación lo que, en el caso particular de la Universidad, puede deberse a la presencia de material que es arrastrado por el viento o el agua de lluvia hacia los canales de conducción. El oxígeno disuelto se encontró en el límite de la norma (7 - 8 mg L<sup>-1</sup>), lo que pone de manifiesto un síntoma claro de posible contaminación (Álvarez et al., 2008 y Bilotta y Brazier 2008) que puede ser microbiológica.

Los coliformes fecales se encuentran en el ambiente y en las heces de animales y humanos, por lo que es necesario evaluar la presencia y cantidad de estos organismos patógenos en el agua de los aires acondicionados y así, definir el uso más adecuado. Así, los análisis microbiológicos (Tabla 5), evidenciaron presencia de Coliformes fecales y Coliformes Totales, lo que permite prever contaminación que limitan el uso de agua porque no se cumplen los criterios mínimos para potabilidad. Ciertas enfermedades contagiosas son causadas por patógenos (bacterias, virus y parásitos) y están relacionadas con el consumo de agua contaminada (Bain et al., 2014a; Bain, et al. 2014b), quienes estiman que 1800 millones de personas utilizan fuentes de agua contaminada con bacterias fecales. Así mismo, los riesgos para la salud asociados con la exposición de *E. coli* correlacionan con epidemias gastrointestinales infecciosas (GI) transmitidas por agua y constituyen riesgo sanitario las cuales cada vez son mayores en comunidades vulnerables (OMS 2015; Bain et al., 2014a).

Tabla 5: Valores promedios encontrados de coliformes fecales y coliformes totales en el análisis microbiológico realizado al agua proveniente de los aires acondicionados de la universidad del Magdalena. \*Proveniente de pozo subterráneo sin tratamiento.

Edificio	Muestras positivas/n (%)	Coliformes fecales UFC	Coliformes Totales UFC
BU	6/10 (60)	5	80
H.B.	2/10 (20)	3	91
H.D.	1/10 (10)	3	4
In.	7/10 (70)	7	61
H.C	3/10 (30)	5	10
Agua de grifo *	1/10 (10)	2	20

Por tal motivo, las características microbiológicas del agua para consumo humano se deben enmarcar en los valores de las normas vigentes, los cuales son establecidos con los límites de confianza del 95% para técnicas con habilidad de detección desde 1 unidad formadora de colonia (UFC) o 1 microorganismo en 100 cm<sup>3</sup> de muestra de coliformes Totales 0 UFC/100 cm<sup>3</sup> y de *Escherichia coli* 0 UFC/100 cm<sup>3</sup>. Así mismo, diversos autores plantean que los coliformes fecales son un indicador de la calidad del agua, y su presencia evidencia riesgos microbiológicos por contacto con materia fecal de animales de sangre caliente y su permanencia en el agua es mayor que otras bacterias (Kostyla et al., 2015; Tobón et al., 2017).

Teniendo en cuenta la argumentación anterior, se descarta el uso directo del agua obtenida de las unidades de aire acondicionado para consumo, lo que concuerda con Magrini et al. (2017) quienes afirman que este recurso no es seguro y que el agua producida no es pura ni apta para el consumo humano. En otras palabras, la presencia de coliformes totales y fecales en las muestras obtenidas sugiere contaminación originada por heces fecales de aves (palomas en techos), tuberías en mal estado y la falta de mantenimiento de los ductos que forman un ambiente propicio para que los microorganismos se reproduzcan, por lo tanto, es necesario la limpieza y el mantenimiento permanente de las unidades de aire acondicionado. Además, es necesario separar los ductos y los canales de conducción del agua de lluvia del techo con el agua generada por los aires acondicionados, para disminuir el impacto de la contaminación.

Así, se ratifica que el recurso presenta contaminación microbiológica, por lo que el consumo directo no se recomienda según lo estipulado por García (2012) quien estableció los criterios para la evaluación de la calidad del agua para riego, y la normativa colombiana para el uso de agua agrícola (decreto 1076 de 2015, artículo 2.2.3.3.9.5), se sugiere su uso como agua para riego. Al respecto, se evidenció que el recurso producido por las unidades de aire acondicionado cumple los parámetros para ser utilizado para regadío (Huertas et al., 2008). Se analizaron aspectos que pueden restringir el uso de agua en sistemas de riego de este territorio: Altas concentraciones de sales en el suelo, reduce la disponibilidad de agua para el metabolismo de la planta, además, el alto contenido de Na y Mg causa dispersión de arcillas y obstruye los poros. Igualmente, la alcalinidad se expresa por la presencia de iones de bicarbonatos, calcio, magnesio y sodio, lo que genera la salinización de los suelos, el aumento del potencial osmótico de la planta, la reducción de la producción normal del vegetal y la absorción por medio de los tejidos foliares, y la toxicidad de acuerdo con la sensibilidad de la especie (García, 2012; Zúñiga et al., 2011). En la práctica, el clima seco (temperatura alta y escasas precipitación) acompañado de condiciones mineralógicas de origen alcalino y las labores culturales inadecuadas, generan la acumulación de sal en el suelo. Estas condiciones se agravan al considerar la cercanía al mar, donde el viento y el agua salpican y cargan de sal la plataforma continental de Santa Marta.

Los resultados de pH, salinidad, concentración de Na, Mg, nitratos y bicarbonatos provenientes del agua generada por las unidades de aire acondicionado, fueron comparados con la tabla propuesta por García (2012). A partir de ello, se demostró que los parámetros obtenidos son aptos para riego. Por el contrario, de acuerdo con las características del ecosistema, la baja concentración de sal favorece el crecimiento de las plantas y puede constituirse en una medida apropiada para controlar la salinidad, siempre y cuando se establezca un sistema de drenaje adecuado. A partir de los análisis realizados, se evidenció que el agua de acuífero (que llega a los grifos) empleada para riego, es de baja calidad debido al alto contenido de sales. Teniendo en cuenta que las zonas susceptibles a la salinización abarcan gran parte de la región caribe, los valles interandinos (ríos Magdalena y Cauca) y los altiplanos donde se desarrolla la producción agrícola intensiva del país, es necesario generar una alerta para atender oportunamente esta problemática con tecnologías apropiadas para su recuperación y tratamiento, como lo muestran Zúñiga et al. (2011).

Los resultados obtenidos permiten verificar que la valorización del agua proveniente de los aires acondicionados se convierte en una alternativa sostenible que puede ser adoptada por la sociedad con mínimos esfuerzos ambientales y económicos, tal como lo mencionó Passarini et al. (2012) al reutilizar agua para uso agrícola. En este contexto, la gestión del agua en las ciudades se vuelve un aspecto crucial ya que su uso actual está lejos de ser sostenible. Al respecto, Farreny et al. (2011) y el IDEAM (2014) señalan que la presión sobre los recursos hídricos superficiales está aumentando al tiempo que las fuentes de agua dulce se reducen. Esto obliga al uso de fuentes menos accesibles (acuíferos) o de calidad inferior, lo cual afecta los ecosistemas y amenaza los bienes y servicios ecosistémicos de los que depende la vida. Por su parte, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Decreto 1076 de 2015) decreta que el número más probable (NMP) no debe exceder los 5000 para coliformes totales y de 1000 para fecales cuando se utiliza el recurso para riego de frutales que se consuman sin quitar la cascara y para hortalizas de tallo corto. En este sentido, los criterios microbiológicos reportados por la presente investigación se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma. Recapitulando, el déficit de agua en la zona de estudio genera numerosos problemas sobre la calidad de vida de la población y las actividades económicas de la región. Por ello, el agua obtenida por las unidades de aire acondicionado en la zona es una alternativa racional para ser incorporada en el plan integral del manejo del recurso hídrico.

Los resultados obtenidos son comparables a lo reportado por Magrini et al. (2017), quienes lograron determinar que la reutilización del agua proveniente de aires acondicionados en un hotel de la ciudad de Abu Dhabi, lograba suministrar  $500 \text{ L dia}^{-1}$  de agua excediendo las necesidades de las habitaciones en 43% y con ella, no solo lograron cubrir las necesidades de las habitaciones, sino que adicionalmente se empleó para otras necesidades del hotel como el riego de jardines y el suministro de piscinas, entre otras, con lo que se reducen los impactos en la capacidad de recarga de los acuíferos y supone un aporte a la seguridad alimenticia (Beekman et al., 2014). Como alternativa adicional para el aprovechamiento del recurso, se



plantea su uso para las unidades sanitarias, lo que supone ahorro de agua proveniente de pozo profundo e incremento en la eficiencia en la gestión del agua en la institución tal como lo mencionan Magrini et al. (2017)

Teniendo en cuenta el uso que se priorizó para el aprovechamiento del recurso, se diseñaron cinco tanques de almacenamiento. Cuatro de estos tanques incluyen la recolección de agua lluvia que aprovecha la infraestructura de los techos de los edificios de Sierra Nevada y Ciénaga Grande en época de lluvia, así como los desagües que se tienen en común. Con este procedimiento se garantiza un adecuado tratamiento de las aguas almacenadas que, de acuerdo con los análisis realizados, el líquido colectado estará destinado para regar áreas verdes. Esta alternativa se sustenta en lo argumentado por Foley et al. (2011), quienes aseguran que la captación del recurso hídrico proveniente de la precipitación es un medio fácil de obtener agua para consumo humano y/o uso agrícola. El tanque restante recolectará el recurso hídrico generado por las unidades de aire acondicionado del bloque sur del edificio Ciénaga Grande, ya que su sistema de desagüe es individual. Así mismo, este sistema tiene como objeto coleccionar el agua que surtirá los destiladores de los laboratorios del campus universitario.

Los tanques de almacenamiento de agua se ubicaron en las zonas verdes posteriores a los bloques académicos de los edificios Sierra Nevada y Ciénaga Grande, se planteó su construcción en concreto enterrados 1.8 m. totalmente sellados en su superficie, con una tapa de escotilla en su placa superior para su ingreso. La profundidad de 2 m. y el área superficial de cada tanque varía según el volumen de recolección y diseño. Adicional, se consideró una caja de registro cerrada con escotilla, previa a la entrada del agua de cada tanque, donde se instalarán rejillas que impidan el acceso de vectores como batracios e insectos y materiales arrastrados por el agua a través de las tuberías, dicha caja de registro cuenta con una conexión al sistema fluvial de la universidad para eventos de mantenimiento o lavado. Los tanques están parcialmente enterrados dejando 20 centímetros por encima del suelo, que corresponde al borde libre que existe entre el extremo superior del tanque y la lámina de agua. Esto se consideró para facilitar un posible transporte por gravedad desde el punto de salida de agua del tanque hacia su posible estructura de recepción en las zonas de la universidad donde se requiere el recurso

## CONCLUSIONES

De los resultados mostrados, de su análisis y de su discusión, se pueden obtener las siguientes conclusiones, sobre el potencial uso del agua proveniente de los aires acondicionados: 1) el agua generada por las unidades de aire acondicionado es un recurso que, por su cantidad, continuidad y calidad (al cumplir los criterios establecidos por la norma para uso de riego), es favorable y ambientalmente sostenible. 2) los parámetros de pH, dureza, sólidos disueltos, conductividad, metales pesados, turbiedad, alcalinidad, olor, sabor, nitritos, nitratos y DQO, evidencian que este recurso se encuentra dentro de los límites establecidos por las normas nacionales (resolución 2115 del 2007) para el agua potable. No obstante, se presentó contaminación por agentes microbiológicos (coliformes fecales), lo cual posiblemente es resultado del contacto con excrementos de aves en los techos y ductos. De esta manera, su consumo directo puede ser un riesgo sanitario. 3) la concentración de sales del agua proveniente de las unidades de aire acondicionado es mínima, condición que favorece para el uso seleccionado en la zona de estudio, tanto como fuente de riego como para surtir los destiladores de los laboratorios y las unidades sanitarias. De esta manera, se recomienda generar un sistema de desinfección y tratamiento de potabilización si se requiere este recurso para consumo.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen y agradecen a la Vicerrectoría de investigación de la Universidad por el apoyo con los recursos financieros del proyecto.

## REFERENCIAS

Álvarez, J., J. Panta, C. Ayala y E. Acosta, Calidad integral del agua superficial en la cuenca hidrológica del Río Amajac, doi: 10.4067/S0718-07642008000600004, Inf. Tecnol., 19(6), 21-32 (2008)

Agencia de Protección de la Salud y Seguridad Alimentaria, Junta de Castilla y León, España (2015)

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22<sup>nd</sup> Ed., Washington, D.C. (2012)

Bain, R., R. Cronk y otros nueve autores, Global Assessment of Exposure to Faecal Contamination through Drinking Water Based on a Systematic Review, doi.org/10.1111/tmi.12334, Tropical Medicine and Inter. Health, 19 (8), 917–27 (2014a)

Bain, R., R. Cronk y otros cuatro autores, Fecal Contamination of Drinking-Water in Low- and Middle-Income Countries: A Systematic Review and Meta-Analysis: e1001644, doi.org/10.1371/journal.pmed.1001644, PLoS Med., 11(5), e1001644 (2014b)

Beekman, G., S. Cruz y otros seis autores, Agua, alimento para la Tierra, San José, IICA (2014)

- Bilotta, G. y R. Brazier, Understanding the Influence of Suspended Solids on Water Quality and Aquatic Biota, doi.org/10.1016/j.watres.2008.03.018, Water Research, 42 (12), 2849–61 (2008)
- Facsa, Ciclo Integral del Agua, FACSA (2010)
- Farreny, R., X. Gabarrell y J. Rieradevall, Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighbourhoods, Resources, Conservation and Recycling, 55 (7), 686-94 (2011)
- Foley, J., R. N. Ramankutty y otros diecinueve autores, Solutions for a Cultivated Planet, doi.org/10.1038/nature10452, Nature, 478 (7369), 337 (2011)
- García, A., Criterios modernos para la evaluación de la calidad del agua para riego, International Plant Nutrition Institute, Buenos Aires (2012)
- Gleeson, T., Y. Wada, M. Bierkens y L. van Beek, Water Balance of Global Aquifers Revealed by Groundwater Footprint, Nature, 488(7410), 197-200 (2012)
- Gray, S. y S. Brady, Plant developmental responses to climate change, Developmental Biology, 419(1), 64-77 (2016)
- Huertas, E., M. Salgot y otros ocho autores, Key objectives for water reuse concepts, doi:10.1016/j.desal.2006.09.032, Desalination, 218, 120-131 (2008)
- Instituto Colombiano de Hidrología y Meteorología (IDEAM), Estudio Nacional del Agua, Colombia (2014)
- IPCC, Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.)] IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. (2014)
- Konikow, L., Groundwater Depletion in the United States (1900–2008). USGS Numbered Series 2013-5079, Scientific Investigations Report. Reston, VA: U.S. Geological Survey, USA (2013)
- Kostyla, C., R. Bain, R. Cronk y J. Bartram, Seasonal Variation of Fecal Contamination in Drinking Water Sources in Developing Countries: A Systematic Review, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.018, Science of The Total Environment, 514 (Supplement C), 333–43 (2015)
- Magrini, A., L. Cattani, M. Cartesegna y L. Magnani, Water production from air conditioning systems: some evaluations about a sustainable use, Doi:10.3390/su9081309, Sustainability, 9 (1309), 1-17 (2017)
- Mialhe, F., Y. Gunnell y C. Mering, Synoptic Assessment of Water Resource Variability in Reservoirs by Remote Sensing: General Approach and Application to the Runoff Harvesting Systems of South India, doi.org/10.1029/2007WR006065, Water Resources Research, 44 (5), W05411 (2008)
- Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, Decreto 1076 del 2015, Colombia (2015)
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2015: Agua para un mundo sostenible, UNESCO, París, 139 p. (2015)
- Organización Mundial de la Salud, (OMS), Agua para todos, agua para la vida, 1<sup>er</sup> Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, París (2015)
- Passarini, K., F. Gamarra, R. Vanalle, y J. Santana, Reutilización de las aguas residuales en la irrigación de plantas y en la recuperación de los suelos, doi.org/10.4067/S0718-07642012000100007, Inf. Tecnol., 23 (1), 57–64 (2012)
- Pinstrup-Andersen, P., Food Security: Definition and Measurement, doi.org/10.1007/s12571-008-0002-y, Food Security, 1 (1), 5–7 (2009)
- Rangel, J. y J. Carvajal, Clima de la región Caribe colombiana. En: Colombia Diversidad Biótica XII: La región Caribe de Colombia, Bogotá, Instituto de Ciencia Naturales, Universidad Nacional de Colombia, p. 67-129 (2012)
- Rodríguez, Z., Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre, Pensamiento Actual, 9, 12-13 (2009)
- Romero, S., J. García, B. Valdez y M. Vega, Calidad Del Agua Para Actividades Recreativas Del Río Hardy En La Región Fronteriza México-Estados Unidos, doi.org/10.4067/S0718-07642010000500010, Inf. Tecnol., 21 (5), 69–78 (2010)
- Sengupta, P., Potential Health Impacts of Hard Water, International Journal of Preventive Medicine, 4(8), 866-75 (2013)
- Tobón, S., R. Agudelo y L. Gutiérrez, Patógenos Microbianos e Indicadores Microbiológicos de calidad del agua para consumo humano, Facultad Nacional de Salud Pública, 35(2), (2017)
- Van Loon, A., Hydrological drought explained. Wiley Interdisciplinary Reviews, Water, 2(4), 359-392 (2015)
- WHO y UNICEF, Progress on Sanitation and Drinking Water, Geneva and New York: WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation (2015)
- Zaman, A., A comprehensive study of the environmental and economic benefits of resource recovery from global waste management systems, Journal of Cleaner Production, 124, 41-50 (2016)
- Zúñiga, E., S. Osorio, G. Cuero y O. Peña, Evaluation of technologies for the recovery of soils degraded by salinity, Revista Facultad Nacional de Agronomía, 64(1), 5769-5779 (2011)