

BOLETÍN DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS

CARACTERIZACIÓN DEL PASO PORTACHUELO DE RANCHO GRANDE COMO RUTA MIGRATORIA DE AVES EN EL PARQUE NACIONAL HENRI PITTIER, VENEZUELA. <i>Alberto Fernández-Badillo, Gregorio Ulloa Mota y Ernesto Fernández Badillo.....</i>	96
ANÁLISIS DE LA CANTIDAD Y CALIDAD DE AGUA DE AIRE ACONDICIONADO Y SUPOTENCIAL DE USO. <i>Marcos Bitter, Alberto Jiménez y Ricardo Bitter.....</i>	125
MODELAJE DE LA INTERACCIÓN ENTRE EL HUMEDAL RAMSAR LAGUNA DE LA RESTINGA (ISLA DE MARGARITA, VENEZUELA) Y EL MAR CARIBE. <i>Adara Daleska González-Hernández y Fabiola López-Monroy.....</i>	145
DINOFLAGELADOS EPIBENTÓNICOS ASOCIADOS A VEGETACIÓN SUMERGIDA EN UNA PLAYA DEL PARQUE NACIONAL LAGUNA DE LA RESTINGA, VENEZUELA. <i>Dilcia Morales-Benavides, Lorelys Valerio-González, Yuraima García-González y Pedro Rodríguez-Rodríguez.....</i>	164
INSTRUCCIONES A LOS AUTORES.....	184
INSTRUCTIONS FOR AUTHORS.....	194

Vol.54, N^o 2, Julio-Diciembre 2020

UNA REVISTA INTERNACIONAL DE BIOLOGÍA
PUBLICADA POR LA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA, MARACAIBO,
VENEZUELA



Análisis de la cantidad y calidad del agua de aire acondicionado y su potencial de uso.

Marcos Bitter¹, Alberto Jiménez¹ y Ricardo Bitter²

1. Programa de Ciencias Ambientales, UNEFM. 2. Centro de Investigaciones Marinas (CIMAR-UNEFM). E-mail: cardenalcoriano@gmail.com

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue evaluar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de aire acondicionado (AA), compararlas con el agua potable (AP), y determinar si es agua de buena calidad, desde el punto de vista fisicoquímico y microbiológico porque pudiera ser usada en actividades domésticas. Se midió diariamente durante 15 días, en horarios diurnos y nocturnos, la cantidad de agua producida por los AA según su potencia, en un conjunto residencial. En cada colecta, se registró la temperatura ambiental y la humedad relativa. Se determinaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, a ambos tipos de agua, siguiendo los protocolos estandarizados respectivos. Los resultados evidencian que, los AA de 12000 BTU produjeron 1,5 L/h, los de 18000 2,96 L/h y los de 24000 BTU 4,2 L/h. Las características fisicoquímicas y microbiológicas estuvieron dentro de los límites sanitarios establecidos por la normativa legal, lo que califica al agua de AA como de buena calidad. Los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos, en el AP superaron a los del agua de AA: los más resaltantes fueron: Sólidos Totales Disueltos, Conductividad), Sulfatos, Dureza Cálcida. El agua de aire acondicionado puede ser utilizada en actividades domésticas como limpieza, agua para pocetas y riego de plantas.

Palabras clave: uso de agua de aire acondicionado; disponibilidad de agua; estándares de calidad de agua

Analysis of quantity and quality of water from air conditioners and its potential use.

Abstract

Activities on these results, the air conditioner water can be used in domestic activities such as general cleaning, water for toilets and irrigation of plants. Air conditioner water, depending on its quality, could be used in domestic activities and cause an impact on the reduction of drinking water usage. The objective of the present work was to evaluate if the composition analysis (physicochemical and microbiological factors) of the air conditioner water, indicates that it can be considered good quality water suitable for domestic activities. The amount of water produced by air conditioner equipment (depending on its rated capacity) in a residential complex, was measured daily

(at day and night intervals) for 15 continuous days. In each sample collected, ambient temperature and relative humidity were recorded. Physicochemical and microbiological parameters were analyzed for both, air conditioner water and drinking water, following the corresponding standardized protocols. Results show that 12000 BTU's air conditioner equipment produced 1.5 L /h, the 18000 BTU's produced 2.96 L /h and those of 24000 BTU, 4.2 L /h. The physicochemical and microbiological characteristics were within the sanitary requirements of the legal regulations, which make the air conditioner water to qualify as good quality water. The results obtained for the potable water exceeded those of the air conditioner water, being the most relevant Dissolved Total Solids, Conductivity), Sulphates and Ca Hardness. Based on these results, the air conditioner water can be used in domestic activities such as general cleaning, water for toilets and irrigation of plants.

Key words: air conditioner water use; water availability; water quality standard.

Recibido / Received: 20-07-2020 ~ **Aceptado / Accepted:** 28-11-2020

INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso más importante para que exista la vida. Su distribución en el planeta está regida por el ciclo hidrológico, los procesos que lo conforman han sido afectados por las actividades antropogénicas. Desde el siglo pasado la población mundial se ha triplicado, mientras que el consumo de agua se ha incrementado seis veces, lo cual es la aritmética depresiva del agua. Más del 40% de la población mundial, esto es 2500 millones de personas viven en regiones que sufren carencia o escasez de agua, y este problema tiende a agravarse debido a los procesos de desertificación y al cambio climático (Banco Mundial 2004).

Es esencial mejorar la gerencia de los recursos hídricos, el acceso al suministro de agua y saneamiento, para abordar varias desigualdades sociales y económicas, de manera de no dejar a nadie atrás como se plantea en el informe de UNESCO (Unesco 2019). Resolver la crisis del agua es, sin embargo, sólo uno de los diversos desafíos con los que la humanidad se enfrenta en el tercer milenio y ha de considerarse en este contexto. El agua potable es una cuestión de primera importancia, porque es indispensable para la vida humana y para el sostenimiento de la vida. La provisión de agua permaneció relativamente constante durante mucho tiempo, pero ahora en muchos lugares la demanda supera a la oferta sostenible, con graves consecuencias a corto y largo plazo (Papa Francisco 2015).

La información disponible sobre el agua de aire acondicionado, es escasa, por el contrario hay información de grupos o personas individuales como por ejemplo Tecnoexplora (2014), donde se plantea ¿por qué se desperdicia el agua producida por un acondicionador de aire cuando hay escasez del vital líquido? plantea posibles usos de este tipo de agua. Con base en lo anterior, el agua proveniente de los aires acondi-

cionados no es de menor calidad e importancia, que no necesariamente implica que sea apta para el consumo humano. Plantean que el proceso de destilación, hecho con garantías sanitarias suficientes, puede implicar la potabilidad del líquido en cuestión, pero la destilación que tiene lugar en el aparato de aire acondicionado no es el caso. En diversos foros se desaconseja su consumo, aunque se invita a usarla para regar las plantas, lo cual dependerá de qué plantas se trate y cómo requieren ser tratadas (Tecnexplora 2014). En realidad, lo que sucede es, que en el proceso de enfriamiento del agua, hay una condensación de ésta que se encuentra en forma de vapor en el aire, del ambiente que se enfría.

De trabajos en este tema, destacan: dos realizado en la Costa de los Emiratos Árabes (Magrini *et al.* 2015; Magrini *et al.* 2017) en donde plantean el uso del agua del aire acondicionado para suplir la demanda de agua en un hotel moderno; en otro trabajo realizado en Nigeria (en la Universidad Port Harcourt por Noutcha *et al.* 2016), se estimó la calidad y cantidad de agua producida por los aires acondicionados, para satisfacer la demanda en la citada universidad con un suministro irregular de agua.

Otras referencias se refieren a: sostenibilidad del proceso de colecta de agua (EPA 2014), potencial de uso de agua de AA, energía eléctrica y sostenibilidad de producción agua (Somani, 2016), disponibilidad de recurso agua para satisfacer la demanda (Siam *et al.* 2019), Una referencia académica en nuestro medio la constituye un trabajo producto de una pasantía. El objetivo de ese trabajo fue evaluar la calidad del agua de aire acondicionado para su uso en análisis de laboratorio. La experiencia en el uso de este tipo de agua, estableció que la cantidad del agua producida por los acondicionadores de aire, puede ser usada en sustitución del agua destilada, en determinadas actividades de laboratorio, las cuales estén dentro de las exigencias de los protocolos de las metodologías a utilizar (Bitter *et al.* 2017, Bitter 2017).

En la región otros trabajos destacan, entre ellos una propuesta de Aprovechamiento de agua de aire acondicionado en la Universidad de La Costa (Colombia) (Alfonzo Garavito y De La Hoz Henríquez 2019) y Potencial de uso del agua de Aire acondicionado en el Caribe Seco Colombiano

No es aconsejable el consumo de agua de AA, debido a que en zonas de alta contaminación pueden condensar contaminantes junto con el agua. También el uso de está dependerá del contenido de otras sustancias que puedan ser perjudiciales para la planta, por ejemplo, si condensa SO₂ o SO₃ (Aguirre *et al.* 2018).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de 36 aparatos de aire acondicionado (AA) y comparadas con el agua potable (AP).

MATERIALES Y MÉTODOS

Cuantificación del volumen de agua producido por los aires acondicionados

Se realizó un censo en cada casa (82), en la urbanización Los Antonio de Santa Ana de Coro estado Falcón, para determinar la cantidad de aires acondicionados y su capacidad para extraer calor en BTU, se determinó también el tiempo de operación promedio al día; del total se seleccionaron al azar 2 unidades/casa en 18 casas.

La cuantificación de la cantidad de agua se realizó mediante la utilización de un cilindro graduado de 1 litro. El esquema de colecta de agua se presenta en la Tabla 1. En la toma de las muestras de agua de aire acondicionado (AA), se registró la temperatura ambiental del exterior y el porcentaje de humedad relativa, con un higrómetro portátil. Estos datos se correlacionaron luego con la cantidad de agua producida por los AA

Tabla 1. Horario de colecta de agua de los aires acondicionados

Semana	Día	Mañana	Tarde (pm)	Noche	Madrugada(am)
1	1	6-8	12-2	6-8	12-2
1	2	9-11	1-3	9-11	1-3
2	1	6-8	12-2	6-8	12-2
2	2	9-11	1-3	9-11	1-3
3	1	6-8	12-2	6-8	12-2
3	2	9-11	1-3	9-11	1-3

La premisa fue que el universo de aires acondicionado era de 82, es decir cada casa tiene al menos 1 aparato en funcionamiento. Con esta información se procedió a calcular la cantidad de aires acondicionados a muestrear mediante la fórmula siguiente:

$$n = Z^2 \cdot p \cdot q \cdot N / (Ne^2 + Z^2 \cdot p \cdot q)$$

Donde n: tamaño de la muestra, N: universo, e: error de estimación, Z: nivel de confianza, p: probabilidad a favor, q: probabilidad en contra

N: 82; e: 0,05; Z: 1,96; p: 0,5; q: 0,5

Con base en la ecuación anterior, se obtiene como tamaño de muestra 34 equipos de aire acondicionado pero se tomaron 36 para dividir en tres grupos de 12 equipos cada uno dependiendo de la capacidad energética de estos, a saber 12000, 18000 o 24000 BTU.

La cantidad de aires acondicionado a muestrear fue de 36, lo cual se hizo en tres

grupos de 12 aparatos cada uno. En cada grupo se midió la cantidad de agua producida por los tipos de aparato (BTU) en dos horarios diurnos y dos horarios nocturnos (Tabla 1).

Ecobalance: $A = B + C + D$, (Alfonzo Garavito y De La Hoz Henríquez 2019).

Haciendo el cálculo promedio mensual: Donde A: cantidad de agua colectada, B: cantidad de agua utilizada en aseo, C: cantidad de agua utilizada para baños (pocetas), D: cantidad de agua no utilizada. Despejando se obtiene que $D = A - (B + C)$. Esta fórmula se utilizó con el objetivo de determinar si es rentable el proceso de colecta de agua y su uso posterior en actividades de limpieza (pisos, pocetas), riego de plantas

Las variables se miden calculando cantidad de agua colectada (A), cantidad de agua utilizada en baños (pocetas). La cantidad sobrante sería el agua no utilizada luego de restar las cantidades utilizadas: B y C.

Caracterización fisicoquímica del agua producida por los aires acondicionados

Toma de la muestra: para la caracterización del agua se tomaron muestras (con base en el esquema de la Tabla 1) en envases de 5 litro, mediante un sistema de tubería PVC, la cual iba introducida a través de una tapa con orificio, para permitir, con las siguientes características: impermeable para evitar la pérdida de agua, tener tapa para impedir el ingreso de polvo, material granular e insectos. Fueron curados previamente 3 veces antes de ser usados, luego se transportaron refrigerados al laboratorio para su procesamiento.

Las muestras de agua potable se tomaron directamente del grifo de la tubería de traída, en el horario de colecta. En la Caracterización del agua para el estudio fisicoquímico se utilizaron los métodos estandarizados para análisis del agua los cuales se mencionan a continuación en la Tabla 2. Los análisis se realizaron por triplicado. La temperatura medida con un termómetro de mercurio (ver Tabla 2)

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos determinados (a)

Parámetro	Método
Conductividad	Conductímetro
pH	Potenciométrico
Olor	
Color	Colorimétrico
Turbidez	Nefelométrico
Alcalinidad	Titulométrico
Dureza total	Titulométrico
Nitrógeno total	Kjeldahl
Nitratos y Nitritos	Colorimétrico
Sulfatos	Turbidimétrico
Acidez	Titulométrico
Temperatura	Termómetro de mercurio vidrio
Cloruros	Titulométrico
Ca y Mg	Titulométrico

Caracterización Microbiológica

Se tomaron muestras de agua de aire acondicionado y de agua potable. Se sembraron 10 ml de cada tipo en placas de Petri (2 / tipo de agua) utilizando el medio de cultivo selectivo listo para usar: Violeta Rojo Bilis (VRB) (agente gelificante soluble en agua fría) y un indicador de tetrazolio que facilita la enumeración de colonias (Fig.1). Las placas se mantuvieron en incubación durante 48 horas a 32°C, con base en el protocolo de la Norma (3M 1999). Al término del tiempo establecido, se examinaron las placas buscando detectar el crecimiento de *Escherichia coli*, con base en la Norma ISO 4832 (NTE 2015), que enumera los coliformes por la técnica del recuento de colonias; se definen los coliformes por el tamaño de las colonias y la producción de ácido en el Agar VRB con lactosa (VRBL).



Figura 1. Capsulas de Petri sembradas con agua de aire acondicionado (a) y agua potable (b)

Se tomaron muestras de agua de aire acondicionado (AA) y agua potable (AP) 10 ml de cada uno (por duplicado), se colocaron en un tubo de centrifuga, se centrifugaron durante 10 minutos a 1000 rpm, al término de este tiempo, se tomó una alícuota tanto de la superficie como del sedimento y se analizaron bajo el microscopio binocular marca Carl Zeiss. Se registró la microflora presente en cada muestra.

Análisis estadístico

Se utilizó estadística multivariada, empleando un Análisis de Componentes Principales, con el objetivo de determinar cuáles parámetros de las variables medidas, tenían mayor peso en la variación de los valores (explicaban la mayor varianza observada) de los parámetros fisicoquímicos medidos: las pruebas de Friedman y Kruskal-Wallis (H) (Primer) (Clarke y Gorley 2001), (SPSS y Excel) (Quispe Andia *et al.* 2019).

RESULTADOS

Correlación entre cantidad de agua producida y el horario de colecta

Se encontró una relación lineal, estadísticamente significativa ($R^2: 0,86$ $p < 0,05$) entre la cantidad de agua producida y los periodos de colecta, Se aprecia un incremento ligero cuando la colecta cambia de horas diurnas a nocturnas, para los equipos de 12.000 BTU (Fig. 2a)

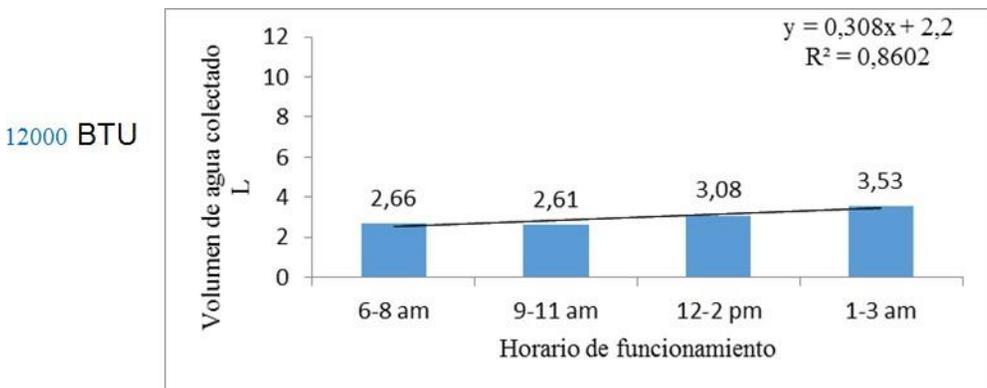


Figura 2a. Volumen de agua recogida (l) con respecto al horario de muestreo para aires de 12000 BTU

La cantidad de agua producida por los AA de 18000 y 24000 BTU, es mayor, que la obtenida de los AA de 12000 BTU, sin embargo, no se encontró relación estadísticamente significativa con el horario de colecta (Figs. 2b, 2c) (Tabla 3).

Correlación entre cantidad de agua producida y temperatura y porcentaje de humedad relativa

No se encontró una relación estadísticamente significativa entre la cantidad de agua producida y la temperatura, entre la cantidad de agua y la humedad relativa para 12000 BTU (Figs. 3a, 3b), y la cantidad de agua y la temperatura y % de humedad relativa para 24000 BTU (Figs. 3c,); solo se encontró relación estadísticamente significativa entre la cantidad de agua y la temperatura para 18000 BTU (Fig. 3b).

Tabla 3. Volumen de agua de AA producido según la potencia del equipo

	12000 BTU (1)	18000 BTU (2)	24000 BTU (3)
L/h	1,5 (0,0015)*	2,96 (0,003)*	4,3 (0,0043)*
12 h	18 (0,018)*	35,52 (0,035)*	51,6 (0,0516)*
1 semana	126 (0,126)*	248,64 (0,25)*	361,2 (0,361)*
Urb	10.332 (10,332)*	20.388 (20,34)*	29.618 (29,62)*
Proporción (2)(1)	-	1,97	-
Proporción (3)(1)	-	-	2,87
Proporción (3)(2)	-	-	1,5

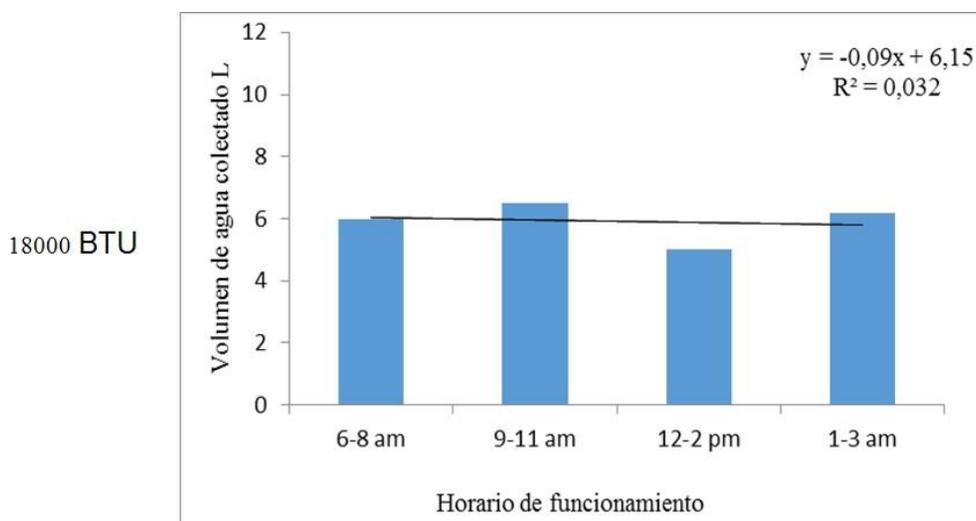


Figura 2b. Volumen de agua recogida (l) con respecto al horario de muestreo para aires de 18000 BTU

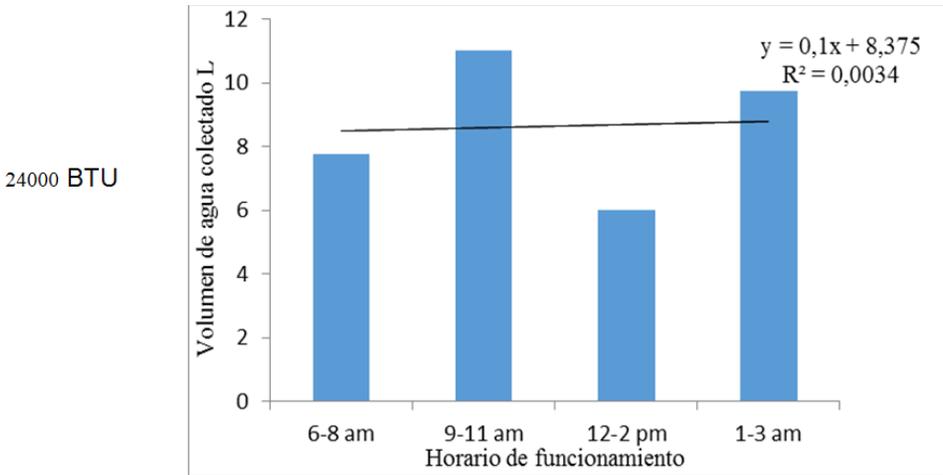


Tabla 2c. Volumen de agua recogida (l) con respecto al horario de muestreo para aires de 24.000 BTU

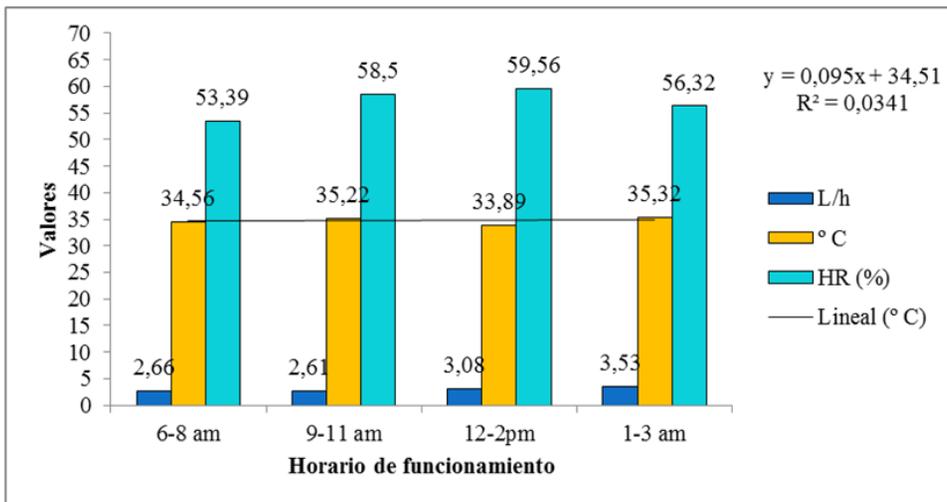


Figura 3a. Volumen de agua colectada (l/h), temperatura ambiente (°C) y humedad relativa (%) durante el muestreo para AA de 12000 BTU se muestra la correlación entre el volumen de agua y el % de humedad.

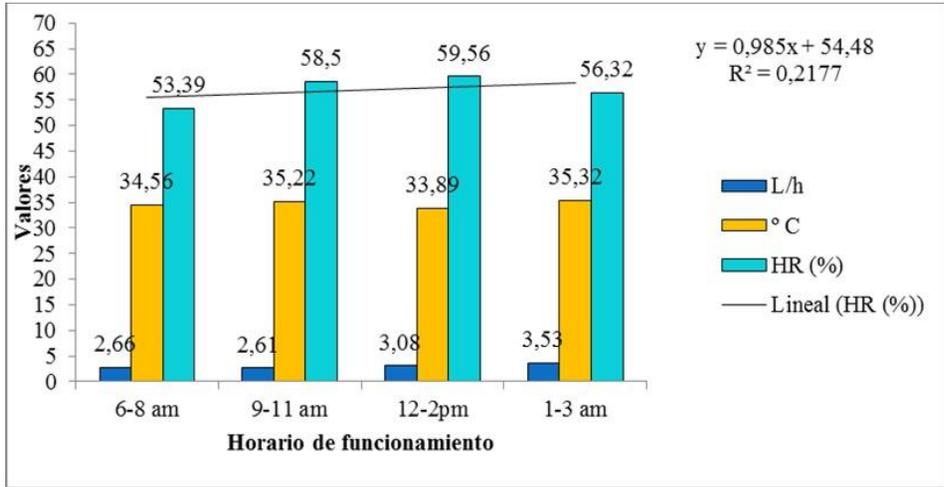


Figura 3b. Volumen de agua recolectada (l/h), temperatura ambiente (°C) y humedad relativa (%) durante el muestreo para AA de 18000 BTU se muestra la correlación entre el % de humedad y el volumen de agua recogida.

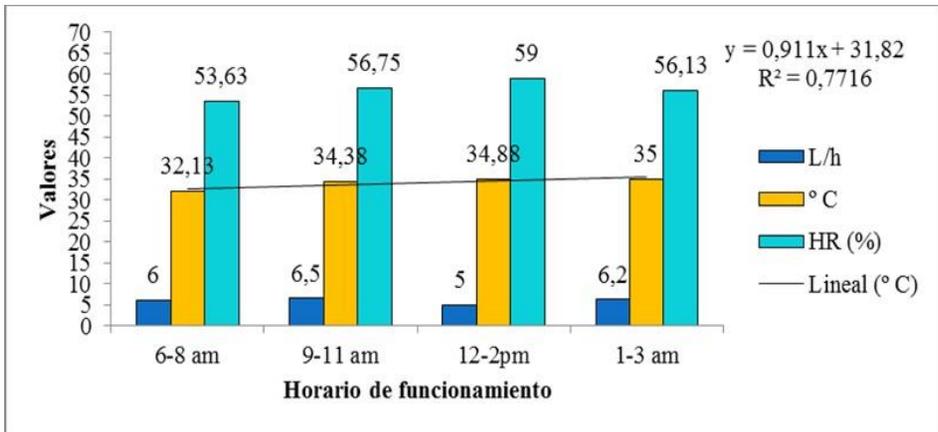


Figura 3c. Volumen de agua recolectada (l/h), temperatura ambiente (°C) y humedad relativa (%) durante el muestreo para AA de 24000 BTU. se muestra la correlación entre la temperatura y el volumen de agua recogida.

Mediante un ejercicio matemático sencillo, se calculó la cantidad de agua producida por un aparato de aire acondicionado, así: si uno de 12000 BTU produjo 1,5l/h, en 12 horas de funcionamiento producirá 18 litros, lo cual multiplicado por una semana tenemos que se producen 126 litros. Ahora bien, esto es un cálculo para un solo aparato, al calcular cuando se producirían en toda el área de muestreo, tomando la premisa inicial de 1 aparato/ casa (promedio), se tiene que en total se producirían 10.332 litros en una semana durante 12 horas de funcionamiento. Si se considera la realidad, que en algunas residencias hay más de un aparato de aire acondicionado de 18000 y 24000 BTU, se puede calcular la cantidad de agua que se puede producir, que se desperdicia si no se almacena y se usa en otras actividades domésticas.

Caracterización del agua de aire acondicionado y del agua potable

Caracterización fisicoquímica

Con base en los datos obtenidos en la medición de los parámetros fisicoquímicos en el agua potable (AP) y en la de aire acondicionado (AA), se pudo observar que en ambos tipos de agua los valores están dentro de los límites establecidos por la normativa legal vigente para el agua potable (DECRETO N° 883 1995, MSAS 1998).

Los resultados muestran que en el agua potable los valores registrados fueron más altos, así la proporción en AP es mayor que en AA: Sólidos Totales Disueltos (6,49 >), Conductividad (6,64>), Cloruros (3,95 >), Sulfatos (9,93 >), Dureza Total (4,84 >), Dureza Ca (7,83 >) (Tablas 4 y 5). Los valores promedio de cada parámetro registrado se muestran en la Tabla 5. Los resultados, con base en los parámetros fisicoquímicos medidos, indican que el agua condensada de aires acondicionado (AA, posee valores de pH, conductividad y dureza más altos que los respectivos en agua destilada (Tablas 5), lo cual era de esperar.

La turbidez del agua depende del contenido que ésta tenga de sólidos en suspensión, además de su color, tamaño y forma de las partículas. En la Tabla 4 se puede observar que, los valores de turbidez del AA y AP fueron iguales; esto guarda relación con la proporción SSAP/SSAA, cuyo valor es aproximadamente 1. El total de sólidos disueltos (TDS), es una medida del contenido de sustancias químicas disueltas en ésta, en forma molecular o iónica. En la Tabla 4 se puede observar que el valor de TDS del AP es mayor que el TDS del AA; estos valores confirman las concentraciones registradas de las especies químicas estudiadas que se muestran en la Tabla 5, donde se puede observar también que los valores son mayores en el AP que en el AA.

Tabla 4. Valores promedio (\pm DE) de los parámetros físicos medidos

	(1) Agua Aire Acondicionado	(2) Agua Potable	Proporción (2)/(1)	ACP
Turbidez	4,17 \pm 0,3	4,17 \pm 0,1	1	3
Sólidos totales (mg/L)	237,3 \pm 106	529 \pm 60	2,23	1
TDS (mg/L)	39,2 \pm 0,3	254 \pm 0,4	6,5	1
SS	263 \pm 0,4	316 \pm 1,6	1,19	2

ACP: Análisis de Componentes Principales. Ver tabla 6 para valores 1, 2, 3

Tabla 5. Valores promedio (\pm DE) de los parámetros químicos medidos

	(1) Aire Acondicionado	(2) Agua Potable	Proporción (2)/(1)	ACP
pH	7,5 \pm 0,01	8 \pm 0,6	1,06	2
Conductividad μ S/L	76,6 \pm 0,03	509 \pm 0,7	6,64	1
Salinidad	0	0,2 \pm	-	-
Cloruro mg/L	12,7 \pm 0,9	50 \pm 17,5	3,95	1
Sulfato mg/L	9,3 \pm 0,04	92,6 \pm 1,7	9,93	-
Nitrógeno total mg/L	5,1 \pm 0,6	3,3 \pm 0,8	0,64	-
Alcalinidad total mg/L	0,4 \pm 0,06	1,7 \pm 0,04	4,68	-
Dureza total mg/L	25,3 \pm 5,3	122,7 \pm 3,9	4,84	-
DCa mg/L	11,3 \pm 2,4	8,7 \pm 15,3	7,83	-
DMg mg/L	14 \pm 2,2	35,7 \pm 17,7	2,55	-

Mediante el estadístico Bioenv se determinó que los parámetros que tienen la mayor correlación entre sí (0,991, $p < 0,05$) fueron: Turbidez, Dureza Cálctica (DCa), Sulfatos y Nitrógeno total.

Mediante el Análisis de Componentes Principales se determinó que: el Primer Componente estuvo constituido por la conductividad, sólidos totales disueltos (TDS) y los Cloruros; el Segundo Componente conformado por el pH y sólidos en suspensión (SS) y el Tercer Componente fue la Turbidez (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis de Componentes Principales

Componente	Integrantes	% varianza explicada
1	Conductividad, TDS, Cl	71,9
2	pH, SS	19,6
3	Turbidez	7,3
Total		98,8

Se analizó la diferencia en la media de los parámetros fisicoquímicos utilizando la prueba t de Student, pero como es una prueba paramétrica, en este caso su sensibilidad no permite detectar diferencia alguna, por ello se utilizó un Análisis de Varianza no paramétrico: las pruebas de Friedman y Kruskal-Wallis (H) (Clarke y Gorly 2001) (Quispe Andia *et al.* 2019).

Los resultados indican que en el caso del pH, la prueba de Kruskal-Wallis, $X^2=96,51$ ($p < 0,001$), es decir los datos obtenidos provienen de dos poblaciones distintas, en este caso el tipo de agua utilizada.

Los otros parámetros analizados cuya diferencia resultó significativa fueron: el Cloruro: prueba de Friedman $H=123,4$ ($p < 0,001$). En el caso del Nitrógeno total $H=525,39$ ($p < 0,001$).

Caracterización Microbiológica

Con base en los resultados colectados luego del examen de las placas, no se detectaron microorganismos patógenos (*Escherichia coli*) en ambos tipos de agua (Fig. 4a, b). Las placas se mantuvieron en incubación durante 48 horas a 32°C, según el protocolo de la Norma (3M 1999); las placas fueron examinadas buscando detectar el crecimiento de *Escherichia coli*, con base en la Norma ISO 4832 (NTE 2015), que enumera los coliformes por la técnica del recuento de colonias; se definen los coliformes por el tamaño de las colonias y la producción de ácido en el Agar VRB con lactosa (VRBL).

Con base en el análisis microscópico de la microflora, en el agua de Aire Acondicionado se detectaron algas Clorofitas filamentosas y Cianobacterias (Fig. 4b), y en el Agua Potable (Fig. 4c) se detectaron cianobacterias muy escasas.

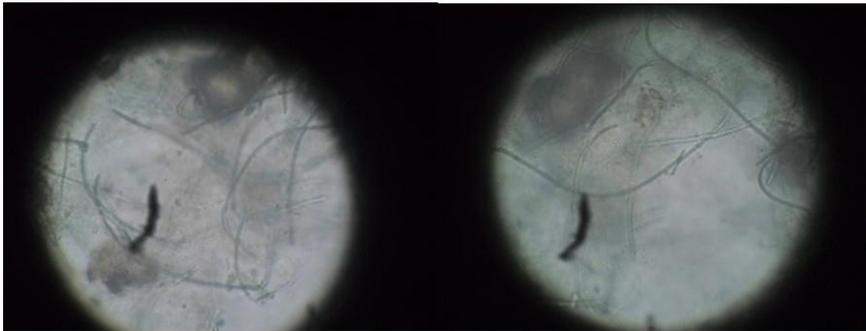


Figura 4a. Cianobacterias observadas en muestras de agua potable.

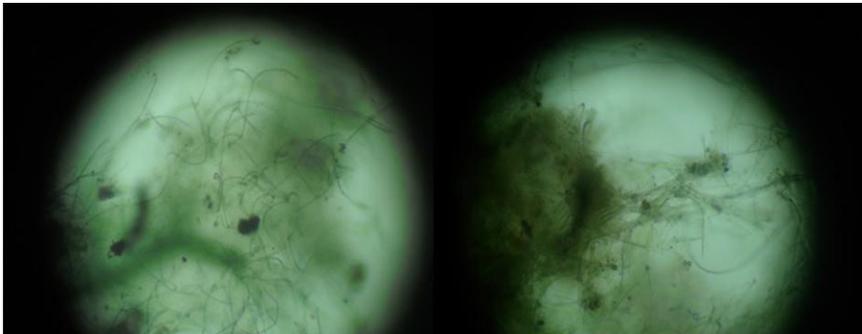


Figura 4b. Algas clorofitas filamentosas observadas en muestras de agua de aire acondicionado.

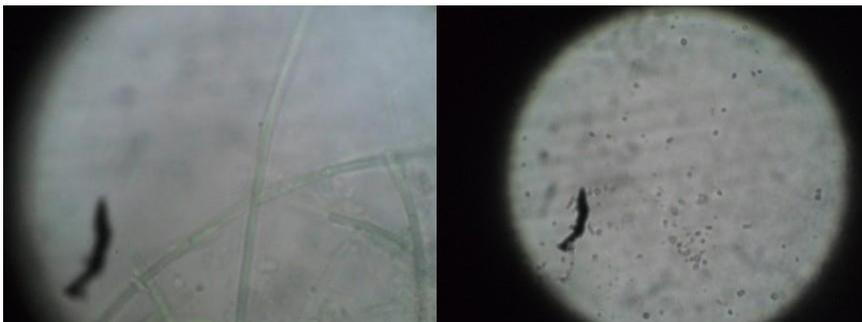


Figura 4c. Cianobacterias observadas en muestras de agua potable.

Discusión

Calidad de agua

La caracterización (físicoquímica y microbiológica) del agua de aire acondicionado, evidencia que, ésta puede ser usada en actividades domésticas, con base en lo establecido en el Decreto 883 (1995), la Guía para la Calidad de Agua Potable (OMS 2003) y las Normas Sanitarias para agua potable (MSAS 1998). Los valores de pH, conductividad y turbidez, están dentro de los valores para agua potable. En general, las características físicoquímicas y microbiológicas determinadas, la presentan como agua de buena calidad (Tabla 7). A pesar de esto, el agua de aire acondicionado no se recomienda para consumo humano, porque puede contener restos de impurezas que se encuentran en el aire del edificio donde está instalado, incluyendo químicos y metales pesados, además del sabor, por lo cual dejaría de ser insípida.

Con base en los resultados obtenidos, el Agua de Aire Acondicionado (AA) no puede considerarse como agua destilada o desmineralizada, porque: a) no posee las características físicoquímicas de aquellas, b) el agua de AA no ha sido tratada para obtener agua destilada (Tabla 7).

En el AP la alcalinidad y dureza total, la relación es cuatro veces mayor con respecto al agua de AA (Tabla 5). Los valores de sólidos totales disueltos (TDS) son 6,5 veces mayor que la AA (Tabla 4), los iones SO_4^{2-} y Ca^{2+} , hacen el mayor aporte a la Conductividad y Sólidos totales disueltos (TDS).

En el Decreto 883, se establece una clasificación de las aguas, con base en esto, el Subtipo 1A son aquellas aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de los parámetros sanitarios de calidad de agua potable, con base en la normativa legal

Parámetros	Agua de aire acondicionado	Decreto 883 Agua subtipo 1A	Decreto 56-018-98 valor deseable < a	Decreto 56-018-98 valor máximo aceptable
pH	8,6	6 - 8,5	6 - 8,5	9
Sólidos suspendidos	39 mg/L	< 25 UNT	-	-
Sólidos disueltos totales	26 mg/L	1 mg/L	600 mg/L	1000 mg/L
Sólidos totales	7 mg/L	1500 mg/L	-	-
Turbidez	4	< 250 UNT	< 1	5 (10)
Coliformes totales	No presentes	< 1000/100 ml	No presentes	No presentes
Dureza total $CaCO_3$	20 mg/L	500 mg/L	250 mg/L	500 mg/L
Dureza Mg	7 mg/L	-	-	-
Sulfato	1 mg/L	400 mg/L	250 mg/L	500 mg/L
Cloruro	13 mg/L	600 mg/L	250 mg/L	300 mg/L
Nitrógeno total	5 mg/L	10 mg/L	-	10 mg/L

Uso del AA en otras actividades domésticas

Como se señaló en los resultados, los valores de AA evidencian que este tipo de agua puede usarse en otras actividades domésticas como la limpieza en general y llenado de pocetas. El uso del agua en estas actividades influirá notoriamente en la disminución de la demanda de agua potable. Esto se basa en datos señalados por la OMS (2003) y que muestran que el objetivo que se persigue es garantizar el suministro de agua potable actual y futuro en un mundo con una población en aumento y las fuentes de agua disminuidas.

El hecho que los valores de los parámetros fisicoquímicos medido, estuvieron dentro de los límites establecido en la normativa legal vigente en Venezuela y en los límites establecido por la OMS, permite expresar que el agua de AA puede ser usada en actividades domésticas e inclusive, puede emplearse en algunos ensayos de laboratorio con base en los protocolos establecido, concordando con lo expresado por Noutcha *et al.* (2016) y lo señalado por Scalize *et al.* (2018), al expresar que el agua de AA se encuentra entre el agua destilada y el agua pura, pero más cercana a esta última, por lo que la hace apta para reemplazar al agua destilada en análisis de aguas y de laboratorio como se ha señalado anteriormente. Esto es muy relativo, ya que según el tipo de ensayo a realizar y el protocolo a seguir, algunas determinaciones requieren reactivos con calidad analítica y el AA no la tiene. Para los resultados analíticos de caracterización física y química 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 (Aguirre *et al.* 2018). Se evidenció que el recurso es óptimo para uso doméstico y agrícola además 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

Mediante el uso del agua de AA en otras actividades como las ya señaladas, se puede disminuir la presión de uso de agua potable. Esto se basa en la calidad del agua y en los cálculos preliminares efectuados que indican que la cantidad de agua de AA es suficiente para ser usada en cada casa, coincidiendo en lo señalado por Magrini *et al.* (2015, 2017) en las necesidades de un hotel moderno en Arabia Saudita (Abu Dabi) y con los resultados de Aguirre *et al.* (2018). En este sentido, si se hace un ejercicio matemático rápido, utilizando la fórmula $D = A - B - C$ (de $A = B + C + D$), se puede visualizar que utilizando la producción promedio de cualquier AA (1 como mínimo), que el uso de agua de AA es suficiente para que la actividad sea sostenible en el tiempo. Nuestros datos son comparables a los obtenidos por Magrini *et al.* (2015, 2017), Algarny *et al.* (2018); (Alfonzo Garavito y De La Hoz Enríquez (2019).

Se evidenció que el agua generada por las unidades de aire acondicionado es una alternativa viable y sostenible. Como alternativa opcional para el aprovechamiento del recurso, es favorable y ambientalmente sostenible. Su uso para la limpieza unidades sanitarias, riego de plantas, supone ahorro de agua y reduce la demanda de agua potable. El agua obtenida por las unidades de aire acondicionado es una alternativa racional para ser

incorporada en un plan integral del manejo del recurso hídrico. 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 (Aguirre *et al.* 2018).

Conclusiones

Con base en las características fisicoquímicas, el agua de aire acondicionado no se puede considerar como agua destilada.

La cantidad de agua producida por un aire acondicionado, almacenada puede ser una alternativa en su uso en labores domésticas y así reducir la presión de uso del agua potable.

Con base en las características fisicoquímicas y microbiológicas, los valores registrados están dentro de los límites permitidos desde el punto de vista sanitario, por lo que el agua de aire acondicionado puede ser considerada apta para ser usada en actividades domésticas y es una alternativa viable y sostenible; esto último, en la actualidad su uso en las ciudades dista mucho de ser empleada en otras actividades domésticas. El agua de aire acondicionado no se recomienda para consumo humano, porque puede contener restos de impurezas que se encuentran en el aire del edificio donde está instalado, incluyendo químicos y metales pesados, además del sabor, por lo cual dejaría de ser insípida, además podría haber problemas con el color del agua, de esta manera, su consumo directo puede ser un riesgo sanitario. Además, la cantidad de agua generada por las unidades de aire acondicionado evaluadas demuestra que es un recurso sostenible (Alfonzo Garavito y De La Hoz Enríquez 2019)

La necesidad de explorar fuentes nuevas y sostenibles de agua, ya es una necesidad de gran importancia. Los aires acondicionados generan grandes volúmenes significativos, que se desperdician al ser vertidos al sistema de drenaje o se pierden simplemente sin colectarlos, esto es decir, sin tener utilidad alguna (Siam *et al.* 2019). La pregunta que se hace a la sostenibilidad de usar el agua de AA en actividades domésticas usando técnicas ambientalmente amigables, ha llevado al desarrollo de fuentes alternas de agua y fuentes de energía limpias y eficientes (Algarny *et al.* 2018). El agua condensada por los AA, puede ser recuperada y tener un uso mediante técnicas limpias y de bajo costo (EPA, 2014).

Los datos aquí presentados son compatibles con los obtenidos en las referencias antes mencionadas, particularmente en lo que se refiere a: Aguirre *et al.* (2018) y Alfonzo Garavito y De La Hoz Enríquez (2019).

Literatura citada

AGUIRRE, S. E., N. V. PIRANEQUE y A. ROZO. 2018. Potencial de Uso del Agua proveniente de los Sistemas de Aire Acondicionado en el Caribe Seco Colombiano. Información Tecnológica, 29(6): 33-42 (en línea) (disponible en:

<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000600033>).

ALGARNY, S. A., C. A. SALEEL Y M. A. MUJEEBU. 2018. 2018. Air conditioning condensate recovery and applications Current developments and challenges ahead. *Sustainable Cities and Society*, 37: 263-274. (Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/321481002AirconditioningcondensaterecoveryandapplicationsCurrentdevelopmentsandchallengesahead>).

ALFONSO GARAVITO, A. M. Y M. C. DE LA HOZ HENRÍQUEZ. 2019. Reuso de agua de los aires acondicionados. Propuesta de producción más limpia para aprovechamiento de agua de condensación de los aires acondicionados en la Universidad de la Costa. Trabajo de Grado para otorgar el título de Ingeniero Ambiental. Universidad de la Costa, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Ingeniería Ambiental, Barranquilla. Colombia.

BANCO MUNDIAL. 2004. Water Resource Sector Strategy. # 28116

BITTER REY, M. E. 2017. Aplicación de Políticas Ambientales para el Manejo de Recursos Naturales y Residuos Peligrosos en laboratorio de la UCLA. Informe de Pasantía. Ciencias Ambientales, UNEFM. 58 p.

BITTER, M., L. M. MARCO, D. TORRES Y E. GÓMEZ. 2017. Reúso del Agua y Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales en el Laboratorio de análisis Instrumental del Decanato de Agronomía. *Bioagro* (edición especial), Resúmenes XIII Jornadas de Investigación, Decanato de Agronomía – UCLA, p4.

CLARKE, K. R. Y R. N. GORLEY. 2001. Primer V5: User Manual/Tutorial. Primer –E. Ltd. Plymouth.

DECRETO N° 883. 1995. Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. *GACETA OFICIAL EXTRAORDINARIA*: 5.021 del 18/12/95., (Venezuela).

EPA. FEDERAL GREEN CHALLENGE. 2014. Case Study: Condensate Recovery System Reduces Water Usage and Discharge. (Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/cs2-gsa-condensate-recovery.pdf>).

MAGRINI, A., L. CATTANI, M. CARTESEGNA AND I. MAGNANI. 2017. Water Production from Air Conditioning Systems: Some Evaluations about a Sustainable Use of Resources. *Sustainability*, 9, 1309.

MAGRINI, A., L. EATTANI, M. CARTESEGNA AND L. MAGNANI. 2015. Integrated systems for air conditioning and production of drinking water. Preliminary Considerations. *Energy Procedia*, 75: 1659 – 1665.

MSAS (MINISTERIO DE SANIDAD Y ASISTENCIA SOCIAL, VENEZUELA). 1998. Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. Numero S.G. - 018-98. *Gaceta de La República de Venezuela* No. 36.395, del 13/02/ 98.

NORMA 3M. 1999. Petrifilm™ Placas Alta Sensibilidad para Recuento de Coliformes. Guía de Interpretación. 3M S.A.

NOUTCHA, M. A. E., O. DAMIETE, J. J. R. MATHEW, O. NGOZI, O. U. CHINWENDUM, CHU. EZERA AND S. N. OKIWELU. 2016. Quantity and Quality of Water Condensate from Air Conditioners and Its Potential Uses at the University of Port Harcourt, Nigeria) *Adv. Appl. Sci. Res.* 7(6):45-48

NTE (NORMA TÉCNICA ECUATORIANA). 2015. Microbiología de Los Alimentos para Consumo Humano y Alimentación Animal. Método Horizontal para La Enumeración de Coliformes. Técnica de Recuento de Colonias. (ISO 4832:2006, IDT). NTE INEN-ISO 4832.

OMS (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD). 2003. Guías para la Calidad de Agua Potable. Primer Apéndice Tercera Edición, Volumen 1.

PAPA FRANCISCO. 2015. Carta Encíclica Laudato Si'. Disponible en: <https://www.aciprensa.com/Docum/LaudatoSi.pdf>

QUISPE ANDÍA, A., K. M. CALLA VÁSQUEZ, J. S. YANGALI VICENTE, J. L. RODRÍGUEZ LÓPEZ Y I. I. PUMACAYO PALOMINO. 2019. Estadística no paramétrica aplicada a la investigación científica con software SPSS, MINITAB Y EXCEL. Editorial EIDEC.

SCALIZE, P. S., S. SOARES SILVA, A. C. FONSECA ALVES, T. AZEVEDO MARQUES, G. G. MARTINS MESQUITA, N. BALLAMINUT and A. C. JOÃO ALBUQUERQUE. 2018. Use of condensed water from air conditioning systems. *Open Eng.*, 8:284–292. (En línea) (Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/327839794_Use_of_condensed_water_from_a_ir_conditioning_systems/fulltext/5ba8d768299bf13e604845fb/327839794_Use_of_condensed_water_from_air_conditioning_systems.pdf?origin=publication_detail).

SIAM, L., I. A. AL-KHATIB, F. ANAYAH, S. JODEH, G. HANBALI, B. BAYAN KHALAF AND A. ABDALHADI DEGHLES. 2019. Developing a Strategy to Recover Condensate Water from Air Conditioners in Palestine. *Water* 11: 1-17.

SOMANI, S. 2016. Reducing Carbon and water footprints with effective use of condensate water in hot and humid climates. Research Methods GRCS.701.30 Technical Paper. (Disponible en: <https://www.google.com/search?client=firefox-bd&q=https%3A%2F%2Fwww.epa.gov%2Fsites%2Fproduction%2Ffiles%2F201505%2Fdocuments%2Fcs2-gsa-condensate-recovery.pdf>).

TECNOXPLORA. 2014. ¿Se puede utilizar para algo el agua que suelta el aire acondicionado? (Disponible en: http://www.tecnoxplora.com/ciencia/divulgacion/puede-utilizar-algo-agua-que-suelta-aire-acondicionado_2014091557fca5ef0cf2fd8cc6b0eb06.html).

UNESCO. 2019. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO. (WWDR). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. No dejar a nadie atrás. París, UNESCO. (Disponible en: <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>).



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

**BOLETÍN DEL CENTRO DE
INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**

Vol. 54 Nº 2

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada
en Diciembre de 2020, por el **Fondo Editorial Serbiluz,**
Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
produccioncientifica.luz.edu.ve