

# Condensación de la humedad del aire: solución a la escasez de agua en regiones de Colombia como La Guajira y San Andrés Isla

*María Dolores Galindo Torres<sup>1</sup>, José Gregorio Contreras<sup>2</sup>, Alexander Mendoza Ortiz<sup>3</sup>*

## Resumen

La Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, desde su centro de investigación y con el Grupo de Estudios Ambientales (GEA), se propuso ayudar en una solución al problema de fuentes de agua dulce y potable para ciertas regiones del país donde el régimen de lluvias y las fuentes de agua potable escasean. Por tal razón, se formula el proyecto Prototipo Autosostenible para Obtención de Agua Potable Condesada a Partir de la Humedad del Aire.

A través de la metodología de ingeniería inversa se modificó un aire acondicionado de ventana que funciona con refrigerante R22, con el cual se lograron condensar 37,5 litros de agua en 24 horas de operación, con un consumo de energía eléctrica de 24,13 kW-h, prueba realizada en la ciudad de Bogotá. Con otro equipo en San Andrés isla –de A/C, que funciona con R410a– se obtuvieron 24,84 litros de agua en 15,61 horas, con un consumo de 8,36 kW-h.

Dentro de la investigación también se logró establecer que el agua condensada, por los sistemas de aire acondicionado, se drena al alcantarillado: No se utiliza, puesto que la creencia entre los usuarios es considerarlo como un producto tóxico que afecta la salud. En respuesta a esto, se tomaron muestras a las que se les realizaron pruebas; los resultados mostraron que el agua no es tóxica y se puede potabilizar, utilizándola para consumo humano. Esta otra fuente de agua dulce puede llegar a solucionar, en parte, la escasez en las regiones antes mencionadas.

**Palabras clave:** condensación, escases, drenaje, energía, autosostenible, mínimo vital, refrigeración, humedad, calor, temperatura.

## Abstract

From “the center of research and Environmental Studies Group” (GEA) at Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, was proposed to seek a solution to the problem of supplying fresh and clean water for certain regions of the country, where rainfall and sources drinking water supply. For this reason, the project Self-sustaining Prototype Condensed Obtaining Drinking Water from the Environment Humidity is formulated.

Through inverse engineering methodology, a window air conditioner that works with refrigerant R22 was modified, then 37.5 liters of water were condensed in 24 hours of operation with a power consumption of 24.13 KW-h, test executed in Bogota. With another device that worked on San Andres Island, A/C that works with R410a, 24.84 liters of water were obtained in 15.61 hours and had a consumption of 8.36 kW-h.

In the research also it was established that the water condensed by air conditioning systems in the regions under study, is drained into sewer: it is not used, because the popular belief is considered the condensed water as a “toxic” product that affects health. In response, condensed water samples to tests were taken; the results showed that it is not toxic and could be purified, being suitable for human consumption. This other source of fresh water can solve partly the shortage in the aforementioned regions.

1 Magíster en Docencia Universidad de La Salle 2011, ingeniera mecánica Universidad Nacional de Colombia 1993 y licenciada con especialidad en Física Universidad Distrital Francisco José de Caldas 1989. Profesora medio tiempo de planta Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, 2013-2015. Directora del Grupo de Investigación de Estudios Ambientales (GEA).

2 Aspirante a doctor en educación Nova Southeastern University. Master of Arts Educational Universidad de La Salle Minnesota (USA) 2004. Magíster en Docencia Universidad de La Salle Bogotá (Colombia) 2000, licenciado en Ciencias Religiosas Universidad de La Salle Bogotá (Colombia) 1995. Rector de la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central.

3 oven investigador, estudiante de pregrado en Ingeniera Electromecánica 2015. Tecnólogo Electromecánico, Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central.

---

## 1. Introducción

Colombia se distingue por estar dentro de los nueve países que tienen el 60% del agua dulce de la tierra (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2010). Aun así, se informó por los medios de comunicación, para agosto de 2014, que 36 municipios del país se declararon en calamidad pública por falta de agua, los cuales son habitados por 3,5 millones de personas que conforman 70.000 familias de la región Caribe del territorio nacional (*El Tiempo*, 2014). Si se sigue haciendo un recorrido por las regiones del país, se encuentra que San Andrés isla cuenta con dos acuíferos ubicados en la parte central de la isla, los cuales proveen la red pública de acueducto, con la que se abastece la mayoría de la población; pero debido a las propiedades de los suelos de isla, estas fuentes son contaminadas por los pozos sépticos (PROACTIVA Aguas del Archipiélago S.A., 2008).

Por lo anterior, el suministro de agua potable en la isla se caracteriza por baja cobertura, baja calidad –consecuencia del mal estado de las redes de distribución–, contaminación e infiltraciones de aguas residuales, baja continuidad –por deficiencias en las redes–. Por otro lado, la ineficiencia operativa y comercial –altos costos operacionales, bajos niveles de recaudo, altos índices de pérdidas y conexiones irregulares– afecta a las comunidades raizales de la isla. Toda esta problemática genera enfermedades y empobrecimiento de la calidad de vida (Ministerio del Interior, 2014).

En el norte de La Guajira colombiana, los indígenas de las comunidades wayuu caminan durante varias horas para buscar agua con una ‘pimpina’ en la mano, mientras pasan junto a chivos y vacas flacas que parecen a punto de desfallecer por el hambre y la deshidratación durante los periodos de verano (Gerrero , 2014). El clima es cálido y seco; además, se caracteriza por escasez de lluvias. En el 41% de la región la vegetación es clasificada como matorrales desérticos subtropicales. Estas áreas de La Guajira no están conectadas al sistema de suministro de energía eléctrica nacional (ZNI).

La Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central (ETITC), desde su centro de investigación, con el GEA, se propone contribuir con soluciones para el suministro de agua potable para comunidades de La Guajira y San Andrés carentes de fuentes hídricas superficiales o subterráneas. Basados en este contexto, se formula el proyecto Prototipo para Obtención de Agua Potable Condensada a Partir del Aire y Aplicación a Cultivos Hidropónicos.

## 2. Materiales y métodos

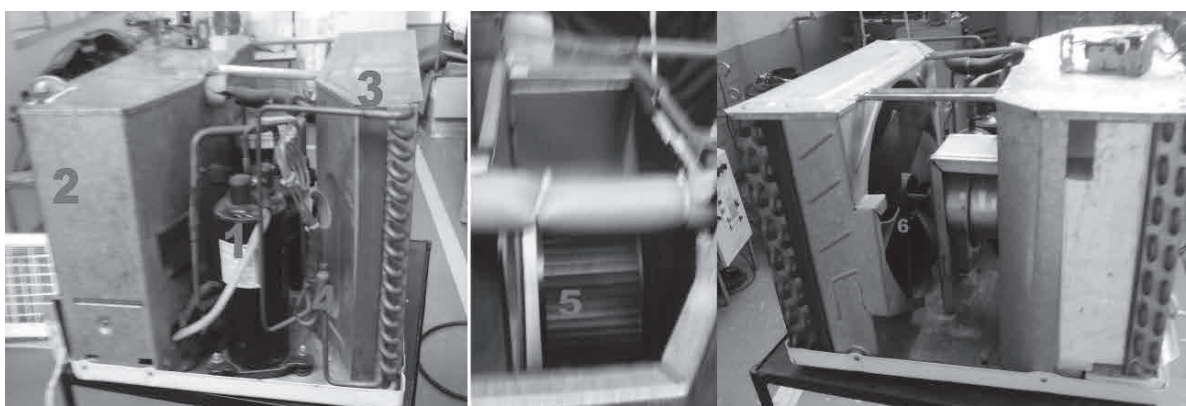
La condensación de agua del aire es un proceso natural que ocurre en el ciclo normal del agua cuando la temperatura del aire del ambiente ( $T_s$ ) ha alcanzado temperaturas por debajo del punto de rocío (PR) o temperatura de condensación del agua. La condensación del agua del aire o rocío mañanero ocurre en mayor o menor cantidad dependiendo del contenido de agua en el aire o saturación. La saturación o contenido de humedad de agua en el aire ( $W$ ) será mayor si tenemos fuentes de agua como ríos, mares, pozos o lluvias cerca. Teniendo una alta humedad en el aire, el agua se puede condensar a través de mecanismos diseñados por el hombre para tal fin. La atmósfera contiene 12.900 km<sup>3</sup> de agua dulce, de los cuales el 98% es vapor de agua y 2% agua condensada (nubes), lo cual es comparable con los recursos renovables de agua líquida dulce de la tierra habitada (Daniel Beysens, 2003).

La condensación de la humedad contenida en el aire a nivel industrial ha sido un subproducto de la refrigeración, el aire acondicionado, el aire comprimido y la deshumidificación. En el medio de la refrigeración y el aire acondicionado, la cantidad de agua condensada se debe retirar de los lugares que se van a acondicionar, refrigerar o que están a una temperatura de congelación. Se tienen rutinas de control, bombas para sacar el agua condensada de los equipos utilizando sistemas de tuberías que la conducirá desde las áreas controladas hasta sistemas de aguas lluvias. En el comercio se conocen las neveras *no frost*, los sistemas de descarche

por resistencias eléctricas o por gas caliente; en aire acondicionado, las bombas y mangueras para sacar los condensados de los *fancoils*. En equipos de aire comprimido se tienen sistemas de refrigeración para condensar el vapor de agua contenida en el aire y así obtener aire comprimido seco. Lo anterior muestra que es una técnica que se aplica desde el nacimiento mismo de las industrias de refrigeración, aire comprimido, aire acondicionado y áreas controladas para las diferentes industrias,

con el empleo del aire como su principal medio de trabajo (Carrier International Limited, 2012).

A través de la ingeniería inversa se analizó el funcionamiento de un aire acondicionado de ventana de 3,516 kW de potencia frigorífica que consume 1,25 kW de potencia eléctrica a 110 V, 1 pH, 60 Hz, (figura 1), según datos de placa, y funcionando con refrigerante R22.



**Figura 1. Aire de ventana tipo paquete**

1: compresor. 2: evaporador. 3: condensador. 4: capilar. 5: ventilador centrífugo. 6: ventilador axial. 7: bandeja.

Fuente: Grupo GEA, agosto 2014, ETITC.

Estos primeros estudios se hicieron en las instalaciones de la ETITC en Bogotá (Colombia), en la latitud y longitud  $04^{\circ} 00' N$ ,  $72^{\circ} 00' W$ , 2.546 m s. n. m., 0,74 bar de presión atmosférica, con unas condiciones de diseño de  $18^{\circ} C$  de temperatura de bulbo seco  $T_s$  y temperatura de bulbo húmedo  $T_w$   $15^{\circ} C$ . (Datos tomados del (ASHRAE, 2013).

El equipo (figura 1) se puso a funcionar durante una hora. Con un *anemómetro digital*, con *certificado de calibración*, se midió la velocidad y la temperatura del aire a la entrada y salida del evaporador (2), como también del condensador (3). Al mismo tiempo se tomaron las lecturas de humedad relativa (HR), aire del ambiente –a la

entrada y salida del evaporador y a la salida del condensador–; con estas medidas se determinarán los consumos de energía en el ciclo de enfriamiento y se seleccionaron otros equipos y otro refrigerante para disminuir el consumo total de energía.

Se recogió durante una hora 500 ml de agua a  $7^{\circ} C$  de temperatura, con 1 kW-h de consumo. El agua condensada se recogió de la bandeja después de que pasó la hora de funcionamiento.

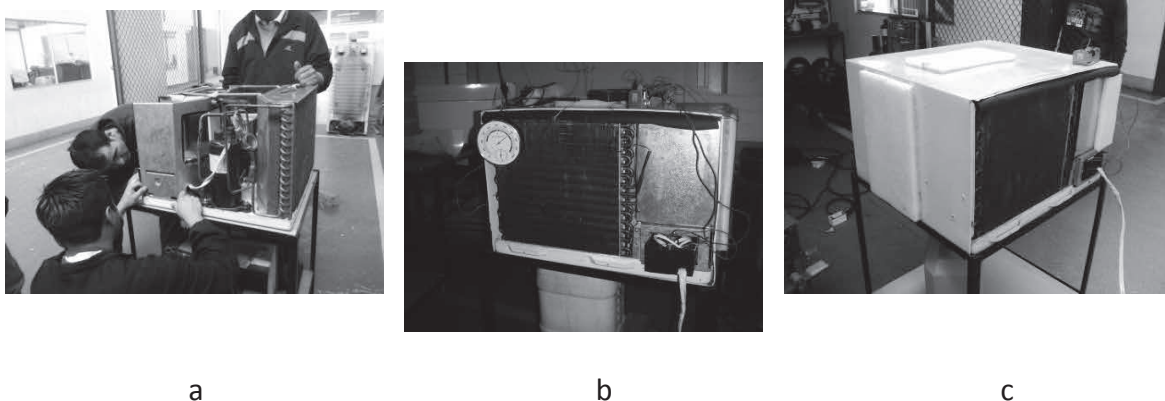
En otra práctica se recogió el agua a medida que se condensaba y acumulaba en la bandeja (7) del equipo. Los datos del taller se consignan en la tabla 1.

**Tabla 1. Datos del segundo taller de agua condensada**

Taller de condensación de agua en el aire								
Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central					Inicio	Final		
Lugar	Bogotá	Fecha	12/08/2014	Hora	2:30 p. m.	3:44 p. m.		
Altura sobre el nivel del mar			2600 m					
Condiciones ambientales de diseño								
Ts	22	°C	71,6	°F	HR	60%		
Condiciones ambientales antes de prender los equipos								
Ts	18	°C	64,4	°F	HR	60%		
Características de los equipos								
Tipo	Aire de ventana		Potencia frigorífica		3,516 kW			
Consumos eléctricos de placa			V	110	A	12,7		
			P kW	1,25	pH	1		
Parámetros de funcionamiento del equipo								
Refrigerante					R22			
Velocidad del aire en la succión del evaporador					2,9	m/s	570,72	pies/min
Temperatura del aire en la succión del evaporador					18	°C	64,4	°F
Área en la succión del aire del evaporador					1.404	cm <sup>2</sup>	1,51	Pies <sup>2</sup>
Velocidad del aire en la descarga del evaporador					5,4	m/s	1062,72	Pies/min
Temperatura del aire en la descarga del evaporador					4,6	°C	40,28	°F
Área en la descarga del aire del evaporador					442	cm <sup>2</sup>	0,48	Pies <sup>2</sup>
Temperatura de la tubería en la entrada del condensador					37	°C	98,6	°F
Temperatura de la tubería en la salida del condensador					26	°C	78,8	°F
Temperatura de la tubería en la entrada del evaporador					2,2	°C	35,96	°F
Temperatura de la tubería en la salida del evaporador					5	°C	41	°F
Temperatura de la tubería en la succión del compresor					2,5	°C	36,5	°F
Temperatura de la tubería en la descarga del compresor					36	°C	96,8	°F
Temperatura del aire a la entrada del condensador					18,4	°C	65,12	°F
Velocidad del aire a la entrada del condensador					4,6	m/s	905,28	Pies/min
Área en la succión del aire del condensador					2240	cm <sup>2</sup>	2,41	Pies <sup>2</sup>
Temperatura del aire a la descarga del condensador					30,1	°C	86,18	°F
Velocidad del aire a la salida del condensador					1,8	m/s	354,24	Pies/min
Área en la descarga del aire del condensador					1256,64	cm <sup>2</sup>	1,35	Pies <sup>2</sup>
Condiciones ambientales después de prender los equipos								
TS °C	18	TW °C		HR	60%			
TS °F	64,4	TW °F						
Temperatura del agua °C		6,9	°F	44,42				
Cantidad de agua condensada			1.120	ml				
Consumo eléctrico		127 voltios	8,4 amperios					
Potencia eléctrica		1066,8	Watt					

En el segundo taller –salida de campo de condensación de agua–, realizado en Melgar (Tolima, Colombia) –latitud 4,25° N, longitud 74,65° W y 323 m s. n. m.–, con el equipo antes descrito, no se logró condensar agua, debido a que la capacidad frigorífica del equipo y las condiciones ambientales en las horas del día solo permitían bajar la temperatura del aire por encima del punto de rocío, o sea, solo se retiró calor sensible del aire, y no se logró la transformación del vapor de agua a líquido.

En los equipos de aire acondicionado unitarios tipo paquete, el agua condensada se acumula en la bandeja, y al pasar el flujo de aire ambiente sobre el agua condensada, parte del líquido se evapora, razón por la cual se hizo un drenaje a la bandeja. Además, se modificó la descarga de aire frío del evaporador, se dirigió el flujo hacia el condensador; se tapó la succión de aire del equipo que va hacia el condensador (figura 2). Estas modificaciones permitieron un mejor funcionamiento del equipo como condensador de vapor de agua contenida en el aire. Se logró recoger 37,5 litros de agua en una prueba de 24 horas, realizada en Bogotá.



**Figura 2:** Modificaciones realizadas al equipo

(a) Se abre ventana para cambiar el flujo de aire frío hacia el condensador; (b) se tapa la descarga de aire frío; (c) se tapa la succión de aire del condensador y se aísla térmicamente la carcasa del equipo. Fuente: Grupo GEA, septiembre 2014.

Con los análisis de esta prueba se determina que se debe poner a funcionar el equipo en las horas de menor temperatura ambiente y con máxima humedad relativa mostrada en higrómetro. Para la ciudad de Bogotá –en el nivel de la tierra– se presenta después de las cinco de la tarde y hasta las 9 de la mañana en días en que no llueve y la temperatura de bulbo seco sube hasta 25 °C.

En el tercer taller, salida de campo a San Andrés isla (Colombia) –12° 35' 37" y 14° 42' de latitud norte y 81° 40' 49" y 81° 43' 13" de longi-

tud oeste–, se hizo la misma prueba, utilizando un equipo de aire acondicionado de ventana con capacidad de 5.000 BTU/H, con refrigerante R410a, al cual se le hicieron todas las modificaciones realizadas al prototipo 1. Este prototipo 2 se puso a funcionar a la sombra en un corredor rodeado por edificios, pero en el exterior a la intemperie a 100 metros de la costa (figura 3). Se tomaron datos de humedad relativa ambiente, del aire a la entrada y salida del equipo, temperatura ambiente, temperatura del aire a la entrada y salida del prototipo. El equipo se conectó a una fuente de

---

energía eléctrica de la red pública de la isla de 110 voltios, se midió la corriente y voltaje del equipo durante el tiempo que se puso a funcionar, para determinar el consumo de energía eléctrica.



**Figura 3.** Ubicación del prototipo condensador de agua en San Andrés isla Colombia: rodeado por edificios a techo abierto y corredor que dan al exterior por donde circula el aire  
Fuente: Los autores.

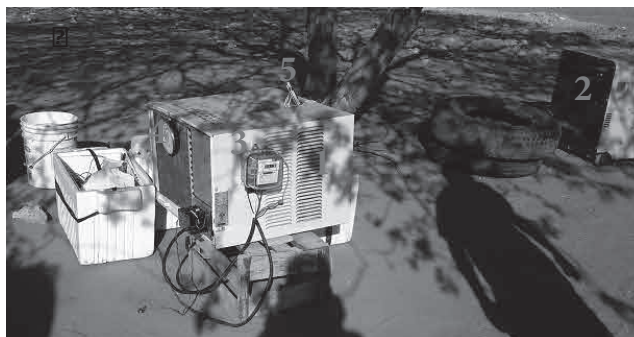
Primero se tomó una muestra desde las 11:30 h hasta las 15:44 h. En este periodo se registran la temperatura ambiente alta y humedad relativa baja; se recogieron 6.332 ml de agua.

Luego se abrieron las succiones de aire para condensación y se registraron todas las variables para condensar un litro de agua, lo que tomó 34 minutos. Luego, de las 16:48 h a las 17:37 h, se recogieron 1.500 ml. Por último, se dejó funcionando el equipo desde la 17:37 h hasta las 9:15 h del siguiente día, tiempo en el cual se condensaron 24.830 ml.

El cuarto taller salida de campo se realizó en el Cabo de la Vela (La Guajira, Colombia), con latitud  $12,33^{\circ}$  N y una longitud  $72^{\circ}$  W. Se hicieron cambios al prototipo 1 para mejorar el flujo de aire desde la descarga del evaporador hacia la succión

del condensador; se obtuvo mejor distribución del flujo de aire de enfriamiento en el condensador del equipo.

La práctica se realizó en tres momentos diferentes para determinar en cuánto tiempo se lograba condensar un litro de agua y la energía total consumida, y determinar en una hora cuánta agua se condensaba. Como fuente de energía se utilizó una planta eléctrica que genera la energía con gasolina, ubicada a la sombra de un árbol muy cerca de la playa, de las 13:56 h hasta las 14:25 h. Se midieron las condiciones ambientales, así como el consumo de energía y los parámetros de funcionamiento del equipo, como se ve en la figura 4.



**Figura 4.** Prototipo 1, funcionando en el Cabo de la Vela, Colombia, al frente del mar bajo la sombra de un árbol

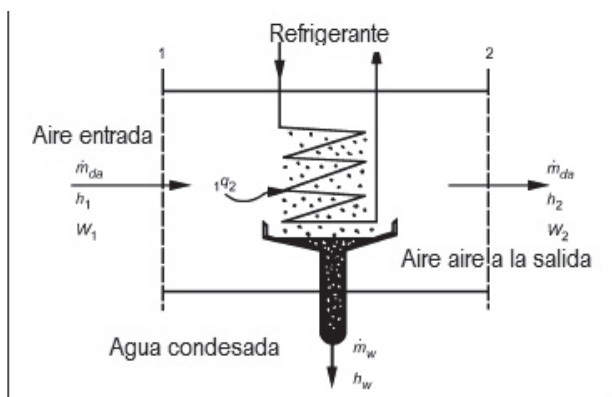
1. Condensador de vapor del agua en el aire. 2. Planta eléctrica que funciona con gasolina. 3. Medidor de consumo eléctrico. 4. Termohigrómetro: mide la humedad y temperatura seca del aire a la entrada del evaporador. 5. Termohigrómetro: mide la temperatura y humedad del aire a la salida del equipo.

Fuente: Grupo GEA, marzo 2015.

### 3. Resultados y discusión

Para condensar el vapor de agua contenido en el aire por medio de enfriamiento, se debe bajar la temperatura del aire húmedo hasta la temperatura de condensación de agua o punto de rocío

(PR). En la figura 5 se esquematiza el proceso. El refrigerante se debe evaporar a una temperatura más baja del PR, de tal forma que se haga la transferencia de calor desde el aire hasta el refrigerante y el vapor de agua se condense (Carrier International Limited, 2012).



**Figura 5.** Esquema del proceso de deshumidificación del aire por enfriamiento

1. **Propiedades** del aire al entrar al equipo de enfriamiento. 2. propiedades del aire al salir del equipo de enfriamiento.  $\dot{m}_{da}$  = Flujo másico de aire seco kg/s;  $h$  = entalpía específica total del aire húmedo KJ/kg;  $W$  = humedad específica del aire húmedo Kg<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub>;  $\dot{m}_w$  = flujo másico de agua condensada kg/s,  ${}_1q_2$  = flujo de calor transferido al refrigerante KJ/s.

Fuente (ASHRAE , 2001).

### 3.1. Taller realizado en Melgar (Tolima, Colombia)

Como se ve en la tabla 2, el PR es más bajo que la temperatura de evaporación del refrigerante y con aire totalmente exterior; el aire absorbe la humedad de fuentes como mares, ríos o lluvia, entre otras. Sin fuentes cercanas, la humedad relativa (HR) es muy baja, como la presentada el día en que se realizó el taller, que se muestran en la tabla 2. La cantidad de calor sensible que se debe retirar para bajar la temperatura del aire desde 37,7 °C hasta 19 °C el punto de rocío es de 44 kW de potencia frigorífica y el equipo cuenta 3,516 kW potencia frigorífica declarada en la placa del equipo funcionando a condiciones estándar. La capacidad frigorífica del equipo, trabajando en estas condiciones ambientales, permite bajar la temperatura del aire por encima del PR, razón por la cual no se logró condensar el vapor de agua. Además, el contenido de agua en esas condiciones es tan bajo que si se logra disminuir la temperatura del aire por debajo del PR. Con este equipo, la cantidad de agua condensada, si se obtiene, es muy baja.

Hora	Ts	Tw	PR	HR	W	h	Te
HORAS	°C	°C	°C	%	KgH <sub>2</sub> O/kg <sub>a</sub>	Kj/Kg	°C
10:45	37,6	24,83	19,98	36	0,0009875	94,85	20,3
11:30	37,0	23,07	17,07	31	0,0008197	87,58	21,5
12:00	34,6	20,58	13,44	28	0,0006460	78,25	23,6
1:30	36,0	22,61	16,10	32	0,0008009	85,80	20,5

**Tabla 2.** Datos de la práctica de condensación en Melgar el 30 de agosto del 2014

Ts: temperatura ambiente; Tw: temperatura de bulbo húmedo; PR: punto de rocío; HR: humedad relativa; W: humedad específica; h: entalpía calor total; Te: temperatura de evaporación del refrigerante.

Fuente: Grupo GEA 16/09/2014.

### 3.2. Taller realizado en Bogotá, D. C. (Colombia)

Del saber común se interpreta que a medida que avanza el día, la temperatura ambiente aumenta, y con el aumento de la temperatura, disminuye la humedad relativa, comportamiento discutido por Schemenauer (2009) y Bautista (2011); por lo tanto, la cantidad de agua condensada disminuye a medida que baja la humedad relativa y la temperatura del aire ambiente  $T_s$  aumenta. En la tabla 3 se muestran el comportamiento de la temperatura ambiente y la humedad relativa durante el día: la mayor cantidad de agua se condensa desde las 18 horas hasta las 6 horas del día siguiente; como resultado, se recogieron 23,3 litros de agua contra los 13,7 litros recogidos en el día.

La cantidad de calor sensible para llevar el vapor de agua hasta la temperatura de condensación PR durante el día es más alta, una de las razones por las cuales en día el equipo de condensación de agua consumió 15,50 kW-h, mientras que en la noche consumió 14,6 kW-h.

El prototipo al funcionar con un sistema mecánico de compresión y enfriamiento por aire, como se mencionó antes, es más alta la energía consumida en el ciclo de refrigeración. La relación de agua producida contra la energía consumida por el equipo en el día es de 0,88 l/kW-h vs. 1,59 l/kW-h en la noche.

HORA DEL DÍA	TEMPERATURA AMBIENTE (Ts)	HUMEDAD RELATIVA (HR)	AGUA CONDENSADA	ENERGÍA CONSUMIDA
HORAS	°C	%	L	kW-h
6:10	12	78		
7:10	13	75	1.343	1,06
8:10	14	73	1.398	1,17
9:10	15	69	1.253	1,28
10:10	16	62	1.078	1,30
11:10	17	63	1.290	1,32
12:10	18	56	1.305	1,32
13:10	19	52	1.215	1,29

HORA DEL DÍA	TEMPERATURA AMBIENTE (Ts)	HUMEDAD RELATIVA (HR)	AGUA CONDENSADA	ENERGÍA CONSUMIDA
14:10	23	44	1.120	1,34
15:10	22	51	1.258	1,40
16:10	21	54	1.250	1,37
17:10	20	59	1.242	1,35
18:10	19	71	1.499	1,30
19:10	18	73	1.650	1,27
20:00	17	74	1.801	1,24
21:08	16	76	2.189	1,17
*21:48	17	71	1.260	0,94
**5.22			13.179	8,85
6:22	15	75	1.690	1,12

**Tabla 3.** Resultados obtenidos en taller realizado en Bogotá en el taller de térmicas de la ETITC con el prototipo funcionando continuamente durante 24 horas

Se puso a funcionar el equipo en el interior del taller. \*, \*\*: desde las 21:48 horas hasta las 5:22 se dejó funcionando solo.

Fuente: Grupo GEA, 16-17/09/2014.

### 3.3. Taller realizado en el Cabo de la Vela (La Guajira, Colombia)

El comportamiento de la temperatura del aire ( $T_s$ ), más la humedad relativa vs. la hora del día, es el mismo que en Bogotá. Las pruebas se realizaron en las horas del día cuando la HR fue superior a 60%. Como se ve en la tabla 4, el rendimiento de agua condensada por energía consumida aumentó, siendo el más bajo de 1,74 l/kW-h, mejor que el rendimiento nocturno en Bogotá, de 1,59 l/kW-h. El rendimiento nocturno 2,61 l/kW-h, con las observaciones hechas en el campo la temperatura, disminuye por debajo de los 24 °C y la humedad relativa aumenta; por lo tanto, el rendimiento se podrá mejorar más. La limitante de esta región es el suministro de energía eléctrica. Por este motivo, se buscará otro equipo con refrigerante diferente, de forma que consuma menos energía.



HORA DEL DÍA	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA	AGUA CONDENSADA	ENERGÍA CONSUMIDA
HORAS	°C	%	l/h	kW-h
7:00	26,0	68	2,35	1,35
15:00	30,5	68	3,00	1,75
20:00	24,4	83	2,50	1,10
21:30	24,1	85	4,00	1,53

**Tabla 4.** Resultados del taller salida de campo realizado en el Cabo de la Vela (La Guajira, Colombia)  
Fuente: Grupo GEA 01/04/2015.

### 3.4. Taller realizado en San Andrés isla (Colombia)

Al utilizar un equipo más pequeño en este taller, la cantidad de agua recogida es menor a la recogida en La Guajira, pero superior la recogida en Bogotá. El rendimiento menor se presenta en las muestras recogidas durante el día (2,44 l/kW-h), lo que supera al rendimiento nocturno en Bogotá y el diurno de La Guajira. El rendimiento nocturno en San Andrés (5,66 l/kW-h) representa para este proyecto alcanzar el objetivo de producir al menos 25 litros de agua al día. En conclusión, con los consumos de energía de este equipo –por medio de energías renovables, como la solar fotovoltaica o la eólica– es más cercano poder alimentar los equipos que se aplicarán en las dos regiones objeto del estudio.

HORA DEL DÍA	TEMPERATURA AMBIENTE	HUMEDAD RELATIVA	AGUA CONDENSADA	ENERGÍA CONSUMIDA
HORAS	°C	%	l/h	kW-h
15.73	29,2	64,0	1,5	0,610
16.80	30,5	63,5	1,8	0,261
17.62	30,0	72,5	1,8	0,444
18.50	28,0	75,0	3,0	0,530

**Tabla 5.** Resultados del taller salida de campo realizado en San Andrés isla (Colombia)  
Fuente: Grupo GEA 12-13/11/2014.

Aún se pueden mejorar los resultados en los consumos eléctricos, poniendo controles que operen el equipo en el momento que se presenten las condiciones de mayor contenido de agua en el aire con menor temperatura de operación.

## 4. Conclusiones

Se pudo constatar con talleres realizados en Bogotá, en San Andrés isla y en el Cabo de la Vela (La Guajira, Colombia) que la atmósfera es una fuente alternativa de agua potable para las regiones del país que son desérticas áridas o que no tienen fuentes de agua potable por temporadas del año o todo el año. Que combinada con otras fuentes agua dulce se puede ayudar alcanzar una solución al problema presentadas en las regiones de estudio.

Si no hay una fuente de agua potable, no importaría hacer funcionar el condensador vapor de agua del aire a cualquier hora del día; sin embargo, si la humedad relativa es muy baja y la temperatura del ambiente es alta, no se condensará agua o su producción será muy costosa por la energía que consumen los equipos.

Con nuevos refrigerantes como los hidrocarburos, que tienen una capacidad frigorífica mayor, se podrán alcanzar mejores rendimientos de los condensadores de agua; también habrá que adicionar controles al equipo para que funcione con los parámetros óptimos para generar el agua.

## 5. Referencias

- ASHRAE (2001). *Handbook fundamentals*. Atlanta, GA 30329-3405: ASHRAE.
- \_\_\_\_\_ (2013). *Handbook fundamentals*. Atlanta, GA 30329-3405: ASHRAE.
- Bautista Olivas, A. L., Tovar Salinas, J. L., Palacios Vélez, O. L., & Mancilla Villa, O. R. (2011, 45). "La humedad atmosférica como fuente opcio-

- 
- nal de agua para uso doméstico". *Agrociencia*, 293-301.
- Carrier International Limited (2012). *Aire acondicionado*. Barcelona: Maracombo, S. A.
- Daniel Beysens, I. M. (2003). "Using radiative cooling to condense atmospheric vapor: a study to improve water yield". *Journal of Hydrology*, 1-11.
- El Tiempo* (14 de 08 de 2014). Recuperado el 27 de 10 de 2014, de <http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/crisis-de-sequia-en-colombia/14338595>.
- Gerrero, V. (03 de Agosto de 2014). *El Herald*. Recuperado el 27 de 10 de 2014, de <http://www.elheraldo.co/local/5-razones-que-agravan-la-crisis-en-la-guajira-161559>.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). *Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico*. Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Ministerio del Interior (24 de enero de 2014). Recuperado el 27 de octubre de 2014, de [http://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto\\_0111\\_2014.htm](http://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto_0111_2014.htm).
- Proactiva Aguas del Archipiélago, S. A. (2008). *Plan de saneamiento y manejo de vertimientos para la isla de San Andrés*. San Andrés Islas: Proactiva.
- Schemenauer, R. (2009). *Contribution in principles of water resources; history development*. USA: John Wiley & Sons.

