

Desarrollo de un sistema aerodesalinizador para la potabilización de acuíferos salobres en la Guajira colombiana

Development of a desalination of brackish water system in Colombian Guajira

COLCIENCIAS TIPO 1. ARTÍCULO ORIGINAL

RECIBIDO: JULIO 26, 2103; ACEPTADO: SEPTIEMBRE 15, 2013

Juan Carlos Borrero Plaza¹
jborrerop@hotmail.com

Fernando Montoya¹
publica@usc.edu.co

Luis Antonio González Escobar²
Lage49@yahoo.es

Consorcio Agua Activa (1)
Universidad Santiago de Cali (2)

Resumen

En la búsqueda de receptores de agua y su descontaminación, se propuso en Ranchería (La Guajira, Colombia), el desarrollo de un sistema de producción más limpia denominado sistema aerodesalinizador, Este sistema resulta de un estudio sobre la posibilidad de producir agua potable a partir del agua salobre, con el fin de proponer un método con tecnología limpia y sustentable a bajos costos de operación, sin insumos químicos y sin electricidad. Las investigaciones se realizaron desde 2008 hasta 2012. La calidad del agua obtenida se evaluó de acuerdo con las normas establecidas por las entidades de salud, nacionales e internacionales; con base en los resultados se concluyó que la aplicación del sistema desalinizador es un proceso tecnológico eficaz para la disponibilidad de agua potable, que por su bajo costo y fácil manejo por parte de la comunidad beneficiada, puede ser sustentable y replicable. El proyecto de investigación sobre el sistema aerodesalinizador permitió el desarrollo y avance en el campo de la tecnología e innovación; además de cumplir con las expectativas iniciales, contribuye a promover el mejoramiento de la salud y el desarrollo de las poblaciones rurales, en especial aporta al cubrimiento del plan de atención en servicios básicos para suplir las necesidades de suministro de agua potable, algo fundamental para cualquier proceso productivo o de bienestar en una comunidad.

Palabras clave

Aerodesalinizador; agua segura; agua salobre; desalinización; ósmosis inversa; energía eólica.

Abstract

In seeking and receiving water decontamination, was proposed in Rancheria Colombian Guajira, the development of a cleaner production [CP] called aerodesalinizador system, this system results from a study on the possibility of producing potable water from brackish water, in order to propose a method to clean technology and sustainable low operating costs without chemical inputs without electricity. The research was conducted from 2008 to 2012, being evaluated water quality according to the standards set by health agencies, and based on the results it was concluded that the application of desalination system is an effective technology for process drinking water availability and easy handling by the target community, able to make it sustainable. The research project related aerodesalinizador system allowed the development and progress in the field of technology and innovation, as well as meet the expectations expected, helps to promote improved health and rural development, especially the care coverage plan in basic services, to meet the basic needs of the people, especially the drinking water supply is essential to any production process or are looking for a community welfare.

Keywords

Aerodesalinizador; safe water; brackish water; desalination; reverse osmosis; wind energy.

El aerodesalinizador, producto tangible de la investigación presentada en este artículo, fue desarrollado por Juan Carlos Borrero, su autor principal; cuenta con patente prioritaria en Estados Unidos, está certificado mundialmente por la SGS, homologado en comunidades dispersas por la UNICEF, validado por la Unidad de Gestión del Riesgo de la presidencia y aprobado como *tecnología en zonas dispersas* por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. Actualmente es la base del proyecto de mayor apropiación tecnológica que se adelanta para solucionar la sed de las comunidades Wayuu en la Guajira.

I. INTRODUCCIÓN

Como receptores, los cuerpos de agua dulce son cada día más escasos y contaminados; su tratamiento se vuelve difícil y costoso; innumerables acueductos en el invierno se colmatan y en el verano las cuencas reducen sus caudales y los reservorios se secan. Por esto se necesitará purificar fuentes de agua a costos razonables y sustentables. Desde esta perspectiva ¿De qué manera la investigación y el desarrollo tecnológico podrán desarrollar nuevos métodos para beneficiar a las comunidades con el suministro de agua potable?

Según Camargo y Mariscal (2012), el mayor volumen del agua (97,5%) que existe en el planeta es de agua salada y se encuentra en los océanos y los mares. Sólo una cantidad inferior al 1% es apta para el consumo humano. El agua dulce de fuentes naturales es un recurso limitado, que a su vez limita el aprovechamiento de otros recursos, como el espacio, y el alcance de condiciones para el desarrollo de la agricultura y otras actividades productivas.

En Colombia, las áreas marginadas costeras presentan dificultades para acceso al agua disponible para consumo humano. Un alto porcentaje de esta población se encuentra en áreas rurales y tiende a extraer el agua directamente de fuentes de abastecimiento, sean superficiales, subterráneas o sistemas de recolección de aguas lluvias; en algunos casos se implementan dispositivos para la filtración y desinfección del agua.

Este proyecto de innovación e investigación –diseño, desarrollado y probado en el campo por la firma Agua Viva, desde 2006; validado con el apoyo de la Universidad Santiago de Cali, en 2013– representa una propuesta alternativa que posibilita el acceso a *agua segura para consumo* a los pobladores de lugares en los cuales no hay más fuente de agua que los depósitos subterráneos de agua salobre, donde además el acceso a energía es escaso –o nulo– y no se cuenta con energía sino solo con el potencial que representa el viento como recurso natural con la capacidad de generar energía renovable.

Con una tecnología sencilla y bajo costo de operación, este diseño utiliza la energía eólica para potabilizar el agua salobre, sin la necesidad de utilizar energía eléctrica o productos químicos. La relevancia de este proyecto es clara si se compara con el costo de masificar la purificación de aguas saladas por otros métodos, más tradicionales.

Esta es una alternativa real para las poblaciones dispersas de la Guajira colombiana, lugar donde los *jagüey*

(reservorios en la lengua *Wayúunaiki*), que se forman a partir de aguas estancadas, recogidas de las escasas lluvias del período monomodal de la región y se van contaminando con bacterias y vertimientos, son los sitios donde se abastece de agua tanto la población Wayuu, como los chivos, los burros y los demás animales del desierto (Corpoguajira, 2007).

La extracción de agua de pozos, muchos de ellos con molinos de viento y tanques elevados, es el otro sistema de extracción y almacenamiento del agua que existe en la zona. Desafortunadamente el agua que se obtiene de ellos contiene un alto nivel de sales disueltas que la hace im potable, no solo para el consumo humano, sino también para las actividades agrícolas.

La pregunta que orientó a los investigadores fue: ¿Es posible purificar y desalinizar agua, llevándola al nivel de agua potable, utilizando solamente el viento, con bajos costos de operación –costos que puedan ser asimilados por sus consumidores–, de tal manera que represente una solución viable, eficiente y sustentable?

En cuanto a los costos de operación, un elemento esencial en la sustentabilidad, el proyecto centró sus esfuerzos en los relacionados con el origen de la energía y el uso (o mejor, del no uso) de las sustancias químicas propias de los tratamientos convencionales. Asimismo, hace énfasis en el uso de una tecnología fácil de implementar, que garantiza procesos de producción limpia y sustentable.

Más allá de los temas tecnológicos, lo fundamental en el proyecto es que permite mejorar la calidad de vida de las personas, mejorando sus condiciones sanitarias y proveyendo un recurso importante para mejorar la producción y la productividad: agua potable.

II. UBICACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

El sistema aerodesalinizador para aguas salobres se instaló, a fines de 2007, en una de las áreas más remotas y dispersas de Colombia (11°43'1.06"N; 72°25'44.25"O), la ranchería de la comunidad *Wayúu Uletsumana*, una población con condiciones críticas de acceso, clima, y comunicación, que pertenece al municipio de Manaure, en el departamento de La Guajira, al norte del país (ver Figura 1), lugar donde no existía agua apta para consumo humano.

En este lugar se ubicó un pozo de agua subterránea salobre. Durante el desarrollo del proyecto, esto es su

implementación y operación, se ha realizado una actividad constante de monitoreo y documentación utilizando documentos, fotografías y videos, que registran los detalles técnicos, pero que además ofrecen testimonios valiosos del cambio en la vida de la comunidad como efecto del acceso a agua segura que le ofrece el aerodesalinizador.

Figura 1. Ubicación del aerodesalinizador en la comunidad Wayúu Uletsumana (Manaure, Guajira, Colombia)



III. MÉTODO

Previo a la instalación y operación del aerodesalinizador se realizaron varias actividades de carácter investigativo, entre ellas, la cartografía de la zona y la georeferenciación de alrededor de mil pozos de agua salobre ubicados en las rancherías, de los cuales se seleccionó el indicado.

En él, previa consulta a los interesados, se instaló el sistema empleando como única fuente de energía a la fuerza del viento, un recurso abundante en esta región de Colombia (y por lo tanto, una fuente sostenible de energía). En esta comunidad se desarrollaron las pruebas que permitirían caracterizar y evaluar el agua obtenida del proceso. Se evaluó tanto la producción, como el nivel de potabilización del agua, para determinar su viabilidad técnica.

Luego de realizar los escalamientos de ingeniería, se procedió a la fabricación y montaje del equipo, y a la socialización e implementación del proyecto; se diseñó además un manual detallado de instalación y uso, práctico, de fácil manejo, con imágenes, diseñado para las personas de la comunidad, buscando su apropiación del manejo del sistema aerodesalinizador, un elemento fundamental para garantizar su sustentabilidad.

Tras la implementación del aerodesalinizador –y su posterior operación–, se tomaron muestras del agua dulce producida. Su análisis fue realizado por las autoridades sanitarias del Departamento, verificando el cumplimiento de las normativas de la Organización Mundial de la Salud [OMS], y la empresa certificadora internacional SGS (anteriormente *Société Générale de Surveillance*).

IV. OPERACIÓN DEL SISTEMA

A. Proceso

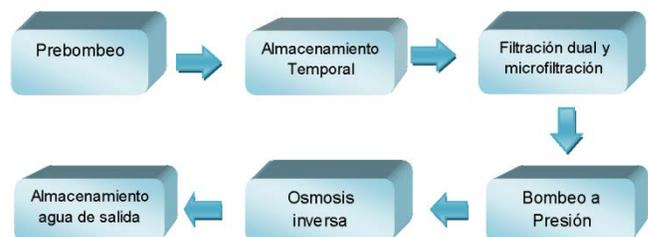
El sistema aerodesalinizador está conformado por seis módulos: un molino de viento preinstalado; un tanque de concreto para almacenamiento de agua no tratada; los filtros, uno de confinamiento y uno de cartucho; el módulo de bombeo eólico; la cámara de ósmosis inversa; y el módulo de almacenamiento de agua potable (ver Figuras 2 y 3).

Figura 2. Vista general del sistema aerodesalinizador



El proceso de este sistema de aerodesalinizador tiene seis etapas, como ilustra la Figura 3. Cada una de ellas se describe a continuación.

Figura 3. Etapas en el proceso del sistema aerodesalinizador



Prebombeo. El pozo salobre se forma por la presión que realiza la cuña marina al penetrar las capas del subsuelo en

la península; mediciones realizadas a esta agua, que se usaron como línea de base referencial, reflejan un alto contenido de sales disueltas (12.000 a 20.000 partes / millón), valores que hacen imposible su consumo. El agua de mar contiene entre veinticinco y cuarenta y cinco mil partes por millón (25.000 y 45.000) ppm (2,5 a 4,5%) de sólidos totales disueltos. Se considera agua dulce aquella cuyo contenido en sal es inferior a mil (1000) microsiemens [μS] de conductividad (INE, 1993).

Almacenamiento temporal. El agua se almacena en un tanque de concreto pre-instalado, para ser reutilizado, con capacidad de 18m³. De él, baja por gravedad hacia los filtros, sin bombas de alimentación, sin suministro de químicos y sin bombas dosificadoras.

Filtración dual. El agua salobre captada ingresa a las unidades de pre-tratamiento; ahí, pasa por el sistema de filtro para confinados, que se compone de un filtro para sólidos suspendidos y otro de carbón activado, arena y zeolita. El circuito de agua generado continúa a la presión de dos manómetros de carátula, a rangos de 60psi; el circuito secundario corresponde al agua de retrolavado durante el mantenimiento (Figura 3).

Figura 3. Sistema de filtros confinados



Microfiltración. El filtro de cartucho estándar, de fibra sintética, retiene partículas mayores a cinco micras (5 μ), de diatomeas y microalgas, evitando que lleguen a las membranas. Este circuito secundario de agua, cuyos procesos de filtrado eliminan sólidos suspendidos,

sustancias y agentes patógenos, son evacuados por retrolavado, cada seis meses, al aplicar las soluciones iónicas –técnica de dopado con *iones bacteriostáticos*, proceso de ionización nanotecnológico, de innovación tecnológica– actividad que hace parte de la rutina periódica de mantenimiento del sistema, cuyas agua rechazadas se envían a un reservorio, donde se evapora naturalmente. Cada tres meses se revisan los ductos y las fugas de agua para evitar valores (de presión) por debajo de la presión normal de operación; cuando la presión aumenta, por encima de lo normal, se procede con retrolavado.

Bombeo a presión. La energía que produce el mecanismo eólico –que cuenta con una veleta y doce aspas aerodinámicas de paso fijo, movidas por el viento– es transformada en la energía mecánica utilizada para aumentar la presión del agua al interior del sistema, mediante el accionamiento de una bomba. Esto hace girar un rotor acoplado a un mecanismo de rodamiento, que genera un desplazamiento de tipo ascendente-descendente, que transmite, directamente a una biela con una varilla actuante, una fuerza mecánica hacia una bomba de acero y bronce, haciendo subir y bajar el pistón recíprocante, el cual tiene la función principal de elevar la presión de operación del flujo del agua, desde presión atmosférica hasta cuatrocientos (400) psi, sin usar ningún tipo de energía eléctrica (ver Figura 4).

Figura 4. Módulo de la aerobomba



Osmosis inversa. En el proceso que va de los filtros al módulo de bombeo de fuerza eólica, se logra la regulación del caudal y la presión suficiente del sistema; de aquí se envía el fluido de trabajo hacia una membrana de osmosis

inversa –o de desalinización– que bajo la presión de operación, expulsa sal y da paso al agua dulce. El agua de rechazo, que contiene alta concentración salina es enviada al pequeño reservorio donde el agua se evapora naturalmente.

La membrana de ósmosis inversa tiene como función reducir la concentración de minerales en el agua, llevando su nivel a valores tolerables, y separar las sales, dejándola apta para consumo humano. De esta membrana el líquido pasa al módulo de almacenamiento de agua potable.

En el proceso descrito no se utilizan dispersantes químicos introducidos antes de la microfiltración y se previene la precipitación de minerales dentro de las membranas. El agua producto potable debe circular al tanque de almacenamiento con una presión menor a 5 psi, para no degradar la unidad de osmosis inversa. El mantenimiento de este módulo se hace cada seis meses; de acuerdo con la calidad de filtración se genera el ciclo de cambio de las membranas entre dos y cinco años.

La potabilización y desalinización del agua de salida, atraviesa la membrana de ósmosis inversa, en un rango de presiones a una presión mínima de 220 psi y una presión máxima del sistema a 400 psi. Las válvulas de alivio protegen al sistema de las sobrecargas de presión; el caudal de salida del agua es función de la velocidad del viento. La Figura 5 muestra la batería del módulo de una membrana de ósmosis inversa usada para el proceso de desalinización. La imagen evidencia el manómetro de carátula para medición de la presión de agua a la salida de la membrana y el circuito secundario para la salida de sedimento del proceso.

Figura 5. Batería de la membrana



B. Regulación de la alta presión y la energía

El concentrado de rechazo del agua cruda y el agua producto ganada sale a presión atmosférica, asegurando una contrapresión regulada en el flujo de rechazo. Mientras que el sistema está en el modo de producción se controla la presión de la salida del agua de rechazo a través de una válvula de regulación. El circuito de salida del agua del sistema de desalinización se evidencia en un manómetro de carátula –para medir la presión de agua a la salida de la membrana– y una válvula para la toma de agua, tipo grifo. Aquí también hay un circuito secundario para la salida del sedimento del proceso de ósmosis inversa.

C. Almacenamiento, distribución y control de calidad del agua

Como se indicó, el agua osmotizada de salida, purificada y desalinizada, pasa a un tanque de almacenamiento de agua potable –o de salida–, con una capacidad de 2.000 litros (ver figura 6).

Figura 6. Tanque de almacenamiento de agua potabilizada



V. RESULTADOS

Los resultados de los análisis realizados demuestran que el producto obtenido de este proceso cuenta con las características físicas, químicas y microbiológicas que se requieren para calificarla como agua apta para consumo humano. Los resultados satisfacen, tanto las normas de la Organización Mundial de la Salud [OMS], como lo establecido por el Ministerio de la Protección Social y del Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, en la Resolución 2115 del 2007. Lo dicho se puede apreciar con detalle en las Tablas 1 y 2, que se presentan a continuación.

Tabla 1. Agua de entrada: análisis físico, químico y microbiológico

Parámetro	Resultado
Temperatura	28.5 ° C
Potencial de Hidrogenión	7.27 U de pH
Turbiedad	467 NTU
Conductividad	9220 microsiemens/cm
Color	7UPC
Alcalinidad Total	300 mg/L
Dureza total	1480mg/L
Magnesio	91,510 mg/L
Manganeso	0.247 mg/L
Zinc	4.814 mg/L
Grasas	< 9 mg/L
Cloruros	2058 mg/L
Fosfatos (mgPO ₄ ^{-3/l})	0.811 mg/L
Nitritos (mg N-NO ₂ /l)	0.113 mg/L
Nitratos	2,097 mg/L
Hierro Total	1,345 mg/L
Coliformes totales (NMP/100 ml)	<180 microorganismos
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	<180 microorganismos
E-Coli	<180 microorganismos

Tabla 2. Agua de salida: análisis físico, químico y microbiológico (continuación)

Características físicas	Valor Máximo aceptable Parámetros-Unidades	Resultado
Nitritos	0.1mg/L	<0.005
Nitratos	10.0mg/L	0.017
Fluoruros	1.0mg/L	0.124
Dureza	300 mg/L	38
Calcio	60 mg/L	9.186
Alcalinidad Total	200 mg/L	40
Sulfatos	250 mg/L	49.88
Fosfatos	0.5 mg/L	0.022
Nitritos	0.1mg/L	<0.005
Hierro Total	0.3 mg/L	0.186
Manganeso	0.1 mg/L	<0.010
Aluminio	0.2 mg/L	0.005
Magnesio	36 mg/L	9.801
Zinc	3.0 mg/L	0.023
Cloruros	250 mg/L	143.2
Molibdeno	0.07 mg/L	< 0.008
Coliformes Totales	0 ufc 100cc	0 ufc
Escherichia coli	0 ufc 100cc	0 ufc

Tabla 2. Agua de salida: análisis físico, químico y microbiológico

Características físicas	Valor Máximo aceptable Parámetros-Unidades	Resultado
Color	15 UPT Co (UPC)	2 UPT Co (UPC)
Olor y sabor	Aceptable	Aceptable
Turbiedad	2.0 UNT	0.23 UNT
pH	6.0-9.0 U de pH	6.5 U de pH
Conductividad	1000 microsiemens/cm	735 microsiemens/cm
Arsénico	0.01 mg/L	<0.000787
Antimonio	0.02 mg/L	< 0.000300
Bario	0.7 mg/L	<0.130
Cianuro libre	0.05 mg/L	<0.002
Cobre	1.0 mg/L	<0.016
Níquel	0.02 mg/L	<0.022
Plomo	0.01 mg/L	<0.029
Selenio	0.01 mg/L	0.005121
Cadmio	0.003 mg/L	<0.0002
Mercurio	0.001 mg/L	<0.0005
Trihalometanos Totales	0.2 mg/L	<0.1
Naftaleno	0.01mg/L	No detectable
Fluoreno	0.01mg/L	No detectable
Fenantreno	0.01mg/L	No detectable
Antraceno	0.01mg/L	No detectable
Benzo (a) Antraceno	0.01mg/L	No detectable
Benzo (k)	0.01mg/L	No detectable
Fluoranteno		
Benzo (b) Fluoranteno	0.01mg/L	No detectable
Benzo (a) Pireno	0.01mg/L	No detectable
Carbono orgánico total	5.0mg/L	<0.3

Cabe recordar que estos resultados se obtienen sin que, en ninguna de las etapas del proceso, se dosifiquen sustancias químicas a través de algún medio; asimismo se debe considerar que el proceso no cuenta con un sistema de control a base de dispositivos electrónicos o electromecánicos para su control.

Con base en la experiencia, es posible afirmar que el sistema aerodesalinizador está en capacidad de producir 2.0 m³/día de agua dulce y potable, con una caudal del afluente de 1,2 l/s, en presencia de regímenes de viento permanentes las 24 horas, y aumenta el rendimiento de agua tratada tan alto como el 99.9%, sin emitir dióxido de carbono (CO₂) ni talar árboles ni contaminar fuentes hídricas, sin necesidad de utilizar electricidad, sin adición de productos químicos, y sin modificar el estilo de vida, algo fundamental para que las personas puedan aprovechar el proceso tecnológico.

El costo de operación de este sistema es muy bajo y su proceso es altamente eficiente desde el punto de vista energético, lo que hace que el precio final del agua obtenida sea bajo. Otros elementos que cabe destacar son:

- la desalinización se lleva a cabo en la superficie terrestre;
- su operación es totalmente independiente;
- el proceso no solo es viable, sino que es ecológica y económicamente y sustentable.

VI. SOSTENIBILIDAD DE LOS RESULTADOS

El tratamiento y el acondicionamiento del agua por medios físicos y químicos, pueden ser complementarios, para la producción de agua potable; sin embargo, en la actualidad, la mayoría de los sistemas comerciales disponibles para desalinización, son altamente costosos (Conagua, 2007), lo que los hace, en la práctica, inaccesibles para amplios sectores de la población.

El requerimiento energético de los procesos de desalinización varía en función de la tecnología empleada. El costo de la desalinización, así como el costo de la energía, tienen un impacto significativo en la selección —o mejor, en la eliminación— de un método para una planta de desalinización. Factores como el costo y la dependencia de energía tradicional son cruciales en las decisiones en sitios donde el acceso a energía eléctrica es muy limitado (Samuels & Baldus, 1998; Foldager, 2003).

En regiones costeras áridas, como otros sitios con recursos de agua salobre o salada, marginados, el uso de técnicas de desalinización avanzada —comercialmente disponibles—, es una posibilidad real. Es posible su aplicación, bajo términos económicos, observando además requerimientos ecológicos (Horst, 2000).

El uso de la tecnología con procesos sobre sistemas de membranas se está convirtiendo en la alternativa más económica para proporcionar agua potable de cualquier fuente, como es el caso del Realzado de Cizalla Vibratorio [*Vibratory Shear Enhanced Processing* o VSEP] y los sistemas de espirales convencionales de membranas con membranas de osmosis inversa o nanofiltración (Johnson, Stowell & Monroe, 2006).

El sistema aerodesalinizador implantado tiene la ventaja de producir agua de alta calidad, en un proceso ecológicamente limpio, a condición de que existan buenas condiciones eólicas. Es un sistema apropiado para ser instalado en sitios aislados, en donde no hay electricidad pública, a un costo operativo muy bajo, con un proceso eficiente desde el punto de vista energético y con la particularidad de que la desalinización se lleva a cabo en la superficie terrestre. Su operación es independiente, técnica y financieramente viable, y no utiliza fuentes de energía tradicionales, ni paneles solares, ni generadores eléctricos. Su bajo costo de operación, menor que aquellos sistemas de osmosis eléctricos, con plantas de energía fotovoltaica, etc., le da una ventaja notable frente a ellos. Además en el sistema aerodesalinizador la eliminación de la salmuera

mediante el agua de rechazo y de lavado, tiene un manejo de aplicación técnica para ser reutilizado por el sistema natural debido a que es fácilmente asimilable.

Los resultados obtenidos en esta investigación han sido socializados y corroborados con base en entrevistas realizadas en la comunidad, con testimonios de sus pobladores respecto de la utilidad y la viabilidad de los sistemas desalinizadores, el manejo de los filtros en la purificación del agua y la autonomía en su mantenimiento; todo ello permite pensar positivamente respecto de su sustentabilidad y de las posibilidades de réplica de la experiencia en comunidades alejadas de los centros urbanos, sin infraestructura de energía eléctrica, sin redes de abastecimiento de agua y sin posibilidades de acceso a asistencia técnica especializada.

VII. CONCLUSIONES

El proyecto de abastecimiento de agua potable en la Guajira colombiana reutiliza los molinos de viento establecidos desde 1957 en esta región, los cuales aportan, originalmente, agua salobre no potable; a ellos se les adapta el sistema del aerodesalinizador, para permitirle a las comunidades el acceso a agua potable que cumple con las normas internacionales [OMS] y la norma nacional (Resolución 2115 del 2007).

La aplicación de procesos de filtrado y ósmosis inversa, a los que se introduce el dopaje de las membranas, convierte al aerodesalinizador en una alternativa con ventajas de costo frente a otros métodos existentes en el mercado. Aspectos como no requerir energía eléctrica ni productos químicos y poder ser operados y mantenidos por la comunidad, le dan ventajas en términos de aceptación social y sustentabilidad. Al estar basado sobre recursos de la zona, su nivel de replicabilidad, una variable importante en términos de impacto, es alto.

El acceso a agua potable, que es en últimas lo que representa el sistema Aerodesalinizador para la comunidad, se constituye en un impulsor de múltiples actividades encaminadas a mejorar su calidad de vida. Además de atender sus necesidades básicas de higiene, la comunidad tiene la posibilidad de desarrollar actividades agrícolas y transformar sus tierras en áreas productivas y habitables, que además de mitigar el hambre y la sed, contribuye a mejorar su salud y su calidad de vida (ver figura 7). El proyecto cumple el objetivo de brindar una ingeniería con proyección humana y ecológicamente sustentable.

VIII. REFERENCIAS

- Camargo, I. & Mariscal, K. (2012). Escasez de agua: en busca de soluciones normativas. *Economía Informa* 374, 53-74
- Comisión Nacional del Agua [Conagua]. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento diseño de plantas potabilizadoras tipo de tecnología simplificada*. México D.F., México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
- Corpoguajira, (2007). *Plan de Acción Trienal. 2007-2011*. Riohacha, Guajira: Corpoguajira. Disponible en http://www.corpoguajira.gov.co/web/attachments_Joom/article/56/Plan_de_Accion_2007-2011_CORPOGUAJIRA.pdf
- Foldager, R.A. (2003). *Economics of desalination concentrates disposal methods in inland regions: deep-well injection, evaporation ponds, and salinity gradient solar ponds* [Tesis]. New Mexico State University, Las Cruces, NM
- Horst, J.K. (2000). *Técnicas innovativas de desalinización de aguas salobres y del mar* [en línea]. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/mexicon/R-0038.pdf>
- Instituto Nacional de Ecología [INE] (1993). *Indicadores Ambientales en México Indicadores ambientales en México 1991-1992*. México D.F., México: INE
- Johnson, G., Stowell, L., & Monroe, M. (2006). Tratamiento VSEP de Rechazo de Osmosis desde el agua salobre subterránea [Ponencia en Conferencia "Desalinización". El Paso, 15-17 de Marzo de 2006]. Recuperado de <http://www.vsep.com/local/spanish/Estudio-de-Caso-Rechazo-de-OI.pdf>
- Ministerio de la Protección Social y Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007, junio 22). Resolución 2115 [Calidad del agua potable]. *Diario Oficial No. 46679*. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional
- Samuels, F. & Baldus W. (1998). Planta eólica de Desalinización. Thyssen Stahlunion, Postfach, 101046, D-40001 Düsseldorf, FRG.

CURRÍCULOS

Juan Carlos Borrero Plaza. Su formación científica la realizó como transferente tecnológico en: Cirofloc (Australia), en el *Manejo de aguas para zonas rurales dispersas*; Shott (Alemania), en la *Trasmisión de UV en el cuarzo*; Isofoton (España), en la *Purificación eólica y solar del agua*; E&S (Estados Unidos), en el *Tratamiento de agua en pequeños centros nucleados*; y Valto (México) en *Desalinización de agua*. Fue científico agregado del grupo Sark, consultor de fluidos de la Nasa e investigador sobre la purificación de agua en las Pirámides de Egipto y Teotihuacán. Actualmente es científico agregado del ISTEAC (Estados Unidos). Recibió la Medalla al Gran Merito Científico en los Estados Unidos y el Premio Nacional al Merito Científico 2012 en Innovación; además fue postulado al Premio Príncipe de Asturias 2012 por el Congreso y Colciencias. Es CEO del Consorcio Colombo–Español Agua Activa. Al momento de la publicación de este artículo está previsto su desplazamiento a Shanghái en una misión Científica de las CAF. Su formación base es Ingeniería Industrial, con especialidad en Educación Ambiental y Desarrollo Sostenible, y Energías Alternativas y Economía del Hidrógeno.

Fernando Montoya Torres. Ingeniero Electricista especializado en Energías Alternativas en Wedel (Alemania). Permanente

desarrollador de soluciones Energéticas Limpias implementados en Alemania, África, Centro América, Ecuador y Colombia. Ha sido parte del equipo investigador, a tiempo completo y es el actual Director de Ingeniería del Equipo de Trabajo del proyecto que opera actualmente en la Guajira Colombiana.

Luis Antonio González. Licenciado en Biología y Química de la Universidad Santiago de Cali (1983) y Magíster en Conservación y Gestión del Medio Natural y Desarrollo Sostenible de la Universidad Internacional de Andalucía, España (2000).