

estación experimental



FUNCIONAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE UNA DESALADORA SOLAR PASIVA CON CUBIERTA DE PLÁSTICO.

ZARAGOZA DEL ÁGUILA, G.
AGÜERA ZURANO, J. M.
TAPIA GRACIANO, J.
PÉREZ-PARRA, J.

XXI Congreso Nacional de Riegos.
Merida, 6 al 8 de mayo de 2003
Resumen. Pág. 187-189

FUNCIONAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE UNA DESALADORA SOLAR PASIVA CON CUBIERTA DE PLÁSTICO

Zaragoza del Águila, Guillermo (P)⁽¹⁾; Agüera Zurano, José M^a ⁽²⁾; Jorge Tapia, Graciano⁽³⁾; Pérez-Parra, Jerónimo⁽⁴⁾

Resumen

Se presenta el análisis de un sistema de desalación solar pasiva ensayado en la Estación Experimental de Cajamar, "Las Palmerillas", a una latitud de 36°48' N en el término municipal de El Ejido (Almería). La instalación consiste en un estanque aislado térmicamente del suelo, expuesto a la radiación solar y recubierto de un plástico antigoteo que recoge la condensación. Se ha realizado una caracterización preliminar de su funcionamiento, analizando la producción en función de los parámetros climáticos de la zona, así como el material plástico empleado en la cubierta. Utilizando un filme tricapa con lámina exterior de polietileno de baja densidad y dos capas interiores de EVA (copolímero etileno-acetato de vinilo) con aditivo antigoteo, el prototipo permite destilar unos 750 l/m² de agua de mar al año, a lo que se añaden los 240 l/m² recogidos de la precipitación. Teniendo en cuenta el bajo coste de la instalación, el escaso mantenimiento y el nulo gasto en consumo energético, el sistema se plantea como una posibilidad para una desalación autónoma, descentralizada y medioambientalmente sostenible, viable para la puesta en regadío de zonas con pozos salinizados.

Abstract

Performance and characterization of a plastic-cover solar still

We show an analysis of a passive desalination system built in Estación Experimental de Cajamar, "Las Palmerillas", at 36°48'N latitude in the Municipal area of El Ejido (Almería). The system consists in a thermal-isolated pool exposed to solar radiation and covered with an antidrip plastic which collects the condensed water. The distilled water production has been preliminarily characterized in terms of the climatic parameters of the area, as well as the cover plastic material. Using a three layer film with an outer cover of low density polyethylene and two internal layers of ethyl-vinyl acetate (EVA) treated with an anti-drop additive, the prototype distillates about 750 l/m² of sea water each year, plus 240 l/m² collected from the rain. Considering the low cost of the installation, the scarce maintenance requirements and the null energy consumption, the system is proposed for an autonomous, decentralized, and environmentally-friendly desalation, applicable to the irrigation of fields with saline wells.

⁽¹⁾ Dr. en Ciencias Físicas.

⁽²⁾ Ayudante de investigación, responsable del seguimiento del ensayo.

⁽³⁾ Químico, creador y propietario de la patente.

⁽⁴⁾ Dr. Ing. Agrónomo. Director del centro.

Estación Experimental de Cajamar ("Las Palmerillas"), Autovía del Mediterráneo km.416,7; 04710 El Ejido (Almería)

1. Introducción. Objetivos

Ante el déficit hídrico que soporta permanente el sur de la península Ibérica, agravado por la creciente demanda del sector agrícola, la desalación de agua de mar se plantea como una medida de elevado interés, como además queda recogido en el Plan Hidrológico Nacional [1]. La mayoría de los métodos de desalación activa (ósmosis inversa, destilación multi-efecto), requieren costosas instalaciones que a su vez necesitan un complicado mantenimiento. Estas técnicas, además, demandan un enorme consumo de energía para obtener el agua destilada, lo que sólo las hace viables a muy gran escala, con el problema añadido de la concentración de la producción y el gasto adicional de la posterior distribución [2]. Aparte, claro está, de la dependencia tecnológica que conllevan y el impacto medioambiental que ocasionan. Sin embargo, es posible también utilizar la radiación solar y el efecto invernadero para evaporar agua salada y recoger su consiguiente condensación. Estos sistemas de desalación pasiva se han utilizado desde la antigua civilización griega [3], y el más simple de todos es el llamado técnicamente "solar still". El concepto es muy sencillo: se trata de un estanque de agua salada cubierto y expuesto a la radiación solar, la cual produce una evaporación que posteriormente se condensa sobre la superficie de cubierta y se recoge. Puesto que la sal no se evapora, la condensación recogida consiste en agua totalmente destilada, exenta de otros componentes, metales o posibles contaminantes cuya eliminación no garantiza la ósmosis inversa. Estas instalaciones suelen ser de construcción muy sencilla, con una larga vida útil, un escaso mantenimiento no especializado, y un funcionamiento autónomo sin consumo de energía. Además, presentan la capacidad añadida de recoger el agua de lluvia. Su utilización permite una desalación a pequeña escala, autónoma, descentralizada y mucho más respetuosa con el medio ambiente [4].

Los avances en la tecnología de construcción de invernaderos y en la producción de plásticos adaptados al sector agrícola, permiten en la actualidad diseñar una instalación desaladora de este tipo muy simple. En este trabajo se presenta el estudio de una de ellas, un prototipo basado en un diseño patentado por Graciano Jorge Tapia (ES/9600120). Se trata de analizar su funcionamiento, caracterizar su producción y evaluar su aplicabilidad.

2. Materiales. Métodos

En la Figura 1 se muestra una fotografía del prototipo. Consiste en un estanque de unos 240 m² de superficie y 50 cm de profundidad, cuyo fondo es una lámina de polietileno de alta densidad de 1 mm de espesor y color negro, para aumentar la conversión de radiación solar en energía térmica. Para mayor aislamiento térmico, el estanque está asentado sobre un lecho de poliestireno expandido de 2.5 cm de espesor. La estructura que soporta la cubierta está construida con tubo galvanizado en forma de arco, de 1.2 m de altura en cumbre, utilizando las técnicas usuales de fabricación de invernaderos. El material empleado de cubierta es plástico tensado, con una superficie total de unos 330 m². El objetivo de este plástico es: (i) crear el efecto invernadero para que la radiación solar incidente caliente el agua salada del estanque y produzca su evaporación; (ii) recoger la condensación de esta evaporación en su cara interna y escurrirla hasta la canaleta de recogida interna; (iii) recoger el agua de lluvia en su cara externa y escurrirla hasta la canaleta de recogida externa (ver Figura 2). Esto último es directo por acción de la gravedad. Sin embargo, para evitar que la condensación interna vuelva a caer sobre el estanque antes de ser recogida, es necesario que el plástico de cubierta sea hidrófilo, de manera que la condensación de

agua sobre su superficie se produzca en forma de película continua y no en forma de gotas individuales semiesféricas, que podrían precipitarse de nuevo sobre el estanque antes de escurrir hasta la canaleta interna. Esto permite, además, un mayor rendimiento energético solar por minimizar la pérdida de transmisividad por reflexión en las gotas. La tecnología actual permite producir plásticos de estas características añadiendo en su fabricación agentes tensoactivos, también llamados aditivos antigoteo. Los primeros ensayos fueron realizados utilizando un plástico monocapa EVA (copolímero etileno-acetato de vinilo) tratado con uno de estos aditivos que modifican la tensión superficial del plástico. Sin embargo, tras observar la escasa durabilidad del efecto antigoteo de esta cubierta inicial, se optó por un film tricapa, en el que la capa interior y la central son de ese EVA antigoteo y la exterior de polietileno de baja densidad, con mayor resistencia mecánica y menor facilidad para la acumulación de polvo. El estanque se rellenó inicialmente con agua salada (simulando la concentración del agua del mar añadiendo 35 g de sal común por cada litro de agua dulce), hasta un nivel de 10 cm. Esto supone un volumen total de agua contenida en el estanque de 24 m³. La evaporación se reponía diariamente añadiendo agua dulce, de manera que la salinidad del agua del estanque se mantuvo constante a lo largo de todo el ensayo.



Figura 1. Vista exterior de la desaladora.



Figura 2. Detalle de las canaletas de recogida de agua dulce.

Para medir la producción de agua destilada se adaptó la tecnología de los cultivos hidropónicos, instalando una bandeja de demanda por medio de la cual se midió la producción en continuo. Además, se dispuso de un contador estándar para medir la producción acumulada. Adicionalmente, la instalación contó con cuatro sondas PT-100 de temperatura sumergidas en el agua del estanque y una en el depósito de alimentación, que proporcionaron medidas continuas (cada 5 segundos) que se han promediado cada media hora. Además, se dispuso de una estación meteorológica completa situada a escasos metros de distancia, con medidas continuas de temperatura, radiación solar, dirección y velocidad de viento, pluviometría, etc. Por último, se realizaron medidas puntuales de la calidad química del agua destilada y un seguimiento de las propiedades antigoteo del plástico de cubierta, observando detalladamente la forma en que se producía la condensación. El experimento se llevó a cabo durante prácticamente un ciclo anual completo (del 30 de Agosto de 2001 al 16 de Septiembre de 2002, con una parada entre el 23 de Marzo y el 9 de Abril de 2002 para renovar el plástico de cubierta).

3. Resultados. Discusión

En la Figura 3 se representa la producción diaria obtenida con el prototipo a lo largo de todo el ciclo del ensayo, sin contar el agua de lluvia recogida. Para comparación, se representa también la radiación solar medida el día correspondiente. A primera vista se observa una correlación directa entre ambas magnitudes, lógica puesto que la radiación solar es el motor del proceso de desalación. En la primera mitad del ciclo, la producción va disminuyendo a medida que lo hace la radiación solar. No obstante, cuando ésta aumenta de nuevo tras el solsticio de invierno, la producción no llega a recuperar el valor del inicio. Esto se debe al progresivo deterioro de las propiedades antigoteo del plástico, y se observa también en el segundo periodo del ensayo. Según el seguimiento efectuado, a partir de aproximadamente el cuarto mes de su instalación, el plástico prácticamente ha perdido sus propiedades hidrófilas debido a la migración del aditivo antigoteo. Este es un problema del film utilizado, fabricado para un invernadero normal de los que se destinan a cultivar, sin tener en cuenta que las condiciones de esta desaladora son mucho más exigentes. Es mucho más rápida la migración del aditivo en este caso, por soportar una condensación mucho mayor y sufrir temperaturas superiores.

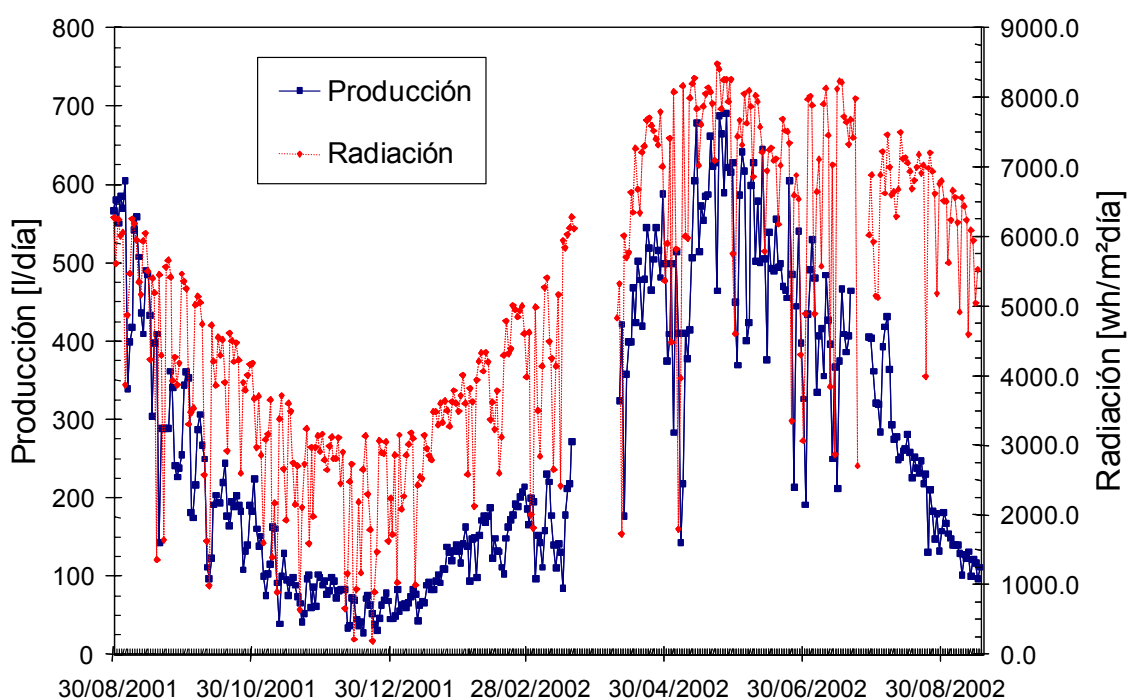


Figura 3. Evolución de la producción diaria de agua destilada y comparación con la radiación solar medida.

En la Figura 4 se representa la producción en función de la radiación solar, agrupando los datos según la diferencia de temperatura entre el agua del interior del estanque y la del aire exterior. Puede verse claramente cómo cuanto mayor es esta diferencia, mayor es la producción, puesto que mayor es la condensación que se produce. Ajustando los datos en función de ambos parámetros, se ha realizado un modelo polinomial de segundo grado muy simple, que es el utilizado en la Figura 5 para simular la producción a lo largo de un año medio, normalizada a la superficie del prototipo. Éste se ha definido promediando los parámetros climáticos de la zona correspondientes a los últimos 11 años, medidos en la propia Estación Experimental

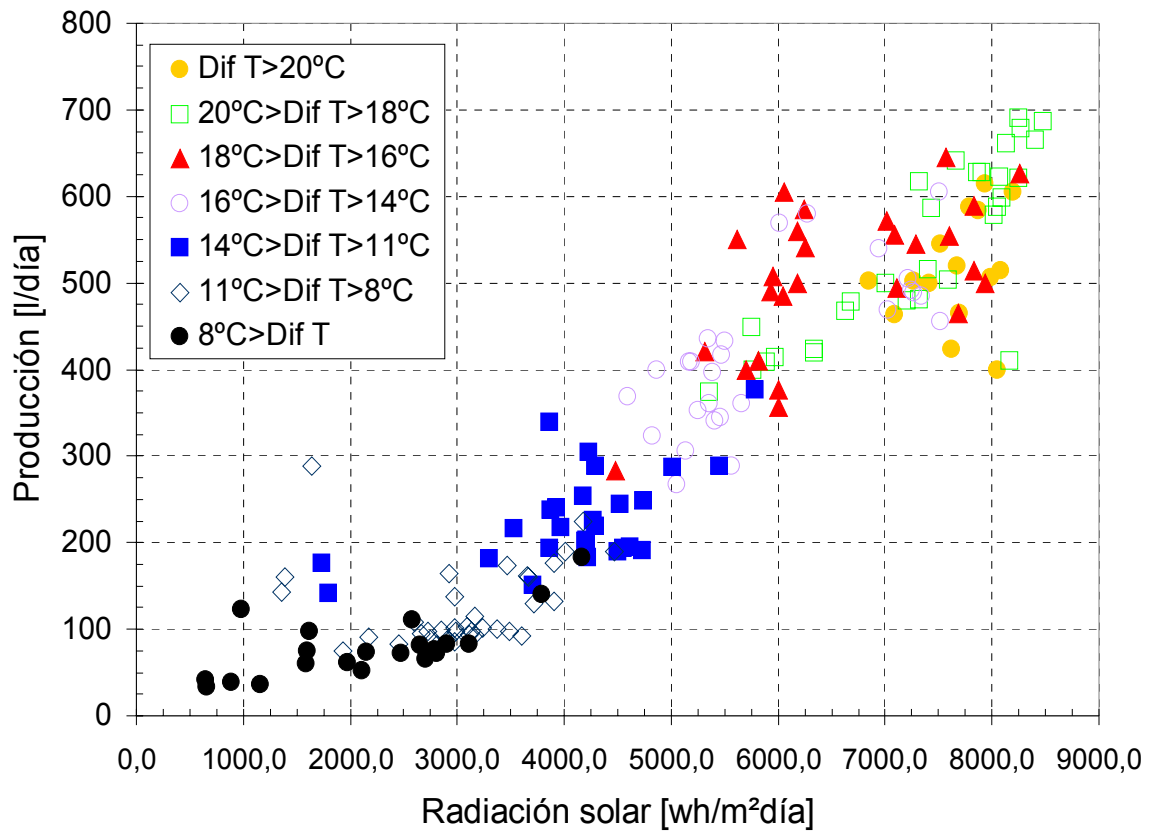


Figura 4. Producción de agua destilada en función de la radiación solar, para diferentes intervalos de la diferencia de temperatura entre el estanque y el aire exterior.

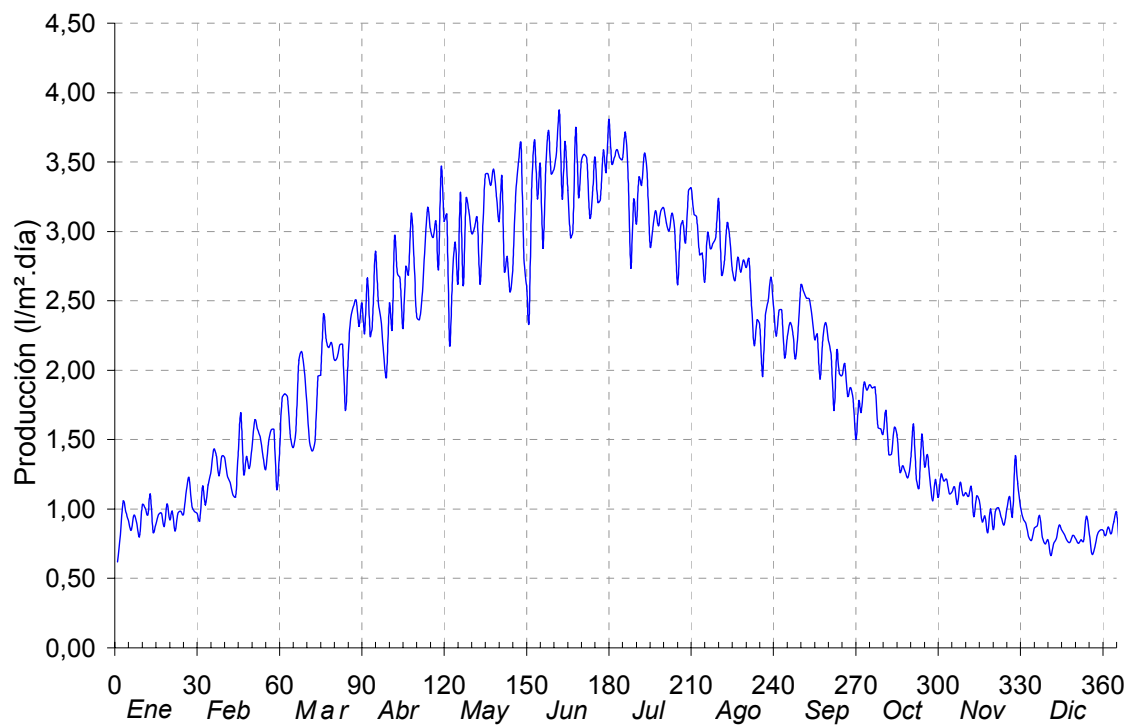


Figura 5. Producción estimada para un año medio.

de Cajamar. En la Figura 6 se observa cómo se distribuye esta producción a lo largo de los meses. La destilación acumulada para todo el año es de unos 750 l/m², a lo que hay que sumar la recogida de agua de lluvia, unos 240 l/m² de media anual en el Campo de Dalías. Por tanto, la producción total del prototipo se estima en 990 l/m² al año.

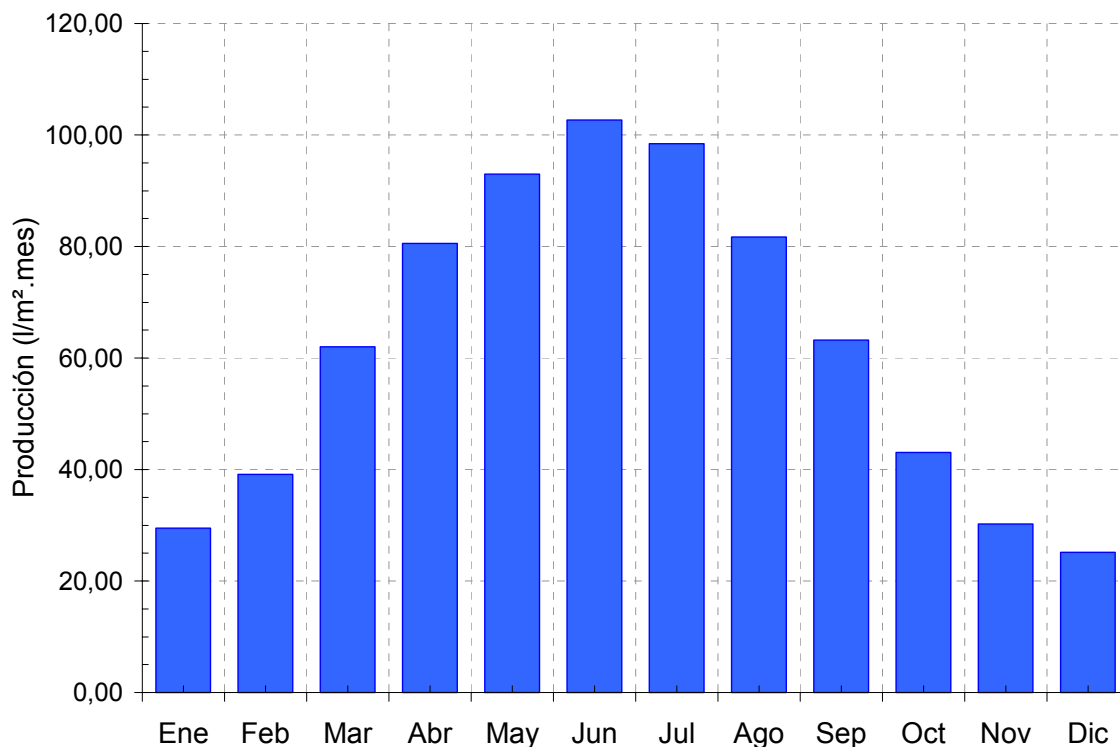


Figura 6. Producción mensual estimada para un año medio.

El coste de la instalación es de unos 10 €/m², incluyendo materiales y mano de obra. Teniendo en cuenta que los costes energéticos de producción son nulos y el único gasto de mantenimiento es el correspondiente al plástico y su sustitución (unos 0.7 €/m² anuales), considerando un plazo de unos 20 años de funcionamiento el precio total de producción del agua de unos 1.2 €/m³. Esta cifra hay que compararla con los costes reales de producción de agua destilada por otros sistemas. En las grandes instalaciones dedicadas a la ósmosis inversa o la destilación multi-efecto, las cifras que se suelen dar para el precio del agua atienden únicamente al consumo energético, sin tener en cuenta los gastos de amortización. Si se incluyen éstos, el coste del agua producida por estos sistemas está en torno a 1 €/m³ [5]. Esta cantidad, calculada para grandes volúmenes de producción, no tiene en cuenta la infraestructura energética necesaria para garantizar el elevado consumo de estas plantas de destilación a gran escala, que suelen necesitar la construcción adicional de una gran central de generación energética para alimentarlas, con el coste medioambiental que a ello se debe añadir.

Además de para desalar agua de mar, este sistema puede utilizarse para eliminar contaminantes del agua, que no se evaporan del estanque, o para rebajar agua excesivamente salobre. En este sentido, este sistema permitiría la puesta en regadío de zonas cultivables que estén sin explotar por salinización de sus pozos. Por ejemplo, si se parte de agua a 6 g/l, puesto que para obtener 1 m³ de agua a 1.8 g/l a

partir de ella es necesario destilar 0.7 m^3 , atendiendo a las cifras obtenidas en este trabajo se necesitarían aproximadamente unos 4200 m^2 de una desaladora de este tipo para regar, por ejemplo, una superficie de 1 Ha de cítricos con agua de excelente calidad, con el añadido de no necesitar consumo energético alguno para desalar el agua.

La literatura muestra que es posible mejorar sensiblemente la producción de una instalación de este tipo incorporando procesos activos de reutilización de los calores latente y sensible [6], o bien mejorando el proceso de condensación, mediante la separación de las zonas de evaporación y condensación, o el de evaporación, realizando ésta en varias fases [7]. Sin embargo, la filosofía tras este ensayo es disponer de un sistema lo más simple posible, fácil de construir y sin mantenimiento. En este aspecto sí caben algunas mejoras en el diseño de la estructura que, sin poner en peligro su resistencia al viento, ayuden a aumentar el rendimiento energético solar o permitan acelerar la recogida del agua condensada (lo cual minimizaría las pérdidas de rendimiento por el goteo interno a medida que se degradan las propiedades antigoteo del plástico). A la luz de los resultados presentados, no obstante, el avance más necesario es la que concierne a la fabricación de un tipo de plástico antigoteo más adaptado a las necesidades concretas de este experimento.

En cuanto al modelo de producción, el siguiente paso para afinarlo es disponer de medidas directas de la temperatura de la superficie de condensación propiamente dicha, esto es, el plástico, ya que además de la radiación y el efecto de la condensación interna, la velocidad del viento exterior afecta a su temperatura. Esto permitiría realizar un balance energético completo del prototipo.

4. Conclusiones

La desaladora estudiada funciona satisfactoriamente. No obstante, tras este primer análisis se observa que es recomendable mejorar la calidad del plástico antigoteo utilizado, con el fin de obtener un material de cubierta con efecto hidrófilo de mayor duración (unos dos años de objetivo), lo que reduciría considerablemente los costes de producción. En este sentido es interesante contar en un futuro con la colaboración de empresas fabricantes de plásticos y aditivos, para poder así disponer de un plástico más adaptado a las necesidades particulares de esta instalación. Así mismo, podría considerarse alguna mejora estructural que pudiera paliar el efecto pernicioso de la degradación del plástico.

La producción de agua que se ha obtenido con esta desaladora es aproximadamente de $1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ al año, lo cual supone que el precio del agua está en torno a 1.2 €/m^3 . Esta cifra es superior a la de los métodos de desalación a gran escala (que en costes reales, incluyendo los gastos completos de amortización sin subvenciones, está en torno a 1 €/m^3), pero tiene a su favor el nulo coste medioambiental, ya que no consume energía fósil y además el plástico desechado se recicla. Este sistema permite además obtener agua en menor escala, de una manera más localizada, con lo que se evita su transporte, y de manera autónoma, puesto que no consume energía y no necesita de un mantenimiento que ocasione dependencia tecnológica alguna (su fabricación sigue el estándar de un invernadero tipo túnel). Por otra parte, el agua producida está totalmente destilada, a diferencia de la obtenida por ósmosis inversa, por lo que la desaladora puede utilizarse para depurar agua contaminada de materiales no evaporativos. Además, mezclando el agua totalmente destilada producida con agua salada, se puede aumentar la cantidad de agua destinable a riego que se obtiene con la desaladora, lo cual repercutiría en una mayor reducción del coste de producción.

Una aplicación de esta desaladora es la puesta en regadío de zonas con pozos salinizados. Los resultados obtenidos muestran que, partiendo de agua de 6 g/l, haría falta 4200 m² de desaladora para regar 1 Ha de cítricos con agua de perfecta calidad.

5. Bibliografía

[1] Corominas, J. "*La gestión del agua en Andalucía: retos después del PHN y del PNR*", V Simposio sobre el Agua en Andalucía, 25-28 Septiembre 2001, Volumen III, pp. 87-102, 2001.

[2] Wangnick, K., "*Visión general de tecnologías de desalación y perspectivas*", Conferencia internacional el Plan Hidrológico Nacional y la Gestión Sostenible del Agua. aspectos medioambientales, reutilización y desalación. Zaragoza, 13 al 14 de Junio de 2001.

[3] Delyannis, A.A. and E. Delyannis, "*Solar Desalination*", *Desalination* 50, 71-81; 1984.

[4] Hummel, R.L., "*Solar distillation with economies of scale, innovation and optimization*", *Desalination* 134, 159-171; 2000.

[5] Wade, N.M., "*Distillation Plant Development And Cost Update*", *Desalination* 136, 3-12, 2001.

[6] Hongfei, Z. and G. Xinshi, "*Steady-state experimental study of a closed recycle solar still with enhanced falling film evaporation and regeneration*", *Renewable Energy* 26, 295-308; 2002.

[7] Rahim, N.H.A., "*Utilisation of new technique to improve the efficiency of horizontal solar desalination still*", *Desalination* 138, 121-128; 2001.