

Funcionamiento y caracterización de una desaladora solar pasiva con cubierta de plástico uolo.

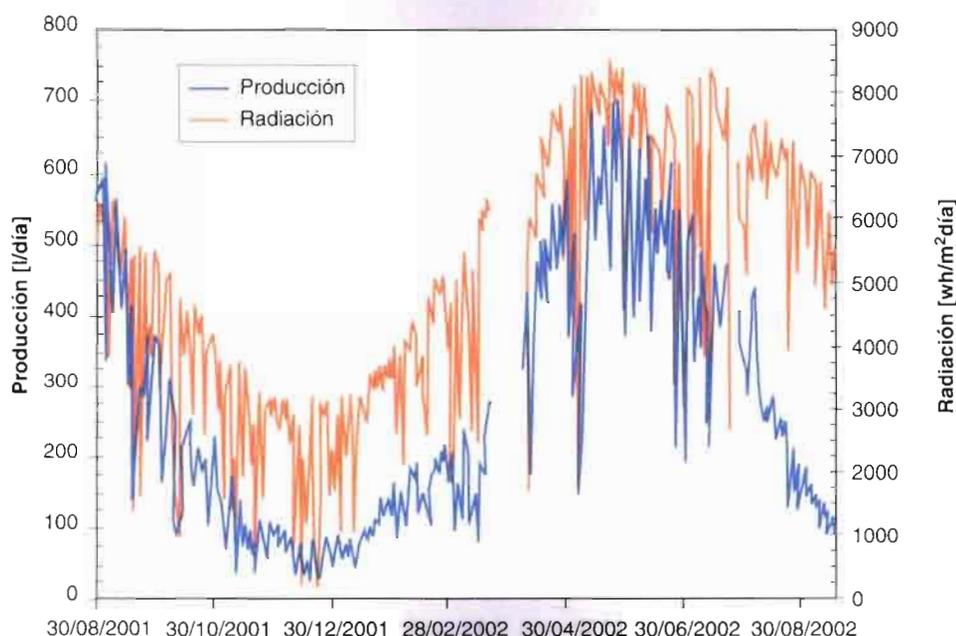
Tecnologías para la desalación de agua

G. ZARAGOZA DEL ÁGUILA,
J. M^a. AGÜERA ZURANO,
J.C. LÓPEZ, J. PÉREZ-PARRA

Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'

Figura 1:

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



La mayoría de los métodos de desalación activa de aguas requieren costosas instalaciones de complicado mantenimiento. Estas técnicas, además, demandan un enorme consumo de energía para obtener el agua destilada, lo que sólo las hace viables a gran escala, con el problema añadido de la concentración de producción y gasto adicional de la posterior distribución.

A esto se suma la dependencia tecnológica que conlleva y el impacto medioambiental que ocasionan. Sin embargo, es posible utilizar la radiación solar y el

efecto invernadero para evaporar agua salada y recoger su condensación. El concepto es muy sencillo: un estanque de agua salada

■ **Los avances en tecnología de construcción de invernaderos y producción de plásticos permiten diseñar una instalación desaladora. Este trabajo presenta el estudio de un prototipo basado en un diseño patentado por Graciano Jorge Tapia**

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, el agua recogida es totalmente destilada, exenta de otros componentes, metales o contaminantes cuya eliminación no garantiza la ósmosis inversa.

Estas instalaciones suelen ser de construcción muy sencilla, con una larga vida útil, escaso mantenimiento no especializado y 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.

El prototipo

Los avances en la tecnología de construcción de invernaderos y producción de plásticos adaptados al sector agrícola permiten diseñar una instalación desaladora de este tipo. Este trabajo presenta el estudio de un prototipo basado en un diseño patentado por Graciano J. Tapia (ES/9600120). Se trata de analizar el funcionamiento, caracterizar la producción y evaluar la aplicabilidad de un sistema de desalación solar pasiva ensayado en la Estación Experimental de Cajamar, "Las Palmerillas", en El Ejido, Almería.

La instalación consiste en un estanque aislado térmicamente del suelo, expuesto a la radiación solar y recubierto de plástico antigoteo que recoge la condensación. El prototipo es un estanque de 240 m² y 50 cm de profundidad

con lámina de polietileno de alta densidad de 1 mm de espesor y color negro como fondo para aumentar la conversión de radiación solar en energía térmica. Para mayor aislamiento térmico 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.

La cubierta

El material de cubierta es plástico tensado, con una superficie total de unos 330 m². Su objetivo 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

Los métodos de desalación activa requieren costosas instalaciones y un enorme consumo de energía. Pero es posible utilizar la radiación solar y el efecto invernadero para evaporar agua salada y recoger su condensación

canaleta de recogida interna; (iii) recoger el agua de lluvia en su cara externa y escurrirla hasta la canaleta de recogida externa. Esto último es directo por acción de la gravedad. Pero 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 forma que la condensación sobre su superficie se produzca en for-

ma de película continua y no en forma de gotas semiesféricas, que podrían precipitarse de nuevo sobre el estanque antes de escurrir hasta la canaleta interna.

Esto permite un mayor rendimiento energético solar. La tecnología actual permite producir plásticos de estas características añadiendo en su fabricación agentes tensoactivos -aditivos antigoteo-.

Los primeros ensayos fueron realizados con plástico monocapa EVA (copolímero etileno-acetato de vinilo) tratado con uno de estos aditivos que modifican la tensión superficial del plástico. Pero tras observar la escasa durabilidad del efecto antigoteo de esta cubierta, se optó por un film tri-capa en el que la capa interior y la central son EVA antigoteo y la exterior de polietileno de baja densidad, con mayor resistencia mecánica y menor facilidad para la acumulación de polvo.

Si quieres llegar a lo más alto, con GRODAN conseguirás la mayor producción, conseguirás siempre los mejores precios, y trabajarás con el mejor equipo técnico. En GRODAN nos sentimos satisfechos de trabajar con los mejores agricultores del mundo.

Súbete a lo más alto.

grodan®

Ctra. N-340, km. 422 • Tel. 950 557 222
04738 VÍCAR
info@grodan.es • www.grodan.es

El estanque

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.

Mediciones

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. Se dispuso de un contador para medir la producción acumulada. 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) promediadas cada media hora.

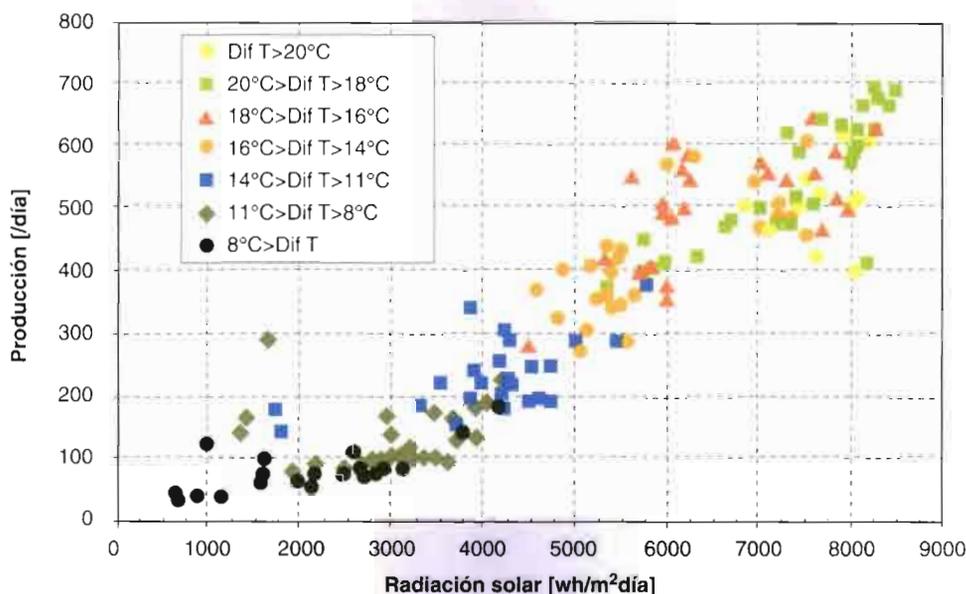
Una estación meteorológica se situó a escasos metros de distancia, con medidas continuas de temperatura, radiación solar, dirección y velocidad de viento, pluviometría, etc. Por último, se realizaron medidas puntuales de calidad química del agua destilada y un seguimiento de las propiedades antigoteo del plástico de cubierta, observando detalladamente la forma en que se producía la condensación. El experimento se llevó a cabo durante un ciclo anual completo (del 30 de agosto de 2001 al 16 de septiembre de 2002, con una parada entre del 23 de marzo al 9 de abril de 2002 para renovar el plástico de cubierta).

Producción de agua dulce

En la Figura 1 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 la radiación solar medida el día co-

Figura 2:

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.



rrespondiente. 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 disminuye 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.

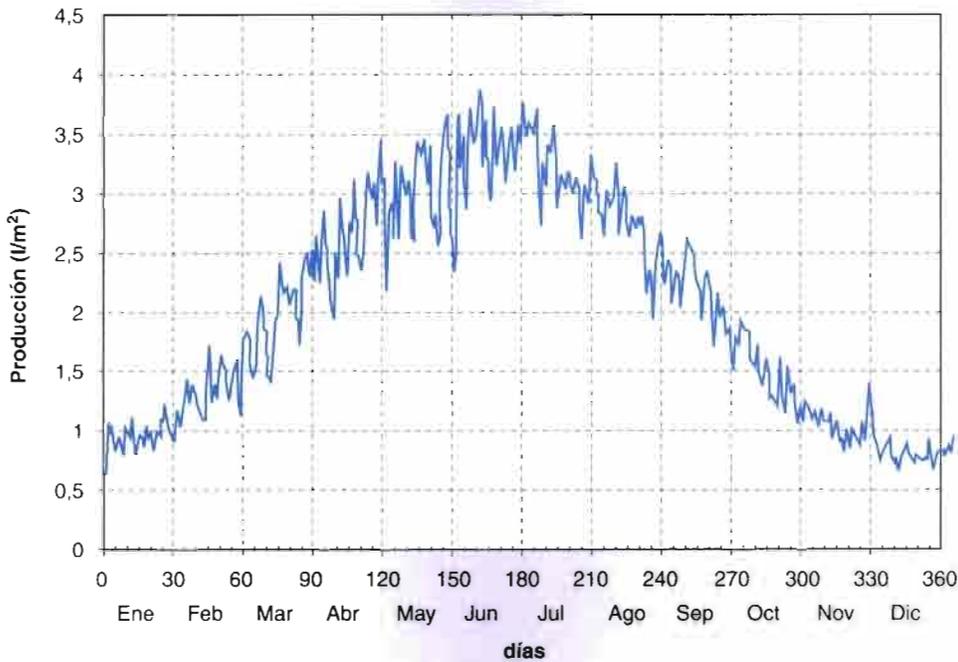
Esto se debe al progresivo deterioro de las propiedades antigoteo del plástico, y se observa también en el segundo periodo del ensayo. Según el seguimiento efectuado, a partir del cuarto mes

de su instalación, el plástico ha perdido sus propiedades hidrófilas debido a la migración del aditivo antigoteo. Éste es un problema del film, fabricado para un invernadero normal 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.

La Figura 2 presenta 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. Se observa 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 2º grado muy simple, que es el utilizado en la Figura 3 para simular la producción a lo largo de un año medio, normalizada a la superficie del prototipo. Éste se

■ **El coste de la instalación es de unos 10 euros/m², incluyendo materiales y mano de obra. Los costes energéticos de producción son nulos y el único gasto de mantenimiento es el correspondiente al plástico y su sustitución, unos 0.7 euros/m² anuales**

Figura 3:**Producción estimada para un año medio.**

ha definido promediando los parámetros climáticos de la zona en los últimos 11 años, medidos en la Estación Experimental de Cajamar. En la Figura 4 se observa cómo se distribuye esta producción a lo largo de los meses. La destilación acumulada para todo el año es de 750 l/m², a lo que hay que sumar la recogida de agua de lluvia, 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.

Estimaciones económicas

El coste de la instalación es de 10 euros/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 euros/m² anuales), considerando un plazo de unos 20 años de funcionamiento, el precio total de producción

FERTIRRIGACION

ELECTROFERTIC

Bomba dosificadora eléctrica de gran capacidad de inyección, alta presión y regulación electrónica

**CONTROLADORES**

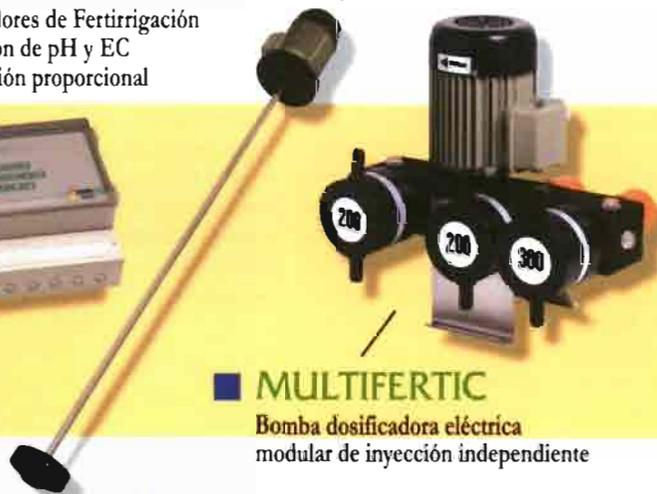
Controladores de Fertirrigación
Regulación de pH y EC
Dosificación proporcional

**AGITADOR DE TURBINA**

Agitación por turbina direccional

**MULTIFERTIC**

Bomba dosificadora eléctrica modular de inyección independiente

**FP10**

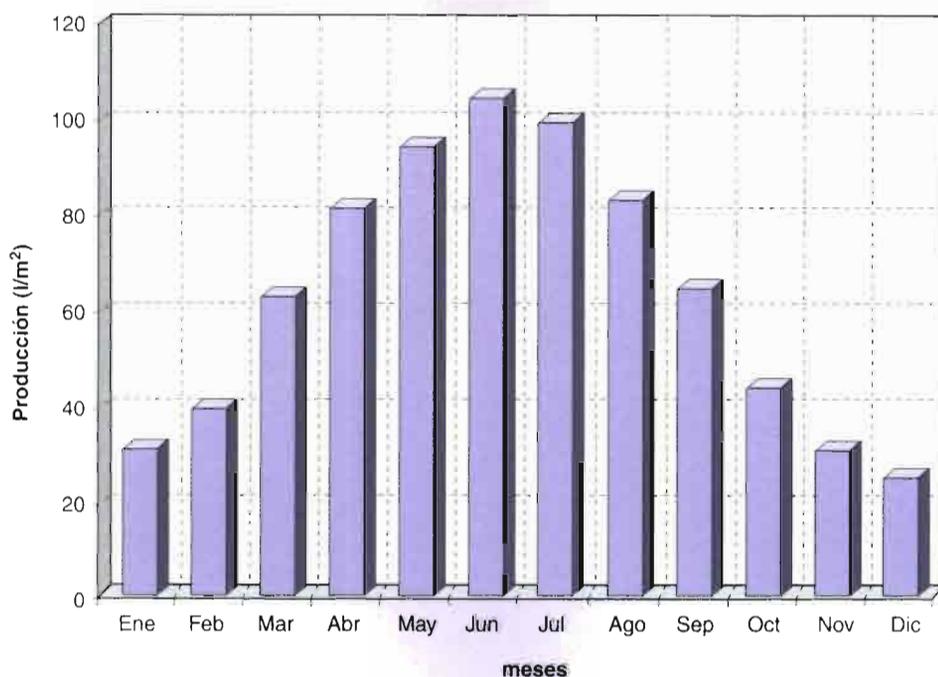
Bomba dosificadora volumétrica proporcional

**FERTIC**

Injector hidráulico para la incorporación de abonos líquidos o solubles en la red de riego

Especialistas en Fertirrigación

Mar Adriàtic, 4 - Pol. Ind. Torre del Rector / P.O. Box 50
Tel. 34-935 443 040 / Fax: 34-935 443 151
08130 SANTA PERPETUA DE MOGODA (Barcelona) SPAIN
8092 N.W. 67th. Street / MIAMI (FL) 33166 USA
Tel. 1-305 599 3781 / Fax: 1-305 599 8794
e-mail: itc@itc.es
WEB PAGE: <http://www.itc.es>

Figura 4:**Producción mensual estimada para un año promedio.**

del agua es de 1,2 euros/m³. Esta cifra hay que compararla con los costes reales de producción de agua destilada por otros sistemas.

En las grandes instalaciones de ósmosis inversa o destilación multiefecto, las cifras que se dan para el precio del agua atienden sólo 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 euros/m³.

Esta cantidad no tiene en cuenta la infraestructura energética para garantizar el alto 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 supone.

Sistema versátil

Además de para desalar agua de mar, este sistema puede utilizarse para eliminar contaminantes del agua o rebajar agua excesivamente salobre.

La producción de agua obtenida con esta desaladora cuesta 1,2 euros/m³, una cifra superior a la de métodos de desalación a gran escala, pero tiene a su favor el nulo coste medioambiental, ya que no consume energía fósil y el plástico desechado se recicla.

En este sentido, este sistema permite la puesta en regadío de zonas cultivables 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 m³, atendiendo a las cifras obtenidas en este trabajo se necesitarían unos 4200 m² de una desaladora de este tipo para regar una superficie de 1 ha de cítricos con agua de excelente calidad, con el añadido de no necesitar consumo energético para desalar el agua.

Además de desalar agua de mar, este sistema puede eliminar contaminantes del agua o rebajar agua excesivamente salobre. En este sentido, permitiría la puesta en regadío de zonas cultivables sin explotar por salinización de sus pozos

La literatura muestra que es posible mejorar la producción de una instalación de este tipo incorporando procesos activos de reutilización de calores latente y sensible [3], o bien mejorando el proceso de condensación mediante la separación de zonas de evaporación y condensación, o el de evaporación, realizado en varias fases [4]. 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 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. A la luz de los resultados, el avance más necesario es 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.

Conclusiones

La desaladora estudiada funciona satisfactoriamente: sin embargo es recomendable mejorar la calidad del plástico antigoteo a fin de obtener un material de cubierta con efecto hidrófilo de mayor duración, lo que reduciría considerablemente los costes de producción.

Es interesante contar con la colaboración de empresas fabricantes de plásticos y aditivos para poder 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

cioso de la degradación del plástico. La producción de agua obtenida con esta desaladora es de 1 m³/m² al año, lo cual supone que el precio del agua está en torno a 1,2 euros/m³. Esta cifra es superior a la de los métodos de desalación a gran escala, pero tiene a su favor el nulo coste medioambiental, ya que no consume energía fósil y el plástico desechado se recicla.

Este sistema permite obtener agua en menor escala, de manera más localizada, con lo que se evita su transporte, y de manera autónoma, puesto que no consume energía y no necesita mantenimiento que ocasione dependencia tecnológica (su fabricación sigue el estándar de un invernadero tipo túnel).

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 evapora-



tivos. Mezclando el agua destilada con agua salada se puede aumentar la cantidad de agua para riego que se obtiene con la desaladora, lo cual repercutiría en la reducción del coste de producción. Una aplicación de esta desaladora es la puesta en regadío de zonas con pozos salinizados.

Detalle de las canaletas de recogida de agua dulce.
Foto: Estación Experimental Cajamar.

Bibliografía

- [1] 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, Junio 2001.
- [2] Wade, N.M., "Distillation Plant Development And Cost Update", Desalination 136, 3-12, 2001.
- [3] 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.
- [4] Rahim, N.H.A., "Utilisation of new technique to improve the efficiency of horizontal solar desalination still", Desalination 138, 121-128; 2001.

C-PACK

VAS 991

Permite el etiquetado y la impresión de la etiqueta al momento

Máquina envasadora soldadora de gran rendimiento para malla tubular

MAKPACK

GUIRAFA PACKAGING, S.L.

C/ Oriente, 78-84, piso 3º, oficina 9
08190 Sant Cugat del Vallès • Barcelona - Spain
Tel: +34 93 675 54 31 • Fax: +34 93 590 05 75
E-mail: sales@guirafa.com

