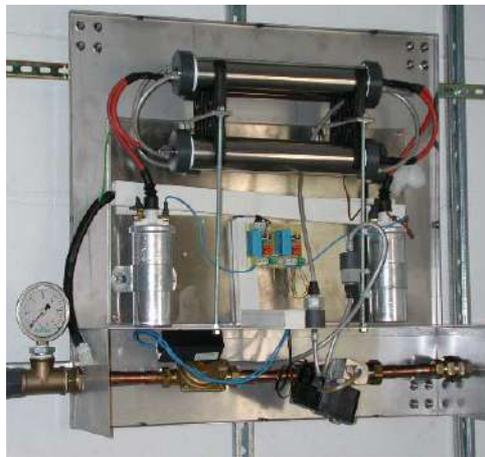


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL: FITOTECNIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

APLICACIÓN DE OZONO EN DISOLUCIONES NUTRITIVAS RECIRCULANTES



Diego Pallarés Correas
José M. Durán Altisent

Madrid, Diciembre de 2006

ÍNDICE

	Página
1. ANTECEDENTES	2
2. SISTEMAS DE DESINFECCIÓN.....	3
3. OZONIFICACIÓN	4
4. CONTROL PREVENTIVO	5
5. MANEJO DE LA INSTALACIÓN	6
6. CONCLUSIONES.....	8
7. BIBLIOGRAFÍA	10

ABREVIATURAS

ADN	Ácido Desoxirribonucleico
DNR	Disolución Nutritiva Recirculante
ETSIA	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid
NFT	<i>Nutrient Film Technique</i>
NGS	<i>New Growing System</i>
UPM	Universidad Politécnica de Madrid
UV-C	Radiación ultravioleta

1. ANTECEDENTES

La tendencia actual en la producción actual es el establecimiento de cultivos sin suelo con distintos sustratos (lana de roca, fibra de coco o perlita, entre otros) o bien mediante sistemas de cultivos hidropónicos puros (*Nutrient Film Technique*, NFT, ó *New Growing System*, NGS). Las ventajas del cultivo sin suelo frente al tradicional son el mejor control de problemas fitosanitarios y nutricionales de la planta, ahorro de agua, mayores rendimientos, producciones de superior calidad y respeto al medio ambiente.

La creciente concienciación social en defensa del medio ambiente exige el máximo control posible de *inputs* del proceso productivo. Esto queda reflejado en la legislación desarrollada en la Unión Europea que exige, entre otros, una menor utilización de sistemas a solución perdida frente a la mayor importancia de los sistemas de recirculación, potenciar sistemas que optimicen el manejo del agua y, finalmente, reducir el empleo de productos fitosanitarios.

En los sistemas hidropónicos con recirculación, la disolución nutritiva en contacto con las raíces puede transportar hongos, bacterias y virus adaptados a la vida acuática y dispersándose con mucha facilidad en el medio. Los patógenos más habituales son hongos de sobra conocidos como *Phytium* (JENKINS & AVERRE, 1983), *Phytophthora*, *Colletotrichum*, *Verticillum* ó *Fusarium*, bacterias (*Pseudomonas*, *Clavibacter* ó *Erwinia*) e incluso virus como el Virus del Mosaico del tomate (ToMV) ó el Virus de la Necrosis del Tabaco (TNV), entre otros (MARLOW, 2006).

Por tanto, para prevenir o reducir cualquier riesgo de dispersión de enfermedades a través de la DNR, es necesaria una correcta desinfección de la propia disolución en su manejo en el cultivo.

2. SISTEMAS DE DESINFECCIÓN

Los sistemas de desinfección alternativos a los productos químicos tradicionales son:

- **Tratamiento térmico:** Consiste en hacer pasar el agua a desinfectar por un intercambiador de calor para precalentar y, en una segunda etapa, pasar a otro intercambiador donde se alcanza la temperatura eficaz de desinfección. En la práctica se recomienda llegar a 95 °C durante 30 segundos para garantizar la eliminación de patógenos. El agua desinfectada es dirigida al primer intercambiador para enfriarse al tomar contacto con el agua que entra en el proceso, de esta manera se consigue un ahorro energético en el intercambiador de precalentamiento.
- **Radiación ultravioleta:** La radiación ultravioleta (UV-C) es una radiación electromagnética de longitud de onda entre 100 y 400 nm, siendo la longitud de onda eficaz como germicida de 254 nm. Su acción desinfectante se debe a que provoca alteraciones en el ADN de los microorganismos, originando su muerte.
- **Filtración lenta en lecho de arena:** En un sistema basado en métodos físicos de filtración, al atravesar el agua un lecho de arena, y métodos biológicos gracias a la actividad de microorganismos presentes en la parte superior del filtro.
- **Agua oxigenada (H₂O₂):** Es un agente oxidante con gran poder germicida. Es menos oxidante que el ozono, por lo que se necesita mayores dosis.
- **Cloración:** Consiste en la aplicación de hipoclorito sódico (NaOCl) que, al disolverse en el agua da lugar a ácido hipocloroso (HClO) que tiene un gran poder oxidante. También se puede aplicar cloro gas o bióxido de cloro, aunque su utilización entraña riesgos de intoxicación y explosión.
- **Ozono.**

Los tratamientos térmicos, con radiación ultravioleta y con ozono son los más extendidos para tratamientos de desinfección, llegando a más de 500 instalaciones en los Países Bajos (EDMONDS, 1993; RUNIA, 1994a).

3. OZONIFICACIÓN

El ozono es una molécula con tres átomos de oxígeno, y su poder desinfectante radica en que es un agente con gran poder oxidante, el mayor de todos, de acción rápida, no deja residuos y es eficaz frente bacterias y virus (BURLESON *et al.*, 1975), parásitos y esporas, actuando como donante de electrones a otras sustancias reduciéndose a oxígeno.

La generación de ozono se realiza mediante células de vidrio pirex de alta resistencia y dureza, protegidas por aislamiento térmico. El potencial de reducción (ganado electrones) u oxidación (perdiendo electrones) viene determinado por el potencial redox, medido en voltios (BERNARD *et al.*, 1991).

En la Tabla 01 se muestran las ventajas e inconvenientes del ozono como sistema de desinfección frente a otros sistemas.

Tabla 01. Ventajas e inconvenientes de los distintos sistemas de desinfección de la DNR para cultivos hidropónicos.

SISTEMA	VENTAJAS	INCONVENIENTES
TRATAMIENTO TÉRMICO	<ul style="list-style-type: none"> - No afecta a los fertilizantes. - Desinfección total. - Fácil control y automatización. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto coste de instalación. - Alto coste de mantenimiento. - Temperatura del agua de salida.
RADIACIÓN ULTRAVIOLETA	<ul style="list-style-type: none"> - Desinfección total. - Consumo energético bajo. - Fácil control y automatización. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de filtrado y limpieza automática de lámparas. - Precipitación de quelatos de hierro.
FILTRACIÓN LENTA	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo coste. - Escaso mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se consigue desinfección total.
AGUA OXIGENADA	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo coste. - Consumo energético bajo. - Fácil control. 	<ul style="list-style-type: none"> - Combustible y corrosivo. - Toxicidad para el manipulador. - Corta conservación.
CLORACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo coste. - Eficacia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Inestabilidad química. - Toxicidad.
OZONO	<ul style="list-style-type: none"> - Desinfección total y rápida. - Aumenta el nivel de O₂ - Fácil control y automatización. - Sin efecto residual. 	<ul style="list-style-type: none"> - Precipitación de quelatos de hierro. - Requiere pH ácido - No se puede almacenar ni transportar.

El ozono gas es medioambientalmente seguro si las inyecciones del gas se realizan a tanques cerrados, donde el ozono residual queda completamente eliminado. Es importante, por tanto, que los tanques destinados al tratamiento con ozono no estén abiertos, para evitar así que el ozono gas escape fácilmente al ambiente.

La finalidad inicial de los tratamientos con ozono es tanto para redes de distribución, en la desinfección y esterilización del agua, como para productos, en cuyo uso y empleo sea importante la calidad e higiene de los mismos.

4. CONTROL PREVENTIVO

Con independencia de la instalación de desinfección en sí, la cual se detallará más adelante, hay que tener en cuenta para llevar a cabo un óptimo control fitosanitario en un cultivo lo siguiente:

1. Trabajar con DNR libres de patógenos
2. Analizar periódicamente la DNR
3. Desinfectar la instalación antes de iniciar la plantación
4. Evitar contaminaciones
5. Ajustar el tiempo de riego a las necesidades del cultivo
6. Controlar la temperatura de la DNR
7. Evitar cualquier tipo de estrés para el cultivo
8. Proteger las DNR con agentes biocidas autorizados
9. Utilizar métodos físico-químicos sólo si son imprescindibles
10. Evitar el empleo de productos fitosanitarios

En definitiva, todas aquellas actuaciones conducentes a la prevención de posibles problemas en el cultivo minimizarán los riesgos, las actuaciones a realizar y, en consecuencia el coste que ellas conllevan.

Además de estos factores, los sistemas recirculantes presentan otras ventajas añadidas con respecto a los sistemas a drenaje perdido. Uno de estos factores es el nivel de humedad relativa de la zona de cultivo. En experiencias comparativas con cultivos de tomate, por ejemplo, se ha demostrado que ésta es más baja en sistemas con recirculación que en sistemas abiertos debido a que todos los drenajes son conducidos fuera de la zona de cultivo, a los depósitos de recogida, influyendo positivamente en la producción final (HARDGRAVE, 1993).

5. MANEJO DE LA INSTALACIÓN

El proceso de desinfección se inicia con el bombeo a un tanque de tratamiento estanco. En este momento, los drenajes deben ser filtrados (son recomendables filtros de 50 a 70 micras) para que la DNR pase a los tanques de inyección del ozono lo más limpia posible.

Previamente al proceso de desinfección propiamente dicho, se realiza la dosificación de ácido en el tanque de tratamiento para alcanzar un pH ácido en la disolución a tratar (pH igual a 4,0 ó 4,5). Esto es debido a que la acidez del medio va a determinar la estabilidad del agente desinfectante en el agua asegurando así unos resultados óptimos. Cuando el pH de la disolución baja a niveles inferiores a 4, el valor redox puede incrementarse de 754 mV a 780 mV (RUNIA, 1994b).

Cuando el tanque de tratamiento está lleno, comienza el proceso de desinfección, haciendo pasar la DNR a través del equipo ozonificador donde se realiza la inyección de ozono. Un sensor de potencial redox situado en el tanque de recogida de inyección, efectúa medidas del potencial (mV) de la DNR y, mediante un controlador, actúa sobre el generador de ozono con el objetivo de proceder al encendido o apagado del equipo.

De esta forma, todo el proceso se controla con el electrodo de potencial redox con el objetivo de mantener el agente desinfectante en los niveles adecuados. En la práctica, cuando el potencial redox alcanza los 750 mV, el ozono comienza a liberarse, momento en el que la desinfección se ha realizado por completo y hay que detener el tratamiento.

Además, por trabajar con un sistema hidropónico cerrado, se requiere una adecuada monitorización y analíticas frecuentes de la DNR para mantener unos niveles óptimos de nutrientes (MARLOW, 2006).

Empleando dosis de 10 gramos de ozono durante 1 hora son suficientes para conseguir la completa desinfección de 1 m³ de agua de riego (RUNIA, 1994b), datos obtenidos en instalaciones comerciales a través de los llamados test bacteriológicos. Con estas dosis de 10 g·h⁻¹·m⁻³ se alcanzan potenciales de 754 mV (BLOM, 2006), potencial efectivo contra virus, bacterias y hongos. Otras experiencias señalan que un tiempo medio de 80 minutos de exposición es suficiente empleando una dosis de inyección de 6 g·h⁻¹·m⁻³ (MONTSERRAT, 2000).

Cuando la DNR es tratada con ozono se produce un aumento del potencial redox de la misma como consecuencia del poder oxidante del ozono. Entre 400 y 600 mV se considera agua de consumo; entre 600 y 750 mV, agua potabilizada y por encima de 750 mV la DNR está esterilizada, siendo el valor máximo de ozono en agua el equivalente a 800 mV (Fig. 01).

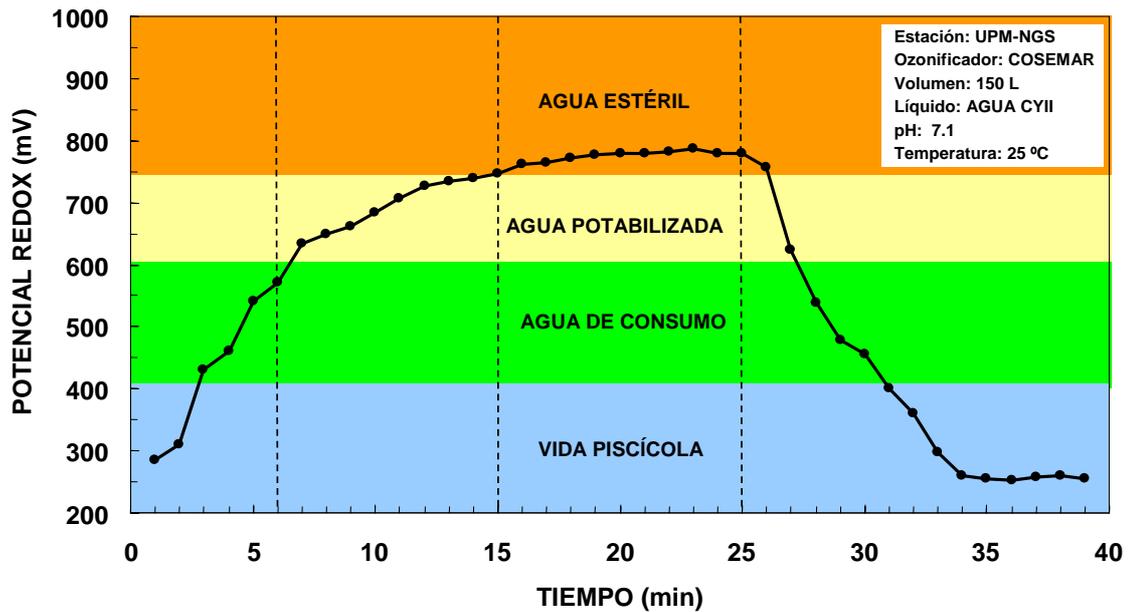


Fig. 01. Evolución del potencial redox en el depósito de recogida de lixiviados.

Un vez que la DNR está desinfectada, pasa a un depósito pulmón y, al igual que en cualquier sistema hidropónico con recirculación, un equipo de bombeo la impulsa hacia el cultivo, retornando al tanque de recogida de drenajes por gravedad, donde es nuevamente impulsada. En función del porcentaje de drenaje, tendremos más o menos retorno al depósito principal y, en cualquier caso, con más o menos presencia de posible inóculos perjudiciales para el cultivo.

Hay que tener en cuenta que, aunque el proceso redox que se produce no afecta a los macronutrientes ni a la mayoría de los micronutrientes de la DNR sí puede llegar a oxidar al hierro y al manganeso.

En el caso del hierro, el contenido en Fe-DTPA puede llegar a disminuir un 34 % a pH 6 y un 15% a pH 4 tras una hora de tratamiento con ozono. Esto puede variar en función del quelato empleado, siendo el EDDHA la forma más estable bajo las mismas condiciones (RUNIA, 1994b). Este inconveniente se produce con mayor intensidad cuando se exceden las dosis adecuadas perdiendo, además, eficacia el tratamiento (KHOSLA, 2003). Con el manganeso, pueden aparecer precipitados en la DNR, que pueden llegar a ser del orden del 20 al 50% (MONSERRAT, 2000).

Las precipitaciones de micronutrientes hacen aconsejable realizar un seguimiento de la DNR una vez efectuado el tratamiento, para conocer los niveles a recomponerla para alcanzar los equilibrios originales.

6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos tanto en instalaciones de investigación como comerciales vienen a demostrar que trabajando con recirculación de la disolución nutritiva es posible mantener el cultivo libre de enfermedades (*Phyitium* sp., *Phytophthora* sp., *Rhizoctonia* sp., *Verticilium* sp. y *Fusarium* sp., entre otras) con ozono.

Desde el punto de vista agronómico, la producción de ozono puede ser fácilmente controlable actuando sobre la intensidad o la tensión del sistema eléctrico que lo genera, lo que permite mantener el agente desinfectante en los niveles adecuados.

En experiencias previas realizadas en la ETSIA (UPM), empleando un equipo de COSEMAR OZONO® con una capacidad de $4 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ y trabajando con volúmenes de agua de 150 L se consigue llegar a la máxima concentración de ozono entre 15 y 20 minutos. Si la capacidad del equipo es superior, $6 - 10 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$, puede llegarse a la desinfección completa de un metro cúbico de agua en 80 ó 60 minutos, respectivamente.

Para ello, es necesario disponer de un controlador y de su correspondiente electrodo redox, de tal forma que se pueda realizar la aplicación directa de ozono a la DNR. Cuando llega al potencial máximo, éste no aumenta aunque se siga incorporando ozono, sufriendo el potencial redox un descenso muy brusco una vez que el generador ha sido parado, lo que le da a este sistema de desinfección un marcado carácter ecológico al ser un agente desinfectante de muy poco efecto residual.

La forma más razonable de trabajar consiste en aplicar ozono a una DNR previamente filtrada, con un tanque pulmón completamente tapado desde dónde se impulsa la DNR limpia al cultivo. La aplicación de ozono puede ser intermitente, y la frecuencia de la aplicación, si bien puede ser controlada mediante un controlador horario, es recomendable que se realice con la ayuda de un sensor de potencial redox y un controlador de doble entrada (Fig. 02).

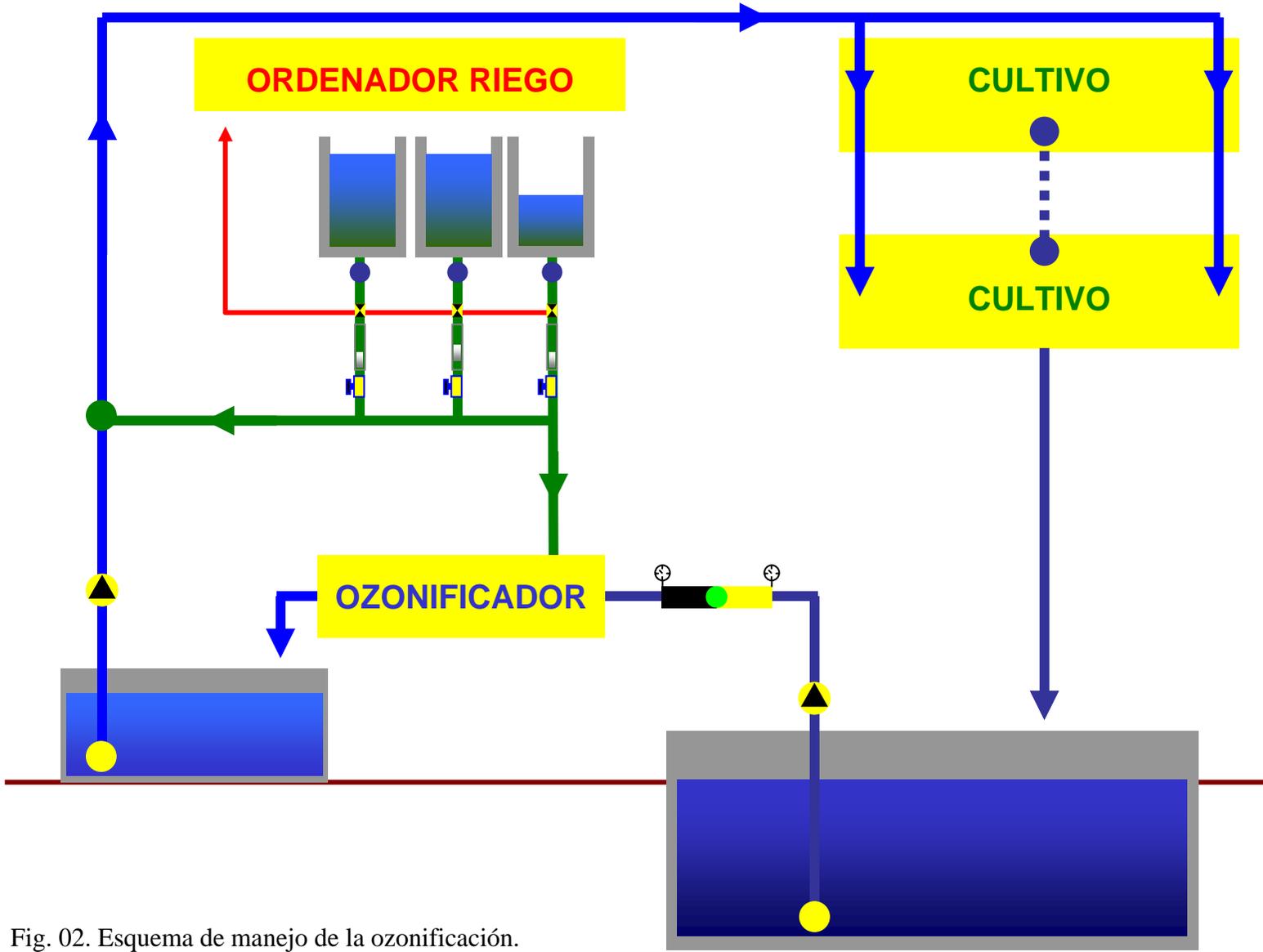


Fig. 02. Esquema de manejo de la ozonificación.

7. BIBLIOGRAFÍA

- BERNARD, J. 1991. *Chapter 22: Treatment of drinking water, 1 General processes, UV radiation. Water Treatment Handbook*. pp. 1196-1197.
- BLOM, TJ. 2006. *Sterilization of recirculating irrigation water. The Science of Growing in www.priva.ca* (noviembre 2006).
- BURLESON, GR; MURRAY, TM; POLLARD, M. 1975. *Inactivation of viruses and bacteria by ozone with and without sonication. Applied Microbiology* 29: 340 – 344.
- EDMONDS, J. 1993. *Sterilizing water for re-use. Grower* (Mayo). *Nexos Publishing* pp. 7-8.
- HARDGRAVE, MR. 1993. *Recirculation systems for greenhouse vegetables. Acta Horticulturae*, 342: 85 – 92.
- JENKINS, SF; AVERRE, CW. 1983. *Root diseases of vegetables in hydroponic culture systems in North Carolina greenhouses. Plant Disease* 67(9): 968 – 970.
- KHOSLA, S. 2003. *Nutrient solution recycling in greenhouse crops. PrivaInfo*. Junio. Volumen 12, capítulo 1.
- MARLOW, D. 2006. *A review of the literature concerning the disinfection of recirculation water in closed greenhouse hydroponic systems. The Science of Growing in www.priva.ca* (noviembre 2006).
- MARFÁ, O. et al. 2000. *Recirculación en cultivos sin suelo. Compendios de Horticultura* 14. Ediciones de Horticultura. Reus (España) ISBN: 84-87729-32-0. 177 p.
- MONSERRAT, J. 2000. *Desinfección de lixiviados por métodos físicos, químicos y biológicos. En Recirculación de cultivos sin suelo. Compendios de Horticultura* 14. Ediciones de Horticultura. Reus (España) ISBN: 84-87729-32-0. pp 53-62.
- NOLASCO, J; PALLARÉS, D; RETAMAL, N; NAVAS, LM; DURÁN, JM. 2002. *Desinfección de soluciones nutritivas recirculantes con ozono para la producción de flor cortada. Reunión del Grupo de Cultivos Ornamentales de la APH y la SECH. Sevilla (España).*
- RUNIA, W Th. 1994a. *Elimination of root-infecting pathogens in recirculation water from closed cultivation systems by ultra-violet radiation. Acta Horticulturae* 361: 361 – 371.
- RUNIA, W Th. 1994b. *Disinfection of recirculation water from closed cultivation systems with ozone. Acta Horticulturae*. 361: 388 – 396.