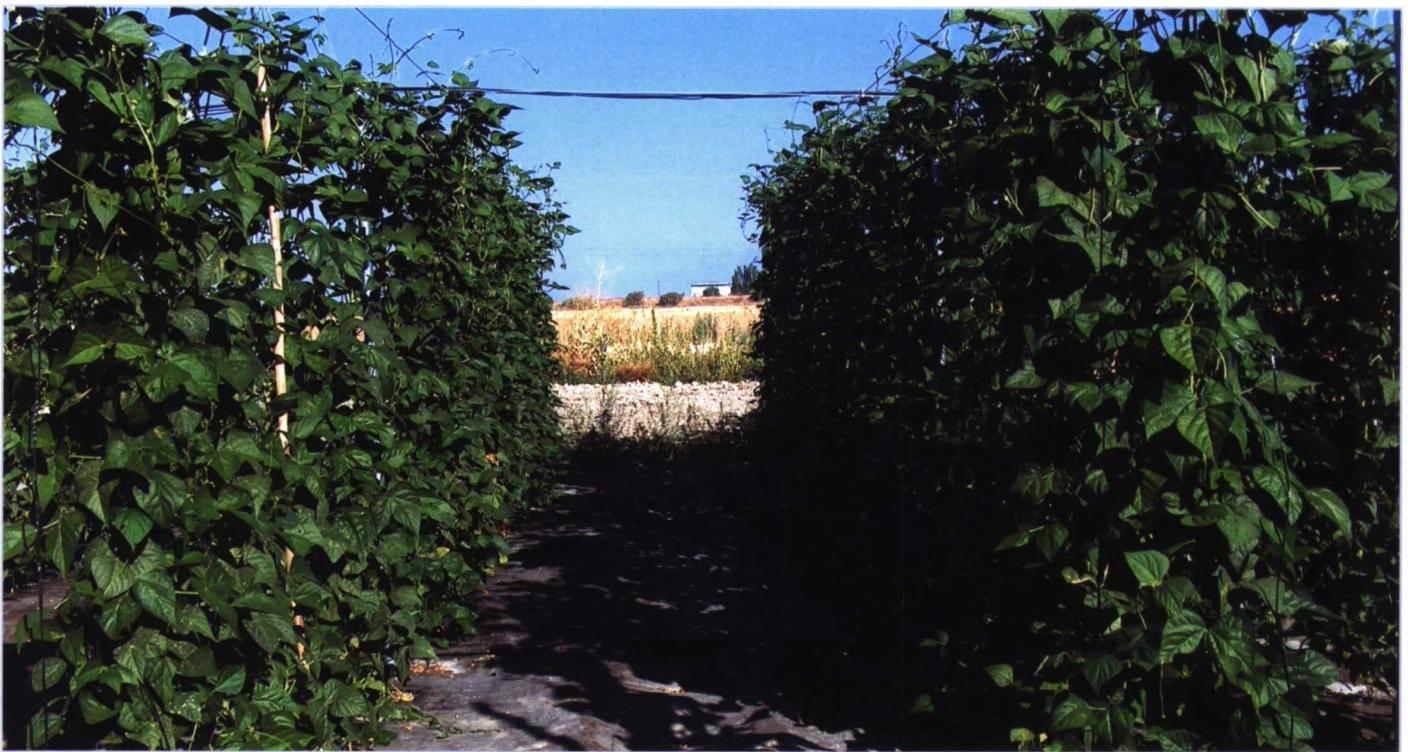


**Este artículo presenta los aspectos de la producción de mayor incidencia ambiental para así proponer técnicas que mejoren el proceso de cultivo de judía verde en estructuras de invernaderos de cubiertas de malla y al aire libre.**

## Impactos ambientales del cultivo de judía verde

AUM. ROMERO-GÁMEZ (1), A. ANTÓN(2), T. SORIANO(1), E.M. SUÁREZ-REY(1) Y N. CASTILLA(1)

(1)IFAPA-Centro de Investigación y Formación Agraria de Granada, (2)IRTA. Centre de Cabriels de Barcelona  
mercedes.romero.gamez@juntadeandalucia.es



El cultivo protegido de hortalizas durante el periodo estival en comarcas interiores del área mediterránea se está convirtiendo en una práctica creciente. Con ello se consigue un suministro continuo y estable de hortalizas a las grandes cadenas distribuidoras, que comercializan los productos de los invernaderos costeros, cuya producción se ve interrumpida durante el verano.

El cultivo bajo invernadero de malla en primavera y verano genera unas condiciones termohigrométricas subóptimas para las plantas, por lo que cabe emplear

sistemas de nebulización que mejoren las condiciones microclimáticas.

Ante la demanda creciente por parte del consumidor de productos con calidad ambiental, resulta interesante realizar un análisis objetivo y evaluar los respectivos aspectos ambientales e impactos potenciales que éstos ocasionan a lo largo de su ciclo de vida, desde las materias primas inicialmente empleadas hasta el final de los residuos generados (figura 1). Para llevar a cabo esta cuantificación se aplica la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

De esta manera, se pretende detectar los puntos débiles y conseguir una selección y mejora de las estructuras, sus equipamientos y de las técnicas de cultivo más respetuosas con el entorno y los recursos naturales.

Al aplicar el ACV a un producto agrícola cultivado, como es el caso, se considerarán efectos ambientales adversos los derivados del proceso de producción, como son, la eutrofización, debido a un alto nivel de nutrientes en el medio acuoso que favorecen un rápido crecimiento de las algas, la acidificación del aire, provocada

por la emisión de sustancias ácidas a la atmósfera, suelo y agua disminuyendo el pH del medio y provocando la pérdida de nutrientes del suelo o la movilización de sustancias tóxicas, la contaminación por plaguicidas, la generación de residuos, etc.

Pero además, si se aplica a un invernadero, se consideran también otros daños ambientales como los generados por la fabricación y transporte de materias primas, los materiales de construcción necesarios para crear la estructura y construir el invernadero, la energía utilizada en la fabricación y mantenimiento de la maquinaria empleada en la construcción del invernadero y la generación de residuos durante el proceso de producción, así como otros aspectos capaces de producir daños al entorno que formen parte del ciclo de vida del producto considerado. Todos ellos se contabilizan atribuyendo distintos daños ambientales a una unidad funcional.

Para elaborar el estudio que comprende este artículo, se adoptaron como modelo los campos experimentales situados en el Ifapa-Centro Camino de Purchil (Granada), y se realizó un estudio comparativo del impacto ambiental del cultivo de judía verde:

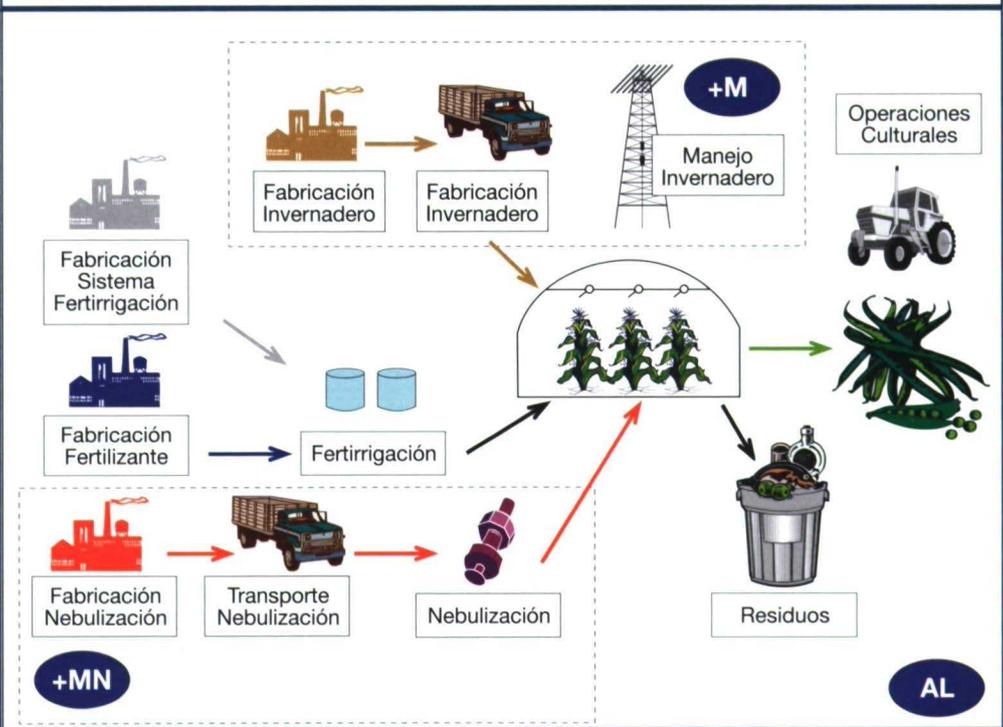
1. en un invernadero de malla
2. en un invernadero de malla equipado con sistema de nebulización de baja presión
3. al aire libre (cultivo convencional).

**Materiales y métodos**

**Definición de objetivos y alcance del estudio**

El objetivo de este estudio es la evaluación de los daños ambientales atribuibles al proceso de cultivo de judía verde bajo invernadero con y sin nebulización, y al aire libre a lo largo de su ciclo de vida, en la zona de la Vega de Granada (España). El límite del estudio se considera el sistema de cultivo teniendo en cuenta los flujos de materia y energía de entrada y salida en el área de producción. En este caso, la unidad funcional (UF) es

**Figura 1: Diagrama de evaluación ambiental.**  
**Diagrama de procesos considerados en la evaluación ambiental para la producción de judía verde en el sistema de cultivo bajo invernadero de malla (M), cultivo bajo invernadero de malla equipado con sistema de nebulización (MN) y cultivo al aire libre (AL).**



la superficie ocupada (ha), ya que se pretende comparar el comportamiento ambiental de distintas opciones de cultivo. A esta unidad se refieren todas las entradas y salidas, calculándose posteriormente la producción que justificaría ambientalmente la utilización de cada propuesta.

Los sistemas de cultivo aplicados en la producción de judía verde que son objeto de análisis ambiental son: cultivo bajo invernadero de malla (M), cultivo bajo invernadero de malla equipado con sistema de nebulización (MN), y

cultivo al aire libre (AL).

Las etapas que se tuvieron en cuenta en el estudio de ACV, son dos: la infraestructura, que incluye: fabricación, transporte del material necesario para crear la estructura y construcción del umbráculo así como la estructura para entutorado del cultivo de las parcelas al aire libre, fabricación y transporte del material empleado para instalar el sistema de nebulización y fabricación de los materiales propios del sistema de fertirrigación; y la etapa de cultivo donde se incluye el análisis de la maquinaria utilizada para las operaciones culturales, el consumo de agua y energía del sistema de nebulización, la fabricación y aplicación de fitosanitarios y fertilizantes, las emisiones de compuestos contaminantes debidas a la fertilización así como el agua y energía gastadas en el sistema de riego, y por último, la gestión de los residuos generados incluyendo el transporte hasta el lugar donde serán gestionados.

**El objetivo de este estudio es la evaluación de los daños ambientales atribuibles al proceso de cultivo de judía verde bajo invernadero con y sin nebulización, y al aire libre a lo largo de su ciclo de vida, en la zona de la Vega de Granada (España)**



**Invernadero de malla con sistema de nebulización de baja presión.**

Los datos locales relativos a las prácticas agrícolas se obtuvieron en el IFAPA-Centro Camino de Purchil, localizado en la Vega de Granada (Latitud: 37° 10' 21"N; Longitud: 3° 38' 10"; Altitud: 600 m) entre junio y agosto de 2007.

Para las características y gestión del invernadero se han utilizado datos de Antón (2004). En la fabricación y consumo de la maquinaria agrícola, de los fertilizantes minerales y los pesticidas y del transporte, se ha tenido en cuenta a Audsley (1997) y la base de datos de Ecoinvent system process v. 2.0, 2007.

La herramienta informática para el análisis de impactos ha sido el programa SimaPro v. 7.1, realizando las fases de clasificación y caracterización que define la norma ISO 14040.

Las categorías de impacto, definidas por CML 2 baseline 2000, Versión 2.04 (Guinée et al., 2002), son: agotamiento de los recursos abióticos, AR (Kg Sb eq.); acidificación del aire, AI (Kg SO<sub>2</sub> eq.); eutrofización, EI (Kg PO<sub>4</sub>-2 eq.); calentamiento global, GWP (Kg CO<sub>2</sub> eq.); destrucción del ozono estratosférico, ODP (Kg CFC-11 eq.); toxicidad humana HT (kg 1.4-DB eq) y oxidación fotoquímica PO, (kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>).

### **Análisis del Inventario del Ciclo de Vida**

Los datos se han obtenido para los tres sistemas de cultivo mencionados anteriormente.

Para todos los tratamientos y etapas se considera que los transportes se realizan en camiones de 20-28 toneladas, que el tratamiento final de los residuos orgánicos es el vertedero y que los plásticos de cubierta son reciclados.

El Inventario del Ciclo de Vida se ha dividido en dos etapas.

### **Infraestructura**

*Estructura del invernadero de malla y parcelas al aire libre.* Se trata de un invernadero de 960 m<sup>2</sup> de superficie. Es una estructura metálica multimodular, tipo raspa y amagado (cubierta a dos aguas), con una distancia entre cubreras de 8 m y entre postes de 5 m, en sentido longitudinal. La altura de la cubrera es de 4 m y la del canalón es de 3.5 m.

El invernadero es trimodular, con módulos de 8 m de ancho y 40 m de longitud. Las dimensiones totales son de 24 x 40 m<sup>2</sup>, con la orientación del eje principal en dirección norte-sur. La cubierta de la estructura del invernadero se hizo con malla mono-filamento natural blanca-negra de 6 x 9 hilos cm<sup>-2</sup>.

Las bandas de la estructura del invernadero se realizaron con malla de 10 x 16 hilos cm<sup>-2</sup> negra en todo el perímetro y rafia plástica impermeable al aire. El estudio al aire libre tuvo lugar en una parcela dotada de los postes y alambres necesarios para entutorar el cultivo. En los tres casos el riego fue por goteo. La etapa de fabricación, transporte del material necesario para crear la estructura y

construcción del invernadero y parcelas, se han considerado de acuerdo con el criterio establecido por Audsley (1997) y Antón (2004).

### **Estructura en el sistema de nebulización**

En el invernadero de malla se incorporó un sistema de nebulización de baja presión, para caracterizar su efecto refrigerante en el microclima y en el desarrollo del cultivo. Las boquillas eran de 7 L h<sup>-1</sup> y estaban separadas 2 m entre sí al tresbolillo con una densidad de 0,13 boquillas m<sup>-2</sup>. Se instalaron dos líneas portaboquillas en la mitad de cada módulo del invernadero, separadas 4 m entre sí y a 2 m del canalón. La altura de instalación fue de 3,5 m.

### **Sistema de fertirrigación**

El riego fue por goteo, con emisores en línea, tanto en el invernadero como al aire libre. En esta fase se han tenido en cuenta los materiales empleados en la fabricación de los elementos necesarios en el sistema de riego (bombas, inyectores, tuberías...), así como el transporte de todos ellos hasta el escenario de cultivo.

### **Etapas de cultivo**

El cultivo de judía verde se hizo en ciclo de primavera-verano de 2007. La densidad de plantación fue de 2,35 plantas m<sup>-2</sup> en el invernadero y de 5,36 plantas m<sup>-2</sup> en el exterior.

2.1. Fertilizantes. Se aplicaron diferentes dosis de fertilizante en cada sistema de cultivo, según el contenido en nutrientes inicial del suelo, las características de cada fertilizante y las aportaciones debidas al agua de riego.

2.2. Fertirrigación. En el manejo de la fertirrigación, se consideran los procesos de consumo de energía en el funcionamiento de las bombas, el consumo de agua y las emisiones producidas. Se empleó una bomba de impulsión del sistema de riego de 2,2 KW para todos los sistemas de cultivo. Para las emisiones de fertirrigación se consideran las emisiones de NH<sub>3</sub>,



# FertiGreen

Solución Innovadora



**FertiGreen** es una gama de fertilizantes diseñados para viveros y áreas verdes, de granulometría especialmente fina.

Todas las formulaciones están enriquecidas con magnesio y micronutrientes solubles en agua.

**FertiGreen** está formulado con el componente exclusivo ESTIMULINA. Gracias a ello se favorece la disponibilidad de agua y nutrientes también reduce la compactación del suelo y aumenta la porosidad, activando un enraizamiento más denso y profundo.



**BURÉS PROFESIONAL S.A.**

Camí de Sant Roc, s/n · E-17180 Vilablareix Girona · Spain

Tel. (34) 972 40 50 95 · Fax (34) 972 40 55 96

info@burespro.com

www.burespro.com

**Figura 2:****Sistemas de cultivo bajo invernadero de malla.**

Sistemas de cultivo bajo invernadero de malla (M), bajo invernadero de malla equipado con sistema de nebulización (MN) y al aire libre (AL). Comparación de indicadores ambientales para los diferentes subsistemas y categorías: agotamiento de los recursos abióticos (AR), calentamiento global (GWP,) destrucción del ozono estratosférico (ODP), acidificación del aire (AI), eutrofización (EI), toxicidad humana (HT) y oxidación fotoquímica (PO).

N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub> y N<sub>2</sub> al aire y NO<sub>3</sub> al agua, según Audsley (1997).

2.3. Gestión de la nebulización. Se considera el consumo de agua y energía que conlleva la nebulización. El consumo medio diario fue de 7,68 L m<sup>-2</sup> y el tiempo medio de funcionamiento diario de 8,66 horas. En el ciclo de judía, el consumo de agua total del sistema fue de 692 L m<sup>-2</sup>.

2.4. Gestión del cultivo. Las operaciones culturales incluyen todas las labores de campo realizadas que emplean vehículos y utensilios agrícolas que implican energía, recursos y emisiones. Fundamentalmente, fueron las labores preparatorias del terreno y las aplicaciones de fitosanitarios.

2.5. Control fitosanitario. Se tiene en cuenta la fabricación y aplicación de los diferentes plaguicidas empleados. Existen diferencias entre el cultivo en invernadero y al aire libre, siendo mayor el número de tratamientos fitosanitarios en el cultivo al aire libre.

2.6. Residuos. Se considera la gestión y transporte de materiales plásticos, acero, residuos verdes en plantas de reciclaje y hormigón en vertedero.

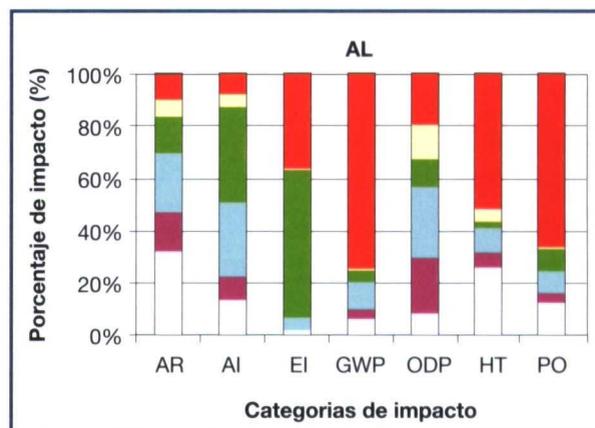
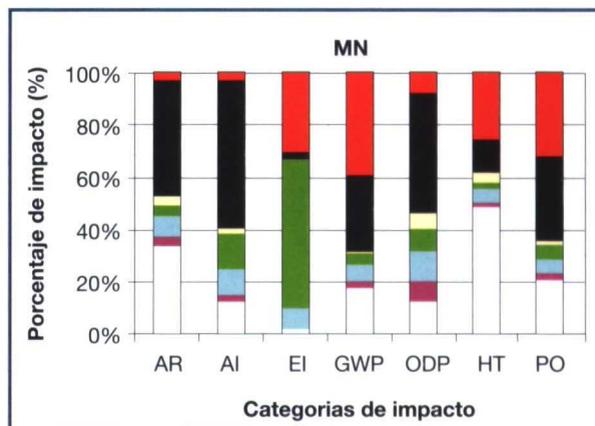
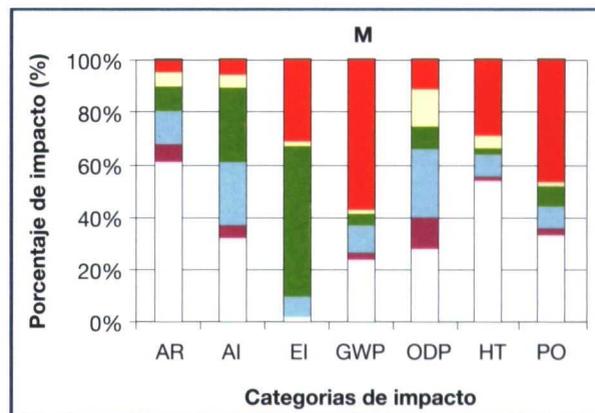
### Resultados y discusión

En la figura 2 se muestra la contribución de los diferentes subsistemas considerados en cada una de las categorías de impacto para cada sistema de cultivo. En las categorías estudiadas los subsistemas que generan un mayor impacto en varias categorías, son: Residuos, Gestión de la nebulización e Infraestructura. La Infraestructura genera un mayor impacto en el sistema de cultivo M. Le siguen, con un impacto menor, los sistemas MN y AL. La categoría que adquiere más importancia en la infraestructura, es AR, que alcanzan valores de 60.5% en el sistema M.

En esta categoría, el gas natural, petróleo y carbón, son los recursos más importantes. La instalación del sistema de fertirrigación y estructura del invernadero, comporta una necesidad de material plástico, principal causante del incremento del uso de recursos de este subsistema.

Por ello, se deberán buscar materiales que beneficien al medio ambiente, reduciendo los impactos, como son plásticos reciclados o de mayor duración. En el sistema MN, la gestión de la Nebulización ejerce una mayor presión ambiental en la categoría AI, 57.9%, debido a sustancias contaminantes como los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) derivados de la energía consumida en el sistema de nebulización. Se deberán mejorar, por tanto, el diseño y las condiciones de manejo. El tratamiento de residuos verdes depositados en vertedero, genera emisiones al aire de metano (CH<sub>4</sub>), provocando impacto en la categoría GWP. Una alternativa sería llevar a cabo el compostaje de estos residuos, pues se observa que el compostaje provoca menores impactos ambientales que la disposición en vertedero en las categorías GWP (6,7-21,8 veces menor) y EI (25,9-40,8 veces menor), ya que se evitan las emisiones de metano y los lixiviados (Nuñez et al., 2007).

La Fertirrigación, es el subsistema que más contribuye en la categoría EI en todos los sistemas de cultivo, llegando a un 58,1% en el sistema M. Las sustancias que más han contribuido a este impacto son las emisiones al agua de nitratos, generadas por pérdidas de NO<sub>3</sub>- por lixiviación, ya que se trata de un sistema abierto. Esta pérdida se debería mejorar y sería aconsejable reducir al mínimo las aportaciones.



**Tabla 1: Impactos ambientales del cultivo al aire libre**  
 Valores absolutos de los potenciales impactos ambientales del cultivo al aire libre (AL), en invernadero de malla (M) e invernadero de malla con nebulización (MN) resultantes del análisis del ciclo de vida completo.

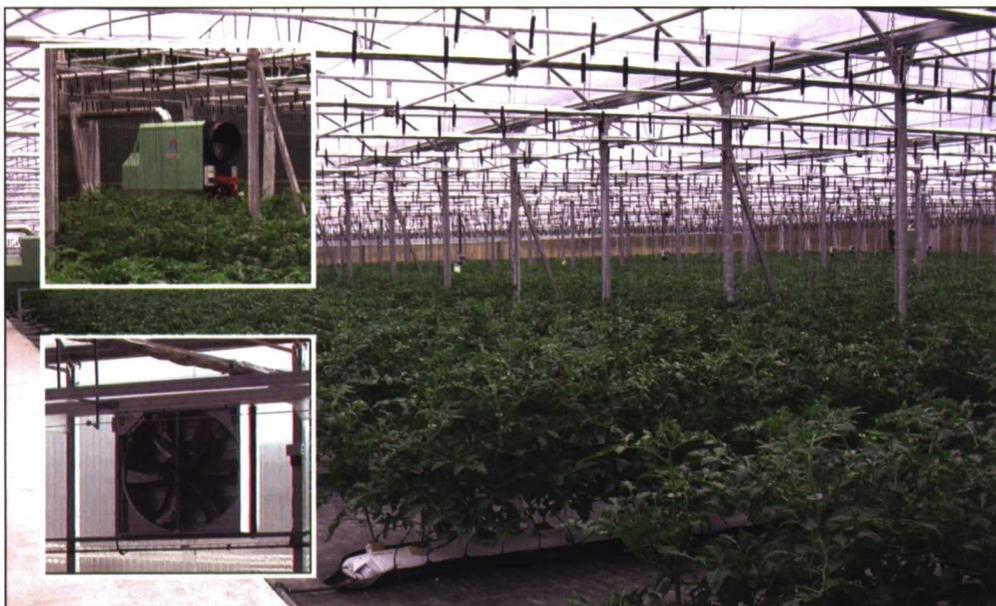
Categorías de impacto	Acrónimo	Uds. de medida	AL	M	MN
Agotamiento de recursos abióticos	AR	Kg Sb eq.	2,40E+01	2,79E+01	5,23E+01
Acidificación	AI	Kg SO2 eq.	2,42E+01	2,21E+01	5,29E+01
Eutrofización	EI	Kg PO4-2 eq.	8,91E+01	5,76E+01	5,92E+01
Calentamiento global	GWP	Kg CO2 eq.	1,15E+04	8,39E+03	1,17E+04
Degradación del ozono estratosférico	ODP	Kg CFC-11 eq.	2,61E-04	2,21E-04	3,98E-04
Toxicidad humana	HT	Kg 1.4-DB eq.	4,52E+03	4,44E+03	5,05E+03
Oxidación fotoquímica	PO	Kg C2H4	2,64E+00	2,05E+00	3,19E+00

En AL el impacto por fertilizantes es relativamente mayor al reducirse mucho el impacto de la estructura y no contar con el subsistema "gestión de la nebulización". En este tratamiento son similares la contribución en las categorías AI, 29,5% y ODP, 28,8%, debido a óxidos de azufre (SOx) derivados de la fabricación de fer-

tilizantes. También tienen lugar emisiones de sustancias como Halon 1211 (CF2ClBr), y el Halon 1301 (CF3Br), debido principalmente a la electricidad y diesel consumidos en la producción de fertilizantes. Se deberá reducir el uso de fertilizantes haciendo ajustes entre el aporte y el consumo y, así, buscar criterios de gestión más

racionales en el suministro de nutrientes al cultivo con el propósito de, además de reducir el impacto ambiental, aumentar el aprovechamiento de un recurso escaso como es el agua (Antón, 2004).

La fabricación de plaguicidas tiene un impacto mínimo. Sin embargo, y pese a no mostrarse en el presente trabajo, su aplicación ad-



Agrícola

**Gama de Equipamientos**

- Pantalla térmica y de Sombreo
- Mesas de Cultivo Fijas y Móviles
- Calefacción
- Humidificación
- Extractores
- Removedores
- Fertirrigación
- Cámara Hinchable

**Las mejores soluciones para cultivos bajo abrigo**

Realizamos instalaciones integrales de invernaderos "llave en mano" con la equipación específica para cada cultivo.

ULMA Agrícola cumple con la normativa europea de diseño, fabricación y montaje con el objetivo de ofrecer productos con Calidad Total.



UNE EN 13031-1

ULMA Agrícola S.Coop B.Garibal,9 • P.O Box 50 • 20560 OÑATI (Guipuzkoa) SPAIN • Tel.: +34 943 034900 • Fax: +34 943716466 • www.ulmaagricola.com

quiere importancia en las categorías de toxicidad humana y ecotoxicidad terrestre y acuática, pues en trabajos precedentes se ha mostrado que su toxicidad supera los valores mostrados por otros subsistemas en estas tres categorías (Antón, 2004). En cuanto a la gestión del cultivo (operaciones culturales), el porcentaje de impacto en las diferentes categorías es mínimo o nulo y su efecto es eclipsado por los anteriores subsistemas.

Los valores absolutos de impacto por categorías de cada sistema de cultivo se pueden observar en la tabla 1, donde se aprecia que el sistema de cultivo en invernadero de malla con sistema de nebulización genera un mayor impacto ambiental en la mayoría de las categorías estudiadas (AR, AI, GWP, ODP, HT y PO) seguido del cultivo al aire libre donde EI es la categoría más afectada, y del cultivo en invernadero de malla que presentan un menor impacto en todas las categorías. El uso de fertilizantes y el consumo de agua de riego (debido a la alta radiación existente y elevadas temperaturas) es mayor en aire libre que en invernadero. Este es el motivo de los altos valores que presenta la categoría EI. Si comparamos ambos invernaderos de malla, se observa que MN ejerce una mayor presión ambiental respecto a M, debido a los altos valores de impacto que genera el sistema de nebulización. Para comparar los tres tratamientos, se ha tenido en cuenta la producción que justificaría cada una de las categorías de impacto. En las figuras 3, 4 y 5, se ilustra el ratio necesario para igualar el impacto ambiental causado para cada una de las categorías. Si comparamos los tratamientos M y AL (figura 3), se observa que el ratio siempre es menor que 1 salvo para AR (1,16) donde tienen gran peso el impacto de los materiales que constituyen la estructura. Como media la producción debería ser un 15% mayor en AL para justificar el impacto ambiental generado frente a M.

En cuanto a los tratamientos MN y AL (figura 4), la relación

para todas las categorías excepto EI, es superior a la unidad, llegando hasta 2,18 en el caso de AR y AI. Esto se debe a la alta presión ambiental ejercida por la gestión de la nebulización junto con la estructura del invernadero. A igualdad de otros factores, el cultivo en invernadero de malla con sistema de nebulización debería producir un 41% más que el cultivo al aire libre para justificar el impacto ambiental generado por la estructura y la nebulización. En categorías como la eutrofización (0,66) en que tenía más importancia el lixiviado de nitratos, los efectos quedarían compensados. Si la comparación la realizamos sobre los dos tratamientos bajo malla (figura 5), desde un punto de vista productivo quedaría justificado el uso de sistemas de nebulización siempre que se pudiese obtener una producción 60% superior a la producida en M.

### Conclusiones

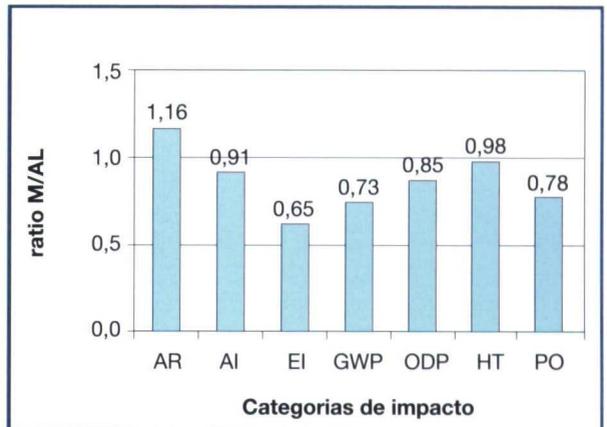
De la comparación entre las diferentes alternativas propuestas para la producción de judía verde destaca el impacto ambiental generado por el cultivo en invernadero de malla con sistema de nebulización. En relación a la infraestructura, se deben buscar agrosistemas más beneficiosos ambientalmente, reduciendo los impactos causados por la estructura y el equipamiento mediante la utilización de materiales reciclados o de mayor duración, ajustando las dimensiones e intentando reducir al máximo los materiales utilizados (hormigón, acero, plásticos...). En cualquier caso la utilización de invernaderos de malla sí resulta ambientalmente justificada frente al cultivo de judía verde al aire libre, pues las producciones son superiores en invernadero (más del 15%).

Sin embargo, la adopción de sistemas de climatización como la nebulización (gran consumo de agua y electricidad) en las condiciones del estudio, estaría justificada desde el punto de vista ambiental siempre y cuando la nebulización suponga un aumento en producción del 60%. Se hace ne-

**Figura 3**

**Ratio en cultivo bajo invernadero y aire libre.**

Ratio para las diferentes categorías de impacto entre un cultivo bajo invernadero de malla (M) y al aire libre (AL). Comparación de indicadores ambientales para los diferentes subsistemas y categorías: agotamiento de los recursos abióticos (AR), calentamiento global (GWP), destrucción del ozono estratosférico (ODP), acidificación del aire (AI), eutrofización (EI), toxicidad humana (HT) y oxidación fotoquímica (PO).

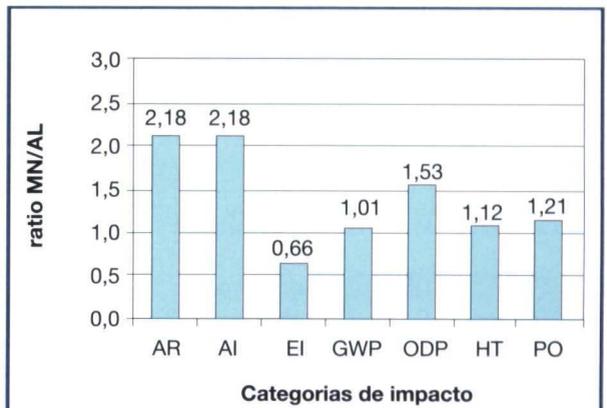


**Figura 4**

**Ratio en cultivo bajo invernadero de malla con nebulización y al aire libre.**

Ratio para las diferentes categorías de impacto entre un cultivo bajo invernadero de malla equipado con sistema de nebulización (MN) y al aire libre (AL).

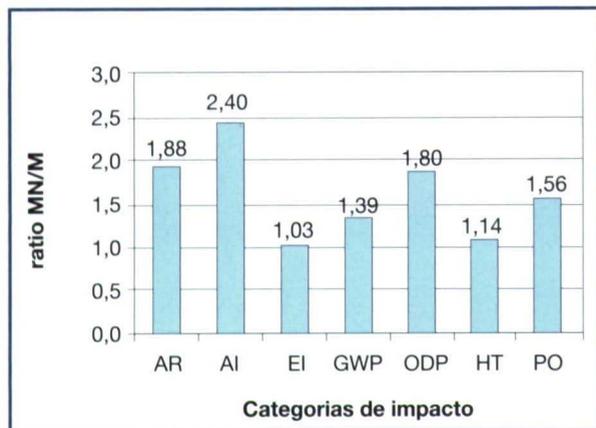
Comparación de indicadores ambientales para los diferentes subsistemas y categorías: agotamiento de los recursos abióticos (AR), calentamiento global (GWP), destrucción del ozono estratosférico (ODP), acidificación del aire (AI), eutrofización (EI), toxicidad humana (HT) y oxidación fotoquímica (PO).



**Figura 5**

**Ratio en cultivo bajo invernadero de malla con nebulización y al aire libre.**

Ratio para las diferentes categorías de impacto entre un cultivo bajo invernadero de malla equipado con sistema de nebulización (MN) y bajo invernadero de malla (M). Comparación de indicadores ambientales para los diferentes subsistemas y categorías: agotamiento de los recursos abióticos (AR), calentamiento global (GWP), destrucción del ozono estratosférico (ODP), acidificación del aire (AI), eutrofización (EI), toxicidad humana (HT) y oxidación fotoquímica (PO).



cesario estudiar estrategias de manejo que impliquen menores consumos de agua en nebulización así como el efecto en la calidad del fruto.

En la fertirrigación se debería reducir los lixiviados. Al tratarse de un sistema abierto, se debe reducir el uso de fertilizantes haciendo ajustes entre el aporte y el consumo. Se deben buscar criterios de gestión más racional en el suministro de nutrientes al cultivo, especialmente nitratos, con el propósito de reducir el impacto ambiental y de aumentar el aprovechamiento de un recurso escaso, como es el agua (Antón, 2004).

La gestión de los residuos es uno de los principales problemas que adquieren máxima importancia en los impactos de calentamiento global. El depósito en vertedero de residuos verdes produce un aumento considerable de las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) al aire. Una alternativa, sería llevar los residuos a plantas de reciclado y compostaje.

**INVERNADEROS**



**INDUSTRIAS METÁLICAS AGRICOLAS, S.A.**

Pol. Ind. COMARCA-2, calle F, nº 12 · 31191 BARBATAIN (NAVARRA)  
 Tel.- (+34) 948 184 117 · Fax- (+34) 948 184 668  
 ima@invernaderosima.com · www.invernaderosima.com



Exportación: GRUPO MSC  
 www.grupomsc.com  
 Tel.- (+34) 954 129 138



**Para saber más...**

www.juntadeandalucia.es, www.irta.es  
 www.horticom.com?67185  
 www.horticom.com?70798