

## **CONVENIO DE COLABORACIÓN CIENTÍFICA UNIVERSIDAD-EMPRESA**

APLICACIÓN DE DISPOSITIVOS PARA LA REDUCCIÓN DE LA  
CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA Y SU EFECTO EN LA PRODUCCIÓN  
HORTÍCOLA

INFORME FINAL

Noviembre 2011



## INDICE

	Página
1. Introducción	1
2. Objetivo	2
3. Material y métodos	3
4. Resultados y discusión	8
5. Conclusiones	11
Anejos	
1. Fotografías de los ensayos realizados	13

## 1. INTRODUCCIÓN

Los campos electromagnéticos son una combinación de campos invisibles de fuerza eléctrica y magnética. Estos campos están generados por fenómenos naturales, como el campo magnético terrestre, pero también son consecuencia de determinadas actividades humanas.

Diversos avances tecnológicos y del conocimiento que se han desarrollado durante el último siglo han derivado en un aumento de los campos electromagnéticos de origen artificial, nunca antes experimentados por los seres vivos.

La mayoría de los campos magnéticos provocados por el hombre invierten su dirección a intervalos regulares de tiempo, que van desde las altas frecuencias (RF radiofrecuencias, 100 kHz-300 GHz), como la telefonía móvil, hornos microondas, radares, radios y televisores; a las frecuencias intermedias (IF, 300 Hz-100KHz) como las pantallas de ordenador y lectores de tarjetas; o las frecuencias extremadamente bajas (ELF, 0-300 Hz) como las líneas eléctricas. Por otra parte, se denominan campos magnéticos estáticos (0 Hz) a los que no varían con el tiempo, entre ellos los utilizados en imagen médica.

El campo eléctrico y el campo magnético son vectores, es decir tienen magnitud y dirección. El campo eléctrico (E) ejerce fuerzas sobre una carga eléctrica y se expresa en voltios por metro ( $V m^{-1}$ ). De manera similar el campo magnético puede ejercer fuerzas físicas sobre las cargas eléctricas, pero sólo cuando las cargas están en movimiento. El campo magnético puede expresarse de 2 formas: como densidad de flujo magnético (B), expresado en teslas (T), o como intensidad de campo magnético (H), expresado en amperios por metro ( $A m^{-1}$ ). La relación entre B y H viene dada por la ecuación:

$$B = \mu H,$$

donde  $\mu$  es la permeabilidad magnética, expresada en Henrios por metro ( $H m^{-1}$ ).

Una buena aproximación de la propagación del campo electromagnético viene dada por el modelo de onda plana, en que los frentes de onda tienen una geometría plana. De esta forma los vectores E y H y la dirección de propagación son mutuamente perpendiculares. Por otra parte, E/H es constante a lo largo del espacio, y en espacio libre  $E/H=377$ .

Para el establecimiento de los niveles de referencia adecuados, además de las variables E, B y H, se utiliza la densidad de potencia (S), es decir, la potencia (energía por unidad de tiempo) por unidad de área perpendicular a la dirección de propagación. S, se relaciona con los campos eléctrico y magnético mediante la ecuación:

$$S = E H$$

y se mide en  $Wm^{-2}$ .

No existe una unificación de criterios a nivel internacional en cuanto a la contaminación por radiación electromagnética. En relación con las altas frecuencias la Convención de Salzburgo (1998) estableció un nivel máximo de  $1000 \text{ Wm}^{-2}$ , y respecto a las bajas frecuencias la mayoría de países han adoptado límites superiores a los indicados por la Norma SBM-2008 establecida por un Instituto alemán.

La ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ) - OMS estableció en 1998 y 2009 valores de referencia (Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)<sup>a</sup>. También en 2009, y para la banda de publicó una revisión en relación a los efectos de la radiación electromagnética en la banda de 100 kHz - 300 GHz<sup>b</sup>.

La Unión Europea (UE) ha establecido unos límites de seguridad para proteger a la población contra los efectos de los campos magnéticos, lo que denota la preocupación sobre los posibles efectos en la salud humana y la aparición de enfermedades, referenciados por la Directiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y posteriormente, en 2007 por el Comité Científico de los Riesgos Sanitarios Emergentes y Recientemente Identificados, CCRSER, "Posibles efectos de los Campos electromagnéticos sobre la salud humana".

Probablemente una revisión de los estudios científicos llevados a cabo hasta el momento no permitiría afirmar de forma rotunda y categórica si existe una relación de causalidad entre los campos electromagnéticos y algunos efectos adversos sobre la salud, entre otros motivos porque depende de la dosis y tiempo de exposición (relación dosis-respuesta). Sin embargo, la creciente preocupación de los diferentes países y el aumento de la literatura científica publicada sobre la temática evidencian su importancia.

Vilardebó&Mortensen<sup>®</sup> (VM) es una empresa de desarrollo y fabricación de productos de higiene ambiental para la armonización del entorno. VM ha realizado numerosos estudios geobiológicos sobre las geopatías provocadas por la contaminación electromagnética natural y artificial y su afectación en el comportamiento humano, animal y vegetal, desde hace dos décadas.

Uno de los productos desarrollados y fabricados por Vilardebó&Mortensen<sup>®</sup> es el denominado PHA2, que según sus autores, reduce los efectos de las geopatías provocadas por la contaminación electromagnética natural y artificial, armonizando el ambiente para un mejor bienestar.

Con la finalidad de realizar una experiencia que permitiera determinar el efecto sobre el crecimiento de los cultivos de la radiación electromagnética y su inhibición mediante los dispositivos PHA2 de VM, se desarrolló el presente Convenio de colaboración Científica UdG-VM.

---

<sup>a</sup> *Health Physics* 74 (4): 494-522; 1998. *Health Physics* 97(3):257-259; 2009.

<sup>b</sup> Review of the Scientific Evidence and Health Consequences. Munich: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; 2009. ISBN 978-3-934994-10-2.

La base del funcionamiento de estos dispositivos queda fuera de los objetivos de este Convenio, de manera que únicamente se analizará el comportamiento agronómico de los cultivos sometidos a la acción de estas estructuras.

## **2. OBJETIVO**

Analizar la utilización del dispositivo PHA2 desarrollado por Vilardebó&Mortensen® para la reducción del efecto electromagnético, en relación con la mejora de los rendimientos en la producción de cultivos hortícolas en invernadero (en fase de vivero) y al aire libre.

## **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

Se analizaron dos cultivos hortícolas, el de cebolla (*Allium cepa* L., variedad Bigger, F1 híbrida) y el de escarola (*Cichorium endivia* L., variedad Tebas).

Los ensayos de campo se dividieron en dos etapas:

- 1.- La fase de vivero, realizada en la empresa Planters Casas S.L.
- 2.- La fase de campo, realizada en Mas Morrofred .

### Fase de vivero

Los viveros de Planters Casas S.L. están ubicados en el término municipal de Palafolls (Alt Maresme), provincia de Barcelona. Disponen de una superficie de invernadero de 18 000 m<sup>2</sup> destinados a planta hortícola.

El proceso de cultivo constó de las siguientes etapas:

- Lavado y pre-desinfección de bandejas, mediante máquina limpiadora de agua a 60 °C y a alta presión. Las bandejas se desinfectaron con fungicida (oxicloruro de cobre) y bactericida, que protegen al cultivo hasta el momento del trasplante.
- Siembra. Se utiliza una línea de siembra neumática, que opera a una velocidad de 150 000 semillas hora. Para los ensayos se sembró en el formato de bandeja de 216 alvéolos. El sustrato utilizado estaba formado por el 50% de turba rosa y el 50% de turba negra, con pH corregido a 5.5 y con un contenido en N,P,K de 800 g/m<sup>3</sup>.
- Germinación. Las bandejas ya sembradas se introdujeron en la cámara de germinación, de 150 m<sup>2</sup> y una capacidad para 5 000 bandejas. La cámara aportó a las semillas las condiciones óptimas de germinación (Temperatura de 18°C y Humedad Relativa del 70%) durante 6 días.
- Riego y fertilización. El sistema de riego localizado es del tipo "carro de riego", con 14 unidades que cubre cada una de ellas 8 m de ancho y 170 m de largo. La programación del riego y la fertilización están automatizadas, dependiendo de las necesidades hídricas y nutritivas de la plántula en cada estadio. La frecuencia de riego fue diaria. El

abonado del cultivo fue mediante fertirrigación con un equilibrio N-P-K de 2-5-12.

- Tratamientos fitosanitarios. Las plantas se trataron con cobre y mancozeb.

En fecha 03/08/11, se realizó una primera visita a los viveros, para el planteamiento inicial de los ensayo. El día 17/08, se eligieron las parcelas del ensayo (zona tratada y zona control). Se realizaron las espectrometrías en cada parcela por parte de Vilardebó&Mortensen<sup>®</sup> (ver anejo 1), y posteriormente se colocaron los dispositivos en la zona de tratamiento. La separación de las parcelas tratada y control fue lo suficientemente distante como para evitar interferencias de los dispositivos.

De las plántulas seleccionadas se evaluó en el laboratorio de la UdG:

a.- Masa de Materia Fresca (MMF, g) de la parte aérea. Determinada en balanza de precisión  $\pm 0.001$  g.

b.- Masa de Materia Seca (MMS, g) de la parte aérea. Secado en estufa a 65 °C hasta peso constante. Determinada en balanza de precisión  $\pm 0.001$  g.

d.- Masa de Materia Fresca (MMF, g) de la parte radicular. Determinada en balanza de precisión  $\pm 0.001$  g.

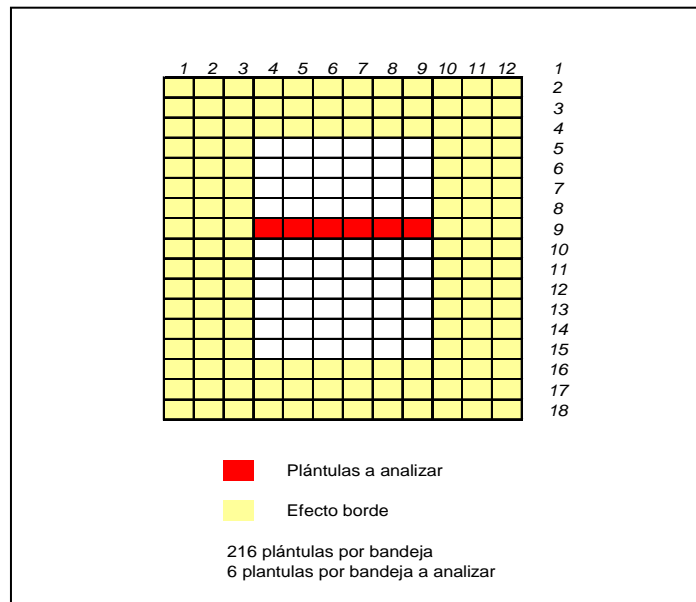
e.- Masa de Materia Seca (MMS, g) de la parte radicular. Secado en estufa a 65 °C hasta peso constante. Determinada en balanza de precisión  $\pm 0.001$  g.

f.- Color de las hojas, según la carta de colores *Munsell<sup>®</sup> Color Charts for Plant Tissues*

#### Cultivo de cebolla: diseño experimental

Se realizó la siembra el día 30/8/11. En cada zona (Control y Tratamiento), se realizaron dos repeticiones de 78 bandejas. De éstas, se escogieron 12 al azar de cada repetición, de las cuales se muestrearon 6 plántulas por bandeja (ver fig. 1 y fig 2). Se identificaron estas bandejas el día después de salir de la cámara de germinación, una vez colocadas en su posición definitiva en el invernadero.

Se desestimaron las bandejas del borde del pasillo, y las plántulas escogidas eran las de la fila central. En total se analizaron 24 bandejas de plántulas Control y 24 bandejas de plántulas Tratadas. Debido al bajo peso de cada plántula, la unidad experimental fue el peso total de las 6 plántulas de cada bandeja.



**Figura 1.-**Plántulas a analizar en cada bandeja

Se realizaron visitas de seguimiento los días 1/9/11, 7/9/11 y 15/9/11. El día 20/9/11, se retiraron las bandejas para su análisis en el laboratorio de la UdG. Se procedió al lavado de las raíces con agua para eliminar el substrato del cultivo, y a separar con un bisturí la parte aérea de la radicular. Se pesaron en fresco, con balanza de  $\pm 0.001$  g de precisión. Se depositaron en bandejas de aluminio y se colocaron en una estufa a  $65^{\circ}\text{C}$  hasta llegar a peso constante. Una vez seco, se pesaron en la misma balanza.



**Figura 2.-** Esquema del diseño experimental



### Cultivo de escarola: diseño experimental

Se realizó la siembra el día 09/9/11. En cada zona (Control y Tratamiento), se escogieron 15 bandejas al azar de un grupo de 78 bandejas. De éstas, se muestrearon 6 plántulas por bandeja (ver *fig. 1* y *fig. 2*). Se identificaron estas bandejas el día después de salir de la cámara de germinación, una vez colocadas en su posición definitiva en el invernadero.

Se desestimaron las bandejas del borde del pasillo, y las plántulas escogidas eran las de la fila central. En total se analizaron 15 bandejas de plántulas Control y 15 bandejas de plántulas Tratadas. Debido al bajo peso de cada plántula, la unidad experimental fué el peso total de las 6 plántulas de cada bandeja.

Se realizaron visitas de seguimiento los días 15/9/11 y 20/9/11. El día 27/9/11, se retiraron las bandejas para su análisis en el laboratorio de la UdG. Se procedió al lavado de las raíces con agua para eliminar el substrato del cultivo, y a separar con un bisturí la parte aérea de la radicular. Se pesaron en fresco, con balanza de 0.001 g de precisión. Se depositaron en bandejas de aluminio y se colocaron en una estufa a 65°C hasta llegar a peso constante. Una vez seco, se pesaron en la misma balanza. Se guarda muestra congelada de las partes analizadas.

### Fase de campo

La fase de campo se realizó en la finca Mas Morrofred de Llambilles (La Selva), en la provincia de Girona. Se puede ver la localización de la finca en la *fig. 3*.

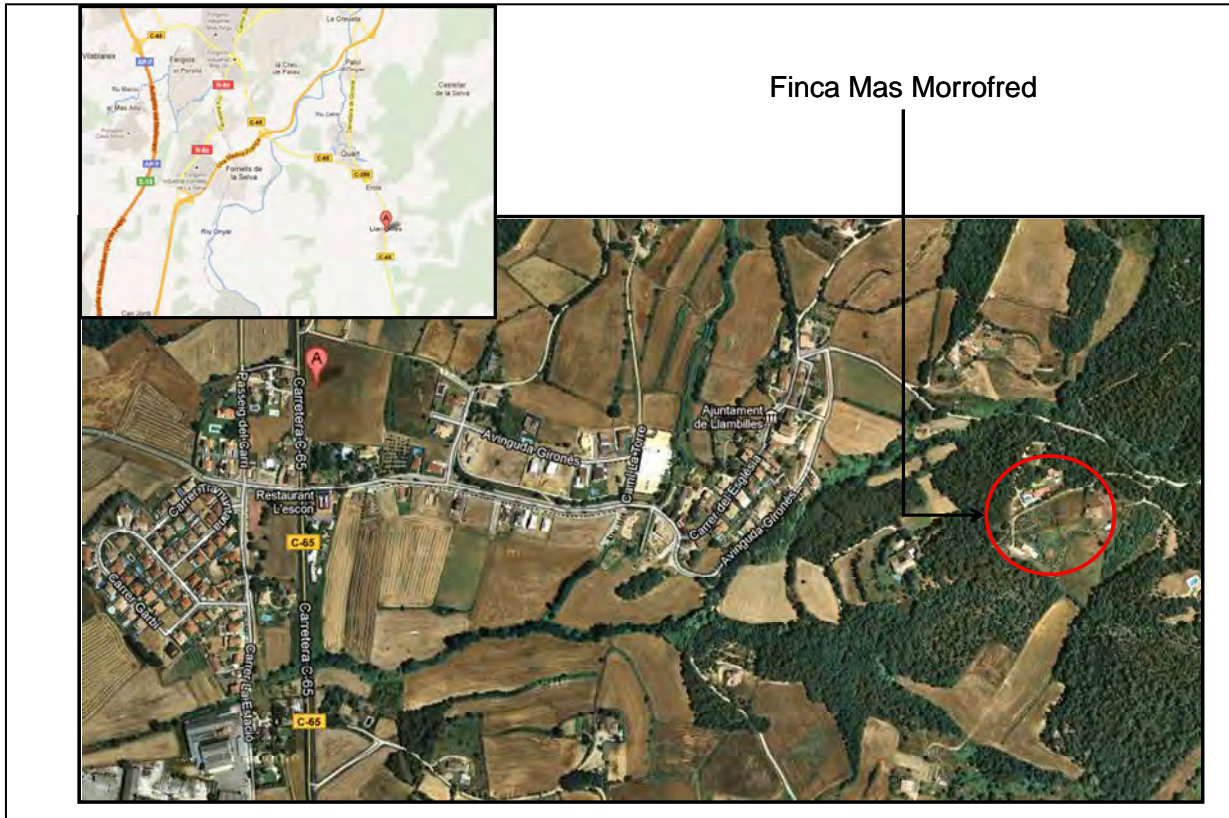
La zona de huerto dispone de un área tratada y otra control. El riego es localizado por goteo.

Las plántulas de cebolla procedentes del vivero se sembraron en campo el día 20/09/11. En cada zona (Tratada y Control), se sembraron en dos líneas. En cada línea, la mitad de las cebollas procedía de la zona tratada en vivero, y la otra mitad de la zona control, de forma alterna (ver *fig 4*).

No se recolectaron las cebollas, por un hurto en el campo.

Las plántulas de escarola procedentes del vivero se sembraron en campo el día 27/09/11. En cada zona (Tratada y Control), se sembraron en dos líneas. En cada línea, la mitad de las cebollas procedía de la zona tratada en vivero, y la otra mitad de la zona control, de forma alterna (ver *fig 4*)

Se recolectaron y pesaron las plantas de escarola el día 16/11/2011.



**Figura 3.-** Emplazamiento de la Finca Mas Morrofred.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de la varianza de los parámetros estudiados mediante el paquete estadístico SPSS 15.0.



**Figura 4.-** Diseño experimental de la fase de campo en el huerto de la Finca Mas Morrofred.

Se estudió el efecto repetición y el efecto tratamiento. Se realizó el test de Tukey para la separación de medias ( $p$ -valor < 0.05).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. FASE INVERNADERO

#### Cultivo de cebolla

En la *tabla 1* pueden observarse los valores de peso de materia seca de la parte aérea y radicular del cultivo de cebolla. Se desestimaron los valores de materia verde, pues presentaban gran variación, fruto del diferente lavado previo para eliminar el substrato de la parte radicular.

**Tabla 1.-** Media, desviación típica y coeficiente de variación (CV) del peso seco (g) de la parte aérea y radicular de la plántula de cebolla en invernadero.

Peso Seco (g)	Trat	Rep	N	Media	Desv. típ.	CV
Parte aérea	C	A	12	0.8199	0.1000	
		B	12	0.8274	0.0999	
		Total	24	0.8236	0.0978	11.9%
	T	A	12	0.9107	0.1042	
		B	12	0.9362	0.1192	
		Total	24	0.9234	0.1103	11.9%
Parte radicular	C	A	12	0.1725	0.0212	
		B	12	0.1733	0.0192	
		Total	24	0.1729	0.0198	11.4%
	T	A	12	0.1933	0.0230	
		B	12	0.2111	0.0238	
		Total	24	0.2022	0.0247	12.2%

Peso seco total de 6 plántulas

Trat: Tratamiento C (Control) y T (Tratamiento)

Rep: Repeticiones dentro de cada tratamiento (A y B)

N: nº de muestras

CV: Coeficiente de variación

No se observó en ningún caso un efecto repetición.

Se observa un incremento del tratamiento respecto al control en el peso seco de la parte aérea (+ 0.0998 g) y de la parte radicular (+ 0.0293 g) (ver *tabla 1*). Asimismo no se observan diferencias relevantes en el coeficiente de variación, por lo que el tratamiento no afecta a la homogeneidad del peso de las plántulas.

Las diferencias observadas en el ensayo, se mostraron estadísticamente significativas (ver *tabla 2*). Se cuantificó un incremento del peso seco de la parte aérea del 12.1 % (0.8236 vs 0.9234 g) y de la parte radicular de 16.9 % (0.1729 vs 0.2022 g).

No se observaron diferencias relevantes en el color de las hojas según el patrón de colores de *Munsell® Color Charts for Plant Tissues*.

**Tabla 2.-** Media de mínimos cuadrados (LSM) error típico (SE) y p-valor del peso seco (g) de la parte aérea y radicular de la plántula de cebolla en invernadero.

Peso Seco (g)	Trat	LSM	SE	p-valor
<b>Parte aérea</b>	<b>C</b>	0.8236	0.0213	0.002
	<b>T</b>	0.9234	0.0213	
<b>Parte radicular</b>	<b>C</b>	0.1729	0.0046	> 0.000
	<b>T</b>	0.2022	0.0046	

*Peso seco total de 6 plántulas*

*Trat: Tratamiento C (Control) y T (Tratamiento)*

*LSM: Media de mínimos cuadrados*

*SE: Error típico*

### Cultivo de escarola

En la *tabla 3* pueden observarse los valores de peso de materia seca de la parte aérea y radicular del cultivo de escarola. Se desestimaron los valores de materia verde, pues presentaban gran variación, fruto del diferente lavado previo para eliminar el substrato de la parte radicular.

Al igual que la cebolla, se observa un incremento del tratamiento respecto al control en el peso seco de la parte aérea (+ 0.0356 g) y de la parte radicular (+ 0.0165 g) (ver *tabla 3*). Asimismo no se observan diferencias relevantes en el coeficiente de variación, por lo que el tratamiento no afecta a la homogeneidad del peso de las plántulas. El coeficiente de variación en los dos experimentos estuvo alrededor del 11 %.

**Tabla 3.-** Media, desviación típica y coeficiente de variación (CV) del peso seco (g) de la parte aérea y radicular de la plántula de escarola en invernadero .

Peso Seco (g)	Trat	N	Media	Desv. típ.	CV
<b>Parte aérea</b>	<b>C</b>	15	0.3419	0.0430	12.6%
	<b>T</b>	15	0.3775	0.0494	13.1%
<b>Parte radicular</b>	<b>C</b>	15	0.0962	0.0103	10.7%
	<b>T</b>	15	0.1127	0.0123	10.9%

*Peso seco total de 6 plántulas*

*Trat: Tratamiento C (Control) y T (Tratamiento)*

*N: nº de muestras*

*CV: Coeficiente de variación*

Las diferencias observadas en el ensayo de escarola, se mostraron estadísticamente significativas (ver *tabla 4*). Se cuantificó un incremento del peso seco de la parte aérea del 10.4 % (0.3419 vs 0.3775 g) y de la parte radicular de 17.2 % (0.0962 vs 0.1127 g).

**Tabla 4.-** Media de mínimos cuadrados (LSM) error típico (SE) y p-valor del peso seco (g) de la parte aérea y radicular de la plántula de escarola en invernadero.

Peso Seco (g)	Trat	LSM	SE	p-valor
<b>Parte aérea</b>	<b>C</b>	0.3419	0.0119	0.045
	<b>T</b>	0.3775	0.0119	
<b>Parte radicular</b>	<b>C</b>	0.0962	0.0029	> 0.000
	<b>T</b>	0.1127	0.0029	

*Peso seco total de 6 plántulas*

*Trat: Tratamiento C (Control) y T (Tratamiento)*

*LSM: Media de mínimos cuadrados*

*SE: Error típico*

## 4.2 FASE DE CAMPO

Solamente se analizaron los datos de escarola, ya que no se pudo realizar la recolección de las plantas de cebolla.

Las plantas de escarola estuvieron un total de 50 días en campo. Los resultados del peso fresco de las plantas, puede observarse en la *tabla 5*.

Se observa un incremento de peso fresco de las plantas tratadas en campo respecto a las no tratadas (359.6 g vs. 298.1 g). Asimismo, el tratamiento previo en invernadero de las plántulas, no mostró diferencias importantes.

También se observa una importante reducción del coeficiente de variación en las plantas tratadas en campo, con lo que los pesos de éstas, resultan mucho más homogéneos.

**Tabla 5.-** Media, desviación típica y coeficiente de variación (CV) del peso fresco (g) de planta de escarola en campo.

Tratamiento Campo	Tratamiento Invernadero	N	Media	Desv. típ.	CV (%)
<b>NO</b>	<b>No</b>	91	298.9	180.01	60.2
	<b>Si</b>	87	297.3	183.19	61.6
	<b>Total</b>	178	298.1	181.06	60.7
<b>SI</b>	<b>No</b>	90	356.4	107.82	30.2
	<b>Si</b>	86	362.9	117.27	32.3
	<b>Total</b>	176	359.6	112.26	31.2

Las diferencias observadas en el ensayo de escarola en campo, se mostraron estadísticamente significativas (ver *tabla 6*). Se cuantificó un incremento del peso fresco de 61.5 g por planta tratada (un 17.1 % superior).

El tratamiento previo en invernadero de las plántulas, no mostró en ningún caso diferencias estadísticamente significativas.

**Tabla 6.** - Media de mínimos cuadrados (LSM) error típico (SE) y p-valor del peso seco (g) de la planta de escarola en campo.

Tratamiento Campo	Tratamiento Invernadero	LSM	SE	p-valor
<b>NO</b>	<b>No</b>	298.9	15.85	0.881
	<b>Si</b>	297.3	16.21	
<b>SI</b>	<b>No</b>	356.4	15.94	0.802
	<b>Si</b>	362.9	16.31	
<b>NO</b>	<b>Total</b>	298.1	11.34	0.000
<b>SI</b>	<b>Total</b>	359.6	11.40	

LSM: Media de mínimos cuadrados  
SE: Error típico

## 5. CONCLUSIONES

Para los cultivos analizados de cebolla y escarola en invernadero, se observa un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en el crecimiento (peso seco) de la parte aérea y de la parte radicular entre la zona control y la zona tratamiento con el dispositivo PHA2 de Vilardebó&Mortensen®. Se estiman unos incrementos promedio de cerca del 11 % en el peso de la parte aérea y del 17 % en el sistema radicular.

El cultivo de escarola en campo, continuó mostrando un incremento significativo del peso fresco cuando se trató con el dispositivo PHA2, con un incremento de peso del 17 %. Sin embargo, el tratamiento previo en invernadero no mostró ningún efecto en campo.

Girona a 24 de noviembre de 2011

**Francesc Ramir3 de Cartagena**  
Escola Polit3cnica Superior  
Universitat de Girona

Universitat de Girona  
Departament d'Enginyeria  
Qu3mica, Agr3ria i  
Tecnologia Agro-aliment3ria

**Xavier Puigvert**  
Escola Polit3cnica Superior  
Universitat de Girona



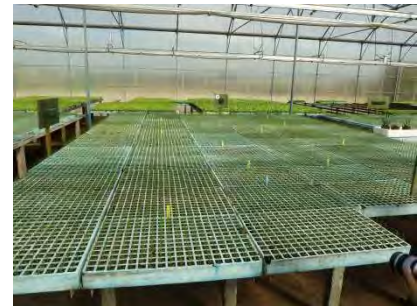
## ANEJO 1. Fotografías de los ensayos realizados



1



2



3



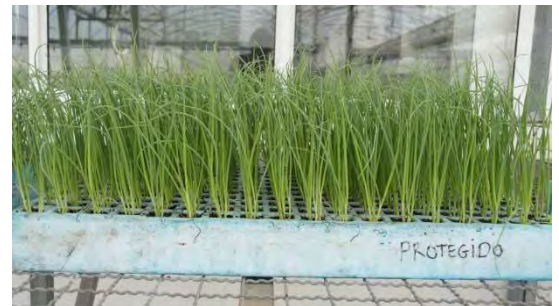
4



5



6



7

- 1.- Vista general del vivero.
- 2.- Realizando las espectrometrías.
- 3.- Colocación de las bandejas post-germinación.
- 4.- Plántulas de cebollas al final de la etapa de vivero.
- 5.- Plántulas de escarola al final de la etapa de vivero.
- 6.- Diferencias de enraizamiento entre la plántula de cebolla tratada (izquierda) y la control (derecha).
- 7.- Cebollas seleccionadas para su posterior análisis de laboratorio.





1



2



3



4



5



6



7



8

- 1.- Cebollas seleccionadas para su posterior análisis de laboratorio.
- 2.- Muestras dentro de la estufa para su secado a 65°C.
- 3.- Pesado de las muestras secas.
- 4.- Fase de campo. Siembra plántula de escarola.
- 5 y 6.- Comparación crecimiento escarola; zona control (5) y zona tratamiento (6).
- 7 y 8.- Comparación crecimiento escarola; zona control (8) y zona tratamiento (7).