

## Estudio de la viabilidad de la eliminación de semillas de malas hierbas en el suelo por radiación de microondas

B. VELÁZQUEZ-MARTÍ, J.M. OSCA, C. JORDÁ, A. MARZAL

Este trabajo ha sido realizado para estudiar los efectos térmicos sobre semillas de malas hierbas en suelos típicos de huerta irradiados con microondas por su superficie.

Se realizó un tratamiento previo en un horno microondas doméstico usando 660 vatios de potencia. Con este horno de laboratorio se han investigado tres tipos de malas hierbas: *Lolium perenne*, *Sinapsis alba* y *Setaria sativa*. Estos experimentos previos mostraron una reducción de la germinación importante con tiempos cortos de irradiación.

Después de estos experimentos previos, fue evaluado un aplicador de microondas diseñado para conseguir una amplia distribución de la radiación superficial. Este aplicador está alimentado con un magnetrón de 4 kilovatios de potencia a través de un guía de ondas ranurado. Con este horno hemos investigado dos tipos de semillas de malas hierbas a varias profundidades: *Lolium perenne* y *Brassica napus* var. *oleifera*.

Para una columna de suelo, los incrementos de temperatura reducen la germinación de las semillas hasta un máximo de 5 cm. A distancias más profundas los incrementos de temperatura son muy bajos para tiempos de irradiación cortos, por tanto será el tratamiento ineficaz para nuestro propósito.

Este aplicador permite acercarse mejor a tratamientos reales enfocados al desarrollo de un horno microondas continuo para la desinfección de sustratos para invernaderos.

B. VELÁZQUEZ MARTÍ: Departamento de Mecanización y Tecnología Agraria. Universidad Politécnica de Valencia

J.M. OSCA, A. MARZAL: Departamento de Producción Vegetal. Universidad Politécnica de Valencia

C. JORDÁ: Departamento de Ecosistemas Agroforestales. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera, n.º 14  
46022 Valencia. borvemar@dma.upv.es

**Palabras clave:** malas hierbas, microondas, desinfección

### INTRODUCCION

El tratamiento térmico del suelo por radiación de microondas ofrece múltiples posibilidades de aplicación que abre numerosas vías de investigación en agricultura, para ofrecer nuevas alternativas que permitan una productividad más eficiente y la generación de menos residuos.

La búsqueda de alternativas a los herbicidas para la eliminación de las malas hierbas supone un reto importante para la investiga-

ción agraria, ya que estos, en ocasiones, dejan residuos en el suelo contaminantes, a veces peligrosos para la salud, y pueden ser de elevada persistencia.

La radiación con microondas para este fin aparece como una buena alternativa ya que se elimina todo residuo químico de la aplicación.

Numerosos científicos han obtenido resultados interesantes en este sentido entre los que destaca DAVIS *et al.* (1971), OLSEN (1975), NELSON (1985), BARKER Y CRAKER

(1991) entre otros. El trabajo de estos investigadores ha sentado las bases del conocimiento sobre la aplicación de microondas en suelos y el efecto que estas producen sobre las semillas presentes en los mismos.

Entre los efectos encontrados se observa que:

- La susceptibilidad de las semillas frente a las microondas varía ampliamente de unas especies a otras.
- Esta susceptibilidad depende del contenido de humedad de las semillas, siendo más sensibles aquellas que están en medios húmedos que aquellas que están en medios secos.
- La susceptibilidad de las semillas ante las microondas depende más del contenido de agua en la propia retenida en el suelo.

Sin embargo, todavía hay mucho por estudiar, como:

- ➔ El efecto de la radiación sobre varias especies de semillas *in vitro* para determinar la temperatura y el tiempo de exposición a las microondas necesarios para su eliminación. Dichas pruebas nos proporcionarán una estimación del comportamiento dieléctrico de cada semilla, siempre que conociésemos la potencia absorbida por la muestra.
- ➔ Medida de las propiedades dieléctricas del suelo en función de la temperatura, el contenido de humedad y de las semillas a tratar.
- ➔ Pruebas de radiación sobre suelos con semillas a distintas profundidades, con diversos contenidos de humedad. En dichas pruebas se debería medir la distribución de temperaturas en el suelo con la profundidad, y en las muestras introducidas (semillas, insectos). De esta manera se podría determinar bajo qué condiciones se produce el calentamiento selectivo en condiciones reales.

El objetivo del presente trabajo ha sido observar la influencia de la radiación de microondas sobre la germinación de semillas a diferentes profundidades en un suelo irradiado superficialmente. Inicialmente con un horno microondas doméstico de 660 W de

potencia de radiofrecuencia (rf) y posteriormente con un prototipo industrial de 4 kW de potencia rf con un sistema de distribución de onda con guía ranurada que nos permitiera tratar una superficie grande de suelo aproximándonos más a una posible aplicación práctica.

Estas observaciones permitirán determinar la dosis letal de radiación para estas especies en función de la profundidad y la humedad a la que se encuentre el suelo.

Se parte de la hipótesis de que la radiación de las microondas produce calentamiento exclusivamente del agua retenida en las semillas. El incremento de la temperatura dependerá del flujo radiante que recibe el suelo en superficie y del contenido de agua en sus distintos puntos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Pruebas preliminares en horno microondas de laboratorio

Con objeto de determinar el efecto de la radiación sobre suelos y sustratos agrícolas con malas hierbas, se realizaron los siguientes trabajos preliminares.

Mediante un horno microondas de laboratorio de 660 W de potencia rf se irradiaron 5 tipos de suelos; arena, sustrato comercial y tres suelos francos de huerta mediterránea. Suelo 1: Arena de cultivos intensivos en invernaderos procedentes de Almería. Suelo 2: Procedente de Murcia. Sustrato comercial, con un 36% de materia orgánica. Suelo 3: arena 63,8%, limo 20,8%, arcilla 15,4%. Procedente de Almenara (Castellón) Suelo 4: arena 51,0%, limo 31,4%, arcilla 17,6%. Procedente de Godolleta (Valencia) Suelo 5: arena 47,0%, limo 27,6%, arcilla 25,4%. Procedente de Guadassuar (Valencia)

De cada tipo de suelo se obtuvo su constante dieléctrica y su factor de pérdidas usando el método coaxial. Estos datos condicio-

nan el comportamiento del suelo cuando se irradia, es decir, el porcentaje de radiación que se absorbe, transmite y refleja. Se evaluaron los suelos con diferentes contenidos de humedad.

En estos suelos se dispusieron 50 semillas de las malas hierbas. Se trabajó con *Sinapis alba* (mostaza blanca) (dicotiledónea) y *Setaria verticillata* (Amor del hortelano o hierba lagartera) y *Lolium perenne* (Ray-grass inglés) (monocotiledóneas). De cada combinación de suelo-mala hierba se pusieron 100 g en vasos de propileno que se introdujeron en el horno probando diferentes tiempos de irradiación.

Después de la irradiación, se depositó el contenido de cada vaso y testigos no irradiados en sus respectivas bandejas de germinación y se introdujeron en un cámara climática a 25 °C con 8 horas de luz y una humedad relativa de 80 % para su óptimo crecimiento, determinándose el porcentaje de germinación a los 14 días de tratamiento.

#### Pruebas en horno industrial (prototipo)

El horno microondas de experimentación es un prototipo diseñado por el Grupo de

Calentamiento por Microondas de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia y la Universidad de Cartagena. Este horno dispone de un magnetrón de 4 kW de potencia rf Cober Electronics inc. Modelo LBM 1.2. Sus dimensiones son de 100cm x 57,5cm x 38cm y capacidad aproximadamente para 200 kg de suelo.

El horno utiliza un sistema de distribución por guía de ondas ranurado dispuesto de forma longitudinal en una banda lateral. La distancia de la primera ranura del guía de ondas al emisor de radiación es de 26 cm.

Dicho horno está perforado lateralmente por una matriz de orificios que permiten colocar los sensores de temperatura, permitiendo realizar las determinaciones de la humedad relativa, y colocar las semillas a irradiar a diferentes profundidades, sin necesidad de abrir el horno.

Dicha matriz de orificios laterales es de 6 filas y 6 columnas. Las filas están separadas 5 cm y las columnas 10 cm por lo que se puede determinar la temperatura y humedad a una profundidad de 0, 5, 10, 15, 20 y 25 cm.



Figura 1: Horno prototipo



Figura 2: Guía de ondas

La instalación se completa con un Alimentador SM 1545-A para magnetrones de 4000 vatios y Temporizador digital modelo XTD 303 de dos tiempos, con un rango de trabajo de 0,01 segundos a 99,9 horas. Conectado en serie al sistema de alimentación.

La primera parte de la investigación se centra en el estudio del funcionamiento de la máquina y su eficacia en el calentamiento sobre un suelo agrícola con la finalidad de considerar diferentes aplicaciones como la desinfección o eliminación de semillas de malas hierbas.

Para la determinación de la potencia de radiofrecuencia disponible se utilizó un Medidor de potencia rf emitida, reflejada y absorbida. La potencia aprovechable en el incremento de temperatura del agua en las semillas es de 3,5 vatios/cm<sup>2</sup>.

Con el horno prototipo se realizaron las siguientes determinaciones con el suelo número 3 de los ensayos preliminares.

#### a) Determinación de la Temperatura

Para la lectura de la temperatura en los diferentes puntos del suelo se utilizó Termopares con 250 mm de longitud y 0,5 mm de diámetro, de Cromel y Alumen con Oxido de magnesio, encamisados con una vaina de inconel, aleación de acero que soporta hasta 1500°C. Su tolerancia de error es de  $\pm$  °C.

Las temperaturas captadas por los termopares eran registradas cada 20 segundos en un sistema de adquisición de datos DARWIN modelo DC-100,

Los termopares se dispusieron entre las semillas y en contacto con el suelo a diferentes profundidades para registrar la temperatura en los alrededores del material irradiado. Esta temperatura nos permitió comparar tratamientos aunque no sea la temperatu-

ra exacta que se alcanza en el interior de las semillas.

#### b) Humedad Relativa del suelo

Se determinó la humedad relativa del suelo antes y después de cada experimento en superficie y a 5 cm de profundidad. Para ello se utilizó estufa, desecador y balanza de precisión.

#### c) Porcentaje de germinación

Se utilizó semillas de *Lolium perenne* (ray-grass ingles) y *Brassica napus* var. *oleífera* (colza) para determinar la influencia de la radiación en la germinación en dos situaciones distintas: secas y mojadas.

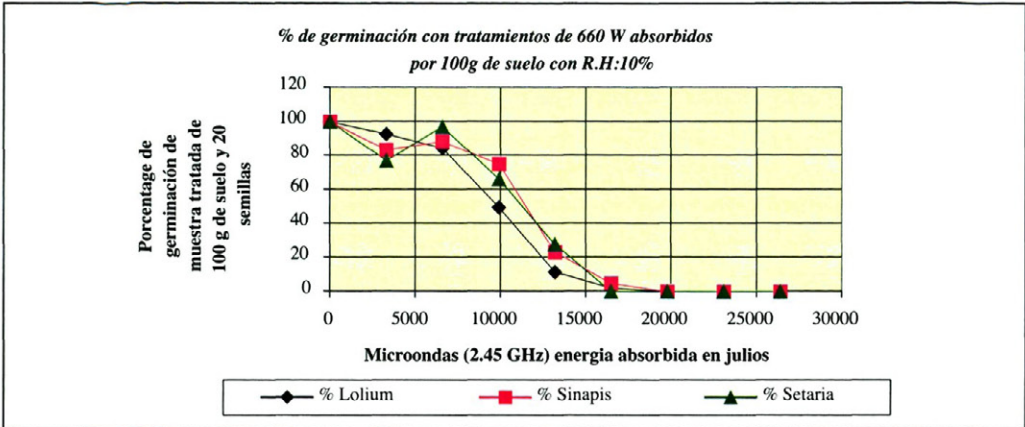
En cada experimento tres grupos de cincuenta semillas se colocaron en tubos de teflón que cruzan el suelo dentro del horno de parte a parte entre los orificios de la matriz de las paredes. Las semillas se dispusieron en superficie y a profundidades de 5 y 10 cm

El teflón es un material transparente a las microondas por lo que no ejerce ninguna influencia la transferencia de radiación a las semillas aumentando su temperatura.

El suelo se irradió superficialmente durante periodos variables de tiempo a la potencia determinada ( $3,5 \text{ Wcm}^{-2}$ ) y por tanto las semillas se vieron afectadas por diferentes irradiaciones de energía. Posteriormente se colocaron en cámaras de cultivo a 25 ° C con 8 horas de luz y una humedad relativa de 80 % sobre papel de filtro tal y como indican las normas internacionales para el análisis de semillas.

Se comprobó la germinación de las mismas a los 14 días. Una semilla se consideró germinada cuando se observa perfectamente la plúmula y la radícula.

Estas determinaciones nos permitieron conocer la dosis letal de radiación necesaria sobre el suelo para las semillas.



**Figura 3.** Porcentaje de germinación de *Setaria*, *Lolium* y *Sinapis* en función de la energía absorbida por irradiación en un microondas de laboratorio.

Nota: Cada punto de la figura 3 es la media del porcentaje de semillas germinadas en cada tipo de suelo en los que se realizaron 5 experimentos en cada uno.

*d) Análisis estadístico*

Se realizó un análisis de varianza con un nivel de confianza del 95% para determinar la influencia de los distintos factores sobre el poder germinativo de las especies ensayadas y un análisis multivariante con el objeto de establecer las posibles correlaciones existentes entre los distintos parámetros de los ensayos.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Pruebas preliminares**

Los ensayos preliminares en el horno de laboratorio pusieron de manifiesto que la letalidad de las semillas se producía con tiempos pequeños y que dependía más directamente del contenido de humedad del suelo y la semilla que del tipo de suelo, excepto en arena en que la temperatura alcanzada era muy baja.

El suelo con mejores características para favorecer el calentamiento fue el sustrato comercial.

En esta figura 3 se observa que para todas las especies ensayadas, a partir de

9900 julios de irradiación, cae el poder germinativo hasta anularse a partir de 20000 julios de irradiación.

Estos ensayos llevaron a probar el efecto de la radiación microondas sobre un suelo franco convencional, típico de huerta mediterránea (suelo 3), bajo un sistema de distribución de ondas que nos permitiera tratar una superficie grande de suelo aproximándonos más a una aplicación práctica.

**Pruebas en horno industrial**

a) Influencia de la temperatura

Cuando se irradia el suelo por su parte superficial la temperatura máxima se alcanza a 5 cm de profundidad y no en superficie, como a simple vista se podría pensar. Esto es debido a que en la superficie, parte de la energía microondas se transforma en calor latente produciéndose procesos de evaporación.

Sin embargo, a 5 cm de profundidad, aunque también se produce evaporación, el agua retenida en el suelo de capas inferiores se concentra debido a movimientos verticales de vapor.



Figura 4: suelo antes del tratamiento

El incremento de temperatura a partir de los 10 cm no supera los 20°C por lo que puede considerarse que a partir de tales profundidades el tratamiento no es eficaz.

La distribución superficial de temperaturas proporcionada por la emisión de microondas a través del guía ondas de ranurado indica que existen puntos de alta concentración de calor en el suelo frente a otros puntos cercanos donde la radiación ha sido más moderada. (fig 4 y 5)

La desecación de estos puntos de calor es fácilmente observable ya que aparecen manchas superficiales de suelo seco.

El mayor incremento de temperatura alcanzado para 5 minutos de radiación en el suelo con un 10 % de humedad relativa es de 65°C, a 5 cm de profundidad. Siendo la temperatura media inicial de 15°C la temperatura máxima media alcanzada es de 80°C en estos puntos. No obstante se prevé que el incremento de temperatura en interior de las semillas ha sido superior.

En las figuras 6 y 7 se observa la relación entre el poder germinativo (PG) y la temperatura medida por el termopar, comprobándose que el poder germinativo disminuye con la temperatura siempre que ésta sea superior a un umbral determinado para cada especie que en el caso de colza es mayor.



Figura 5: suelo después del tratamiento

Cada punto representado en la media de tres experimentos.

#### b) Evolución de la humedad

La humedad relativa del suelo sometido a ensayo es aproximadamente del 10 %. Durante el proceso de calentamiento por radiación la humedad superficial desciende de un 10 % hasta un 3 % en determinados puntos. Mientras que a una profundidad de 5 cm la humedad permanece constante.

#### c) % de germinación relativo

Como se observa en las figuras 8 y 9 a mayor energía microondas menor poder germinativo y esto es más acusado en el caso de humedecer las semillas puesto que la energía microondas actúa directamente sobre las moléculas de agua.

Cada punto representado en las figuras es la media de tres repeticiones del experimento.

#### **Análisis estadístico**

A partir de los datos de cada experimento se realiza un análisis multivariante de correlación con el que se pretende ver como influye la energía microondas sobre el poder germinativo teniendo en cuenta diversos fac-

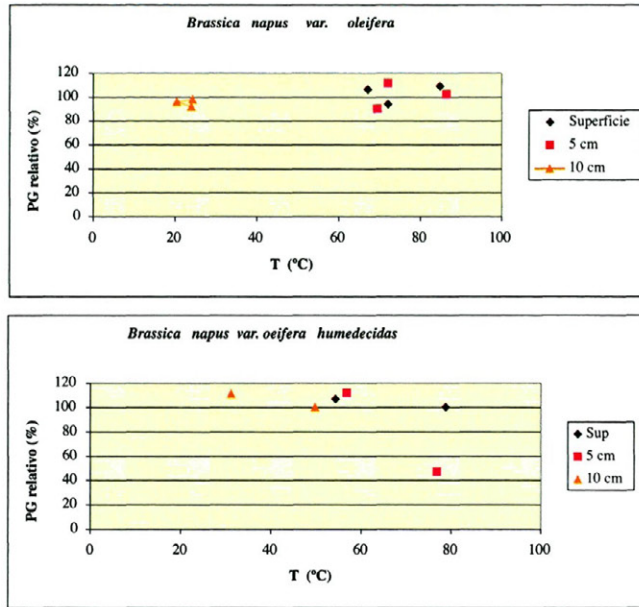


Figura 6. Relación entre el poder germinativo relativo (%) y la temperatura alcanzada (°C) tras la irradiación con 1020 J cm<sup>-2</sup> de energía microondas a semillas de *Brassica napus* var. *oleifera* secas y humedecidas, colocadas a distintas profundidades del suelo.

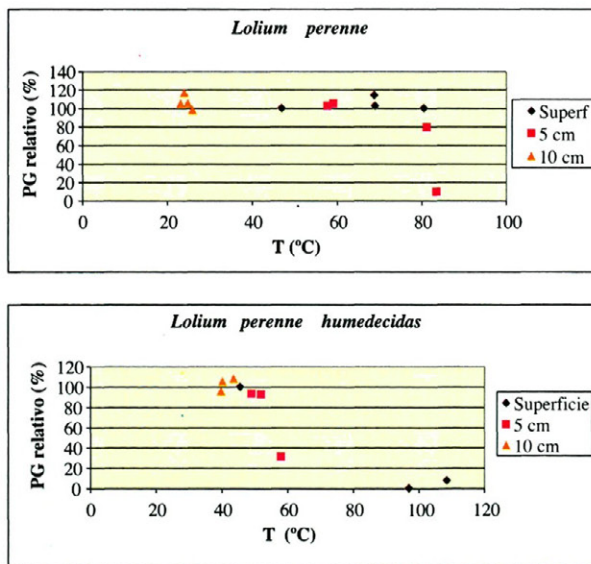


Figura 7. Relación entre el poder germinativo relativo (%) y la temperatura alcanzada (°C) tras la irradiación con 1020 J cm<sup>-2</sup> de energía microondas a semillas de *Lolium perenne* secas y humedecidas colocadas a distintas profundidades del suelo.

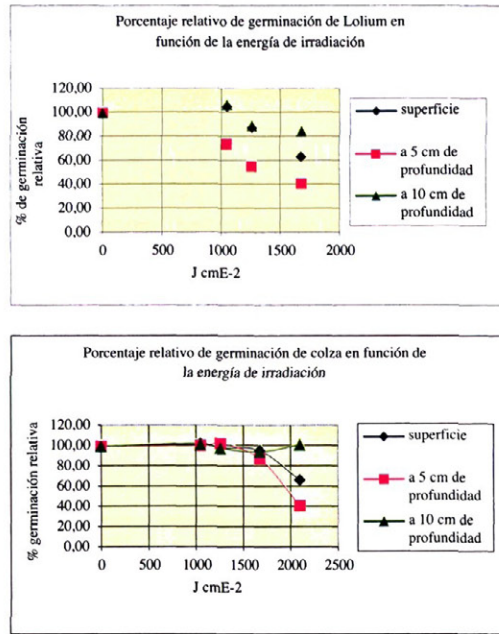


Figura 8. Porcentajes de germinación relativos de las semillas de *Lolium* y colzas irradiadas con diferentes energías microondas

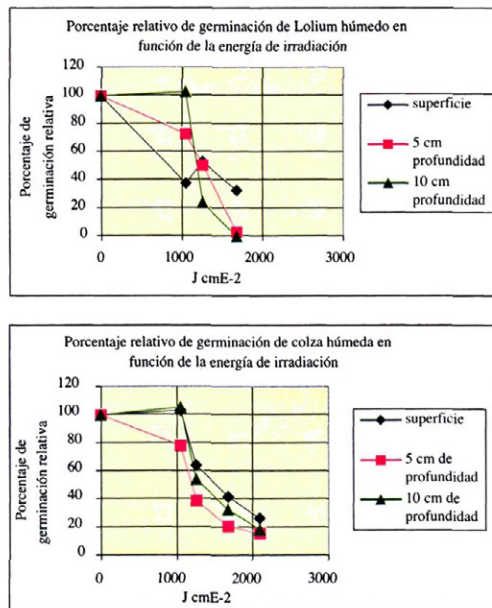


Figura 9. Porcentajes de germinación relativos de las semillas de *Lolium* y colza húmedas irradiadas con diferentes energías microondas



**Tabla 1. Matriz de correlación de los distintos factores estudiados de las semillas de *Lolium perenne* tras ser irradiada con 1020 J cm<sup>-2</sup> de energía microondas.**

	Semillas <i>Lolium perenne</i>			Semillas <i>Lolium perenne</i> humedecidas		
	PG	Ta	Hsuel	PG	Ta	Hsuel
PG	1			1		
Ta	-0.54	1		-0.88	1	
Hsuel	-0.35	0.19	1	-0.30	0.60	1

Nota: PG: porcentaje de germinación, Ta: temperatura alcanzada, Hsuel: humedad del suelo

tores que afectan a este, como son la especie en cuestión, localización de las semillas en el suelo y si éstas están secas o húmedas.

Como podemos observar en la tabla 1, no aparecen correlaciones lo suficientemente significativas entre los distintos factores estudia-

dos en el caso de semillas secas, pero podemos observar una correlación negativa entre la temperatura alcanzada y el poder germinativo. En el caso de semillas humedecidas, se ve una correlación positiva entre la temperatura y la humedad del suelo y una negativa entre la temperatura y el poder germinativo.

**Tabla 2. Matriz de correlación de los distintos factores estudiados de las semillas de *Brassica napus* var. *oleifera* secas y humedecidas, tras ser irradiada con 1020 J cm<sup>-2</sup> de energía microondas.**

	<i>Brassica napus</i> var. <i>oleifera</i>			<i>Brassica napus</i> var. <i>oleifera</i> humedecida		
	PG	Ta	Hsuel	PG	Ta	Hsuel
PG	1			1		
Ta	0.07	1		-0.61	1	
Hsuel	0.07	0.50	1	-0.18	0.88	1

Nota: PG: porcentaje de germinación, Ta: temperatura alcanzada, Hsuel: humedad del suelo

Como se observa en la tabla 2 no aparecen correlaciones suficientemente significativas entre los distintos factores estudiados en el caso de semillas secas, pero en el caso de semillas humedecidas sí existe una correlación negativa entre el poder germinativo y la temperatura y positiva con respecto a la humedad del suelo.

Como se observa en la tabla 3, ambas especies no presentan diferencias entre ellas estadísticamente significativas. El hecho de que la semilla esté seca o húmeda influye directamente sobre el poder germinativo disminuyendo este significativamente cuando las semillas están húmedas. También la energía utilizada y la localización de las

**Tabla 3. Análisis de varianza con un nivel de confianza del 95% de todos los ensayos realizados con las dos especies y las diferentes energías microondas.**

	PG (en función de localización)	PG (en función de energía)	PG (en función de la humedad de la semilla)	PG (en función de la especie)
Testigo	86.80 a	1020 Jcm <sup>-2</sup>	80.83 a	Seca 79.63 a
Superficie	60.21 b	1224 Jcm <sup>-2</sup>	66.22 b	Húmeda 47.81 b
5 cm	44.90 c	1632 Jcm <sup>-2</sup>	58.48 bc	Lolium 59.34 a
10 cm	61.90 b	2040 Jcm <sup>-2</sup>	53.26 c	Colza 67.71 a

Letras iguales no difieren estadísticamente con un nivel de confianza del 95% el Test de Fisher

semillas en el prototipo industrial muestran diferencias, siendo más efectivo el tratamiento microondas de mayor energía ( 2040 Jcm<sup>-2</sup> ) y colocando las semillas a 5 cm de profundidad.

### CONCLUSIONES

1) Estos ensayos ponen de manifiesto que en volúmenes grandes de suelo se produce mucha atenuación en la transferencia de energía a profundidades superiores a 5 cm. Lo que obliga a trabajar con capas de suelo de este espesor para realizar tratamientos eficaces.

Este espesor mejoraría el rendimiento ya que no se aprovecha en el prototipo ensayado la energía absorbida por profundidades mayores.

2) La energía de las microondas a partir de la cual se produce una disminución de la germinación es de 1000 Jcm<sup>-2</sup> en *Lolium* y 1500 Jcm<sup>-2</sup> en colza. Cuando éstas son previamente humedecidas esta energía es mucho más eficaz en el control de la germinación.

3) Existe una correlación negativa entre el porcentaje de germinación y la temperatura final, y positiva con respecto a la humedad del suelo.

4) El sistema de distribución mediante guía de ondas ranurado dispuesto de forma longitudinal permitiría tratar suelos o sustratos en bandas de 15-20 cm que se desplazan en la dirección de la guía. Este tratamiento requeriría varias guías paralelas para mejorar la uniformidad transversal.

### ABSTRACT

VELÁZQUEZ-MARTÍ B., J.M. OSCA, C. JORDÁ, A. MARZAL. Study of viability on the destruction of weed seeds in the soil by microwave radiation. *Bol. San. Veg. Plagas*, **29**: 53-62.

This work has been carried out to study the thermic effects over weed seeds in typical orchard soil irradiated by its surface with microwave.

A previous treatment was carried out in a domestic microwave oven, using 660-watt power. With this laboratory oven, we have investigated three kind of weed seeds: *Lolium perenne*, *Sinapsis alba* and *Setaria sativa*. These previous experiments showed a important decrease of germination with short irradiating times.

After previous treatment, a microwave applicator, designed to achieve wide distribution of superficial irradiation energy, was evaluated. This applicator is powered by a 4-kilowatt magnetron through a slotted waveguide. With this oven, we have investigated two kind of weed seeds at several depths: *Lolium perenne* and *Brassica napus* var. *oleifera*.

For a soil column, temperature increments reduce seeds germination to a maximum of 5 centimetres. Deeper, the increments of temperature are very low for short irradiating times, so it will be negligible for our purpose.

This applicator lets approach better to real treatments focused into the development of a continuous microwave oven for disinfecting seedbed and greenhouse crop substratum.

**Key words:** weed, microwave, disinfection

### REFERENCIAS

- BARKER A.V., CRAKER L.E. 1991. Inhibition of weed germination by microwaves. *Agronomy Journal* **83**: 302-305.
- OLSEN R. 1975. A theoretical investigation of microwave irradiation of seeds in soil. *Journal of Microwave Power* **3**: 281-296.
- NELSON S.O. 1985. RF and microwave energy for potential agricultural applications. *Journal of Microwave Power* **20**. ( 2): 65-70.

NELSON S.O. 1996. A review and assessment of microwave energy for soil treatment to control pests. *Transactions of the ASAE* **39** (1): 281-289.

DAVIS F., WAYLAND J., MERKLE M. 1971. Ultrahigh-frequency electromagnetic fields for weed control: phytotoxicity and selectivity. *Revista Science* **173**: 535-537.

(Recepción: 11 abril 2002)

(Aceptación: 2 octubre 2002)