

UNIVERSIDAD DE SEVILLA
FACULTAD DE BIOLOGIA

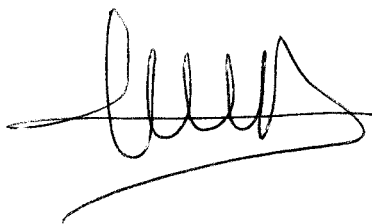
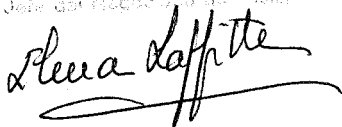
INFLUENCIA DE LA DESINFESTACION DE SUELOS EN LA PRODUCCION
DE PLANTAS DE FRESON

UNIVERSIDAD DE SEVILLA
SECRETARIA GENERAL

Quinta. Original con Dña. Dolores
al Yca. 58 Libros 41 del libro
correspondiente. 16 JUN 1992
Sevilla.

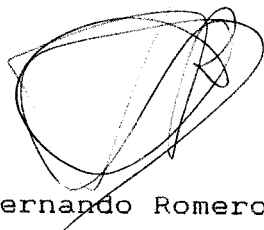
Trabajo presentado para optar
al grado de Doctor en Biología
por María José Diéguez Gisbert

El Jefe del Departamento de Biología



EL DIRECTOR

EL TUTOR



Dr. Fernando Romero Muñoz

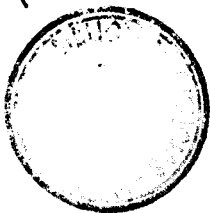


Prof. Dr. Salvador Talavera
Lozano

JUNIO 1992

TD 179

R. 11694



A Alfonso, a María y
a Blanca

2.2.3.2.2. Efecto boomerang	20
2.2.3.2.3. Residuos	22
2.3. <u>Solarización de suelos</u>	23
2.3.1. Principios de la técnica	24
2.3.2. Efectos de la solarización	26
2.3.2.1. Control de hongos patógenos de suelo	26
2.3.2.2. Aumento del crecimiento y producción	30
2.3.3. Mecanismos de control	33
2.3.3.1. Control físico	33
2.3.3.2. Control biológico	35
2.3.3.3. Control químico	38
3. MATERIAL Y METODOS	40
3.1. <u>Material vegetal</u>	41
3.2. <u>Diseño y preparación de las experiencias de campo</u>	41
3.2.1. Tratamientos	44
3.2.1.1. Solarización	44
3.2.1.2. Bromuro de metilo+cloropicrina (67%+33%)	45
3.2.1.3. Bromuro de metilo+cloropicrina (98%+2%)	45
3.2.1.4. Fungicidas	46
3.2.2. Recogida de muestras de suelo	46
3.2.3. Medida de las temperaturas del suelo	47
3.2.4. Influencia de los tratamientos en la fenología	47
3.2.5. Efecto de los tratamientos sobre la producción	48
3.3. <u>Experiencias en invernadero con suelos desinfestados</u>	48
3.3.1. Tratamientos del suelo	49
3.3.2. Influencia de los tratamientos en la fenología	50
3.3.3. Efecto de los tratamientos sobre la producción	50
3.4. <u>Aislamientos de Pythium sp. del suelo</u>	50

3.5. <u>Determinaciones analíticas</u>	51
3.5.1. Conductividad eléctrica y Ph	51
3.5.2. Textura	52
3.5.3. Materia orgánica	52
3.5.4. Cloruros	52
3.5.5. Nitrógeno total	53
3.5.6. Fósforo	53
3.5.7. Cationes de cambio	54
3.5.8. Microelementos	54
3.6. <u>Análisis estadístico</u>	55
4. RESULTADOS Y DISCUSION	56
4.1. <u>Influencia de los tratamientos de desinfestación en el desarrollo fenológico de plantas de fresón.</u>	57
4.1.1. Plantas crecidas en macetas	57
4.1.2. Plantas crecidas en campo	57
4.2. <u>Influencia de los tratamientos sobre la cosecha</u>	61
4.2.1. Calidad del fruto	61
4.2.1.1. Experiencias de invernadero	61
4.2.1.2. Experiencias de campo	63
4.2.2. Producción	66
4.2.2.1. Desinfestación con bromuro de metilo+ cloropicrina (98%+2%) en caliente	66
4.2.2.2. Desinfestación con bromuro de metilo+ cloropicrina (67%+33%) en frío	71
4.2.2.3. Solarización del suelo	84
4.2.2.4. Tratamientos con fungicidas	85
4.2.2.5. Producciones obtenidas en macetas con suelos desinfestados mediante bromuro de metilo+	

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Fernando Romero Muñoz, Director de esta Tesis, por su gran ayuda y dedicación.

A D. Antonio Medina, propietario de la finca Las Madres y pionero del cultivo del fresón en Huelva, que facilitó desinteresadamente los medios para la realización de gran parte de este trabajo.

A D. Bernardo Trigo, Ingeniero Técnico Agrícola de la finca Las Madres por su inestimable ayuda en los trabajos de campo, agradecimiento que hago extensivo al resto del personal de Sur Hortícola S.A. que participó en los mismos.

A D. José Yáñez, de Fertilizantes Españoles S.A., por su colaboración en los análisis químicos de suelo.

A D. Manuel Mohino y D. Juan Andrés Navas, Ingenieros Técnicos Agrícolas, por su ayuda en los trabajos de campo realizados en la Escuela de Capacitación y Experimentación Agraria de Chipiona.

A todos mis compañeros del Laboratorio de Patología Vegetal del C.I.D.A. de Sevilla, porque su constante estímulo y su amistad hicieron el trabajo mas agradable.

A todas las personas que no he nombrado, pero que de alguna manera han contribuido a la realización de esta Tesis, y, muy especialmente, a Alfonso Sanz.

ABREVIATURAS

ANVAR: Análisis de la varianza

BM: Bromuro de metilo

c.e.: Conductividad eléctrica

CP: Cloropicrina

gl: Grados de libertad

MDS: Mínima diferencia significativa

m.o.: Materia orgánica

mS: Milisiemens

ns: No significativo

NPP: Número de propágulos de *Pythium* sp.

ppm: Partes por millón

SS: Solarización de suelos

1. I N T R O D U C C I O N

La superficie cultivada de fresón en España se ha incrementado con los años hasta 1987, en que se estabilizó aproximadamente en 10000 ha. Mas de la mitad de esta superficie corresponde a Andalucía, siendo Huelva la provincia de esta Comunidad Autónoma con mayor extensión, el 92% del total en 1988 (A.E.A., 1990).

La producción española de 1988, cifrada en 227300 T, alcanzó un valor de 30000 millones de pesetas. Tanto por su alto rendimiento económico como por la gran cantidad de mano de obra necesaria para las fases de preparación y recolección, el cultivo del fresón es considerado de alto interés social, aunque para mantener la situación de auge del mismo es preciso mejorar los factores que determinan tanto la calidad como el nivel productivo.

Uno de los principales factores limitantes para el cultivo del fresón es el propio suelo, que generalmente no reúne las condiciones adecuadas, por ser una planta muy sensible a la presencia de microorganismos en el mismo.

Para el desarrollo del presente trabajo se consideraron dos métodos de desinfestación del suelo, uno químico y otro físico-biológico. El primero constituido por productos químicos de síntesis asociados, con diferente capacidad biocida, y el segundo utilizando la acción selectiva sobre los microorganismos del suelo, de la radiación solar, planteando para ello los siguientes objetivos:

- Determinación del efecto cualitativo y cuantitativo de los diferentes tratamientos de suelo en la producción de fresón.

- Determinación de los mecanismos a través de los cuales se originan los efectos indicados, considerando fundamentalmente los cambios químicos y las variaciones de la población de *Pythium sp.* en suelo.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. El fresón

2.1.1. Clasificación e historia.

El fresón (*Fragaria ananassa*, Duch.) pertenece a la familia de las rosáceas. Las especies europeas de *Fragaria* son dioicas y de frutos pequeños, y aunque fueron citadas por griegos y romanos, su cultivo extensivo no comenzó hasta el siglo XIV en el caso de *F. vesca* y dos siglos después en el de *F. moschata* (Wilhelm & Sagen, 1975).

Las especies americanas, *F. virginiana* y *F. chiloensis*, son octoploides y dioicas, y han sido las progenitoras del fresón actual. *F. virginiana* era cultivada por los indios norteamericanos antes de la llegada de los europeos, y sus frutos ácidos y blandos se usaban para condimentar el pan y preparar bebidas. Las semillas se llevaron a Europa, donde empezaron a cultivarse en 1624, seleccionándose ejemplares hermafroditas. Esta especie, aunque de pequeño fruto, fue muy popular, llegando a existir hasta 30 cultivares (Jones, 1979). Aunque en Europa se reemplazó totalmente por *F. ananassa*, se puede encontrar todavía en huertos del este de EEUU (A.P.S., 1985). *F. chiloensis*, la fresa de Chile, era cultivada por los indios de este país, principalmente para la elaboración de vino, y fue llevada por los españoles hasta Perú y Ecuador. Los frutos eran grandes, firmes y resistentes a la sequía, y la propagación se hacía de forma vegetativa. Por este motivo,

su introducción en Europa, en 1714, no fué en forma de semilla, sino de planta entera, resultando que todas las plantas que sobrevivieron eran femeninas, por lo que permanecieron sin fructificar. Alrededor de 1740 se observó que cuando las plantas "estériles" de *F. chiloensis* se plantaban cerca de plantas de *F. virginiana*, se obtenía una buena fructificación. Las primeras plantas de semillas de este cruce se obtuvieron y seleccionaron en un jardín botánico (Wilhelm & Sagen, 1975).

La nueva fresa, llamada "fresa piña", fué descrita por Miller en 1759, considerando que era una variante de *F. chiloensis*, aunque hermafrodita y con frutos de mayor tamaño y sabor distinto a los de ésta. Duchesne en 1766 comprobó sus semejanzas tanto con *F. chiloensis* como con *F. virginiana*, sugiriendo que se trataba de un híbrido. De esta manera, el origen de la especie actual *F. ananassa* fué un cruce totalmente al azar entre dos especies de *Fragaria* (Jones, 1979).

El primer cultivar comercial, "Longwoth's prolific", autofertil y de grandes frutos, fué obtenido en 1867 y con él comenzó la producción masiva de fresón.

2.1.2. Características de la planta y el fruto.

La planta de fresón es de tipo herbáceo y perenne. Su tallo, llamado también corona, es cilíndrico y corto (2-3 cm), y de él salen las hojas trifoliadas y las yemas axilares. Dependiendo de las condiciones ambientales, las

yemas pueden permanecer en dormancia o desarrollarse dando lugar a coronas o estolones.

Las hojas, cuyo periodo de vida oscila entre uno y tres meses, tienen un gran número de estomas ($300-400/\text{mm}^2$), por lo que pueden perder gran cantidad de agua por transpiración.

Las inflorescencias del fresón se pueden desarrollar a partir de una yema terminal del eje primario o corona principal, o de yemas axilares de las coronas secundarias. La ramificación de la inflorescencia puede ser basal o distal. En el primer caso aparecen varias flores de porte similar, mientras que en el segundo sólo una flor terminal o primaria y otras secundarias y terciarias de menor tamaño. La flor tiene 5-6 pétalos, 20-35 estambres y varios cientos de pistilos sobre un receptáculo carnoso. Cada óvulo fecundado da lugar a un fruto de tipo aquenio. El desarrollo de los aquenios, distribuidos por la superficie del receptáculo carnoso, estimula el crecimiento y la coloración de éste, dando lugar al mal llamado "fruto" del fresón.

El sistema radicular se compone de raíces perennes y raicillas nutricias. Las primeras presentan cambium vascular y suberoso, mientras las segundas carecen de este. Las raicillas nutricias, de color mas claro, tienen un período de vida corto, oscilando entre varios días o semanas, después del cual entran en senescencia y mueren. Su reemplazo se produce por otras que nacen en el lugar de las muertas. Así, el proceso de recambio es totalmente

fisiológico, pero puede estar influenciado por factores ambientales, patógenos de suelo, etc., que rompen el equilibrio. Las raíces primarias también pueden entrar en senescencia y morir a medida que la planta madura, aunque suelen crecer nuevas raíces adventicias de la corona. La profundidad del sistema radicular es muy variable, dependiendo, entre otros factores, del tipo de suelo y la presencia de patógenos en el mismo. En condiciones óptimas pueden alcanzar los 2-3 m, aunque lo normal es que no sobrepasen los 40 cm.

Los estolones nacen de las yemas axilares de las hojas sobre la corona. En el extremo del estolón se origina una planta hija, provista de hojas y raíces, que se desarrollan rápidamente al ponerse en contacto con un suelo húmedo. La aparición de estolones está favorecida por el fotoperíodo de día largo, y su número y longitud dependen tanto de condiciones ambientales como varietales. Las plantas procedentes de estolones han sido el material tradicional de propagación del fresón. Recientemente, este sistema está siendo reemplazado por plantas obtenidas mediante cultivo de tejidos *in vitro*, con lo que se garantiza material libre de virus y otros patógenos.

2.1.3. Cultivares de fresón. Características del cultivar Chandler.

Desde un punto de vista agronómico, los cultivares de fresón se pueden clasificar en tres grupos:

reflorecientes o de día largo, no reflorecientes o de día corto, y remontantes o de día neutro. La floración en los dos primeros casos se induce por un determinado fotoperíodo, mientras que este factor no interviene en el tercero. En cualquier caso, no solo influye el fotoperíodo, sino las temperaturas u horas de frío que soporta la planta (Welch et al., 1982).

El cultivar Chandler, perteneciente a las no reflorecientes, fué seleccionada en la Universidad de California (EEUU) en 1979. El fruto es de forma cónica alargada y gran tamaño, que se mantiene a lo largo de todo el periodo de recolección. El color es rojo intenso brillante, y la carne, dulce y muy aromática, es de gran consistencia, lo que evita problemas en la manipulación y el transporte (Martinez Cortes, 1985).

2.2. Desinfestación química de suelos

La desinfestación del suelo consiste en la aplicación al mismo, generalmente antes de su cultivo, de algún agente biocida de naturaleza física o química. Esta técnica se ha empleado tanto para el control de hongos como para el de ácaros, nematodos, insectos y malas hierbas.

2.2.1. Historia.

La desinfestación del suelo con productos químicos,

llamada fumigación cuando estos son volátiles, tiene más de un siglo de antigüedad.

Las primeras aproximaciones a esta técnica se hicieron en Francia, en 1869, debido a que el áfido *Phylloxera vastatrix* había empezado a devastar las viñas europeas, causando una situación de desastre económico especialmente en Francia. En esta fecha, Paul Thenard concibió la idea de utilizar sulfuro de carbono (CS_2), empleado con anterioridad como insecticida en graneros, en las primeras pruebas de fumigación del suelo contra *P. vastatrix*, resultando positivas en el control de la plaga pero negativas para la planta, ya que el tratamiento ocasionaba desfoliación (Tietz, 1970). Sin embargo, nuevos estudios demostraron que el CS_2 a las dosis adecuadas no sólo actuaba como biocida, sino que podía estimular el crecimiento de las plantas y favorecer su productividad.

Con posterioridad, Storm en 1907 puso de manifiesto que la aplicación al suelo, antes de la plantación, de productos tóxicos para las plantas tales como formaldehído, cloroformo, xileno, tolueno y fenol, originaban similares efectos estimulantes sobre las plantaciones a los observados con el CS_2 (Tietz, 1970).

Después de la I Guerra Mundial, se descubrió que en las zonas contaminadas con el gas lacrimógeno cloropicrina (CP), las plantas sufrían una fuerte estimulación del crecimiento. Este hecho, unido a que había que buscar algún uso para los excedentes de CP, propició las investigaciones sobre utilización de esta sustancia para desinfestación de

suelos. Russel (1920) hace referencia a su marcado efecto sobre la productividad del suelo, ya que induce en la planta un desarrollo extraordinario del sistema radicular. Unos años más tarde Matthews (1924) descubre que la CP tiene unas excelentes propiedades como insecticida, nematocida y fungicida, pudiendo devolver a los mal llamados "suelos enfermos" su antigua productividad, e incluso aumentarla.

La CP comenzó a utilizarse en viveros para tratamiento de suelos, aunque planteando problemas de tipo práctico: los vapores son nocivos e irritantes, el líquido es difícil de manejar y embalar en contenedores al ser corrosivo para los metales, y además su precio es muy elevado. Por estos motivos, el uso de CP no se generalizó, centrándose el interés de los investigadores en otros productos.

En los años cincuenta empezaron nuevamente las investigaciones para el uso de CP al demostrarse que era capaz de controlar la verticilosis, principal problema del cultivo del fresón en aquella época (Wilhelm & Koch, 1956). El descubrimiento de nuevas formas de manufacturar la CP, abaratando sus costes, y la dilución del producto puro hasta obtener una solución no corrosiva, generalizaron su uso, llegando hasta nuestros días.

El bromuro de metilo (BM), otro fumigante de suelos muy utilizado actualmente, comenzó a emplearse en los años treinta, al descubrirse sus excelentes propiedades como insecticida, pasando después a usarse en fumigación de suelos para el control de *Drobanche* sp. (Gandy & Chanter,

1976) y frente a diferentes tipos de malas hierbas, impidiendo la germinación de sus semillas. Las investigaciones de Munnecke y Ferguson (1953) demostraron la eficacia del BM como fungicida de suelos.

Durante 1957 y 1958 se concibió y probó la idea de mezclar BM con CP. Los primeros resultados experimentales, indican claramente que el BM aumenta las propiedades fungicidas de la CP, es decir, que la mezcla de ambos tiene carácter sinérgico (Wilhelm et al., 1961). Además, en estos tratamientos se consiguió un excelente control herbicida.

2.2.2. Desinfestación de suelos para el cultivo del fresón.

La necesidad de la desinfestación del suelo para este cultivo surgió en California, después de un período de 80 años de cultivo intensivo, durante el que aparecieron graves problemas de suelo que impedían alcanzar las productividades potenciales de las diferentes variedades.

El cultivo intensivo de fresón comenzó en California alrededor de 1880 (Wilhelm & Sagen, 1975). En 1920 las producciones alcanzaban sólo la cifra de 2 t/ha, que con la introducción de nuevas variedades en 1950, llegó a 10-12 T/ha, siempre muy por debajo de las cosechas esperadas (Wilhelm & Paulus, 1980).

La búsqueda de nuevas zonas de cultivo era constante, desechándose suelos en los que previamente se hubieran cultivado tomates, patatas y algodón, ya que en

éstos las plantas sufrían repentinos colapsos y morían. El agente causal de esta enfermedad había sido identificado como *Verticillium* al inicio de los años 30 (Thomas, 1931). Además de la verticilosis, existían otros factores de naturaleza desconocida que impedían el uso del mismo suelo un segundo año. Este hecho fué interpretado como un agotamiento de sus nutrientes, originando un desplazamiento del cultivo desde los valles hacia las faldas de las colinas, donde los suelos sólo habían sido utilizados como pastos. Sin embargo, después de inviernos húmedos, las plantas desarrollaban la enfermedad llamada "estela roja", causada por *Phytophthora fragariae*, y morían (Wilhelm & Paulus, 1980).

La baja productividad del fresón en suelos muy fértiles para otros cultivos, y la constante aparición de enfermedades radicales propiciaron las investigaciones sobre enfermedades provocadas por patógenos de suelo, así como el estudio de sus posibilidades de control. A mediados de los años cincuenta se comprobó que la CP aplicada al suelo controlaba la verticilosis del fresón, aumentando, además, la producción (Wilhelm & Koch, 1956). Al inicio de la década de los sesenta se obtuvieron los primeros resultados experimentales del empleo de CP+BM (Wilhelm et al., 1961). La utilización masiva de esta mezcla en el cultivo del fresón comenzó después de que se desarrollara un equipo que permitía la inyección mecánica al suelo, el cual era cubierto simultáneamente con una lámina de plástico. En 1965 casi el 100% del suelo empleado para fresón en

California, era sistemáticamente tratado con BM+CP antes de cada cultivo (Wilhelm & Paulus, 1980). Los aumentos de producción y la disminución de enfermedades provocadas por patógenos de suelo fueron tan espectaculares que en la historia del cultivo del fresón en California, se distingue entre la era pre-fumigación y la era de la fumigación (Wilhelm & Paulus, 1980).

2.2.3. Efectos de la desinfestación con bromuro de metilo y cloropicrina.

2.2.3.1. Efectos beneficiosos.

2.2.3.1.1. Aumento del desarrollo de las plantas.

Este efecto se ha obtenido tanto empleando BM o CP solos, o en mezclas a diferentes proporciones.

Experiencias con BM, utilizando 11 cultivares de fresón, han puesto de manifiesto un incremento general del vigor de las plantas en relación a los controles (Moore et al., 1979). En el caso de especies arbóreas, como el limonero (*Citrus limon*), el tratamiento dió lugar a incrementos tanto en la altura como en el diámetro del tronco de los árboles crecidos en suelos fumigados (Grech, 1989).

La fumigación con CP de suelos destinados a cultivo de tabaco (*Nicotiana tabacum*) produjo un aumento del peso fresco de las hojas, que no se consiguió, sin embargo, en



tratamiento paralelo con dicloropropeno-diclorepropano (D-D). Igualmente, el tratamiento con CP en macetas donde se plantó fresón, dió lugar a plantas con hojas de mayor tamaño y de verde mas intenso, y con un sistema radicular mas desarrollado y de color mas claro (Wilhelm, 1965). En experiencias con plantas de col (*Brassica oleracea*) en macetas, se han obtenido también incrementos de crecimiento, que han llegado a ser del 109% en relación al testigo (Itoh et al., 1989).

El tratamiento con BM+CP produce incrementos del crecimiento en plantas de fresón, mientras que tratamientos con ácido N-metilditiocarbámico (Metam) o metaxanina (Metalaxil) son inefectivos (Yuen et al., 1988). El crecimiento de las raices de fresón también aumenta en suelos fumigados con esta mezcla, llegando a incrementar la densidad de raices entre un 19 y un 61% con respecto a los controles (Yuen et al., 1991).

2.2.3.1.2. Incrementos en la cosecha.

Los resultados obtenidos hacen referencia tanto a la cantidad como a la calidad de la misma.

En fresón, el tratamiento con BM+CP determinó un aumento de la producción entre 2 y 4 veces respecto al testigo (Wilhelm et al., 1961). Resultados similares se han obtenido despues, también con fresón, tanto con la mezcla de estos dos productos (Yuen et al., 1988; Yuen et al., 1991), como en suelos fumigados solo con BM (Moore, 1979).

En todos los casos los incrementos en la cosecha de fresón variaron entre un 23 y un 29%, mientras en el último se obtuvo además un aumento medio del tamaño del fruto de un 16%.

El tratamiento presiembra con CP, provoca también incrementos significativos de la cosecha de fresón, que puede llegar a ser 2-3 veces superior a la del control (Harris, 1989, 1990). Igualmente, se han observado incrementos de cosecha en lechuga (*Lactuca sativa*) y patatas (*Solanum tuberosum*), plantadas después de fresón en suelos fumigados con CP (Wilhelm, 1961), y de tabaco (*N. tabacum*) y coliflor (*B. oleracea* var. *botrytis*) (Wilhelm, 1965).

La fumigación con BM también originó incrementos de cosecha de cacahuete (*Arachis hypogaea*), que llegaron al 11% con respecto al testigo (Cheng et al., 1989), y de limón, en el que además produjo un aumento del tamaño del fruto (Grech, 1989).

2.2.3.1.3. Control de hongos patógenos de suelo.

La mayoría de las enfermedades provocadas por hongos de suelo pueden prevenirse mediante fumigación del suelo con BM o CP, pudiendo obtenerse los mismos resultados utilizando una mezcla de los mismos a dosis mas bajas (Wilhelm et al., 1961).

El tratamiento con CP de suelo infestado por *Verticillium dahliae* previno la infección y la ocurrencia de enfermedad en fresón (Wilhelm, 1961; Harris, 1989, 1990). De

igual modo ocurrió con *Pythium ultimum* en fresón, tabaco y coliflor (Wilhelm, 1965).

La sola aplicación de BM, es bastante efectiva, aunque los hongos difieren en su sensibilidad a este compuesto. Las especies de *Phytophthora*, *Pythium* y los Phycomicetos en general, resultan mucho más sensibles que *Fusarium* y los hongos formadores de esclerocios (Munnecke & Van Gundy, 1979). En el caso de *P. ultimum*, sin embargo, existe una sensibilidad diferencial entre sus diferentes estructuras. Este hongo sobrevive en el suelo como esporangios, y oosporas de pared fina y gruesa. Estas últimas no son sensibles al BM y si lo son las de pared fina y los esporangios. Las oosporas supervivientes pueden germinar en determinadas condiciones, por lo que el control de este hongo por el BM no es tan eficaz como cabría esperar (Stasz & Martin, 1988).

Aunque los hongos formadores de esclerocios son bastante insensibles al BM, se ha comprobado que con dosis altas (500 Kg/ha) se produce una disminución significativa del inóculo de *Sclerotinia sclerotium* en suelo, tanto de la viabilidad de los esclerocios como de la producción de apotecios (Ben-Yephet, 1988). Mediante fumigación con BM se ha obtenido un buen control de *F. oxysporum* f. sp. *pisi* en guisante (*Pisum sativum*) (Kraft & Wilkins, 1989), así como de *P. ultimum* en garbanzo (*Cicer arietinum*) (Trapero-Casas et al., 1990) y *Phytophthora* sp. en raíz de limonero (Grech, 1989). También se ha conseguido controlar la enfermedad de la podredumbre de la cáscara de cacahuete, en la que se cree

que intervienen varios hongos: *F. solani*, *R. solani*, *S. rolfsii*, y *P. myriotylum* (Cheng et al., 1989).

Las mezclas de BM + CP, de carácter sinérgico, controlan eficazmente *Verticillium* en distintos tipos de suelo (Wilhelm et al., 1961), así como *Ceratobasidium*, *Pythium ultimum* y *Phytophthora fragariae* en fresón (Wilhelm, 1974), *P. parasitica* en limonero (Grim & Alexander, 1971), *Fusarium* sp., *Cilindrocarpon* sp. y *Pythium* sp. en fresón (Yuen et al., 1988), *F. oxysporum* en apio (*Apium graveolens*) (Awuah & Lorbeer, 1991), *P. ultimum* y *P. irregulare* en fresón, responsables de la podredumbre negra de la raíz (Yuen et al., 1991) y distintas especies de *Fusarium*, *Phytophthora* y *Rhizoctonia*, causantes de la caída de plántulas de pino (Enebak et al., 1990). En este caso, las poblaciones de estos hongos se mantuvieron en niveles muy bajos en el suelo hasta nueve meses después del tratamiento.

2.2.3.1.4. Absorción de nutrientes por las raíces

Las raíces de las plantas crecidas en suelos fumigados tienen mayor capacidad de absorción de cloruros, fosfatos, potasio y otros nutrientes (Rovira, 1976). Este hecho parece ser consecuencia del mayor desarrollo de la raíz en suelos desinfectados, como se ha demostrado al medir su longitud en plántulas de pino (Enebak et al., 1990) y su densidad en plantas de fresón (Yuen et al., 1991), crecidas en suelos tratados. En el caso del fresón, se ha demostrado

que sólo las porciones jóvenes de las raíces, en crecimiento activo y no suberizadas, son capaces de absorber nutrientes. Estas tienen una vida corta, entran pronto en senescencia y mueren. La salud de la planta depende del equilibrio entre las raíces muertas y su reemplazamiento (Wilhelm & Nelson, 1970).

La fumigación del suelo con BM + CP afecta positivamente a la renovación de raíces y, por tanto, a la productividad de la planta. Así se ha comprobado que en suelos fumigados las plantas responden mejor a la fertilización inorgánica. Al mismo tiempo, los organismos del suelo eliminados por el tratamiento liberan nitrógeno amoniacal de sus proteínas, que se acumula en el suelo y tiende a persistir, ya que las propiedades bactericidas de los fumigantes provocan una parada temporal de la oxidación del nitrógeno amoniacal a nítrico. El nitrógeno queda en el suelo disponible para las plantas, en una forma de lenta liberación (Wilhelm & Paulus, 1980).

2.2.3.2. Efectos perjudiciales.

2.2.3.2.1. Disminución del crecimiento y fitotoxicidad.

El tratamiento de suelo con fumigantes puede provocar un efecto de fitotoxicidad en las plantas, aunque éste parece estar determinado por una respuesta varietal. Así, de tres cultivares de naranjo (*Citrus sinensis*), plantados en suelos fumigados con BM, dos resultaron

resistentes y uno mostró toxicidad (Martin, 1963).

En California, tradicionalmente, los suelos bromurados no se consideraban aptos para el cultivo de clavel (*Dianthus caryophyllus*), ajo (*Allium sativum*) y remolacha azucarera (*Beta vulgaris*). Los esquejes de clavel sufren generalmente síntomas de fitotoxicidad en suelos tratados con BM. La mayoría suele morir a los pocos días del trasplante, y los restantes presentan un pobre desarrollo y una baja productividad. Esto puede ser debido a un efecto directo del BM sobre las plantas, o a una acción indirecta del mismo, a través de su influencia en la estructura, composición y microflora del suelo, o al efecto de los productos de degradación del fumigante. En el caso del clavel parece comprobado que se debe al último factor (Kempton & Maw, 1974). Este efecto puede evitarse si después del tratamiento y antes de la siembra se efectúa un riego superior a 30 l/m².

La CP, sin embargo, no resulta perjudicial para los cultivos, siempre que se airee convenientemente el suelo antes de plantar (Munnecke & Van Gundy, 1979).

2.2.3.2.2. Efecto boomerang.

Los fumigantes de suelos pueden esterilizarlo parcialmente, creando un vacío biológico. Este hecho favorece la rápida reinvasión por hongos u otros microorganismos procedentes de suelos adyacentes o de capas profundas, que al no encontrar competidores, pueden

desarrollarse rápidamente. Se ha comprobado una rápida reinvasión por *Rhizoctonia solani* y *Pythium* sp. en suelos tratados con CP (Kreutzer, 1965).

Dentro del efecto boomerang se pueden diferenciar dos fenómenos: el cambio de enfermedad y el aumento de enfermedad.

El cambio de enfermedad ocurre cuando el tratamiento controla a un determinado patógeno, propiciando el ataque de otro distinto. Así, las aplicaciones al suelo de clorobromopreno controlan a *Sclerotium rolfsii*, agente causal de la podredumbre del bulbo de iris (*Iris* sp.), pero provocan un aumento de infecciones por *Fusarium* sp. (Haasis, 1952). Sin embargo, este fenómeno es más marcado cuando se emplean fungicidas específicos y no volátiles.

El efecto de aumento de enfermedad se manifiesta como un favorecimiento de la misma que se pretendía controlar, debido presumiblemente a la eliminación de competidores del organismo causal (Altman, 1970). En experiencias realizadas con CP (200 Kg/ha) o BM (200 Kg/ha) para controlar *Verticillium dahliae* en suelos dedicados al cultivo del fresón, los resultados muestran que no sólo no hay control, sino que además aumenta la severidad y la incidencia de la enfermedad en relación al control (Wilhelm et al., 1961). De igual forma, la fumigación del suelo con Etilendibromuro provoca un aumento de la incidencia de la verticilosis en algodónero (*Gossypium herbaceum*) (McClellan et al., 1965).

2.2.3.2.3. Residuos.

La degradación de BM y CP ocurre rápidamente después de su aplicación, tanto en el suelo como en el aire, liberándose Br^- y Cl^- . Las plantas tienen capacidad de absorber bromuro del suelo, aunque la concentración de este que se alcanza en los tejidos es muy variable entre las distintas especies y partes de la planta.

Los niveles de bromuro detectados en plantas crecidas en suelos tratados con BM, son muy bajos en las partes de la planta sin clorofila. Las mayores concentraciones corresponden siempre a las hojas viejas (Gollop, 1974; Brown et al., 1979). La fumigación con BM parece bastante segura para el fresón, que absorbe menos bromuro que otras plantas, y sólo una pequeña proporción pasa al fruto (Brown et al., 1979). Igualmente es segura en tomate (*Lycopersicon esculentum*), calabaza (*Cucurbita maxima*) y melón (*Cucumis melo*), especialmente en suelos arenosos, en los que la fijación de bromuro es de poca importancia (Gollop, 1974). Los cultivos como espinaca (*Spinacia oleracea*), col (*B. oleracea* var. *acephala*), col de Bruselas (*B. oleracea* var. *gemmifera*) lechuga (*Lactuca sativa*), y, en general, todos aquellos de los que se consume la parte verde, no deben ser los primeros cultivos de un suelo tratado con BM.

La toma de bromuro por las raíces puede reducirse mediante la irrigación del suelo después del tratamiento y una preparación previa adecuada del mismo (Hoffmann &

Malkomes, 1974). También se ha observado que el continuo aporte a las raíces de solución nutritiva reduce el contenido de bromuro de tomates crecidos en sustratos bromurados (Guns, 1989).

2.3. Solarización de suelos

La solarización de suelos (SS) es un sistema de desinfestación, basado en el calentamiento por el sol de un suelo previamente cubierto con una lámina de polietileno transparente. Se persigue así la elevación de las temperaturas máximas del mismo hasta un nivel letal o subletal para los organismos patógenos.

La idea de la solarización se basó en las observaciones de técnicos agrícolas del Valle del Jordán, donde se seguía la práctica de cubrir el suelo con plástico para evitar el efecto de las heladas sobre algunos cultivos. Se comprobó que en las zonas acolchadas se producían incrementos importantes en las temperaturas del suelo. Un equipo de investigadores israelíes estudió la posibilidad de controlar los patógenos de suelo, cubriéndolo con plásticos en la época mas cálida y antes del comienzo del cultivo. El primer trabajo sobre el tema se publicó en 1976 (Katan et al., 1976), y las investigaciones han proseguido tanto en el país de origen como en otros muchos de condiciones climáticas favorables. Aunque el método se desarrolló para su uso en zonas cálidas, es posible adaptarlo a zonas mas

frias, ya que se puede emplear dentro de invernaderos (Garibaldi, 1987), obteniéndose temperaturas de suelo mas elevadas, o en combinación con otros métodos de control (Ben-Yephet, et al., 1988).

2.3.1. Principios de la técnica.

El aprovechamiento de la energía solar para la agricultura es una técnica ya clásica, que se inició con el uso de invernaderos. Por otra parte, el calentamiento artificial del suelo por vapor de agua a altas temperaturas se viene empleando desde finales del siglo XIX para el control de patógenos de suelo dentro de los invernaderos, pero su uso en grandes áreas es todavía bastante limitado.

El calentamiento solar del suelo cubierto se debe principalmente al efecto invernadero y depende de factores climáticos y edáficos y de las características de la cubierta empleada.

El polietileno es uno de los materiales plásticos mas difundidos en agricultura, siendo introducido a escala comercial en 1939. Presenta buena resistencia, flexibilidad, ausencia de olor y de toxicidad, y deja pasar la radiación en el espectro de 0.4 a 36 μm .

Al colocar el plástico sobre el suelo disminuye en éste la evaporación de agua a la atmósfera. Además, se favorece la condensación en la cara interna del plástico, provocando una reducción de la transmisividad de la radiación de onda larga, por lo que el efecto invernadero se

vé incrementado (Mahrer, 1979). Experiencias realizadas con plásticos nuevos y viejos han dado como resultado un mejor calentamiento del suelo con los últimos, por lo que los plásticos procedentes de túneles e invernaderos podían ser reutilizados eficazmente para solarización (Avisar et al., 1986-a y b). Las pruebas realizadas con plástico doble con burbujas de aire, han demostrado que origina temperaturas de suelo entre 1 y 2.5°C superiores a las obtenidas con el polietileno normal (Garibaldi, 1987; Tamietti & Garibaldi, 1989). Igualmente, se ha probado la eficacia de plásticos de distintos colores: transparentes, verdes y negros. Los resultados indican que los plásticos negros evitan el efecto perjudicial de la SS sobre las micorrizas, pero los transparentes siguen siendo los más eficaces para control de patógenos de suelo (Al-Raddad, 1987).

Las propiedades térmicas de un suelo dependen de su color, textura y contenido en agua. El incremento de temperatura en un suelo húmedo cubierto con plástico se debe principalmente a la eliminación de la evaporación y parcialmente al efecto invernadero, aumentando la temperatura máxima del suelo con el contenido hídrico del mismo (Mahrer et al., 1984). En el suelo seco el principal mecanismo es el efecto invernadero, por lo que los incrementos de temperatura son menores (Mahrer, 1979).

En general, el suelo tiene una capacidad térmica relativamente alta y un bajo poder conductor. El resultado es una lenta penetración del calor, pero también una pérdida lenta cuando por la noche se produce la inversión del

gradiente de temperatura entre el suelo y la atmósfera. En todas las experiencias de SS, las temperaturas máximas diarias se alcanzan en la capa superior del suelo (0-5 cm), y llegar a los 60°C (Pullman et al., 1981-b). En capas mas profundas las temperaturas máximas son menores, pero se mantienen durante mas tiempo. De igual modo, la diferencia entre temperatura máxima y mínima se va reduciendo con la profundidad. La efectividad de la SS no solo depende de las temperaturas alcanzadas y el tiempo que se mantengan, sino también de los calentamientos sucesivos del suelo a lo largo de los dias, como en el caso de la pasterización (Katan, 1980).

2.3.2. Efectos de la solarización.

2.3.2.1. Control de hongos patógenos de suelo.

En la mayoría de las experiencias de SS se obtiene una reducción de la población de hongos patógenos de suelo y de la incidencia de las enfermedades que provocan. Los estudios se han llevado a cabo en suelos infestados natural o artificialmente y con una gran variedad de patógenos, cultivos, tipos de suelo, etc. En muchos casos se han repetido durante varios años.

Entre los principales hongos patógenos controlados se pueden destacar:

- *Verticillium* sp. en tomate (*Lycopersicon esculentum*) y patata (*Solanum tuberosum*) (Katan, 1980),

berenjena (*Solanum melongena*) y clavel (*Dianthus caryophyllus*) (Hardy & Sivasithamparam, 1985), algodón (*Gossypium herbaceum*) (Pullman et al., 1981-b) y pistacho (*Pistacia vera*) (Ashworth & Gaona, 1982);

- *Fusarium* sp. en viveros de coníferas (McCain et al., 1982), melón (*Cucumis melo*) (Katan, 1980; Gonzalez-Torres et al., 1987), tomate (*L. esculentum*) y cebolla (*Allium cepa*) (Katan, 1980), fresón tanto en campo (Kodama & Fukui, 1982-a) como en invernadero (Kodama & Fukui, 1982-b), y sandía (*Citrullus lanatus*) (Martyn, 1986)

- *Rhizoctonia solani* en patata (*S. tuberosum*) y cebolla (*A. cepa*) (Katan, 1980), algodónero (*G. herbaceum*) (Pullman et al., 1981-b), tomate (*L. esculentum*) (Hernández Hernandez et al., 1987) y haba (*Vicia faba*) (Tamietti & Garibaldi, 1989).

- *Pythium ultimum* en algodón (*G. herbaceum*) (Pullman et al., 1981-b).

- *Pyrenochaeta lycopersici* en tomate (*L. esculentum*) (Palminha, 1987; Cartia, 1989).

- *Phytophthora cinnamomi* (Barbercheck & Von Broembsen, 1986).

La disminución de la incidencia de las enfermedades causadas por estos hongos se mantuvo generalmente durante todo el período de cultivo, y, en algunos casos, continuó en años posteriores. Así, la reducción en la incidencia de verticilosis en tomate fué del 65%, 116 días después de la siembra (Katan et al., 1976), y en patata fué del 95% a los 115 días (Katan, 1981).

El efecto a largo plazo se ha comprobado sobre fusariosis y verticilosis en algodónero (*G. herbaceum*) (Katan, 1981; Katan et al., 1983), y fusariosis de sandía (*C. lanatus*) (Martyn, 1986). En el primer caso el efecto se prolongó hasta 3 años después del tratamiento. De igual modo, en la enfermedad de podredumbre blanca de raíz del manzano (*Malus sylvestris*), provocada por *Rosellinia necatrix*, el efecto de la SS se prolongó durante 3 años, llegando en este período a morir el 100% de los árboles de las zonas no tratadas (Freeman et al., 1990). También se han obtenido efectos a largo plazo, tanto de control de enfermedad como de incrementos de producción, en los casos en que se cambió de cultivo en años sucesivos al de solarización (Abdel-Rahim et al., 1987-b; Meron et al., 1989).

Respecto al tiempo mínimo efectivo de SS se considera que es de 4 semanas (Katan, 1980), aunque al aumentarlo es mayor el porcentaje de eliminación de patógenos a mayor profundidad. Así, un tratamiento de 5 días en determinadas condiciones consiguió eliminar el 100% de los esclerocios de *Verticillium dahliae* a 5 cm de profundidad, pero para obtener igual resultado a 20 cm fueron necesarios 13 días (Katan et al., 1976). En el caso de *Sclerotium rolfsii*, con 19 días se eliminan totalmente los esclerocios a 5 cm, pero a 20 cm sobreviven el 75%, y sólo a los 40 días se consigue destruir el 80% a esta profundidad (Elad et al., 1980). En el caso de *Fusarium solani*, una densidad de inóculo de 250 propágulos/g de suelo

se reduce a 7 en 15 días, a 5 cm de profundidad. Sin embargo, a mayores profundidades (15 y 30 cm) esta reducción es bastante mas lenta (Lodha & Vaidya, 1990).

En las experiencias de SS con plásticos discontinuos se observó que las temperaturas del suelo cercano al borde del plástico eran menores que en el centro, por lo que el control en estas zonas era menor. En el caso de suelo infestado por *V. dahliae*, en los 10 cm superiores del suelo no se detectaron propágulos del hongo ni en el centro ni en los bordes a los pocos días de solarización. A los 30 cm, sin embargo, después de 8 días se detectó una disminución del 99% en el centro, pero sólo del 20% a una distancia de 10 cm del borde (Mahrer & Katan, 1981). Debido a estos problemas, se están desarrollando técnicas para permitir el acolchado continuo, mediante sistemas de fusión de las bandas de polietileno por aire caliente, al haberse comprobado la ineficacia de diferentes pegamentos (Hetzroni & Grinstein, 1989).

Recientemente se han llevado a cabo experiencias en las que se combina SS con fungicidas, dando como resultado el descubrimiento de un efecto sinérgico de SS + Metam-Na a dosis bajas. Con esta combinación se ha controlado eficazmente la enfermedad de la mancha de la cáscara del cacahuete, de etiología desconocida (Frank et al., 1986), y se ha obtenido una reducción del inóculo en suelo de *V. dahliae* y *F. oxysporum* (Ben-Yephet et al., 1988). En ambos casos no sólo mejora el control, con respecto al tratamiento de SS simple, sino que se reduce el tiempo de SS necesario

para alcanzar un control eficaz.

Aunque en la mayoría de los casos la SS propicia la eliminación o disminución del inóculo del suelo, algunos hongos son resistentes. Tal es el caso de **Macrophomina phaseolina**, que sobrevive a todas las profundidades muestreadas después de un tratamiento de 26 días (McCain et al., 1982). En el caso de la enfermedad llamada complejo de podredumbre de la raíz de pepino (**Cucurbita pepo**), de etiología incierta pero achacada a **Pythium sp.** y **Fusarium sp.**, la SS no resulta eficaz para el control, ni produce aumento de cosecha (Malathrakis, 1987).

2.3.2.2. Aumento del crecimiento y producción.

Este es un efecto que generalmente es observado en plantas crecidas en suelos parcialmente esterilizados. En principio, este hecho se explicó en base al control de patógenos de suelo. Así, dicho control sería, al menos en parte, responsable del aumento de crecimiento y cosecha en suelos con patógenos conocidos. Mediante SS se consiguió reducir la incidencia de la podredumbre blanca en cebolla (**A. cepa**) en un 36%, lo que supuso un incremento de la cosecha de un 568% (Abdel-Rahim et al., 1987-a). Un tratamiento de 62 días, también disminuyó significativamente la podredumbre rosa de raíz de cebolla, propiciando incrementos de cosecha y calidad (Hartz et al., 1989). Sin embargo, con una duración de 42 días, no se obtuvo disminución en la incidencia ni en la severidad de esta

enfermedad en el momento de la cosecha, aunque si un incremento de la misma del 23%, y un retraso en el desarrollo de la enfermedad (Porter et al., 1989). La producción de gerbera (*Gerbera jamesonii*) (nº de flores/planta) también incrementó mediante SS, al reducirse en un 45% la enfermedad de "podredumbre de raíz" de esta planta (Kaewruang et al., 1989) De igual modo, el control de root knot y corky root hizo aumentar la cosecha de tomate (*L. esculentum*) en un 242% (Abdel-Rahim et al., 1987-a). En algodónero (*G. herbaceum*), el control de *Verticillium* sp. mediante SS incrementó la cosecha en un 60% (Pullman et al., 1981-b), y el de *Fusarium* sp. en un 40-120% (Katan et al., 1983). La eliminación de *Rhizoctonia solani*, mediante SS, en suelos donde se plantaron habas (*V. faba*), incrementó en un 41% la primera cosecha, y en un 37% la segunda (Tamietti & Garibaldi, 1989)

Los aumentos de crecimiento y producción se hacen extensivos a suelos libres de patógenos conocidos, como se ha comprobado en tomate y vid (*Vitis vinifera*) (Barbercheck & Von Broembsen, 1986), trigo (*Triticum aestivum*) y nabos (*Brassica napus*) (Rubin & Benjamin, 1983) y rábano (*Raphanus sativus*), en el que además se obtiene superior calidad (Vanacci et al., 1987). También ocurre una mayor germinación y crecimiento de plántulas de algodónero, sorgo (*Sorghum bicolor*) y tomate (Pullman et al., 1982) y de nogal (*Juglans regia*) y melocotonero (*Prunus persica*) (Stapleton & De Vay, 1982-a), al sembrar las semillas en suelos solarizados. Sin embargo, en otros cultivos como el perejil (*Petroselinum*

crispum), no se detectó esta respuesta de incremento de crecimiento (Rubin & Benjamin, 1983).

Para explicar este efecto beneficioso, se han propuesto algunos mecanismos, diferentes del control de patógenos mayoritarios, entre los que podemos citar: incrementos en las concentraciones de macro y microelementos en el suelo, estimulación de rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR) y eliminación de "patógenos menores".

Análisis de suelos solarizados revelan un mayor contenido en NO_3^- , NH_4^+ y Ca^{2+} (Chen & Katan, 1980; Stapleton et al., 1983), P y Mg^{2+} (Stapleton et al., 1983), K^+ y materia orgánica (Chen & Katan, 1980), aunque no se tiene la certeza de que estos cambios sean los responsables del efecto de incremento de crecimiento.

La solarización afecta a un amplio rango de microflora del suelo, pudiendo alterarse tanto cualitativa como cuantitativamente (Stapleton & De Vay, 1982-b). Algunas especies de *Pseudomonas*, como *P. fluorescens*, aumentan en raíces de plantas crecidas en suelos solarizados (Gamliel et al., 1987; Meron et al., 1989), pudiendo llegar a incrementarse hasta un 469% en relación al control sin tratar (Stapleton & De Vay, 1982-b). Actualmente parece demostrado que estas bacterias y sus metabolitos, ejercen un efecto beneficioso sobre el crecimiento de las plantas, debido a su antagonismo frente a numerosos hongos y bacterias patógenos de suelo (Defago & Hass, 1990).

Aunque la población total de bacterias suele

disminuir después de la solarización (Gamliel et al., 1987), aumenta la proporción de bacterias productoras de antibióticos, y de *Bacillus* sp., principal bacteria que sobrevive a la SS y que es beneficiosa para el crecimiento (Stapleton & De Vay, 1984).

La SS mejora el crecimiento y cosecha de plantas en monocultivo. En campos con monocultivo disminuye la colonización de raíces por *P. fluorescens*. La SS revierte este efecto, consiguiendo que raíces de plantas de *Gysophyllum* en monocultivo, alcancen buenos niveles de colonización por *P. fluorescens* (Gamliel et al., 1987).

El crecimiento de las plantas y la calidad de la cosecha pueden verse limitados también, por "patógenos menores". La mayoría de los trabajos de SS en este sentido, hacen referencia a la eliminación de *Pythium* sp. de los tejidos de la raíz, y a un aumento de las micorrizas, que parecen ser más termotolerantes que otros grupos de hongos (Pullman et al., 1981-a; Nair et al., 1990).

2.3.3. Mecanismos de control.

2.3.3.1. Control físico.

Este tipo de control se ejerce mediante la inactivación o muerte térmica de los patógenos, dependiendo no sólo de la temperatura a que se los someta, sino también del tiempo de exposición, estando ambos parámetros inversamente relacionados (Katan, 1985).

La sensibilidad al calor de las estructuras de supervivencia de los hongos puede diferir según se calienten en suspensión acuosa o en suelo. La respuesta al calor de una población de un organismo depende tanto de su condición fisiológica (tipo de propágulos, edad, etc.), como de factores ambientales (pH, presencia de determinados iones, etc.), siendo el grado de humedad uno de los factores más determinantes, ya que la resistencia al calor aumenta al disminuir la humedad.

Además de la muerte térmica de los propágulos, hay que considerar que el calentamiento subletal de los mismos provoca retrasos en su germinación, como se ha comprobado en el caso de *Fusarium oxysporum* (Freeman & Katan, 1988). En las condiciones del suelo es difícil que un propágulo parcialmente viable se recupere, por ser menos competitivo frente a otros microorganismos (Lifshitz et al., 1983; Phillips, 1990), y más susceptible al ataque por antagonistas (Stejnberg et al., 1987).

El calentamiento subletal, además, disminuye el potencial de inóculo en hongos como *Verticillium* sp, cuyos propágulos son multicelulares y pueden producir varios tubos de germinación, al destruir células individuales dentro del mismo microesclerocio (Pullman et al., 1981-a).

Los mecanismos de inactivación térmica en hongos no están claros, pero se cree que en ellos pueden intervenir la inactivación de ciertas enzimas, cambios en los componentes de las membranas y disminución en la velocidad de recambio de proteínas termosensibles (Crisan, 1973).

En resumen, aunque el efecto térmico directo es el principal responsable del control de patógenos en la SS, éste suele ser mayor que el esperado desde un punto de vista meramente físico, debido a la intervención de mecanismos de control biológico, que operan a temperaturas subletales.

2.3.3.2. Control biológico.

La posibilidad de algún mecanismo de este tipo se consideró ya en el primer trabajo de SS (Katan et al., 1976). Katan (1981), los diferencia en varias clases:

- I. Efecto sobre el inóculo existente en el suelo
 - A. Reducción de la densidad de inóculo
 1. Ataque y muerte del patógeno por los microorganismos, el cual ha sido debilitado por temperaturas subletales.
 2. Anulación de la fungistasis, germinación y posterior lisis del propágulo.
 3. Parasitismo o lisis por antagonistas estimulados por la SS.
 - B. Reducción del potencial de inóculo debido a antibiosis o competición aumentadas por la SS.
 - C. Disminución de la capacidad competitiva saprofítica del patógeno en ausencia del huésped, debido a antibiosis o competición
- II. Supresión del inóculo introducido después de la

SS desde capas profundas o zonas adyacentes sin tratar, a través de diversos mecanismos.

- Reducción de la densidad de inóculo

Los propágulos de los patógenos de suelo pueden permanecer en estado latente debido a dormancia o fungistasis. Esta última supone una inhibición inespecífica de la germinación, que podría estar provocada por la presencia en el suelo de sustancias inhibidoras o por deficiencias de nutrientes específicos en el medio que rodea al propágulo. En el caso de la dormancia, la adición de determinados nutrientes al suelo hace que los propágulos se activen y germinen. En ausencia del huésped, el propágulo germinado puede desarrollarse y formar otros nuevos, aunque generalmente sufre un proceso de lisis (Papavizas & Lumsden, 1980). Se ha sugerido (Ashworth & Gaona, 1982) que determinadas sustancias acumuladas bajo los plásticos podrían inducir la germinación de los propágulos de los hongos en ausencia del huésped y su posterior lisis, denominándose a este fenómeno "germinación suicida".

La reducción, en el, suelo de la población de propágulos en estado de dormancia ocurre debido a procesos de micoparasitismo y micolisis. El micoparasitismo ocurre en todos los tipos de hongos (Papavizas & Lumsden, 1980), aunque no existen muchos estudios sobre el comportamiento de micoparásitos específicos en suelo. Trabajos con oosporas de *Phytophthora* sp. y *Pythium* sp. han puesto de manifiesto que pueden ser atacadas y destruidas por una gran variedad de

hongos, actinomicetos y bacterias (Sneh et al., 1977). De igual forma, los esclerocios de *Sclerotium rolfsii* (Lifshitz et al., 1983) y *Sclerotinia sclerotiorum* (Phillips, 1990) son rápidamente colonizados por bacterias y estreptomicetos cuando se calientan subletalmente.

La micolisis ocurre en el suelo debido a factores aún bastante desconocidos. En algunos casos se ha comprobado que este proceso está influenciado por las proporciones entre distintos elementos del suelo o por la presencia de determinadas bacterias (Papavizas, 1963). En los suelos solarizados se han detectado con frecuencia cambios tanto en las concentraciones de algunos elementos (Chen & Katan, 1980; Stapleton et al., 1983) como en las poblaciones bacterianas (Stapleton & De Vay, 1982-b, 1984; Gamliel et al., 1987), por lo que se cree que el proceso de micolisis podría actuar en suelos solarizados.

- Disminución del potencial de inóculo.

Puede ocurrir por un aumento de la fungistasis o antibiosis. Este último caso se considera una forma específica de antagonismo en la que pueden estar implicados metabolitos tóxicos específicos de origen microbiano y fungitoxinas del suelo (Papavizas & Lumsden, 1980). Sólo en casos excepcionales se ha demostrado que sustancias antibióticas producidas in vitro se originen también en el suelo, y en cantidades efectivas para un control biológico (Katan, 1981).

- Supresión del inóculo introducido después de la SS.

Este efecto a largo plazo se ha comprobado inoculando suelo solarizado con *Fusarium*, *Verticillium* y *Sclerotium rolfsii*, y parece ser debido a un mecanismo inespecífico, diferente a la supresividad específica natural que poseen ciertos suelos (Greenberger et al., 1985).

2.3.3.3. Control químico.

Es el tipo menos estudiado, aunque en algunos casos se ha comprobado que la SS provoca cambios químicos en el suelo. Tal como se indicó el análisis químico de suelos de diferentes tipos sometidos a solarización muestra incrementos significativos en las concentraciones de algunos elementos (Chen & Katan, 1980; Stapleton & De Vay, 1984). Se ha sugerido que el aumento de la concentración de Ca^{2+} podría estar implicado en este tipo de control, por encontrarse relacionado con la resistencia de la planta a diferentes patógenos (Katan, 1981).

Por otra parte, la permeabilidad del polietileno a la mayoría de los gases no es muy alta, permitiendo la acumulación de determinados compuestos gaseosos bajo el mismo. De hecho, la cantidad de CO_2 puede aumentar hasta en 35 veces en el suelo cubierto con plástico (Rubin & Benjamin, 1983). De igual forma, en el suelo acolchado se ha detectado la presencia de etileno, y una disminución de la concentración de O_2 (Rubin & Benjamin, 1984). El papel de los componentes volátiles no está claro, aunque se cree que

podrían intervenir en procesos de fungistasis (Papavizas & Lumsden, 1980).

Los estudios de enmiendas de suelos con materia orgánica de diversa procedencia, demuestran que estos suelos se vuelven supresivos frente a algunos hongos patógenos, debido a la formación de productos volátiles de degradación de la materia orgánica empleada. Así, la adición al suelo de semillas oleaginosas lo hace supresivo frente a *Fusarium sp.* debido a la liberación de etileno (Zakaria et al., 1980; Katan, 1981), mientras que los compuestos volátiles sulfurosos provocan la supresión de *Aphanomices euteches* en suelos enmendados con crucíferas (Lewis & Papavizas, 1975).

La SS combinada con enmiendas del suelo con residuos de col ha resultado ser mas eficaz que la SS sola, para el control de *F. oxysporum f. sp. conglutinans*, habiéndose detectado gases fungitóxicos responsables del resultado obtenido en el tratamiento combinado (Ramirez Villapudua & Munnecke, 1985).

3. MATERIAL Y METODOS

3.1. Material vegetal

El material vegetal utilizado en todos los trabajos realizados ha sido la planta de fresón (*Fragaria annanassa*, Duch.), cultivar Chandler.

3.2. Diseño y preparación de las experiencias de campo

Las experiencias de campo se realizaron durante dos años consecutivos en la finca "Las Madres", situada en el término de Palos de la Frontera (Huelva) y en la finca de la Escuela de Capacitación Agraria de Chipiona (Cádiz). El diseño experimental empleado fue el de bloques completos al azar con tres repeticiones.

Para la experiencia del primer año de Huelva, las parcelas elementales, de 130 m², estaban compuestas por 3 lomos dobles, de 4 hileras de plantas cada uno, con 25 m de longitud y 40 cm de altura. Cada parcela elemental constituía un invernadero independiente, separado de los adyacentes por pasillos longitudinales y transversales de 2m de anchura. Cada módulo de invernadero o macrotúnel, estaba formado por arcos de hierro galvanizado recubiertos con polietileno de 175 μ . Antes de la aplicación de los tratamientos se procedió a la preparación del suelo, abonado de fondo y estercolado.

El alomado se realizó con una máquina que simultáneamente colocaba la cinta de riego por goteo y recubría el lomo de plástico negro. La plantación se realizó de forma manual, habiéndose desinfestado previamente las plantas, sumergiéndolas durante 20 minutos en una solución de Metiltiofanato 70% (4,4-(2-fenileno)bis(3-tiofanato) de dimetilo) al 1‰ e Iprodione 50% (1-isopropilcarbamoil 3-(3,5-diclorofenil)hidantoína) al 1‰, a razón de 5000 plantas por 100 litros de solución. Después de la plantación, se regó por aspersión durante 2 días antes de pasar al riego localizado.

Los tratamientos realizados fueron:

- TESTIGO, sin tratamiento
- SOLARIZACION (SS)
- BROMURO DE METILO (BM), 67% + CLOROPICRINA (CP) ,33%, en frío
 - * 200 Kg/ha
 - * 400 Kg/ha
 - * 600 Kg/ha
- FUNGICIDAS
 - * F₁, fosetil-Al (tris (etilfosfonato) de aluminio) + folpet (N-(triclorometiltio) ftalimida)
 - * F₂, procloraz (N-propil N-(2,4,6-triclorofenoxi) etil carbamoilimidazol + carbendazima (benzimidazol 2-il carbamato de metilo)
 - * F₃, iprodione (1-isopropilcarbamoil 3-(3,5 diclorofenil)hidantoína) + carbendazima

Durante el segundo año, la experiencia se realizó en un suelo colindante al del año anterior. La parcela elemental fué de iguales características, salvo en longitud, 23.3 m y superficie, 121.2 m². La preparación del suelo y las plantas se efectuó de igual modo que el primer año.

En la experiencia realizada en Chipiona (Cádiz) el primer año, la parcela elemental, de 58.5 m² de superficie, estaba formada por 4 lomos sencillos, de 2 hileras de plantas cada uno, con 13 m de largo. Cada parcela se separó de las siguientes por pasillos de 1.5 m. El alomado se realizó a máquina, colocándose manualmente la cinta de riego y el polietileno negro. Cada lomo se cubrió con un tunel pequeño, realizado con arquillos semicirculares de hierro galvanizado de 2 m de longitud, que fueron clavados en el suelo a intervalos de 2 m, y recubiertos con polietileno térmico transparente. La plantación y desinfestación se efectuaron de igual modo que en Huelva, y utilizando el mismo cultivar

Los tratamientos realizados fueron:

- TESTIGO, sin tratamiento
- BROMURO DE METILO, 98% +CLOROPICRINA, 2%, en caliente
 - * 200 Kg/ha
 - * 400 Kg/ha
 - * 600 Kg/ha

Para la experiencia del segundo año las parcelas

fueron de 69 m², estando compuestas por 6 lomos sencillos, de 11.5 m de longitud cada uno. Para la preparación de la experiencia se siguió la metodología especificada con anterioridad.

3.2.1. Tratamientos

3.2.1.1. Solarización

Este tratamiento se efectuó en las parcelas correspondientes después del abonado y estercolado, y antes del alomado. El suelo se preparó alisándolo perfectamente y dando un riego hasta saturación mediante aspersores. El polietileno utilizado fue transparente, de 40 μ .

En la experiencia de SS del primer año, antes de colocar los plásticos, se dispusieron sobre el suelo a lo largo de cada parcela seis cintas de riego de 8 litros, efectuándose dos aplicaciones de agua al suelo a las 2 y 4 semanas de ser cubierto, a razón de 30 l/m² cada uno. Los plásticos se colocaron manualmente el 30 de Julio, cubriendo toda la superficie de la parcela a solarizar. La retirada de los plásticos se efectuó el 15 de Septiembre, por lo que el período de SS fue de 6 semanas.

El tratamiento de SS del segundo año se realizó según lo descrito anteriormente, con la diferencia de que el riego fue único, por aspersión, antes de iniciar el mismo.

3.2.1.2. Bromuro de metilo+cloropicrina (67%+33%).

Para este tratamiento, realizado en Huelva durante dos años, la preparación del suelo fue igual que los efectuados para la solarización. La aplicación del tratamiento se realizó en frío, con una mezcla de BM+CP en la proporción 2:1, mediante un tractor con una barra trasera preparada con 13 inyectores. Simultáneamente a la aplicación del producto, el suelo es cubierto por una banda de plástico transparente que va siendo enterrada por los laterales. La cubierta permaneció sobre el suelo durante 48 h, procediéndose, después de su retirada, a un riego a saturación para lavar los residuos del suelo.

Las dosis de mezcla empleadas fueron 200, 400 y 600 Kg/ha.

3.2.1.3. Bromuro de metilo+cloropicrina (98%+2%).

Este tratamiento se realizó antes del alomado, sobre el suelo perfectamente limpio, allanado y con un riego previo a saturación.

La aplicación se hizo en caliente, con una mezcla de BM+CP en las proporciones 98%+2%, a través de cintas colocadas sobre la parcela a tratar, a intervalos de 1.5 m. Antes de la aplicación la parcela fue recubierta con plástico de 175 μ de grosor. La mezcla de gas se hizo pasar por un serpentín sumergido en agua caliente. Los plásticos se retiraron a las 48 h del tratamiento, procediéndose a continuación a un riego a saturación.

Las dosis de BM+CP fueron las mismas que las usadas para el tratamiento en frío.

3.2.1.4. Fungicidas.

Los productos con actividad fungicida fueron:

- F₁: Mikal (Fosetil-Al 50% + Folpet 25%), a razón de 1.5 Kg de producto comercial/ha en 700 l de agua. La aplicación se realizó de forma aérea, mediante pulverización a la presión constante de 3 atmósferas.

- F₂: Sportak alpha (Procloraz 26.5% + Carbendazima 10%). La dosis fue de 2 Kg de producto comercial/ha, en 700 l de agua. La aplicación se hizo por la cinta de riego, mediante una bomba de inyección.

-F₃: Rovral (Iprodione 50%) + Bavistin (Carbendazima 50%). La dosis fue de 1 kg de Rovral + 600 ml de Bavistin/ha en 700 l de agua. La aplicación se hizo igual que en el anterior.

En el segundo año se repitió lo efectuado el primero.

3.2.2. Recogida de muestras de suelo.

Las muestras de suelo utilizadas tanto para los aislamientos de *Pythium* sp. como para los análisis químicos, se obtuvieron mediante una sonda vertical graduada.

Por cada parcela elemental se tomaron un total de 3 muestras, siguiendo la diagonal de la misma, que se

mezclaron por profundidades para obtener una muestra compuesta por cada parcela, profundidad y muestreo. Las profundidades de muestreo fueron 0-20, 20-40 y 40-60 cm, realizándose antes del tratamiento, después del mismo y al finalizar las experiencias. En el caso de parcelas solarizadas se hizo un muestreo adicional a las profundidades 0-5, 5-10 y 10-20 cm antes y después de solarizar.

Las muestras se dejaron secar en el laboratorio a temperatura ambiente. Una vez secas se tamizaron con una criba de malla de 2 mm (M.A.P.A., 1986).

3.2.3. Medida de las temperaturas del suelo

En la experiencia de solarización del primer año, se midieron diariamente las temperaturas del suelo cubierto con polietileno, en una parcela en solarización, y sin cubrir, en una parcela testigo.

Las lecturas se efectuaron 3 veces al día, a las 8, 13 y 18 h, mediante sondas de penetración Pt-100 de Crison, que permanecieron clavadas en el suelo a unas profundidades de 5, 10 y 20 cm.

3.2.4. Influencia de los tratamientos en la fenología.

Cada año y en todas las experiencias de campo se realizó un único muestreo por campaña, entre 9 y 10 semanas después de efectuarse la plantación, con objeto de

determinar la influencia de los tratamientos sobre la precocidad de fructificación de las plantas. Los resultados se expresaron como % de plantas con frutos.

3.2.5. Efecto de los tratamientos sobre la producción de fruto

Para estudiar este efecto, se procedió a la determinación del peso de los frutos obtenidos cada día de recogida en cada una de las parcelas elementales. El período de recolección se extendió durante los meses de Marzo, Abril y Mayo. Las recogidas se efectuaron aproximadamente cada 2-3 días. Los frutos recogidos se clasificaron según la Norma de calidad para fresones (B.O.E. n° 127 de 28-5-1983), atendiendo al calibre del diámetro máximo de la sección ecuatorial, en las categorías "extra" y "primera", siendo los diámetros mínimos requeridos 25 y 18 mm respectivamente.

3.3. Experiencias en invernadero con suelos desinfectados.

Se emplearon plantas de fresón, cultivar Chandler, que fueron desinfectadas de igual forma que las usadas para experiencias de campo (apdo. 3.2). Por cada tratamiento se pusieron 15 macetas de 25 x 30 cm, distribuidas al azar, a razón de una planta por maceta. El tansplante se realizó el día 6 de Noviembre, manteniéndose las macetas a la temperatura de $24 \pm 4^{\circ}\text{C}$. Se regaron periódicamente con agua

destilada y, a partir de los 15 días del trasplante, se aportó una vez a la semana con 200 ml de la solución nutritiva de Hoagland y Arnold modificada (Blankendaal et al., 1972).

3.3.1. Tratamientos del suelo.

Para la experiencia se utilizaron suelos con tres tratamientos distintos, procedentes de la finca "las Madres" (Huelva), consistiendo en :

- TESTIGO, sin tratar
- SOLARIZACION
- FUMIGACION CON BM+CP (67%+33%).

La SS se efectuó durante el verano, y tuvo una duración de 8 semanas, comenzando a primeros de Agosto. Las condiciones fueron las mismas que las de la experiencia del segundo año de solarización en "Las Madres", es decir, un solo riego en profundidad antes de colocar los plasticos (apdo. 3.2.1.1).

La desinfestación con BM+CP se efectuó en frío, en la proporción 67%+33%, y a la dosis de 600 Kg/ha, según lo descrito en el apdo. 3.2.1.2.

Una vez realizados los tratamientos, se recogió suelo correspondiente a cada uno de los mismos para su posterior estudio en ambiente semicontrolado utilizándolo como medio para el desarrollo de plantas de fresón. Asimismo, muestras de estos suelos fueron sometidas a una

analítica química y a aislamientos de *Pythium sp.*, según los procedimientos que se describen en los apdos. 3.4 y 3.5.

3.3.2. Influencia de los tratamientos en la fenología.

Con una periodicidad semanal, a partir del 23 de Noviembre, se determinó el estado fenológico de cada planta, midiéndose los parámetros: número de hojas, flores, frutos verdes y frutos maduros por planta.

3.3.3. Efecto de los tratamientos sobre la producción.

La recogida, cada siete días, de los frutos comenzó el día 23 de Enero, dándose por finalizada el 31 de Mayo, midiéndose el peso y el número de frutos.

3.4. Aislamientos de *Pythium sp.* del suelo

La presencia de *Pythium sp.* en los suelos, su variación en función de los tratamientos, y la posible reinfestación, se estudiaron mediante aislamientos de suelo, según el método de Jeffers y Martin (1986). El medio empleado fue P₁ARP, con la siguiente composición por litro de agua destilada:

- Agar harina de maiz.....17 g
- Pimaricina.....5 mg

- Ampicilina sódica.....250 mg
- Rifampicina.....10 mg
- Pentacloronitrobenceno.....100 mg

Los antibióticos se disolvieron en 3 ml de Dimetilsulfóxido, antes de añadirlos al medio base autoclavado durante 20 minutos a 120°C y enfriado a 43° C en baño termostatzado (Tsao, 1983).

Las suspensiones de suelo se realizaron en agar-agua 0.2% (Tsao, 1983), añadiéndose a cada placa 1 ml de suspensión, que se dispersó por la superficie del medio mediante un asa de vidrio estéril. Por cada parcela y profundidad se emplearon 5 placas, que se mantuvieron en estufa a $24 \pm 0.5^\circ$ C durante 48 h. Pasado este período, las placas se lavaron con agua destilada y se llevaron a la estufa 24 h mas, para contabilizar a continuación el número de colonias de *Pythium* sp.. Los resultados se expresaron como número de propágulos del hongo por gramo de suelo (NPP/g de suelo).

3.5. Determinaciones analíticas

3.5.1. Conductividad eléctrica (c.e.) y pH

La c.e. se midió a 20° C mediante un conductivímetro, en un extracto acuoso, agitado y dejado reposar durante una hora, resultante de mezclar 10 g de suelo con 50 ml de agua destilada. Los resultados se

expresaron como mS/cm.

El pH de los suelos se determinó en agua, en la proporción 1:2.5. La medida se realizó después de agitar dos veces, dejando entre ambas un reposo de 30 minutos.

3.5.2. Textura

Fué determinada mediante el método del densímetro de Bouyoucos (M.A.P.A., 1986). Las muestras de suelo se dispersaron en una solución alcalina diluida de NaPO_3 y Na_2CO_3 . Posteriormente, mediante un densímetro se midió la densidad de la suspensión de suelo, que está relacionada con la concentración de partículas en dicha suspensión.

3.5.3. Materia orgánica

Se siguió el método de Walkley-Black (Nelson & Sommers, 1982). Esta técnica está basada en la oxidación de la materia orgánica del suelo mediante tratamiento con una mezcla de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1 normal y H_2SO_4 concentrado. Después de la reacción, el exceso de $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ se valora con FeSO_4 0.5 normal, añadiendo previamente el indicador O-fenantrolina. El $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ reducido durante la reacción con el suelo, es equivalente al carbono orgánico presente en la muestra.

3.5.4. Cloruros

La determinación de cloruros se llevó a cabo

mediante una valoración potenciométrica sobre un extracto de suelo en agua, según el método de Stout and Johnson (M.A.P.A., 1986), que se basa en el cambio de potencial en el punto de equivalencia cuando a una solución que contiene iones Cl^- se añaden iones Ag^{++} . Los electrodos empleados fueron de vidrio y de Ag-AgCl . La solución de referencia estaba compuesta por una mezcla de 2.5 ml de una solución de KNO_3 y HNO_3 , y dos gotas de una suspensión de AgCl , y 25 ml de agua destilada. La valoración del extracto se efectuó con una solución de AgNO_3 0.01 normal, valorada con KCl 0.01 normal.

3.5.5. Nitrógeno total

Para su determinación se empleó una variante del método de Kjeldahl (M.A.P.A., 1986). En esencia consiste en la digestión de la muestra con H_2SO_4 concentrado y una mezcla de K_2SO_4 , CuSO_4 y selenio. Después de la transformación del nitrógeno en NH_4^+ , se procede a la destilación de éste en medio alcalino, y posterior valoración con H_2SO_4 0.05 normal

3.5.6. Fósforo

Esta determinación se efectuó según el método de Olsen y Sommers (1982). La extracción del suelo se realizó con NaCO_3H 0.5 molar a pH 8.5. Después de agitar durante 30 minutos, se filtró con papel Whatman n° 40. La determinación

fotocolorimétrica del fósforo se realizó en alícuotas del extracto, acidificadas a pH 5 con H_2SO_4 5 normal, a las que se añadió un reactivo compuesto por $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$, $K_2S_2O_8 \cdot C_4H_4O_6$ y ácido ascórbico. La lectura en el fotocolorímetro se realizó 10 minutos después de la adición del reactivo.

3.5.7. Cationes de cambio

Para la extracción de Na^+ , K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} , se siguió el método del acetato amónico ($AcONH_4$) (Thomas, 1982). Los cationes se desplazan mediante dos extracciones sucesivas con 25 ml de $AcONH_4$, seguidas de centrifugado a 2000 rpm durante 10 min.

K y Na se determinaron en alícuotas de dicho extracto mediante fotometría de llama, y Ca y Mg mediante espectrofotometría de absorción atómica.

3.5.8. Microelementos

Para la determinación de Fe, Mn, Cu y Zn se procedió a la extracción de los mismos en medio ácido, mediante tratamiento de la muestra de suelo con HCl 4 normal. Las determinaciones se efectuaron en alícuotas de dicho extracto mediante espectrofotometría de absorción atómica.

3.6. Análisis estadístico

Se ha realizado mediante análisis de la varianza con dos fuentes de variación y multifactoriales. La significación de los valores de la prueba F se ha expresado de la siguiente forma: no significativo (ns), significativo al 90 (*), 95 (**), y 99% (***). En los casos en que el valor de F resultó significativo, el análisis de la varianza se complementó con el cálculo de la menor diferencia significativa (MDS) para P=95%.

En los casos de datos expresados como porcentajes se realizó previamente la transformación $\text{sen}^{-1}\sqrt{x}$, y en los casos en que existen valores iguales a cero la transformación fue $\sqrt{x+1/n}$ (Steel & Torrie, 1985).

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Influencia de los tratamientos de desinfección en el desarrollo fenológico de plantas de fresón

4.1.1. Plantas crecidas en macetas.

Los resultados obtenidos respecto al número de hojas y frutos madurados, de los que se han seleccionado las cuatro fechas intermedias, se encuentran recogidos en la Fig. 1. Tal como puede observarse, existen incrementos respecto al testigo, del número de hojas en las plantas crecidas en suelos solarizados y desinfectados con BM+CP, siendo aproximadamente iguales en ambos tratamientos. Del mismo modo ocurrió con el número de frutos madurados, suponiendo unos incrementos finales del 8% y un 9% para los tratamientos de SS y BM+CP, respectivamente.

En la Fig. 2, donde se representan los números de flores y frutos verdes por planta en cada fecha de muestreo, se aprecian fluctuaciones periódicas en las que los máximos siempre son mayores en los tratamientos que en el testigo.

4.1.2. Plantas crecidas en campo.

Los resultados en campo han sido variables. Con el empleo de BM+CP (98%+2%) en caliente, en Chipiona (Fig. 3), no se observaron en ninguno de los dos años, aumentos en la precocidad de fructificación de las plantas con respecto al testigo. En Las Madres, donde se empleó BM+CP (67%+33%) en

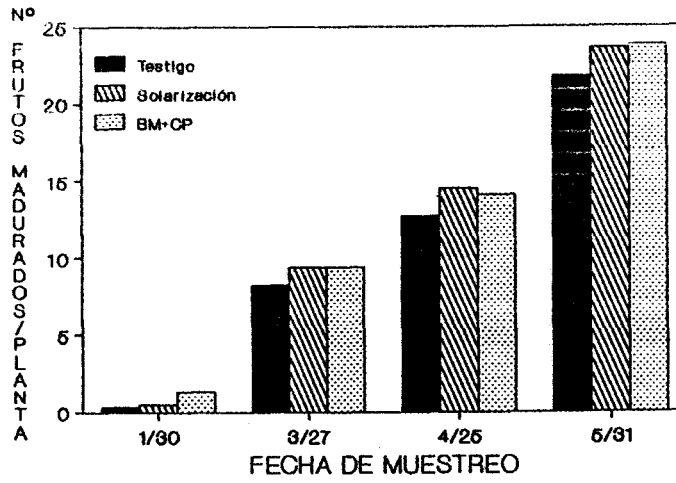
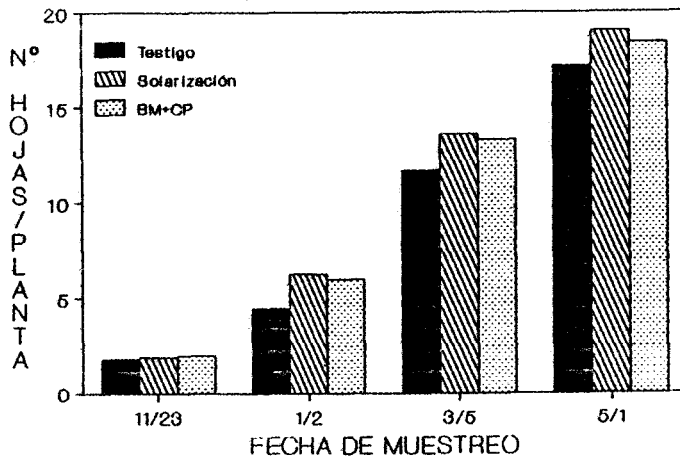


Fig. 1. Influencia del tratamiento de desinfección del suelo en la fenología (número de hojas y de frutos madurados/planta) de plantas de fresón cultivadas en invernadero.

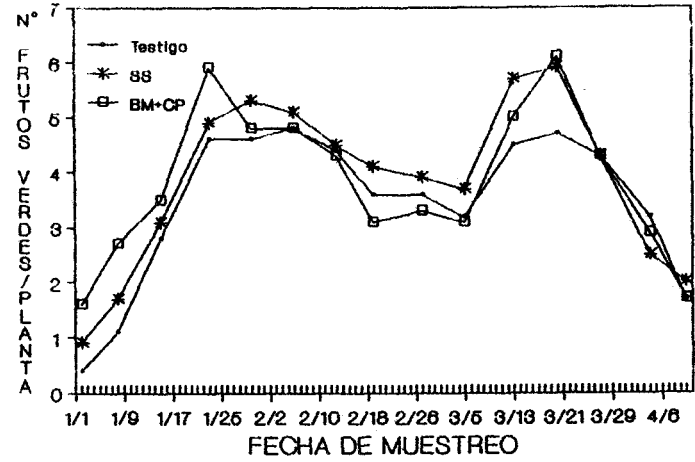
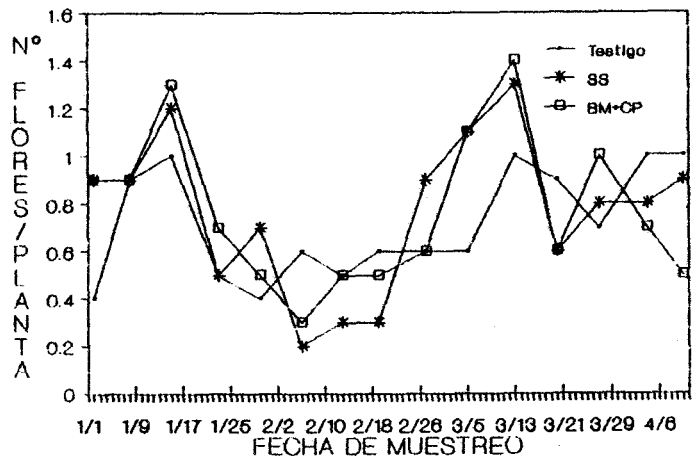
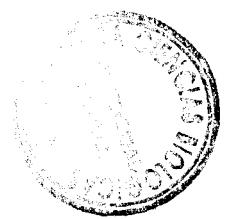
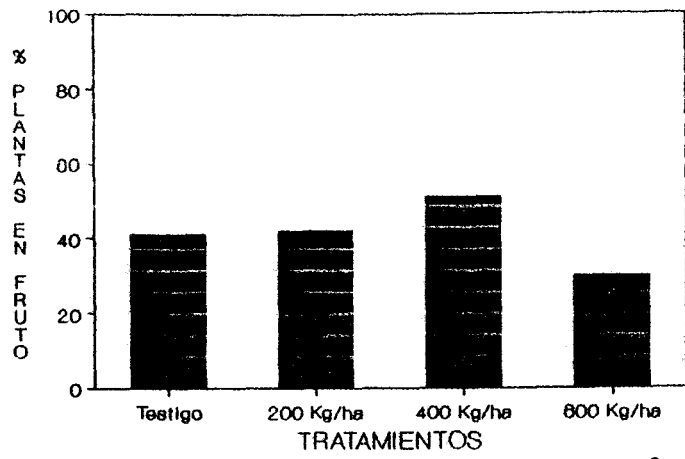
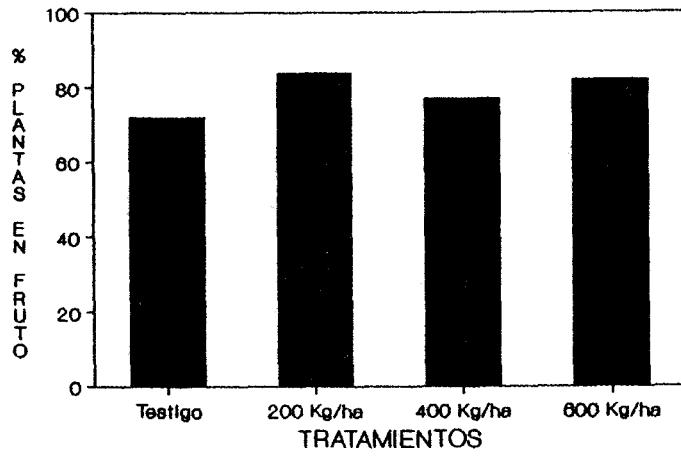


Fig. 2. Influencia del tratamiento de desinfestación en el número de flores y frutos verdes de plantas cultivadas en invernadero.





1º año



2º año

Fig. 3. Influencia de la dosis de BM+CP en la precocidad de fructificación en Chipiona (Cádiz).

frío y SS (Fig. 4) los porcentajes de plantas con fruto son siempre mayores en suelos desinfestados, hecho que ocurrió en dos años consecutivos. El tratamiento de SS presentó valores similares o inferiores a los obtenidos con BM+CP, y entre, la de 400 Kg/ha fué la mejor en ambas campañas. Tanto en Chipiona como en Las Madres, el primer año tuvo un retraso con respecto al segundo, debido condiciones climáticas desfavorables.

Los resultados de incremento de crecimiento de plantas en macetas con suelos solarizados coinciden con los obtenidos por otros autores con diferentes especies (Chen & Katan, 1980; Pullman et al., 1982; Stapleton et al., 1983). De igual forma, mediante SS en experiencias de campo se ha detectado una floración mas precoz, en relación al control (Cartia, 1989; Kaewruang et al., 1989). El crecimiento de plantas en suelos tratados con BM+CP también se vé generalmente incrementado, hecho que se ha comprobado, además, en plantas de fresón crecidas en distintos tipos de suelo (Moore et al., 1979; Yuen et al., 1988; Yuen et al., 1991).

4.2. Influencia de los tratamientos sobre la cosecha

4.2.1. Calidad del fruto.

4.2.1.1. Experiencias de invernadero.

Para estudiar esta posible influencia en plantas

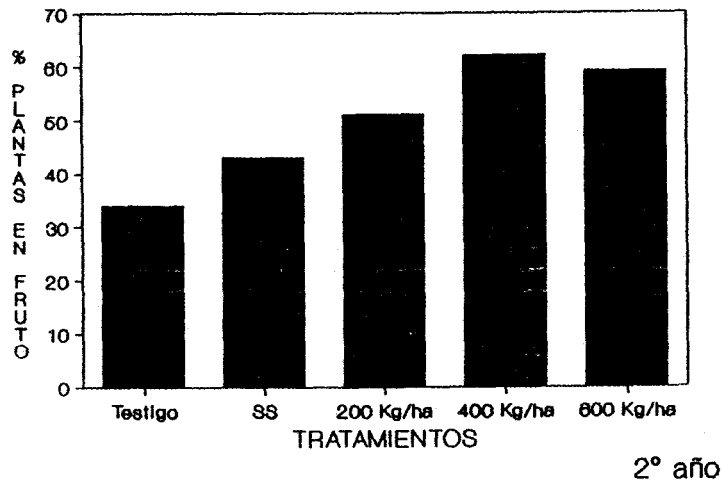
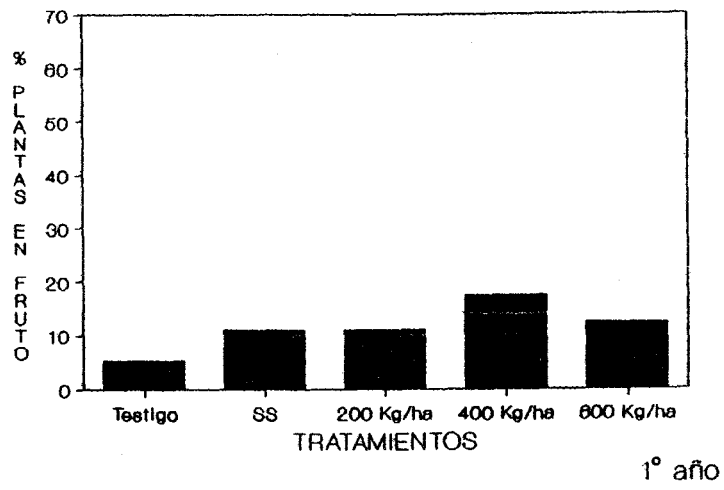


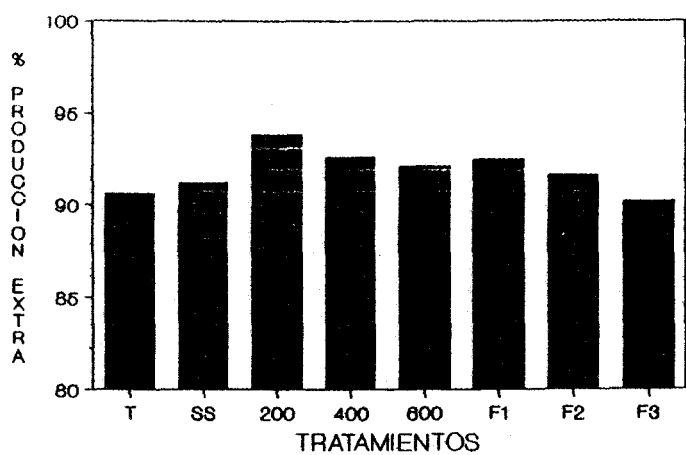
Fig. 4. Influencia de los tratamientos de desinfestación en la precocidad de fructificación, en Las Madres (Huelva).

crecidas en invernadero en suelos desinfectados, al final del período de recolección se contabilizó el número de frutos recogidos y el peso de los mismos, calculándose el peso medio por fruto. Los resultados indican que el peso del fruto es el mismo para el testigo y el tratamiento de SS, mientras que para el de BM+CP es un 4% superior. La SS produce mayor número de frutos pero de igual tamaño que los del testigo, mientras que en el tratamiento de BM+CP aumenta tanto el número como el tamaño de los mismos.

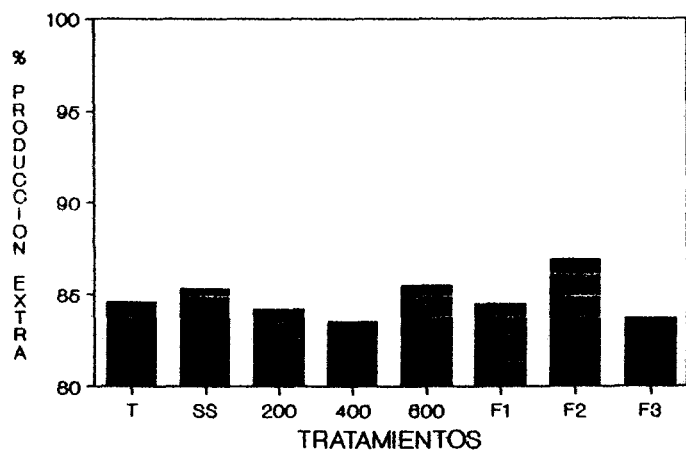
4.2.1.2.Experiencias de campo.

En las experiencias de campo se tomaron por separado las producciones de fresón de las categorías extra y primera, representándose el porcentaje de fresón extra sobre el total para la producción final de cada campaña. Los resultados obtenidos, recogidos en las Fig. 5 y 6, no indican diferencias claras entre el testigo y los tratamientos. En Las Madres (Fig. 5), en el primer año, los resultados para el testigo son de un 90.6%, mientras que para el tratamiento con valores más altos (BM+CP 200 Kg/ha) son de un 93.8%. En la segunda campaña, el testigo tuvo un porcentaje del 84.6%, siendo el tratamiento de F₂ el de valor mas elevado, un 86.9%. Estas diferencias máximas, expresadas en relación al testigo, suponen sólo un 3.5% en el primer año, y un 2.7% en el segundo.

Los resultados obtenidos en chipiona (Fig. 6) son todavía mas homogéneos, presentando el testigo y los

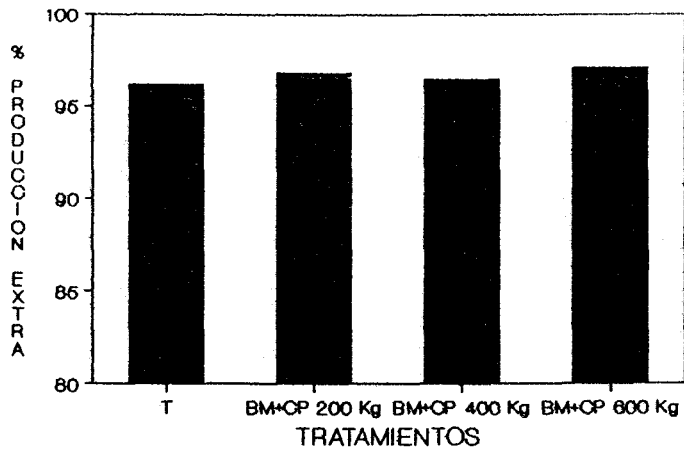


1° año

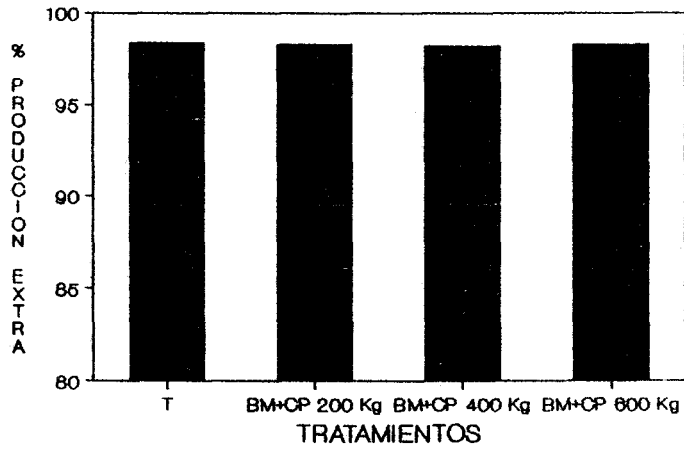


2° año

Fig. 5. Influencia de los tratamientos de suelo en la calidad del fruto, en Las Madres (Huelva).



1º año



2º año

Fig .6. Influencia de las dosis de BM+CP (98%+2%) en la calidad del fruto, en Chipiona (Cádiz).

tratamientos valores casi idénticos.

4.2.2. Producción.

4.2.2.1. Desinfestación con BM+CP (98%+2%) en caliente.

Los datos de producción obtenidos en las dos campañas en Chipiona (Cádiz), donde se empleó BM+CP (98%+2%) en caliente, están recogidos en las tablas 1-6, desglosando la producción total en fresón extra y fresón de primera categoría.

Las producciones mensuales totales durante el primer año (Tabla 1), muestran incrementos con respecto al testigo, que llegan a ser de un 24% en el tratamiento de 200 Kg/ha, en el mes de Marzo. El análisis estadístico (ANVAR) realizado por meses y sobre el total indica, sin embargo, que no existen diferencias significativas en ninguno de los casos. Al desglosar la producción por categorías, observamos que los incrementos se deben a la producción extra (Tabla 2), ya que en la de categoría primera (Tabla 3) las producciones son muy semejante para el testigo y los tratamientos. En ambas categorías, igual que ocurría con la producción total, no existen diferencias significativas en ningún período de recogida.

En la producción total del segundo año (Tabla 4), se obtienen pequeños incrementos, variando al final de la campaña, entre el 0 y el 11% en relación al testigo, no siendo las diferencias, cuando existen, significativas en

Tabla 1. Producción total de fresa en función de las dosis de BM+CP en Chipiona (Cádiz), durante el primer año, expresada en Kg/ha.

TRATAMIENTOS	PERIODO DE RECOGIDA			
	Marzo	Abril	Mayo	Total
Testigo	3145.2	7390.3	6826.2	17361.7
200 Kg/ha	3891.7	8165.3	7766.4	19823.4
400 Kg/ha	3470.0	7874.6	7800.6	19146.3
600 Kg/ha	3544.1	7794.9	7356.1	18695.1
Valores de F:	1.31ns	0.50ns	1.14ns	1.32ns
(gl 3:6, en todos los casos).				

Tabla 2. Producción de fresón de categoría "extra", en función de las distintas dosis de BM+CP en Chipiona (Cádiz), durante el primer año, expresada en Kg/ha.

TRATAMIENTOS	PERIODO DE RECOGIDA			
	Marzo	Abril	Mayo	Total
Testigo	2940.1	7321.9	6450.1	16712.1
200 Kg/ha	3715.1	8119.7	7361.8	19196.6
400 Kg/ha	3242.1	7817.6	7413.1	18472.9
600 Kg/ha	3373.2	7749.3	7037.0	18159.5
Valores de F:	1.13ns	0.50ns	0.97ns	1.13ns
(gl 3:6, en todos los casos).				

Tabla 3. Producción de fresón de categoría "primera", en función de las distintas dosis de BM+CP en Chipiona (Cádiz), durante el primer año, expresada en Kg/ha.

TRATAMIENTOS	PERIODO DE RECOGIDA			
	Marzo	Abril	Mayo	Total
Testigo	205.1	68.4	376.1	649.6
200 Kg/ha	176.7	45.6	404.6	626.8
400 Kg/ha	227.9	57.0	387.5	673.4
600 Kg/ha	170.9	45.6	319.1	535.6
Valores de F:	0.36ns	0.24ns	0.83ns	0.40ns
(gl 3:6, en todos los casos).				

Tabla 4. Producción total de fresón en función de la dosis de BM+CP en Chipiona (Cádiz), durante el segundo año, expresada en Kg/ha.

TRATAMIENTOS	PERIODO DE RECOGIDA			
	Marzo	Abril	Mayo	Total
Testigo	3944.0	10855.7	11223.0	26022.7
200 Kg/ha	4364.5	12194.5	11846.5	28405.5
400 Kg/ha	4084.2	11092.5	10908.8	26085.5
600 Kg/ha	4533.6	12484.5	12001.2	29019.3
Valores de F:	0.70ns	0.55ns	0.34ns	0.51ns
(gl 3:6, en todos los casos).				

ningún caso. Los resultados de producción extra (Tabla 5) siguen la misma línea de los anteriores, al ser durante esta campaña muy baja la producción de fresón de primera categoría (Tabla 6). En ninguno de estos casos existieron diferencias significativas en los periodos de recogida, ni en la producción final.

Con objeto de comprobar la variación de la respuesta con el tiempo, a lo largo de todo el periodo de recogida de frutos, se han representado los incrementos de producción (expresados como % en relación al testigo) obtenidos hasta cada una de las fechas. Las curvas resultantes (Fig. 7) son muy similares para ambos años, existiendo un incremento de la producción de aproximadamente el 50% sobre el testigo, que desciende rápidamente con el tiempo, llegándose a una estabilización del 10%. Este pequeño incremento global, que se mantiene hasta el final, es muy inferior a los obtenidos mediante tratamientos con BM+CP tanto en fresón (Stapleton & De Vay, 1984; Yuen et al., 1991) como en otras especies (Cheng et al., 1989).

4.2.2.2. Desinfestación con BM+CP (67%+33%) en frío.

Las producciones de Las Madres (Huelva), donde se realizó este tratamiento, están recogidas en las tablas 7-12, e incluyen los datos correspondientes a los tratamientos de desinfestación por SS y BM+CP (67%+33%), así como tratamientos con fungicidas.

Durante la campaña del primer año se obtuvieron, en

Tabla 5. Producción de fresón de categoría "extra" en función de las dosis de BM+CP en Chipiona (Cádiz), durante el segundo año, expresada en Kg/ha.

TRATAMIENTOS	PERIODO DE RECOGIDA			
	Marzo	Abril	Mayo	Total
Testigo	3924.7	10855.7	10821.8	25602.2
200 Kg/ha	4340.3	12194.5	11377.7	27912.5
400 Kg/ha	4074.5	11092.5	10444.8	25611.8
600 Kg/ha	4499.8	12484.5	11537.2	28521.5
Valores de F:	0.68ns	0.55ns	0.34ns	0.49ns
(gl 3:6, en todos los casos).				

Tabla 6. Producción de fresón de categoría "primera" en función de las dosis de BM+CP en Chipiona (Cádiz), durante el segundo año, expresada en Kg/ha.

TRATAMIENTOS	PERIODO DE RECOGIDA			
	Marzo	Abril	Mayo	Total
Testigo	19.3	-	401.2	420.5
200 Kg/ha	24.2	-	468.8	493.0
400 Kg/ha	9.7	-	464.0	473.7
600 Kg/ha	33.8	-	464.0	497.8
Valores de F:	0.85ns	-	2.49ns	1.48ns
(gl 3:6, en todos los casos).				

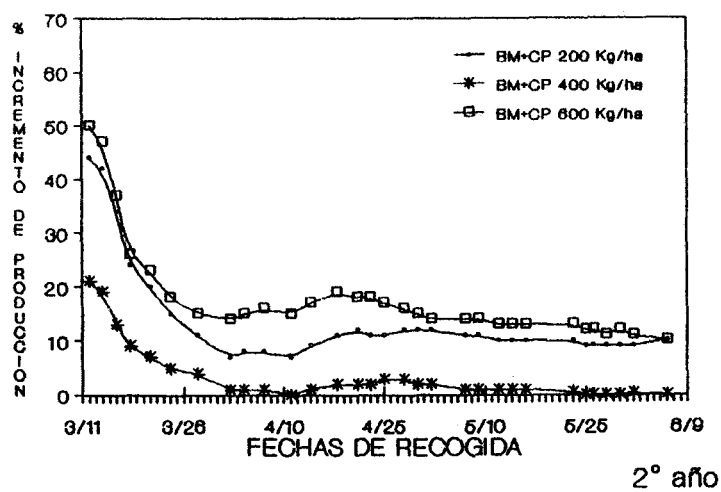
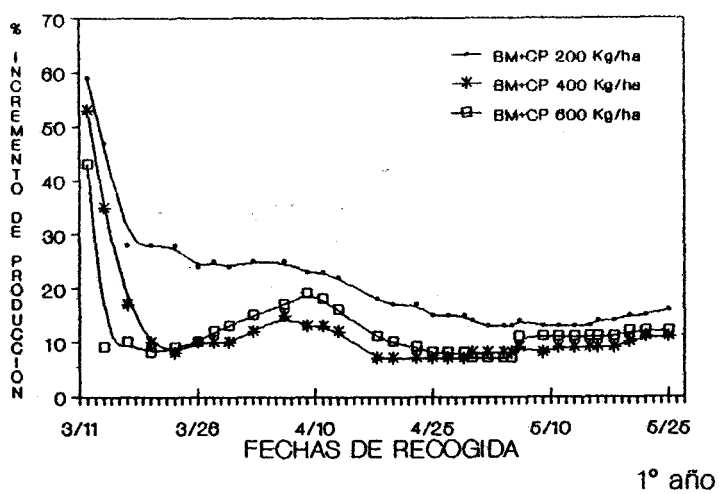


Fig. 7. Incrementos de producción en relación al testigo, obtenidos con distintas dosis de BM+CP en Chipiona (Cádiz).

general, incrementos significativos de la producción total (extra+primera) excepto en el mes de Marzo (Tabla 7). En el mes de Abril, las mayores producciones correspondieron a los tratamientos de 200 y 400 Kg/ha, y en el de Mayo, a los de 400 y 600. Los resultados de producción total final nos muestran que sólo existen diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento de 400 Kg/ha de BM+CP, con el que se obtuvo un incremento de la producción del 22%.

Los datos desglosados en categorías extra y primera se encuentran en las tablas 8 y 9, respectivamente. En el caso del fresón de primera (Tabla 9), las diferencias sólo son significativas en el mes de Mayo, en el que el tratamiento de 200 Kg/ha presenta una disminución frente al testigo sin tratar. No ocurre igual con la producción extra (Tabla 8), en la que si existieron incrementos significativos durante los meses de Abril y Mayo, así como en la producción final. En el mes de Abril, las diferencias en relación al testigo, se encuentran sólo en los tratamientos de 200 y 400 Kg/ha, en Mayo en los de 400 y 600 Kg/ha y en la producción final los resultados son similares a los de Abril.

En el segundo año los resultados son semejantes, aunque con algunas diferencias. En la producción total (extra+primera) mensual (Tabla 10) existen diferencias significativas entre el testigo y todas las dosis de BM+CP durante los meses de Marzo y Abril, mientras que en Mayo no se observaron diferencias. En la producción final ocurre igual que en los dos primeros meses.

Tabla 7. Producción total de fresón, durante el primer año, en función del tratamiento del suelo en Las Madres (Huelva), expresada en Kg/ha.

TRATAMIENTOS	PERIODO DE RECOGIDA			
	Marzo	Abril	Mayo	Total
Testigo	5763.3	15063.8	11498.6	32329.7
SS	6696.4	16688.5	11321.5	34706.5
BM+CP 200 Kg	6999.3	17661.2	12255.9	36916.4
BM+CP 400 Kg	7866.9	18107.8	13531.5	39506.2
BM+CP 600 Kg	6670.7	16734.7	13590.5	36996.0
Fosetil-Al + Folpet	6265.3	15453.9	13354.4	35073.5
Procloraz + Carbendazima	6706.7	14350.3	10959.7	32016.6
Iprodione + Carbendazima	6532.1	16036.6	11639.9	34208.6
Valores de F:	0.26ns	2.44*	2.91**	2.97**
(gl 7:14, en todos los casos).				
M.D.S. (P=0.05)	-	2496	1914	5224

Tabla 8. Producción de fresón de categoría "extra", durante el primer año, en función del tratamiento de desinfestación en Las Madres (Huelva), expresada en Kg/ha.

TRATAMIENTOS	PERIODO DE RECOGIDA			
	Marzo	Abril	Mayo	Total
Testigo	4745.8	14391.3	10153.7	29290.8
SS	5654.4	16123.8	9861.1	31639.3
BM+CP 200 Kg	6008.6	17191.5	11444.8	34644.9
BM+CP 400 Kg	6878.7	17591.9	12099.8	36569.9
BM+CP 600 Kg	5718.5	16203.4	12153.2	34075.1
Fosetil-Al + Folpet	5415.7	14966.2	12050.5	32432.4
Procloraz + Carbendazima	5757.0	13762.5	9797.0	29316.5
Iprodione + Carbendazima	5333.5	15325.6	10205.1	30864.2
Valores de F:	0.24ns	2.76*	2.79**	3.08**
(gl 7:14, en todos los casos).				
M.D.S. (P=0.05)	-	2428	1933	5223

Tabla 9. Producción de fresón de categoría "primera", durante el primer año, en función del tratamiento de suelo en Las Madres (Huelva), expresada en Kg/ha.

TRATAMIENTOS	PERIODO DE RECOGIDA			
	Marzo	Abril	Mayo	Total
Testigo	1021.5	672.5	1344.9	3038.9
SS	1042.4	564.7	1460.4	3067.2
BM+CP 200 Kg	990.7	469.7	811.1	2271.5
BM+CP 400 Kg	988.2	515.9	1432.2	2936.3
BM+CP 600 Kg	952.2	531.3	1437.2	2920.9
Fosetil-Al + Folpet	849.6	487.7	1303.9	2641.1
Procloraz + Carbendazima	949.7	587.8	1162.7	2700.1
Iprodione + Carbendazima	1198.6	711.0	1434.8	3344.4
Valores de F:	1.10ns	0.62ns	2.23*	1.79ns
(gl 7:14, en todos los casos).				
M.D.S. (P=0.05)	-	-	448	-

Tabla 10. Producción total de fresón, durante el segundo año, en función del tratamiento del suelo en Las Madres (Huelva), expresada en Kg/ha.

TRATAMIENTOS	PERIODO DE RECOGIDA			
	Marzo	Abril	Mayo	Total
Testigo	11511.5	16596.2	19483.7	47591.3
SS	12116.4	19079.5	21584.7	52780.7
BM+CP 200 Kg	13651.0	22153.9	22255.7	58060.6
BM+CP 400 Kg	14022.2	21887.1	21689.2	57598.6
BM+CP 600 Kg	14657.4	20872.5	20322.4	55852.3
Fosetil-Al + Folpet	12878.2	17366.2	20383.0	50627.3
Procloraz + Carbendazima	11343.7	17124.2	21177.7	49645.8
Iprodione + Carbendazima	11541.7	17688.0	22057.7	51287.4
Valores de F:	6.56***	4.79***	2.01ns	5.27***
(gl 7:14, en todos los casos).				
M.D.S. (P=0.05):	1514	3118	-	5094

Comparando los incrementos de producción final de los dos años, podemos observar que son iguales en el tratamiento de 400 Kg/ha, y algo más pequeños en los de 200 y 600 del primero, a pesar de que las producciones absolutas, expresadas en Kg/ha, son casi un 20% mayores el segundo año.

Los datos de fresón extra (Tabla 11) muestran igual comportamiento que los de producción total (Tabla 10), mientras que en los de primera categoría (Tabla 12) sólo presentan diferencias con el testigo los tratamientos de 200, 400 y 600 Kg/ha, y sólo considerando el mes de Abril, mientras que en la producción final de esta categoría sólo existen entre el control y 200 y 400 Kg/ha..

Aunque los valores de incremento de cosecha de fresón en tratamientos con BM+CP son algo más bajos que los obtenidos por otros autores con BM, CP o mezclas de ambos (Moore et al., 1979; Yuen et al., 1991), hay que señalar que en esos casos, los grandes incrementos de producción se obtienen en suelos infestados con diferentes patógenos, que son controlados por los fumigantes, mientras en nuestro caso, los suelos utilizados están libres de patógenos conocidos.

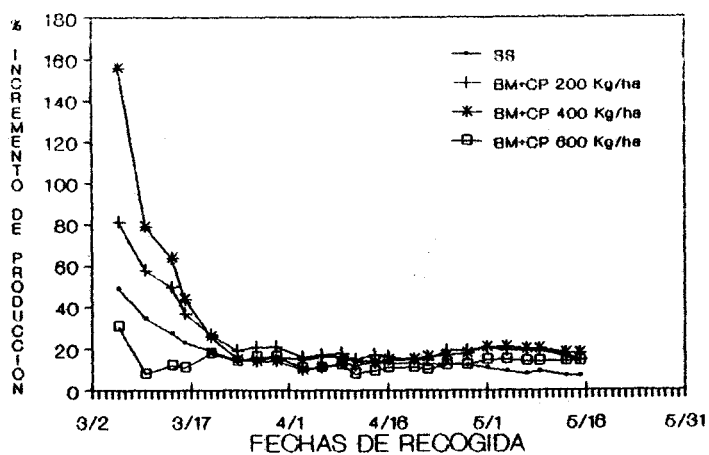
La variación con el tiempo del incremento de producción en función de los tratamientos se encuentra en la Fig. 8. Las gráficas correspondientes a las dos campañas presentan un comportamiento similar, a excepción del tratamiento de 600 Kg/ha, que al inicio del primer año no logra incrementos de producción del orden de los alcanzados

Tabla 11. Producción de fresón de categoría "extra", durante el segundo año, en función del tratamiento del suelo en Las Madres (Huelva), expresada en Kg/ha.

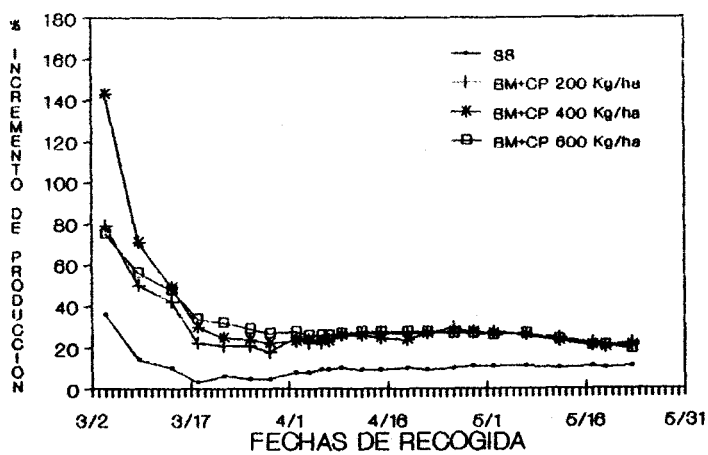
TRATAMIENTOS	PERIODO DE RECOGIDA			
	Marzo	Abril	Mayo	Total
Testigo	9704.7	14514.5	16054.5	40273.7
SS	10458.2	16670.5	17872.2	45001.0
BM+CP 200 Kg	11621.5	18928.2	18353.5	48903.2
BM+CP 400 Kg	11902.0	18589.9	17613.7	48105.7
BM+CP 600 Kg	12740.7	17979.5	17047.2	47767.4
Fosetil-Al + Folpet	10384.0	15152.5	17248.0	42784.4
Procloraz + Carbendazima	9836.7	15070.0	18246.2	43153.1
Iprodione + Carbendazima	9372.0	15306.5	18235.2	42913.7
Valores de F: (gl 7;14, en todos los casos).	8.50***	2.98**	0.99ns	2.98**
M.D.S. (P=0.05)	1249	3093	-	5450

Tabla 12. Producción de fresón de categoría "primera", durante el segundo año, en función de los tratamientos de suelo en Las Madres (Huelva), expresada en Kg/ha.

TRATAMIENTOS	PERIODO DE RECOGIDA			
	Marzo	Abril	Mayo	Total
Testigo	1806.7	2081.7	3429.2	7317.6
SS	1658.2	2409.0	3712.5	7779.7
BM+CP 200 Kg	2029.5	3225.7	3902.2	9157.4
BM+CP 400 Kg	2120.2	3297.2	4075.5	9492.9
BM+CP 600 Kg	1916.7	2893.0	3275.2	8084.9
Fosetil-Al + Folpet	2494.2	2213.7	3135.0	7842.9
Procloraz + Carbendazima	1507.0	2054.2	2931.5	6492.7
Iprodione + Carbendazima	2169.7	2381.5	3822.5	8373.7
Valores de F: (gl 7:14, en todos los casos). M.S.D. (P=0.05)	1.88ns -	4.43*** 722	1.30ns -	3.21*** 1631



1º año



2º año

Fig. 8. Incrementos de producción en relación al testigo, obtenidos con distintos tratamientos de desinfestación de suelos en Las Madres (Huelva).

por el resto. En ambos casos, destaca la dosis intermedia de 400 Kg/ha, y la estabilización de la respuesta ocurre con incrementos de aproximadamente el 20% el primer año, y ligeramente inferiores el segundo. Después de los primeros días no existen diferencias entre los incrementos alcanzados por la distintas dosis de BM+CP.

4.2.2.3. Solarización del suelo.

El tratamiento de SS tiene una menor influencia sobre la producción que los de BM+CP.

Durante el primer año, aunque las producciones de fresón extra obtenidas con este tratamiento (Tabla 8) son siempre mayores que las del testigo en los meses de Marzo (19%) y Abril (12%), las diferencias no son significativas, como tampoco lo son en su producción final.

En el segundo año, las producciones de fresón extra (Tabla 11) son entre un 8 y un 15% mayores que las del testigo, pero la diferencia no es significativa, igual que ocurre con la categoría primera (Tabla 12). La producción total (extra+primera) final (Tabla 10) es, sin embargo, significativamente mayor que la del testigo, con un incremento sobre este del 11%. Comparando dicha producción con la de los tratamientos de BM+CP, vemos que es significativamente menor que la de 200 Kg/ha, aunque no se diferencia de las de 400 y 600 Kg/ha. En general, el tratamiento de SS tiene una menor influencia sobre la producción que los de BM+CP, al contrario que lo observado

en suelos de baja fertilidad, libres de patógenos conocidos, en cultivo de habas (Meron et al., 1989).

4.2.2.4. Tratamientos con fungicidas.

Los tratamientos con fungicidas Fosetil-Al+Folpet (F_1), Procloraz+Carbendazima (F_2) y Iprodione+Carbendazima (F_3) carecen de efectos significativos sobre la producción.

Durante el primer año, las diferencias con el testigo de las producciones totales (extra+primera) finales supusieron pequeños incrementos del 8% y el 6% para F_1 y F_2 , y el segundo año se obtuvieron incrementos del 6%, 4% y 8% para F_1 , F_2 y F_3 , respectivamente.

4.2.2.5. Producciones obtenidas en macetas con suelos desinfestados mediante BM+CP (67%+33%) y SS.

Los resultados de incremento de producción en función de los tratamientos, en plantas crecidas en macetas en suelos desinfestados mediante SS y BM+CP 600 Kg/ha, se recogen en la Fig. 9. Las curvas de incremento de producción en función del tiempo son muy semejantes a las obtenidas en campo, aunque los valores iniciales son algo menores. En el caso de BM+CP oscilan entre el 86% al inicio del período de recogida y el 13% de incremento final global, que en campo y con igual tratamiento (600 Kg/ha) era del 14 y 17%, para los años primero y segundo, respectivamente. En el tratamiento de SS el incremento inicial es del 24%, sufriendo una

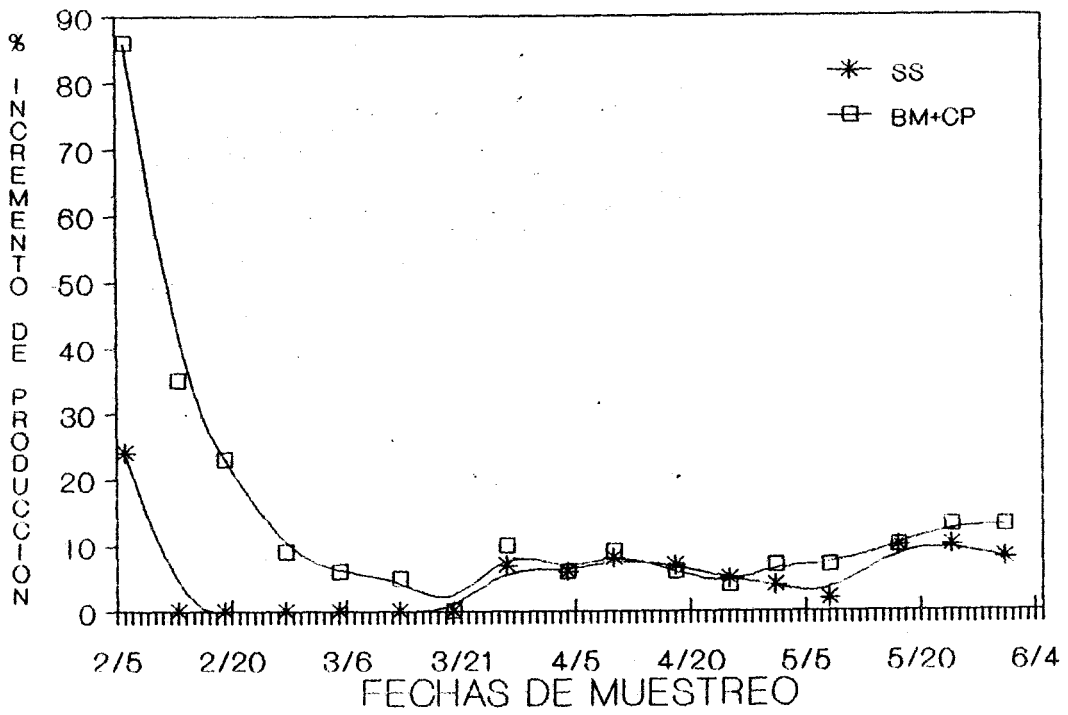


Fig. 9. Incrementos de producción en relación al testigo, de plantas de fresón cultivadas en macetas.

disminución posterior, llegando al final a un valor del 8%, muy similar al obtenido en campo, 7 y 11%.

Con respecto al número total de frutos recolectados por cada tratamiento, el incremento en relación al testigo es aproximadamente igual en los de SS (8%) y BM+CP (9%), siendo el tamaño medio igual en el testigo y SS, y un 4% mayor en BM+CP.

4.3. Cambios químicos en suelos desinfestados

Los datos de pH, conductividad eléctrica (c.e.) y contenido en el suelo de materia orgánica (m.o.), macro y microelementos después de los tratamientos de suelo, se encuentran recogidos en las tablas 13-15. En las tablas 13 y 14, correspondientes a los resultados obtenidos en suelos de Las Madres y Chipiona, respectivamente, no se observan diferencias entre el testigo y los tratamientos, ni tampoco entre estos últimos. Los correspondientes análisis de la varianza nos muestran valores de F que no son significativos en ningún caso.

4.3.1. Suelos solarizados.

El objeto del estudio de los posibles incrementos de determinados elementos en suelos ha sido el buscar una explicación a los incrementos de crecimiento y cosecha que ocurren en dichos suelos, especialmente cuando estos están

Tabla 13. Contenido del suelo en diferentes elementos, a una profundidad de 0-60 cm, después de la desinfestación del mismo por distintos tratamientos, en Las Madres (Huelva). Datos de c.e. expresados en mS/cm, los restantes en ppm.

TRATAMIENTOS	Ph	c.e	m.o.	Cl ⁻	N	P	K
Testigo	6.5	0.13	8400	17.0	390	27.2	54.1
SS	6.8	0.11	8500	13.7	320	17.8	42.3
BM+CP 200 Kg	6.7	0.18	9000	16.7	530	12.2	57.3
BM+CP 400 Kg	6.6	0.15	8900	15.3	460	22.0	59.0
BM+CP 600 Kg	6.5	0.14	7000	15.7	500	11.5	60.0

Valores de F: 3.09ns 1.78ns 0.26ns 0.15ns 3.16ns 0.7ns 0.91ns
(gl 3:6, en todos los casos)

TRATAMIENTOS	Mg	Ca	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
Testigo	32.7	543	77.7	364	43.7	15.0	30.5
SS	27.3	533	66.3	340	33.3	16.7	28.7
BM+CP 200 Kg	30.9	635	79.5	365	48.7	16.7	31.0
BM+CP 400 Kg	30.7	488	66.0	329	41.3	12.0	27.0
BM+CP 600 Kg	29.7	462	70.5	300	30.7	14.0	28.0

Valores de F: 0.23ns 1.65ns 0.24ns 1.11ns 1.18ns 1.90ns 1.42ns
(gl 3:6, en todos los casos)

Tabla 14. Contenido del suelo en diferentes elementos, a una profundidad de 0-60 cm, en función de las distintas dosis de BM+CP en Chipiona (Cádiz). Datos de c.e. expresados en mS/cm, los restantes en ppm.

TRATAMIENTOS	pH	c.e.	m.o.	Cl ⁻	N	P	K
Testigo	7.3	0.22	1800	13.3	560	6.5	124
200 Kg/ha	7.4	0.23	2300	20.0	600	8.3	161
400 Kg/ha	7.4	0.21	5500	18.0	500	7.3	151
600 Kg/ha	7.2	0.26	2300	19.7	630	12.1	198

Valores de F 2.59ns 0.46ns 0.84ns 0.63ns 0.37ns 0.39ns 0.78ns
(gl 3:6, en todos los casos)

TRATAMIENTOS	Mg	Ca	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
Testigo	124	2920	61.3	443	79	39.3	29.3
200 Kg/ha	143	2980	74.3	449	94	42.0	30.7
400 Kg/ha	147	2900	71.3	364	81	59.3	35.3
600 Kg/ha	140	2940	75.3	443	102	52.0	38.7

Valores de F 0.32ns 0.02ns 0.69ns 0.14ns 0.70ns 0.85ns 0.54ns
(gl 3:6, en todos los casos)

libres de patógenos (Pullman et al., 1982; Stapleton & De Vay, 1982-b; Rubin & Benjamin, 1983; Barbercheck & Von Broembsen, 1986, Vannacci et al., 1987).

Los resultados de la experiencia de SS de Las Madres (Tabla 13) indican que este tratamiento no provoca incrementos apreciables en una capa del suelo entre 0 y 60 cms de profundidad. Los resultados obtenidos por distintos investigadores son muy variables. En la mayoría de los casos se detectan incrementos en el contenido de N del suelo (Chen & Katan, 1980; Stapleton et al., 1983; Cartia, 1989; Kaewruang et al., 1989), mientras que los valores de Ph, m.o. y Fe, igual que ocurre en nuestro caso, no varían (Chen & Katan, 1980; Kaewruang et al., 1989). En el resto de elementos no existe unanimidad, ni incluso entre suelos de diferentes tipos estudiados por los mismos investigadores. Así, en los contenidos de Ca, Mg y el valor de c.e. se han detectado incrementos en algunos casos (Chen & Katan, 1980), mientras en otros sólo han variado en un porcentaje del 50% de los suelos estudiados (Stapleton et al., 1983). De igual forma, experiencias realizadas en 4 puntos distintos pero en igualdad de condiciones experimentales revelan disconformidad en los contenidos de N-nítrico, N-amoniaco, P, K, Ca, Mg, Zn y c.e., que en unos puntos sufren incrementos con la SS y en otros disminuciones, mientras que en el resto de los elementos estudiados no existen diferencias (Stapleton & De Vay, 1982-a).

Puesto que el tratamiento de SS pierde eficacia a medida que aumenta la profundidad, se consideró interesante

realizar por separado el análisis de la fracción correspondiente a la capa superior del suelo (0-20 cms). Los resultados (Tabla 15) muestran que, aunque existen diferencias en general entre los valores obtenidos a las profundidades de 0-20 y 20-60 cms, con el tratamiento de SS no se produce ningún incremento de los mismos en los dos niveles considerados.

4.3.2. Suelos tratados con BM+CP.

En los tratamientos con BM+CP, las investigaciones realizadas se centran exclusivamente en el aumento del contenido de N del suelo, especialmente en su forma amoniacal (Wilhelm & Paulus, 1980; Munnecke & Van Gundy, 1979; Harris, 1990), sin prestar atención al resto de macro y microelementos. Esto es debido a que desde los primeros trabajos de desinfestación (Wilhelm, 1965) se ha postulado que los nutrientes totales no son directamente responsables de la respuesta de incremento de crecimiento, atribuida mas bien a la eliminación de determinados patógenos susceptibles a los fumigantes.

Los resultados de las tablas 13 y 14 para Las Madres y Chipiona, respectivamente, muestran un ligero incremento del contenido de N, que ocurre sólo en Las Madres, donde se empleó BM+CP (67%+33%) y, además, resultó ser no significativo. Con el resto de elementos estudiados ocurre igual. Los datos de c.e., indicativos de la concentración de sales solubles totales, tampoco aumentan en

Tabla 15. Contenido en diferentes elementos de suelos solarizados, en función de la profundidad, Las Madres (Huelva).

TRATAMIENTOS	PROF. (cm)	Ph	c.e.	m.o.	Cl ⁻	N	P	K
Testigo	0-20	6.5	0.16	11800	10.7	570	37.8	70.3
SS	0-20	6.7	0.15	11500	16.7	500	24.0	65.0
Testigo	20-60	6.6	0.12	6300	20.0	300	21.8	46.0
SS	20-60	6.9	0.09	7000	11.7	230	16.0	31.0

TRATAMIENTOS	PROF. (cm)	Mg	Ca	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
Testigo	0-20	57.0	74.8	73.7	439	62.7	17.3	38.0
SS	0-20	31.3	81.1	74.3	472	60.7	20.7	40.0
Testigo	20-60	20.7	44.1	79.0	326	34.0	14.0	26.7
SS	20-60	25.3	39.4	62.3	274	19.3	14.7	23.0

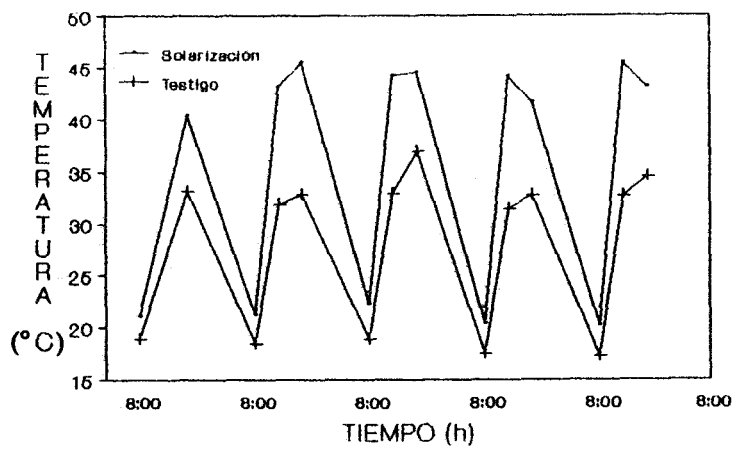
ninguna de las dos localidades.

Debido a que todos los trabajos sobre variación de la composición química de suelos desinfestados se han realizado con una diversidad considerable de los mismos, obteniéndose resultados variables, podría caber la posibilidad de que la respuesta dependiera de esta característica, siendo mas difícil que ocurriera en los suelos arenosos y muy pobres de nuestras experiencias.

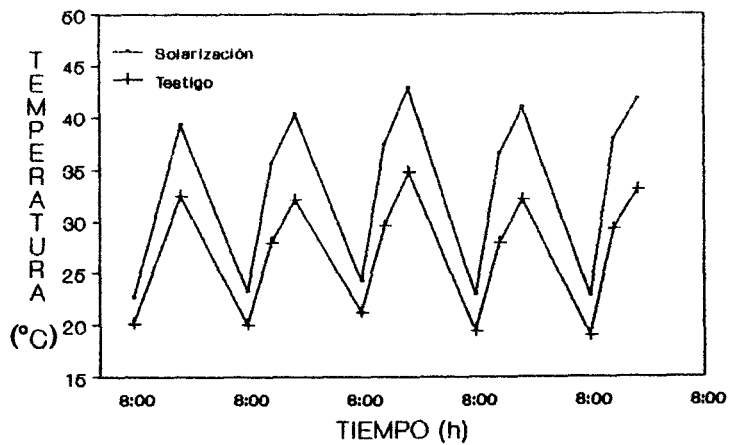
4.4. Efecto de la solarización sobre las temperaturas del suelo

Los resultados de las temperaturas de los suelos cubiertos con plástico y sin cubrir, registradas en Las Madres durante el primer año se recogen en la Fig. 10, desglosados para las profundidades de 5, 10 y 20 cm. En la Fig. 11 se representan las diferencias medias de temperatura entre suelos solarizados y testigo, en las distintas horas de medida.

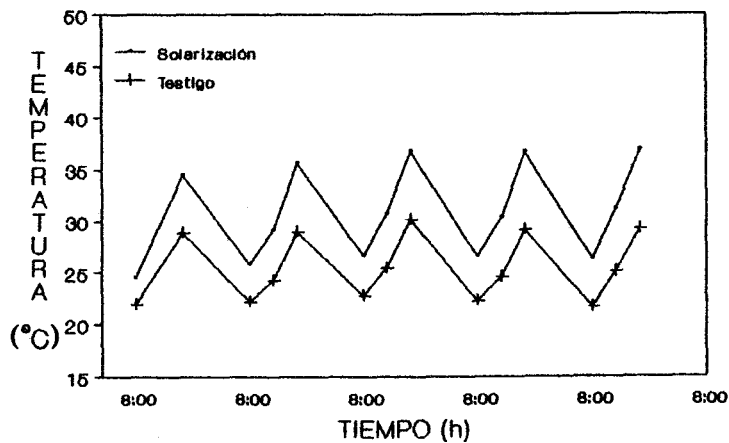
La máxima diferencia media de temperatura entre el suelo cubierto y sin cubrir fué de 12°C, a 5 cm de profundidad. A pesar de que las condiciones de las experiencias de SS realizadas por distintos autores son muy variables en cuanto a localización geográfica, condiciones climáticas, tipos de suelo, cubierta empleada y riegos, es interesante destacar que las diferencias de temperatura obtenidas son muy similares a las encontradas en



5 cm



10 cm



20 cm

Fig. 10. Variaciones de la temperatura de suelos cubiertos con plástico y sin cubrir, medidas a diferentes profundidades, en el mes de Julio en Las Madres (Huelva).

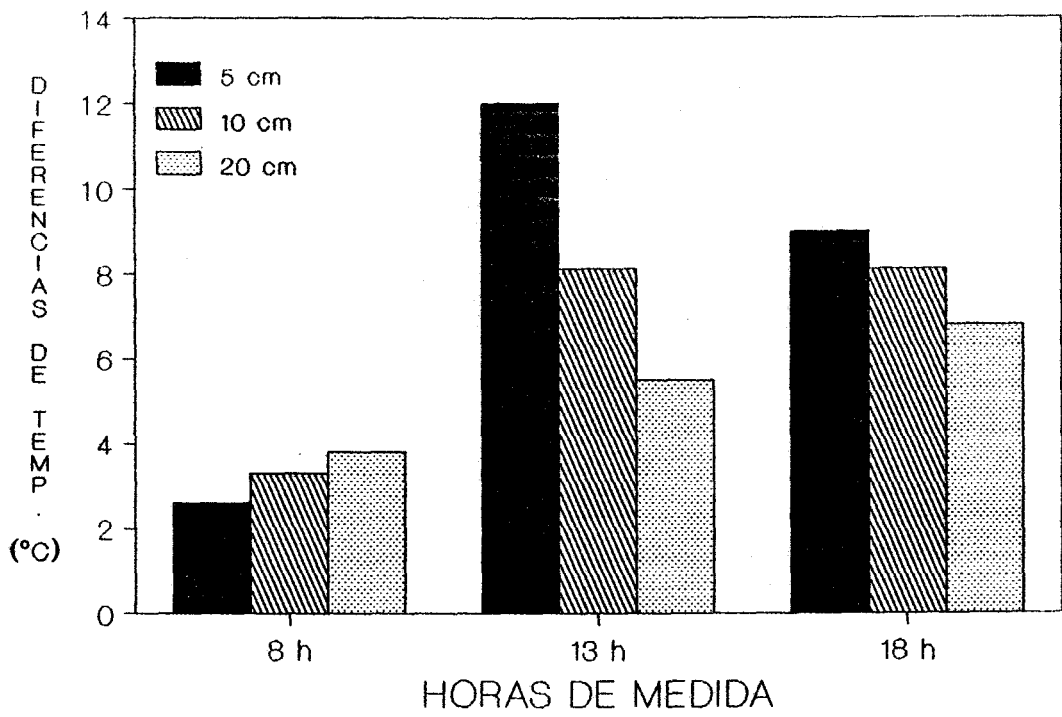


Fig. 11. Diferencias de temperatura entre suelos solarizados y testigo, a diferentes profundidades. Las Madres (Huelva), primer año.

experiencias realizadas en otros países. En concreto, la máxima diferencia de temperatura a 5 cm coincide con las obtenidas en Israel (Katan, 1980), EEUU, en California (Pullman et al., 1981-a) y Texas (Martyn, 1986), Japón (Kodama & Fukui, 1982-b), Sudáfrica (Barbercheck & Von Broembsen, 1986), Italia (Vannacci et al., 1987) y La India (Lodha & Vaidya, 1990).

Se han realizado análisis de la varianza multifactoriales (AVMF) de los datos separados por horas de medida, y completos. En el primer caso, los valores de F tanto para profundidades (5, 10 y 20 cm), como para tratamientos (testigo y SS) son significativos al 99%. Estos resultados indican que la SS resulta muy eficaz en el calentamiento del suelo medido en una variedad de condiciones como son diferentes profundidades y horas del día. Igualmente podemos decir que a medida que la profundidad es mayor, bajan significativamente las temperaturas alcanzadas. El tratamiento de SS influye sobre la variación de temperatura en el suelo de manera que la cubierta de plástico hace invertir el gradiente de temperatura por la noche, evitando el enfriamiento de las capas mas profundas del suelo (Katan, 1980). Así, a las 8 h, observamos que la diferencia de temperatura es significativamente mayor a 20 que a 10 y 5 cm.

4.5. Efecto de la desinfestación sobre la población de *Pythium sp.* en el suelo

El crecimiento y la cosecha de plantas crecidas en suelos desinfectados se ve frecuentemente incrementado, aún en aquellos que están libres de patógenos conocidos. Este fenómeno de respuesta de incremento de crecimiento es atribuido a varios factores bióticos y abióticos, estando entre los primeros el control de "patógenos menores", y entre los segundos, el incremento en nutrientes minerales del suelo.

En nuestro caso, y antes de establecer las experiencias de campo, se había intentado aislar del suelo los hongos patógenos del fresón *Pytophthora cactorum* y *Verticillium dahliae*, resultando negativos todos los intentos, realizados con diferentes técnicas y medios de cultivo, los cuales fueron contrastados en otros infestados artificialmente. Por tanto, se asumió que los suelos estaban libres de estos patógenos, lo que se comprobó posteriormente, al no detectarse ningún síntoma de las enfermedades que originan. De igual forma, en aislamientos de plantas realizados durante el cultivo no se obtuvo *V. dahliae* en ningún caso, mientras que *P. cactorum* se aisló sólo de forma esporádica. Dado el carácter de la podredumbre de corona, enfermedad provocada por este hongo, y su desarrollo epifitótico, podemos decir que estos casos aislados correspondían a plantas portadoras de la enfermedad procedentes de viveros.

Así, al estar libres los suelos de los patógenos mayoritarios del fresón, se pensó que los aumentos de

producción por la desinfestación podrían estar motivados por la disminución de la población de patógenos menores.

Pythium sp. es un hongo de suelo muy cosmopolita, y aunque es más agresivo sobre semillas y plántulas, puede parasitar plantas en todos los estadios de crecimiento (Hendrix & Campbell, 1973). Algunas especies de *Pythium* originan atrofia de las plantas y disminuciones de cosechas, sin otros síntomas en las mismas que los de deficiencias de nutrientes (Wilhelm, 1965). En fresón, *Pythium sp.* destruye el tejido radicular joven de las raicillas nutricias, mediante una acción de tipo mecánico (Nemec, 1972), habiéndose aislado hasta 17 especies del hongo en tejido de raíz y en rizosfera, así como en plantas de fresón pobres en crecimiento y cosecha (Watanabe et al., 1977; A.P.S., 1984). La población natural de este hongo en suelo es muy variable, habiéndose detectado valores que oscilan entre 10 y 3800 propágulos por gramo (Stanghellini & Hancock, 1970; Ricci & Messiaen, 1976), dependiendo de factores como tipo e historia del suelo, profundidad de muestreo, etc.

4.5.1. Suelos desinfestados con BM+CP (98%+2%).

Los datos de población de *Pythium sp.* en suelo, en diferentes momentos de muestreo y profundidades, obtenidos con distintas dosis de BM+CP en caliente en Chipiona, se recogen en la tablas 16 y 17.

El primer año se obtienen valores, antes de tratar, que oscilan entre 33.6-43.1 (0-20 cm) y 18.3-25.6 (20-40

cm), y en el segundo año entre 42.5-50.6 (0-20 cm) y 3.1-9.5 (20-40 cm). En ningún caso existieron diferencias significativas entre los valores obtenidos en las parcelas destinadas a los distintos tratamientos, lo que indicaba una distribución homogénea de la población de *Pythium* sp. en las parcelas experimentales utilizadas.

El tratamiento con BM+CP en caliente (Tabla 16), redujo en el primer año casi en un 100% la población del hongo en el suelo, siendo esta disminución muy similar en las dos profundidades muestreadas. Todas las dosis empleadas tuvieron idéntico efecto en las dos profundidades, siendo la reinfestación prácticamente nula, al mantenerse al final de la experiencia las diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos.

Durante el segundo año (Tabla 17) los resultados fueron muy semejantes, con una reducción en los 20 cm superiores de un 100% de propágulos con la aplicación de 400 Kg/ha de BM+CP y de un 91-92% en las restantes. De igual modo resultó efectiva a la profundidad de 20-40 cm, con una reducción de la población de *Pythium* cercana al 100%.

Los resultados obtenidos al final de la experiencia son algo distintos a los del año anterior. En el nivel superior (0-20 cm), el valor del testigo baja 3 veces con respecto al muestreo anterior. El valor de F es menos significativo ($F=3.58^*$), y los porcentajes de reducción de la población del hongo suponen el 83% para 200 Kg/ha, el 69% para 400 Kg/ha (no significativo en relación al testigo) y el 81% para 600 Kg/ha. En el nivel de 20-40 cm, aunque para

Tabla 16. Variación de la población de *Pythium* sp. en suelo, en función de las distintas dosis de BM+CP en Chipiona, primer año. Datos expresados como número de propágulos viables de *Pythium* sp. por gramo de suelo (NPP/g suelo).

TRATAM.	N° PROPAGULOS SEGUN MOMENTO Y PROFUNDIDAD (cm)					
	Antes de tratar		Después de tratar		Final de la experiencia	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
Testigo	38.0	18.3	33.3 ^a	26.9 ^a	22.7 ^a	8.0 ^a
200 Kg/ha	43.1	20.4	0.1 ^b	0.1 ^b	1.0 ^b	0.7 ^b
400 Kg/ha	33.6	24.9	0.1 ^b	0.1 ^b	0.3 ^b	0.1 ^b
600 Kg/ha	39.5	25.6	0.1 ^b	0.1 ^b	0.9 ^b	0.0 ^b

Valores F 0.14ns 0.33ns 28.68**** 44.65**** 55.68**** 6.60****
(gl 3:6, en todos los casos).

Por columnas, valores seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (P=0.05).

Tabla 17. Variación de la población de *Pythium* sp. en suelo en función de las distintas dosis de BM+CP en Chipiona (Cádiz), segundo año. Datos expresados como NPP/g de suelo.

TRATAM.	Nº DE PROPAGULOS SEGUN MOMENTO Y PROFUNDIDAD					
	Antes de tratar		Despues de tratar		Final de la experiencia	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
Testigo	47.7	9.5	21.3 ^a	8.3 ^a	7.5 ^a	0.1
200 Kg	44.1	5.2	1.8 ^b	0.0 ^b	1.3 ^b	0.1
400 Kg	50.6	8.0	0.0 ^b	0.1 ^b	2.3 ^{a,b}	0.2
600 Kg	42.5	3.1	1.6 ^b	0.1 ^b	1.4 ^b	1.5

Valores

de F : 0.08ns 0.88ns 19.03**** 26.37**** 3.58* 0.68ns
(gl 3:6, en todos los casos).

Por columnas, valores seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (P=0.05).

los tratamientos no sube el NPP/g con respecto al anterior muestreo, el valor del testigo desciende hasta igualarse con éstos.

Al igual que en el primer año, no hubo reinfestación al finalizar la recolección. Si se observó en las parcelas testigo una reducción natural en la población de *Pythium sp.* Este hecho fue observado por Reeleder y Hagedorn (1981), al comprobar que la población de dicho hongo en el suelo sufre fluctuaciones naturales a lo largo de un cultivo, caracterizándose por un incremento al inicio del mismo, seguido por una disminución, la cual puede deberse a una ralentización del crecimiento de las raíces, o a cambios cualitativos y/o cuantitativos de los exudados de las mismas. En relación con la profundidad, la mayor población se encuentra en la zona de crecimiento activo de las raicillas nutricias, y baja con la profundidad de muestreo, aunque el hongo está presente todavía a profundidades de 90 cm (Hendrix & Campbell, 1973). En nuestro caso, la población mayoritaria se encontró en los 20 cm superiores.

4.5.2. Suelos desinfestados con BM+CP (67%+33%) y SS.

Las variaciones en la población de *Pythium sp.* en diferentes momentos de muestreo y profundidades en Las Madres, durante el segundo año, se recogen en la Tabla 18.

Antes de tratar, igual que ocurrió en Chipiona, no existieron diferencias entre los suelos de las parcelas testigo y los destinados a los diferentes tratamientos, a

Tabla 18. Variación de la población de *Pythium* sp. en suelo, en función de los distintos tratamientos de desinfestación en Las Madres (Huelva), campaña de durante el segundo año. Datos expresados como NPP/g de suelo.

TRATAM.	Nº DE PROPAGULOS SEGUN MOMENTO Y PROFUNDIDAD					
	Antes de tratar		Despues de tratar		Final de la experiencia	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
Testigo	73.2	30.0	66.5 ^a	22.7 ^a	102.6 ^a	40.7 ^a
SS	69.8	31.7	33.8 ^b	14.0 ^b	54.8 ^b	32.6 ^a
200 Kg	74.7	40.3	1.4 ^c	0.2 ^c	5.7 ^c	8.0 ^b
400 Kg	65.1	25.7	0.0 ^c	0.0 ^c	14.4 ^c	6.1 ^b
600 Kg	65.3	42.7	0.1 ^c	0.0 ^c	11.1 ^c	13.2 ^b

Valores

de F : 0.33ns 0.86ns 87.88*** 41.11***31.41***8.54***
(gl 4:8, en todos los casos)

Por columnas, datos seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (P=0.05).

ninguna de las profundidades de muestreo. La población natural del hongo en esta zona oscila entre 70 y 34 propágulos/g de suelo a las profundidades de 0-20 y 20-40, respectivamente.

La aplicación del tratamiento provocó una disminución general en la población del hongo, igual que se ha comprobado en otros trabajos (Wilhelm et al., 1974; Enebak et al., 1990).

En el nivel superior del suelo (0-20 cm) esta disminución en relación al testigo es de menor cuantía para la de SS (aproximadamente el 50%) que para los tratamientos con BM+CP. Existieron diferencias significativas entre la población de los suelos testigo y los solarizados, entre testigo y bromurados, y entre estos y los solarizados, pero no entre diferentes dosis de BM+CP.

A la profundidad de 20-40 cm se repite lo obtenido para 0-20 cm, salvo con SS, donde la reducción que se origina es un 10% menor, lo cual está en consonancia con la disminución de la eficacia de la SS con la profundidad, al disminuir la temperatura (apdo. 4.4.). Estudios efectuados por Stapleton y De Vay (1984) con *Pythium* sp. llegan a resultados muy similares, al obtener una reducción en la población del hongo que resultó un 20% menor a la profundidad de 23-46 cm que a la de 0-23 cm.

4.5.2.1. Reinfestación del suelo.

Los valores de NPP/g de suelo obtenidos al final de

la experiencia del segundo año en las Madres (Tabla 18), mostraron un incremento de la población del hongo en el suelo testigo, que casi se duplica en las profundidades 0-20 y 20-40 cm. Los valores de NPP/g obtenidos en los suelos tratados también suben, por lo que para comprobar si existe reinfestación es necesario recurrir a los porcentajes de reducción en relación al testigo. En el nivel superior (0-20 cm) la SS sigue manteniendo aproximadamente el mismo porcentaje de reducción (46%), mientras que los tratamientos con BM+CP presentan valores prácticamente iguales a la dosis de 200 Kg/ha e incluso algo superiores en el resto. A la profundidad de 20-40 cm ocurre algo similar, aunque hay que señalar que la reducción de la población del hongo es un 33% menor que en el muestreo anterior, y además, las diferencias entre el testigo y SS no son significativas.

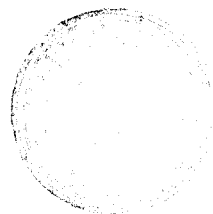
Los resultados del final de la experiencia de Las Madres en el primer año (Tabla 19), en el que no se pudieron realizar los dos muestreos anteriores, son muy semejantes a los del segundo año. La reducción de la población de *Pythium sp.* en los tratamientos de SS es aproximadamente la mitad de la obtenida con BM+CP, a todos los niveles.

Algunos investigadores (Hardy & Sivasithamparam, 1985) han comprobado que los tratamientos químicos de desinfestación pueden provocar reinfestaciones mas rápidas y severas que las observadas en suelos solarizados, tales como las originadas por *Verticillium sp.* y *Fusarium sp.*. En el caso de *Pythium sp.* y en los suelos utilizados, la reinvasión en los tratados con BM+CP ha sido prácticamente

Tabla 19. Población en suelo de *Pythium* sp. en función de los distintos tratamientos de desinfestación del suelo al finalizar la experiencia del primer año en Las Madres (Huelva).

TRATAMIENTOS	PROFUNDIDAD DE MUESTREO	
	0-20 cm	20-40 cm
Testigo	37.8 ^a	30.1 ^a
SS	24.1 ^b	12.0 ^b
BM+CP 200 Kg/ha	0.0 ^c	0.0 ^c
BM+CP 400 Kg/ha	1.2 ^c	0.0 ^c
BM+CP 600 Kg/ha	0.0 ^c	0.0 ^c

Valores de F: 61.67*** 51.65***
 (gl 4:8, en todos los casos).
 Por columnas, datos seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (P=0.05).



nula durante todo el período de cultivo, lo que coincide con los resultados de Enebak et al. (1990), que demostraron que la disminución en la población de este hongo provocada por la desinfestación con BM+CP se mantiene hasta 9 meses después del tratamiento.

Con la SS la reinfestación sólo se apreció en una de los años, y a profundidades mayores de 20 cm, donde los incrementos de temperatura no son tan elevados. En general, los oomicetos son bastante mas sensibles al calor que otros grupos de hongos. Las temperaturas letales para *Pythium sp.*, con calentamientos de 30 minutos, varían entre 42-45°C (Bollen, 1985, Miles & Conway, 1989). En varios hongos, incluidas especies de *Pythium* se ha detectado que las temperaturas subletales causan retrasos en la germinación de los propágulos (Pullman et al., 1981-a), que quedan parcialmente viables, pudiendo recuperarse según el nivel de daño originado y las condiciones del suelo. Un mecanismo de este tipo podría estar actuando a profundidades mayores de 20 cm, por lo que en algunos casos es posible la recuperación de la viabilidad y la reinfestación del suelo, mientras en otros el propágulo es incapaz de recuperarse.

4.5.2.2. Efecto de la SS en capas superficiales del suelo.

Con objeto de comprobar el efecto del tratamiento de SS a profundidades menores de 20 cm, se realizaron aislamientos de suelo de *Pythium sp.* en los niveles de 0-5, 5-10 y 10-20 cm (Tablas 20 y 21 para los años primero y

Tabla 20. Variación de la población de *Pythium sp.* en suelo, en función del tratamiento de solarización en Las Madres (Huelva), primer año. Datos expresados como NPP/g de suelo.

TRATAMIENTOS	N° DE PROPAGULOS SEGUN MOMENTO Y PROFUNDIDAD					
	Antes de tratar			Despues de tratar		
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
Testigo	113.3	145.3	166.7	153.3	114.7	138.7
SS	121.3	148.0	142.7	32.7	68.0	76.7

Valores de F: 0.93ns 0.01ns 6.95ns 107.9*** 22.1*** 207.7***
(gl 1:2, en todos los casos).

Tabla 21. Variación población de *Pythium* sp. con el tratamiento de solarización del suelo en Las Madres (Huelva), segundo año. Datos expresados como NPP/g de suelo.

TRATAMIENTOS	N° DE PROPAGULOS SEGUN MOMENTO Y PROFUNDIDAD					
	Antes de tratar			Después de tratar		
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
Testigo	78.7	77.3	69.3	62.0	65.3	69.3
SS	68.7	65.3	72.7	12.0	38.0	42.7

Valores de F: 0.38ns 2.08ns 1.12ns 24.67** 13.56** 43.24**
(gl 1:2, en todos los casos).

segundo, respectivamente). Los resultados obtenidos antes de tratar no presentaron diferencias en ninguno de los dos años, pero si las hubo después de los tratamientos en ambos años, y a todas las profundidades.

La comparación entre los resultados de porcentaje de disminución del NPP/g en relación al testigo, obtenidos mediante SS en ambas campañas (Fig. 12) nos muestra que la disminución de la población del hongo es igual para cada profundidad en los dos años. En el nivel superior (0-5 cm) se obtienen reducciones aproximadas de 80%, y en los de 5-10 y 10-20 cm, del 40%. Hay que señalar que esta coincidencia de resultados ocurre a pesar de las diferentes condiciones, ya que el primer año se dieron riegos bajo el plástico, y el segundo, sólo uno antes de colocarlo. Es un hecho demostrado que es más efectivo regar varias veces, pero la disminución de la población de patógenos de suelo, y de *Pythium sp.* en concreto, ocurre de las dos formas (Pullman et al., 1981-b).

4.5.3. Suelo desinfestado mediante BM+CP (67%+33%) y SS para su uso en macetas.

Los resultados de los aislamientos de *Pythium sp.* de suelos destinados al cultivo de plantas en macetas se reflejan en la Fig. 13. El tratamiento con BM+CP (600 Kg/ha) fue muy drástico, llegando prácticamente a la erradicación del hongo del suelo, al igual que ocurría en el resto de las experiencias. La SS sólo logró una disminución del 18% en relación al testigo, muy inferior a la obtenida con

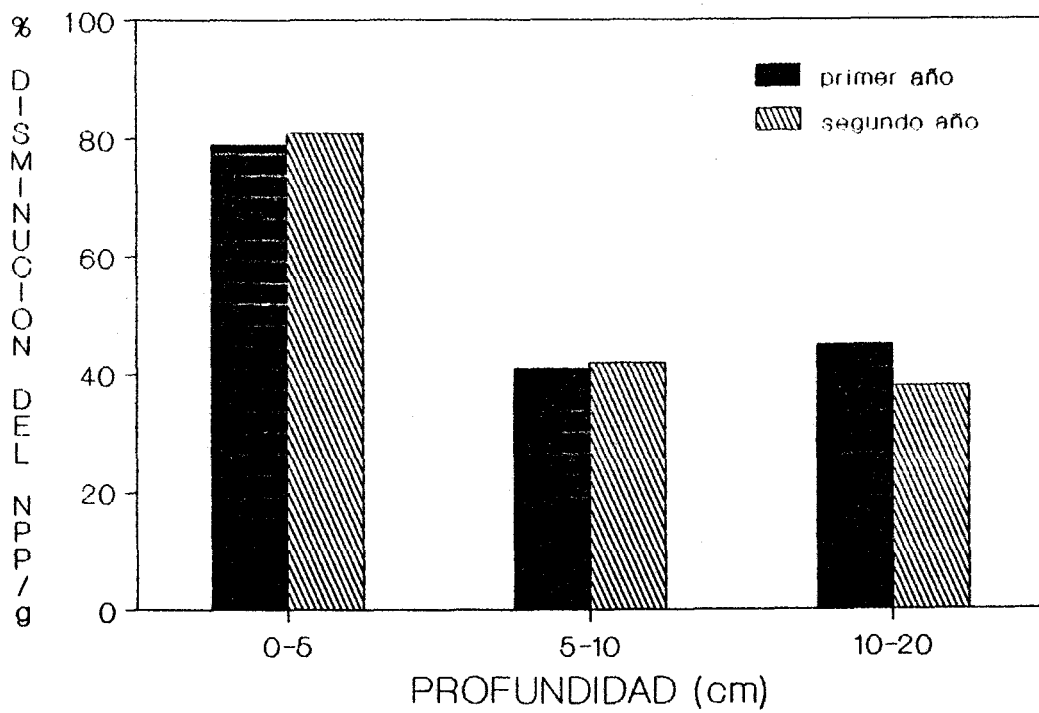


Fig. 12. Variaciones porcentuales con relación al testigo de la población de *Pythium sp.* en suelo en las Madres (Huelva).

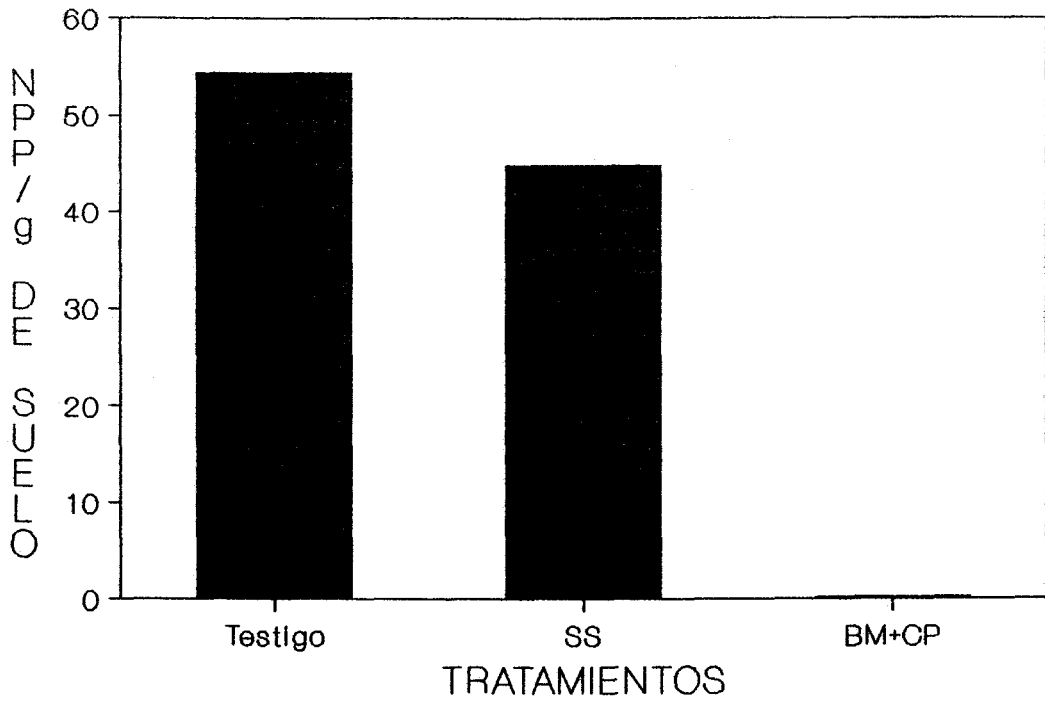


Fig. 13. Densidad de población de *Pythium sp.* en suelos desinfectados por distintos métodos, destinados al cultivo de fresón en macetas.

anterioridad en Las Madres.

4.5.4. Relación entre la disminución de la población de *Pythium sp.* en suelo y los incrementos de producción.

En general, tanto en las experiencias de campo como de invernadero, los resultados de disminución de la población de *Pythium sp.* con el tratamiento de SS están por debajo de los obtenidos con BM+CP, de igual forma que ocurre con las producciones.

Los trabajos realizados comparando SS con BM, CP o BM+CP, muestran resultados variables respecto a incrementos de cosecha y control de determinados hongos. En el caso de *Sclerotinia sclerotiorum*, ambos tratamientos se revelan igualmente eficaces para su control (Ben-Yephet, 1988). En suelos infestados con especies de *Fusarium* y *Verticillium* patógenas de berenjena, se obtuvo un mayor incremento de la cosecha con SS (Hardy & Sivasithamparam, 1985), igual que ocurrió en suelos de baja fertilidad, libres de patógenos conocidos, con el cultivo de habas (Meron et al., 1989). En los casos de podredumbre de raíz de pepino (Malathrakis, 1987) y gerbera (Kaewruang et al., 1989), se obtuvo mejor control con el tratamiento de BM+CP y, además, en el primer caso la SS no provocó ningún incremento de cosecha.

En nuestro caso, los resultados indican que el tratamiento con BM+CP (67%+33%) es más drástico en reducir la población de *Pythium sp.* en suelo que el de SS, y además origina mayores incrementos de producción. Experiencias

realizadas recientemente con fresón, en distintas zonas (Yuen et al., 1991), han demostrado que el tratamiento con BM+CP incrementa la cosecha en un 24-29%, pero sólo en aquellas con altos niveles de la enfermedad de podredumbre negra de la raíz, atribuida principalmente a varias especies de *Pythium*. En las zonas con bajos niveles de enfermedad, y por lo tanto, presumiblemente, con menores densidades de inóculo del hongo en el suelo, la cosecha no sufre incrementos con el tratamiento.

Mediante desinfestación con BM+CP (98%+2%), se obtiene una reducción en la población de *Pythium sp.* del mismo orden que la obtenida con la otra formulación, aunque no tienen lugar incrementos de producción ni crecimiento. Puesto que la población inicial natural del hongo en los suelos de Chipiona es sensiblemente menor a la de Las Madres, cabe la posibilidad de que en la primera zona, la densidad de *Pythium sp.* en el suelo no fuera un factor limitante para el crecimiento y el rendimiento de las plantas, como ya hemos visto en otros casos. En los suelos de Chipiona se cultivó fresón por primera vez en nuestras experiencias, mientras en Las Madres se venía haciendo al menos durante diez años, habiéndose comprobado (Wilhelm & Paulus, 1980) que el tratamiento con BM+CP puede revertir el efecto del monocultivo sobre el fresón, debido a la eliminación de ciertas especies de *Pythium* que pueden inducir fitostasis en el cultivo, posiblemente sin ser patógenas.

5. CONCLUSIONES

1. La desinfestación de suelos con bromuro de metilo y cloropicrina y la solarización favorecen la precocidad de las plantas de fresa.
2. La calidad de los frutos no mejora mediante tratamientos del suelo con bromuro de metilo+cloropicrina y solarización.
3. La desinfestación del suelo con bromuro de metilo+cloropicrina y la solarización pueden propiciar el incremento de la producción de fresa.
4. Los tratamientos utilizados no inciden sobre la composición química del suelo, por lo que este factor no parece estar relacionado con los incrementos de producción de los suelos desinfestados.
5. La solarización es menos eficaz que el tratamiento con bromuro de metilo+cloropicrina en el control de la población de *Pythium sp.*
6. La disminución de la población de *Pythium sp.* en suelo solarizado está relacionada con el aumento de temperatura en dicho medio.
7. La disminución de la población de *Pythium sp.* en el

suelos desinfestados puede estar relacionada con el aumento de la producción de fresa

6. BIBLIOGRAFIA

- ABDEL-RAHIM, M.F., SATOUR, M.M., EL-ERAKI, S.A., EL-WAKIL, H.R., GRINSTEIN, A., CHEN, Y. and KATAN, J. (1987-a). Soil solarization for controlling soilborne pathogens and weeds in furrow-irrigated Egyptian soils. 7th Congress of the Phytopathological Mediterranean Union, Granada. Book of abstracts, 76-77.
- ABDEL-RAHIM, M.F., SATOUR, M.M., MICKAIL, K.Y., GRINSTEIN, A., RABINOWITCH, H.D. and KATAN, J. (1987-b). Long term effects of soil solarization in furrow and sprinkler irrigated soils in Egypt and Israel. 7th Congress of the Phytopathological Mediterranean Union, Granada. Book of abstracts, 59-60.
- AL-RADDAD, A.M. (1987). Effect of soil solarization on endomycorrhizal and phytopathogenic fungi. 7th Congress of the Phytopathological Mediterranean Union, Granada. Book of abstracts, 76.
- ALTMAN, J. (1970). Increased and decreased plant growth responses resulting from soil fumigation. In: Root diseases and soil-borne pathogens. T.A. Tousson, R.V. Bega and P.E. Nelson (eds.). Univ. of California Press, Berkeley.
- A.P.S. AMERICAN PHYTOPATHOLOGICAL SOCIETY (1984). Compendium of strawberry diseases. J.L. Maas (ed.). APS Press, St Paul, Minnesota.
- ASHWORTH, L.J. and GAONA, S.A. (1982). Evaluation of clear polyethylene mulch for controlling *Verticillium* wilt in established pistachio nut groves. *Phytopathology* 72, 243-246.
- AVISSAR, R., MAHRER, Y., MARGULIES, L. and KATAN, J. (1986-a). Field aging of transparent polyethylene mulches: I Photometric properties. *Soil Sci. Am. J.* 50, 202-205.
- AVISSAR, R., NAOT, O., MAHRER, Y. and KATAN, J. (1986-b). Field aging of transparent polyethylene mulches: II Influence on the effectiveness of soil heating. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, 205-209.
- AWUAH, R.T. and LORBEER, J.W. (1991). Methyl bromide and steam treatment for an organic soil for control of *Fusarium* yellows of celery. *Plant Dis.* 75, 123-125.
- BARBERCHECK, M.E. and VON BROEMSEN, S.L. (1986). Effects of soil solarization on plant parasitic nematodes and *Phytophthora cinnamomi* in South Africa. *Plant Dis.* 70, 945-950.

- BEN-YEPHET, Y. (1988). Control of sclerotia and apothecia of *Sclerotinia sclerotiorum* by metham-sodium, methyl bromide and soil solarization. *Crop Prot.* 7, 25-27.
- BEN-YEPHET, Y., MELERO-VARA, J.M. and DEVAY, J.E. (1988). Interaction of soil solarization and metham-sodium in the destruction of *Verticillium dahliae* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*. *Crop Prot.* 7, 327-331.
- BLANKENDAAL, M., HODGSON, R.H., DAVIS, D.G., HOERAUF, R.A. and SHIMABUKURO, R.H. (1972). Growing plants without soil for experimental use. Agricultural Research Service. U.S. Dept. Agric. Miscellaneous Pub. n°1251.
- BOLLEN, G.J. (1985). Lethal temperatures of soil fungi. In: Ecology and management of soilborne plant pathogens. C.A. Parker, A.D. Rovira, J.K. Moore and P.V.T. Wong (eds.). APS Press, S^t Paul, Minnesota.
- BROWN, A.L., BURAU, R.G., MEYER, R.D., RASKI, D.J. WILHELM, S. and QUICK, J. (1979). Plant uptake of bromide following soil fumigation with methyl-bromide. *Calif. Agric.* 33, 11-13.
- CARTIA, G. (1989). La solarizzazione del terreno: esperienze maturate in Sicilia. *Informatore Fitopatol.* 39, 49-52.
- CRISAN, E.V. (1973). Current concepts of thermophilism and the thermophilic fungi. *Mycologia* 65, 1171-1198.
- CHEN, Y. and KATAN, J. (1980). Effect of solar heating of soils by transparent polyethylene mulching on their chemical properties. *Soil Sci.* 130, 271-277.
- CHENG, Y.H., CHENG, A.H., CHEN, S.S. and TU, C.C. (1989). The outbreaks of pod rot of peanut and its control. *J. Agric. Res. China* 38, 353-364.
- DEFAGO, G. and HASS, D. (1990). Pseudomonads as antagonists of soilborne plant pathogens: Modes of action and genetic analysis. In: *Soil biochemistry*, vol. 6. J.M. Bollag and G. Stotzky (eds.). Marcel Decker, New York.
- ELAD, Y., KATAN, J. and CHET, I. (1980). Physical, biological and chemical control integrated for soilborne diseases in potatoes. *Phytopathology* 70, 418-422.
- ENEBAK, S.A., PALMER, M.A. and BLANCHETTE, R.A. (1990). Managing soilborne pathogens of white pine in a forest nursery. *Plant Dis.* 74, 195-198.

- FRANK, Z.R., KATAN, J. and BEN-YEPET, Y. (1986). Synergistic effect of metham and solarization in controlling delimited shell spots of peanut-pods. *Crop Prot.* 5, 199-202.
- FREEMAN, S. and KATAN, J. (1988). Weakening effect on propagules of *Fusarium* by sublethal heating. *Phytopathology* 78, 1656-1661.
- FREEMAN, S., SZTEJNBERG, A., SHABI, E. and KATAN, J. (1990). Long term effect of soil solarization for the control of *Rosellinia necatrix* in apple. *Crop Prot.* 9, 312-316.
- GAMLIEL, A., HADAR, E. and KATAN, J. (1987). Microbial phenomena related to increased growth response in solarized soils and to monoculture systems. 7th Congress of the Mediterranean Phytopathological Union, Granada. Book of abstracts, 72-73
- GANDY, D.G. and CHANTER, D.O. (1976). Some effects of time, temperature of treatment and fumigant concentration on the fungicidal properties of methyl bromide. *Ann. Appl. Biol.* 82, 279-290.
- GARIBALDI, A. (1987). Impiego dei materiali plastici nella solarizzazione del terreno. *Culture Protete* 16, 25-28.
- GOLLOP, Z. (1974). The problems of bromine residues after soil fumigation. *Agric. Envirom.* 1, 317-320.
- GONZALEZ-TORRES, R., JIMENEZ DIAZ, R.M., GOMEZ VAZQUEZ, J. and NOGALES MONCADA, A.M. (1987). Use of soil solarization in plastic houses to control *Fusarium* wilt of watermelon. 7th Congress of the Phytopathological Mediterranean Union, Granada. Book of abstracts, 58-59.
- GRECH, N. (1989). Benefits of methylbromide soil fumigation for citrus. *Inutingsbull. Navorsingsinst. Citrus Subtrop. Vrug.* 206, 1-2.
- GREENBERGER, A., YOGEV, A. and KATAN, J. (1985). Induced supresiveness in solarized soils. *Phytopathology* 75, 1291.
- GRIMM, G.R. and ALEXANDER, A.F. (1971). Fumigation of *Phytophthora* in sandy soils by surface application of methyl bromide and methyl bromide-chloropicrin. *Plant Dis. Rptr.* 55, 929-931.
- GUNS, M. F. (1989). Monitoring of the groundwater bromine content and plant residues in methyl bromide fumigated glass-houses. *Acta Hortic.* 255, 337-346.

- HAASIS, F.A. (1952). Soil fumigation with chlorobromopropene for control of *Sclerotium rolfsii* in Dutch iris. *Plant Dis. Rptr.* 36, 475-478.
- HARDY, G.E. and SIVASITHAMPARAM, K. (1985). Soil solarization: Effects on *Fusarium* wilt of carnation and *Verticillium* wilt of eggplant. In: *Ecology and management of soilborne plant pathogens*. C.A. Parker, A.D. Rovira, J.K. Moore, P.V.T. Wong (eds.). APS Press, S^t Paul, Minnesota.
- HARRIS, D.C. (1989). Control of *Verticillium* wilt of strawberry in Britain by chemical soil disinfestation. *J. Hort. Sci.* 64, 683-686.
- HARRIS, D.C. (1990). Control of *Verticillium* wilt and other soil-borne diseases of strawberry in Britain by chemical soil disinfestation. *J. Hort. Sci.* 65, 401-408.
- HARTZ, T.K., BOGLE, C.R., BENDER, D.A. and AVILA, F.A. (1989). Control of pink root disease in onion using solarization and fumigation. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 114, 587-590.
- HENDRIX, F.F. and CAMPBELL, W.A. (1973). Pythiums as plant pathogens. *Annu. Rev. Phytopathol.* 11, 77-98.
- HERNANDEZ HERNANDEZ, J., GALLO LLOVET, L. and JORDAN PEREZ, M. (1987). Preliminary study of soil disinfection using solar heat for tomato plantings in Tenerife. 7th Congress of the Phytopathological Mediterranean Union, Granada. Book of abstract, 59.
- HETZRONI, A. and GRINSTEIN, A. (1989). The technology of soil solarization. *Acta Hort.* 255, 189-196.
- HOFFMANN, G.M. AND MALKOMES, H.P. (1974). Bromide residues in vegetable crops after soil fumigation with methyl bromide. *Agric. Envirom.* 1, 321-328.
- ITOH, S., KOMADA, H., MONMA, T. and AMANO, T. (1989). Development of field diagnosis system for preventing continuous cropping injury of crop. 10. Estimation of side effects of soil fumigation on soil organic matter content, growth of cabbage, and susceptibility of soilborne diseases. *Bull. Nat. Agri. Res. Centre Japan* 16, 1-12.
- JEFFERS, S.M. and MARTIN, S.B. (1986). Comparison of two media selective for *Phytophthora* and *Pythium* species. *Plant Dis.* 70, 1038-1043.
- JONES, J.K. (1979). Strawberry. In: *Evolution of crop plants*. N.W. Simmonds (ed.). Longman, London, New York.

- KAERUANG, W., SIVASITHAMPARAM, K., and HARDY, G.E. (1989). Use of soil solarization to control root rots in gerberas (*Gerbera jamesonii*). *Biol. Fert. Soils* 8, 38-47.
- KATAN, J. (1980). Solar pasteurization of soil for disease control: Status and prospects. *Plant Dis.* 64, 450-454.
- KATAN, J. (1981). Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. *Annu. Rev. Phytopathol.* 19, 211-236.
- KATAN, J. (1985). Solar disinfection of soils. In: *Ecology and management of soilborne plant pathogens*. C.A. Parker, A.D. Rovira, J.K. Moore and P.V.T. Wong (eds.). APS Press, S^t Paul, Minnesota.
- KATAN, J., FISHLER, G. and GINSTEIN, A. (1983). Short- and long-term effects of soil solarization and crops sequence on *Fusarium* wilt and yield of cotton in Israel. *Phytopathology* 73, 1215-1219.
- KATAN, J., GREENBERGER, A., ALON, H. and GINSTEIN, A. (1976). Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soilborne pathogens. *Phytopathology* 66, 683-688.
- KEMPTON, R.J. and MAW, G.A. (1974). Soil fumigation with methyl-bromide: The phytotoxicity of inorganic bromide to carnation plant. *Ann. Appl. Biol.* 76, 217-229.
- KODAMA, T. and FUKUI, T. (1982-a). Solar heating in closed plastic house for control of soilborne diseases. V. Application for control *Fusarium* wilt of strawberry. *Am. Phyto. Soc. Japan* 5, 569-577.
- KODAMA, T. and FUKUI, T. (1982-b). Application of solar heating with plastic-film mulching in the out-door field for control of *Fusarium* wilt of strawberry. *Am. Phyto. Soc. Japan* 5, 699-701.
- KRAFT, J.M. and WILKINS, D.E. (1989). The effects of pathogen numbers and tillage on root disease severity, root length, and seed yields in green peas. *Plant Dis.* 73, 884-887.
- KREUTZER, W. (1965). The reinfestation of treated soil. In: *Ecology of soil-borne pathogens*. K.F. Baker and W.C. Syner (eds.). Univ. of California Press, Berkeley.
- LEWIS, J.A. and PAPAIVIZAS, G.C. (1975). Effect of sulfur-containing volatile compounds and vapors

- from cabbage decomposition on *Aphanomyces euteiches*. *Phytopathology* 61, 208-214.
- LIFSHITZ, R., TABACHNIK, M., KATAN, J. and CHET, I. (1983). The effect of sublethal heating on sclerotia of *Sclerotium rolfsii*. *Can. J. Microbiol.* 29, 1607-1610.
- LODHA, S. and VAIDYA, A. (1990). Influence of soil solarization on the viability of *Fusarium solani* in an arid environment. *Arid Soil Res. Rehab.* 4, 199-202.
- MAHRER, I. (1979). Prediction of soil temperatures of a soil mulched with transparent polyethylene. *J. Appl. Meteorol.* 18, 1263-1267.
- MAHRER, I. and KATAN, J. (1981). Spatial soil temperature regime under transparent polyethylene mulch: Numerical and experimental studies. *Soil Sci.* 131, 82-87.
- MAHRER, I., NAOT, O., RAWITZ, E. and KATAN, J. (1984). Temperature and moisture regimes in soils mulched with transparent polyethylene. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 362-367.
- MALATHRAKIS, N.E. (1987). Control of soilborne diseases of cucumber with solarization and soil fumigation. I: Cucumber root rot complex caused by *Fusarium sp.* and *Pythium sp.* 7th Congress of the Mediterranean Pytopathological Union, Granada. Book of abstract, 71-72.
- M.A.P.A. MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION (1986). Métodos oficiales de análisis, vol. II. Ed. Secretaría General Técnica, Madrid.
- MARTINEZ CORTES, J.V. (1985). Características de las variedades de fresas. Primeras Jornadas Europeas de la fresa. Valencia.
- MARTYN, R.D. (1986). Use of soil solarization to control *Fusarium* wilt of watermelon. *Plant Dis.* 70, 762-766.
- MATTHEWS, A. (1924). Partial sterilization of soil by antiseptics. *J. Agr. Sci.* 14, 1-57.
- MCCAIN, A.H., BEGA, R.V. and JENKINSON, J.L. (1982). Solar heating fails to control *Macrophomina phaseolina*. *Phytopathology* 72, 985.
- MCCLELLAN, W.D., WILHELM, S. AND GEORGE, A. (1955). Incidence of *Verticillium* wilt in cotton not affected by root-knot nematodes. *Plant Dis. Rptr.*

39, 226-227.

- MERON, M., FILLER, Y., COHEN, Y., GRINSTEIN, A., GAMLIEL, A., CHEN, Y. and KATAN, J. (1989). Solarization and fumigation for reclamation of organic soil. *Acta Horticulturae* 255, 117-124.
- MILES, M.N. and CONWAY, K.E. (1989). Thermal inactivation in soil of *Macrophomina phaseolina* and *Pythium irregulare*. *Phytopathology* 79, 375.
- MOORE, J.N., BAKER, E. and RIGGS, R.D. (1979). Soil fumigation effects on strawberry production: First year results. *Arkansas Farm Res.* 1-2, 6.
- MUNNECKE, D.E. and FERGUSON, J. (1953). Methyl bromide for nursery soil fumigation. *Phytopathology* 43, 375-377.
- MUNNECKE, D.E. and VAN GUNDY, S.D. (1979). Movement of fumigants in soil, dosage responses, and differential effects. *Annu. Rev. Pytopathol.* 17, 405-429.
- NAIR, S.K., PEETHAMBARAN, C.K., GEETHA, D., NAYAR, K. and WILSON, K.I. (1990). Effect of soil solarization on nodulation, infection by mycorrhizal fungi and yield of cowpea. *Plant Soil* 125, 153-154.
- NELSON, D.V. and SOMMERS, L.E. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: *Methods of soil analysis, II*. A.L. Page (ed.). Am. Soc. Agron., and Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin.
- NEMEC, S. (1972). Histopathology of *Pythium* infected strawberry roots. *Can J. Bot.* 50, 1091-1096.
- OLSEN, S.R. and SOMMERS, L.E. (1982). Phosphorus. In: *Methods of soil analysis, II*. A.L. page (ed.). Am. Soc. Agron., and Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin.
- PALMINHA, J.M.C. (1987). Soil solarization for the control of *Pyrenochaeta lycopersici* Schn. & Gerl. of tomato under greenhouse conditions in "Regiao do Oeste" of Portugal. 7th Congress of the Pytopathological Mediterranean Union, Granada. Book of abstracts, 54.
- PAPAVIZAS, G.C. (1963). Microbial antagonism in bean rhizosphere as affected by oat straw and supplemental nitrogen. *Phytopathology* 53, 1430-1435.
- PAPAVIZAS, G.C. and LUMSDEN, R.D. (1980). Biological control of soilborne fungal propagules. *Annu. Rev.*

- Phytopathol. 18, 389-413.
- PHILLIPS, A.J.L. (1990). The effects of soil solarization on sclerotial populations of *Sclerotinia sclerotiorum*. Plant Pathol. 39, 38-43.
- PORTER, I.J., MERRIMAN, P.R. and KEANE, P.J. (1989). Integrated control of pink root (*Pyrenochaeta terrestris*) of onions by Dazomet and soil solarization. Austr. J. Agric. Res. 40, 861-869.
- PULLMAN, G.S., DEVAY, J.E. and GARBER, R.H. (1981-a). Soil solarization and thermal death. A logarithmic relationship between time and temperature for soilborne plant pathogens. Phytopathology 71, 959-964.
- PULLMAN, G.S., DEVAY, J.E., GARBER, R.H. and WEINHOLD, A.R. (1981-b). Soil solarization: Effects on verticillium wilt of cotton and soilborne populations of *Verticillium dahliae*, *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani*, and *Thielaviopsis basicola*. Phytopathology 71, 954-959.
- PULLMAN, G.S., DEVAY, J.E., ELMORE, C.L. and HART, W.H. (1982). Feasibility of soil solarization for pathogens and pest control. Phytopathology 72, 984.
- RAMIREZ-VILLAPUDUA, J. and MUNNECKE, D.E. (1985). Effects of soil amended with cabbage residues on *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* race 5. Phytopathology 75, 1291.
- REELEDER, R.D. and HAGEDORN, D.J. (1981). *Pythium* populations in Wisconsin bean fields. Can. J. Plant Pathol. 3, 90-93.
- RICCI, P. et MESSIAEN, C.M. (1976). La dynamique des populations de *Pythium* dans les sols maraichers de Guadeloupe. II-Facteurs du potentiel infectieux. Ann. Phytopathol. 8, 257-268.
- ROVIRA, A.D. (1976). Studies on soil fumigation. I. Effects of ammonium nitrate and phosphate in soil and on the growth, nutrition and yield of wheat. Soil Biol. Biochem. 8, 241-247.
- RUBIN, B. and BENJAMIN, A. (1983). Solar heating of the soil: Effect on weed control and on soil-incorporated herbicides. Weed Sci. 31, 819-825.
- RUBIN, B. and BENJAMIN, A. (1984). Solar heating of the soil: Involvement of environmental factors in the weed control process. Weed Sci. 32, 138-142.
- RUSSELL, E.J. (1920). The partial sterilization of soils. J.

Roy. Hort. Soc. 45, 237-246.

- SNEH, B., HUMBLE, S.J. and LOCKWOOD, D.J.L. (1977). Parasitism of oospores of *Phytophthora megasperma* var. *sojae*, *P. cactorum*, *Pythium* sp., and *Aphanomices euteiches* in soil by oomycetes, chytridiomycetes, hypomycetes, actinomycetes and bacteria. *Phytopathology* 67, 622-628.
- STANGHELLINI, M.E. and HANCOCK, J.G. (1970). A quantitative method for the isolation of *Pythium ultimum* from soil. *Phytopathology* 60, 551-552.
- STAPLETON, J.J. and DE VAY, J.E. (1982-a). Effect of soil solarization on populations of selected soilborne microorganism and growth of deciduous fruit tree seedlings. *Phytopathology* 72, 323-326.
- STAPLETON, J.J. and DE VAY, J.E. (1982-b). Changes in microbial populations in solarized soils as related to increased plant growth. *Phytopathology* 72, 985.
- STAPLETON, J.J. and DE VAY, J.E. (1983). Response of phytoparasitic and free-living nematodes to soil solarization and 1,3-dichloropropeno in California. *Phytopathology* 73, 1429-1436.
- STAPLETON, J.J. and DE VAY, J.E. (1984). Thermal components of soil solarization as related to changes in soil and root microflora and increased plant growth response. *Phytopathology* 74, 255-259.
- STAPLETON, J.J., DE VAY, J.E., QUICK, J., VAN RIJCKEVORSEL, H. and DE BOER, G.J. (1983). Increased soluble nutrients in soil as related to increased plant growth response following soil solarization. *Phytopathology* 73, 814.
- STASZ, T.E. and MARTIN, S.P. (1988). Insensitivity of thick-walled oospores of *Pythium ultimum* to fungicides, methyl-bromide, and heat. *Phytopathology* 78, 1409-1412.
- STEEL, R.G.D. y TORRIE, J.H. (1985). *Bioestadística: Principios y procedimientos*. Ed. McGraw-Hill, Bogotá.
- SZTEJNBERG, A., FREEMAN, S., CHET, I. and KATAN, J. (1987). Control of *Rosellinia necatrix* in soil and in apple orchard by solarization and *Trichoderma harzianum*. *Plant Dis.* 71, 365-369.
- TAMIETTI, G. and GARIBALDI, A. (1989). Impiego della pacciamatura riscaldante contra *Rhizoctonia solani* nelle condizioni di coltura protetta in Liguria. *Informatore Fitopatologico* 39, 43-45.

- THOMAS, H.E. (1931). Verticilliosis of strawberries. *Phytopathology* 21, 996.
- THOMAS, G.W. (1982). Exchangeable cations. In: *Methods of soil analysis, II*. A.L. Page (ed.). Am.Soc. Agron., and Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin.
- TIETZ, H. (1970). One centennium of soil fumigation: Its first years. In: *Root diseases and soilborne pathogens*. T.A. Tossou, R.V. Bega and P.E. Nelson (eds.). Univ. of California Press, Berkeley.
- TRAPERO-CASAS, A., KAISER, W.J. and INGRAM, D.M. (1990). Control of *Pythium* seed rot and preemergence damping-off of chickpea in the U.S. Pacific Northwest and Spain. *Plant Dis.* 74, 563-569.
- TSAO, P.H. (1983). Factors affecting isolation and quantification of *Phytophthora* from soil. In: *Phytophthora: Its biology, taxonomy, ecology and pathology*. D.C. Erwin, S. Bartinicki-Garcia and P.H. Tsao (eds.). APS Press, St Paul, Minnesota.
- VANNACCI, G., MATERAZZI, A. and TRIOLO, E. (1987). Effects of solar heating on soil-borne *Rhizoctonia solani* in greenhouses. 7th Congress of the Phytopathological Mediterranean Union, Granada. Book of abstracts, 55-57.
- WATANABE, T., HASHIMOTO, K. and SATO, M. (1977). *Pythium* species associated with strawberry roots in Japan, and their role in the strawberry stunt disease. *Phytopathology* 67, 1324-1332.
- WELCH, N.C., BRINGHURST, R., GREATHEAD, A.S., VOTH, V., SEYMAN, W.S., McCALLEY, N.F. AND OTTO, H.W. (1982). Strawberry production in California. Div. Agric Sci. Leaflet 2959. Univ. of California Press, Berkeley.
- WILHELM, S. (1965). *Pythium ultimum* and the soil fumigation response. *Phytopathology* 55, 1016-1020.
- WILHELM, S. and KOCH, E.C. (1956). Verticillium wilt controlled: chloropicrin achieves effective control of Verticillium wilt in strawberry plantings if properly applied as soil fumigant. *Calif. Agric.* 10, 3-14.
- WILHELM, S. and NELSON, P.E. (1970). A concept of root health of strawberries in pathogens-free field soil achieved by fumigation. In: *Root pathogens and soilborne diseases*. T.A. Tossou, R.V. Bega and P. E. Nelson (eds.). Univ. of California Press, Berkeley.

- WILHELM, S. and PAULUS, O. (1980). How soil fumigation benefits the Californian strawberry. *Plant Dis.* 64, 264-270.
- WILHELM, S. and SAGEN, J. (1975). History of the strawberry—from ancient gardens to modern markets. *Agric. Pub. Univ. of California Press, Berkeley.*
- WILHELM, S., STORKAN, R. and SAGEN, J.E. (1961). Verticillium wilt of strawberry controlled by fumigation of soil with chloropicrin and chloropicrin-methyl bromide mixtures. *Phytopathology* 51, 744-748.
- WILHELM, S., STORKAN, R.C. and WILHELM, J.L. (1974). Preplant soil fumigation with methyl-bromide-chloropicrin mixtures for control of soil-borne disease of strawberries. A summary of fifteen year development. *Agric. Environ.* 1, 227-236.
- YUEN, G.Y., SCHROTH, M.N., HANCOCK, J.E. and WEINHOLD, A.R. (1988). Differential effects of various preplant soil treatments on the root fungus microflora, root growth and yield of strawberry. *Phytopathology* 78, 1545.
- YUEN, G.Y., SCHROTH, M.N., WEINHOLD, A.R. and HANCOCK, J.G. (1991). Effects of soil fumigation with methyl bromide and chloropicrin on root health and yield of strawberry. *Plant Dis.* 75, 461-420.
- ZAKARIA, M.A., LOCKWOOD, J.L. and FILONOW, A.B. (1980). Reduction in *Fusarium* population density in soil by volatile degradation products of oilseed meal amendments. *Phytopathology* 70, 495-499.

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Presente el Tribunal examinador con los señores don...

D. M^o José Dieguez Gisbert

Influencia de la desinfección de suelos en la producción de plantas de fresón.

Apto cum Laude

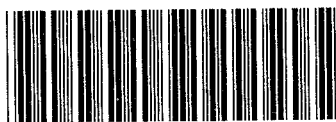
Sevilla, 14 de Septiembre

1892

M^o Teresa Logue



UNIVERSIDAD DE SEVILLA



600672925