

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA.



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA.
MÁSTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA.
TRABAJO FIN DE MÁSTER.

**EVALUACIÓN DE LA REITERACIÓN DE LA BIOSOLARIZACIÓN SOBRE LA
MICROBIOTA EDÁFICA EN UN SUELO CULTIVADO CON TOMATE BAJO
INVERNADERO.**

Alumno:

César Antonio Ruiz Olmos

Director:

Dr. Ing. Agr. Julio César Tello Marquina

Ing. Agr. Pablo García Raya

Almería, Septiembre 2017.

AGRADECIMIENTOS.

Quiero agradecer primeramente a Don Javier Tello, que además de dirigirme este proyecto, fue la persona que me animo a desarrollar este reto de obtener la ingeniería agronómica. También, quiero subrayar que fue él quien confió y creyó en mí al empezar hace 4 años el trabajo del U14, cuando todas las personas ajenas al grupo decían que lo que se planteaba ahí era imposible. Pues Don Javier, permítame decirle que lo hemos conseguido, no sólo hemos logrado el objetivo, sino que seguimos a más.

Quiero agradecer a mi co-director: Pablo, muchas gracias por ser compañero de batallas, en las buenas, en las malas, en las peores y las demás. No tan solo te ha tocado sudar el trabajo del día a día, también te ha tocado lo más difícil que es aguantarme y lo más importante ser mi amigo.

A mis compañeros del grupo AGR-200: José Ignacio, Miguel Ángel, Amalia, Ángel y Fernando, que han dejado una parte importante de su vida no solo en el trabajo sino también en la amistad. Les agradezco mucho su ayuda y apoyo.

A los alumnos que han estado trabajando conmigo en el proyecto del U14 en todos estos años: Daniel, Alejandro, Bachir, Agustín y Fran. Comenzaron como alumnos y terminaron como amigos.

A mis compañeros del Máster, por haberme hecho disfrutar del tiempo y compartir tanto.

Finalmente, quiero agradecer a mi familia, mis hermanos Chucho y Caro, y mis padres Don Jesús y Doña Ruth, ellos son la base de todo. Mi cariño eterno para ellos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTERÉS Y OBJETIVOS..... | 1 |
| 2 | REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 5 |
| 2.1 | La biosolarización..... | 5 |
| 2.1.1 | Materias orgánicas útiles al proceso | 5 |
| 2.2 | Efectos de la aplicación de la biosolarización..... | 6 |
| 2.2.1 | Efecto de la biosolarización sobre vigor de plantas y producción.... | 7 |
| 2.2.2 | Efecto de la biosolarización sobre las poblaciones microbianas.... | 11 |
| 3 | MATERIALES Y MÉTODOS..... | 19 |
| 3.1 | Localización del invernadero | 19 |
| 3.2 | Antecedentes del invernadero | 19 |
| 3.3 | Características del ensayo | 19 |
| 3.4 | Diseño experimental..... | 20 |
| 3.5 | Aplicación de los tratamientos | 20 |
| 3.6 | Muestreo de suelos | 22 |
| 3.7 | Análisis de muestras | 23 |
| 3.7.1 | Microbiota total de los suelos | 23 |
| 3.7.2 | Microbiota fusárica | 23 |
| 3.7.3 | Contenido de materia orgánica en suelo..... | 24 |
| 3.8 | Análisis estadístico | 24 |
| 4 | RESULTADOS | 27 |
| 4.1 | Temperaturas de solarización..... | 27 |
| 4.1.1 | Temperaturas 1er año | 27 |
| 4.1.2 | Temperaturas 2do año..... | 29 |
| 4.2 | Microbiota total de los suelos | 31 |
| 4.3 | Microbiota fusárica | 38 |
| 4.4 | Contenido de materia orgánica en suelo..... | 45 |
| 5 | DISCUSIÓN..... | 49 |
| 6 | CONCLUSIONES | 53 |
| 7 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 57 |

ÍNDICE DE TABLAS.

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Composición química del Biofence® | 21 |
| Tabla 2. Composición química del agua utilizada para el riego del cultivo en el desarrollo de los ensayos. | 22 |
| Tabla 3. Muestras realizadas en el ensayo. | 23 |
| Tabla 4. Efecto de la aplicación de diversos tratamientos con y sin enmiendas orgánicas mediante la técnica de biosolarización sobre la media poblacional de la microbiota bacteriana y fúngica (U.F.C. \cdot g ⁻¹ de suelo) y su desviación típica, durante dos ciclos de producción. | 36 |
| Tabla 5. Efecto de la aplicación de diversos tratamientos con y sin enmiendas orgánicas mediante la técnica de biosolarización sobre la media de la población de la microbiota fusárica (U.F.C. \cdot g ⁻¹ de suelo) y su desviación típica durante dos ciclos de producción. | 42 |
| Tabla 6. Variación en el contenido (%) de materia orgánica durante el ensayo. | 46 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

| | |
|--|----|
| Gráfico 1. Temperaturas máximas, mínimas y promedio (°C) del ambiente y del suelo sin enmendar durante el primer ciclo del ensayo (2015-2016). Período de solarización del 2/6/2015 al 31/8/2016..... | 28 |
| Gráfico 2. Temperaturas máximas, mínimas y promedio (°C) del ambiente y del suelo enmendado con materia orgánica durante el primer ciclo del ensayo (2015-2016). Período de solarización del 2/6/2015 al 31/8/2016. | 28 |
| Gráfico 3. Temperaturas máximas, mínimas y promedio (°C) del ambiente y del suelo sin enmendar durante el segundo ciclo del ensayo (2016-2017). Período de solarización del 26/5/2016 al 30/8/2016..... | 30 |
| Gráfico 4. Temperaturas máximas, mínimas y promedio (°C) del ambiente y del suelo enmendado con materia orgánica durante el segundo ciclo del ensayo (2016-2017). Período de solarización del 26/5/2016 al 30/8/2016..... | 30 |
| Gráfico 5. Variación de la densidad de las poblaciones bacterianas en función de los distintos tratamientos empleados y diversos momentos de muestreo (A.B. = Antes de biosolarizar; D.B.= Después de biosolarizar; F.C.= Fin del cultivo). | 38 |
| Gráfico 6. Variación de la densidad de las poblaciones fúngicas en función de los distintos tratamientos empleados y diversos momentos de muestreo (A.B. = Antes de biosolarizar; D.B.= Después de biosolarizar; F.C.= Fin del cultivo). | 38 |
| Gráfico 7. Variación de la densidad de la población total fusárica en función de los distintos tratamientos empleados y diversos momentos de muestreo (A.B. = Antes de biosolarizar; D.B.= Después de biosolarizar; F.C.= Fin del cultivo). | 45 |
| Gráfico 8. Variación en el contenido de materia orgánica (%) en función de los distintos tratamientos empleados y diversos momentos de muestreo (A.B. = Antes de biosolarizar; D.B.= Después de biosolarizar; F.C.= Fin del cultivo). | 46 |

ÍNDICE DE FIGURAS.

| | |
|---|----|
| Figura 1. Plano de los tratamientos en el invernadero. | 20 |
|---|----|

INTERÉS Y OBJETIVOS

1 INTERÉS Y OBJETIVOS

La producción de restos de cultivos provenientes de los invernaderos en la provincia de Almería es de aproximadamente 1.800.000 t anuales (JUNTA DE ANDALUCÍA, 2016). Dichos restos son de difícil eliminación y representan un problema tanto sanitario como ecológico para la provincia y, aunque diversas opciones como el establecimiento de plantas de compostaje y plantas de cogeneración de energía utilizando como combustible dichos residuos han sido planteados para paliar este problema, ninguna de estas ha sido lo suficientemente eficiente como para dar solución a esta acumulación de restos o residuos.

Otra opción que lleva algunos años realizándose entre diversos productores de la zona es la autogestión de los propios restos incorporándolos en el suelo como abono en verde o compostándose in situ mediante solarización en una técnica conocida como la biosolarización de suelos. Este proceso produce diversos beneficios al suelo y por ende al cultivo, de entre los cuales han sido descritos el aumento de la fertilidad del suelo, mejora de la propia estructura (TISDALE y OADES, 1982; SIX *et al.*, 2000) lo que se traduce en una mejora en la producción de cultivos (MARIN-GUIRAO, 2016), y finalmente ayuda a mantener un adecuado control de diversas enfermedades que tienen su origen en el suelo (KLEIN *et al.*, 2007).

Aunque actualmente en el mundo se siguen desarrollando diversas investigaciones para conocer los efectos de esta técnica sobre la actividad microbiológica del suelo, la mayoría se centran en conocer la actividad enzimática (SERRANO-PÉREZ, 2017), sin llegar a cuantificar y distinguir las diversas poblaciones que podrían estar presentes en el suelo, las cuales son las que dan el carácter fértil.

Por lo tanto, a la vista de los hechos expuestos, lo que se pretende con el desarrollo de este trabajo es:

Conocer el efecto de la materia orgánica más solarización sobre las poblaciones microbianas y el contenido de materia orgánica de un suelo durante dos ciclos largos de producción de tomate, en el cual ha sido durante 3 años enmendado mediante biosolarización de forma anual con los restos de planta de tomate que han sido producidos en la misma superficie.

Para esto, el trabajo se encauza en la consecución de los siguientes objetivos:

- Evaluar las variaciones de la microbiota general de los suelos.
- Evaluar las variaciones de la microbiota fusárica en los suelos.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 La biosolarización

La biosolarización es una técnica derivada del método de biodesinfección de suelos, la cual es la asociación de la biofumigación que consiste en el compostaje “*in situ*” de materia orgánica fresca (KIRKEGAARD, 1993) más el efecto de la solarización del suelo mediante el empleo de películas plásticas (KATAN, 2015).

El proceso consiste en aplicar y mezclar hasta una profundidad de 30 cm en el suelo materia orgánica fresca, posteriormente el suelo es humedecido hasta llegar a capacidad de campo y finalmente es cubierto con plástico transparente para aprovechar la radiación solar (KATAN *et al.*, 1976). El propósito de la técnica es realizar un incremento en la temperatura del suelo tanto por el efecto de la radiación como por la fermentación microbiana, además de aprovechar las sustancias que son generadas (BELLO *et al.*, 1999) (las cuales pueden ser muy diversas dependiendo del material orgánico empleado) y retenidas por el plástico creando una atmósfera en el suelo que aumenta la degradación de la materia orgánica (GAMLEIL *et al.*, 1999). Este proceso debe desarrollarse por un tiempo mínimo de 30 días para ser efectivo en las condiciones de la costa mediterránea.

Durante este proceso se produce una fase tanto aeróbica como otra anaeróbica. En la primera fase se produce un compostaje aeróbico en la que los microorganismos influidos por la humedad presente consumen el carbono (utilizándolo para su crecimiento celular) y el oxígeno de forma rápida, este metabolismo microbiano de la materia orgánica produce un incremento en la temperatura (ACHMON *et al.*, 2016) y hace que se libere CO₂ y agua (EPSTEIN, 1997). A partir de este momento, comienza una segunda fase del proceso donde se dan condiciones de anaerobiosis debido al incremento de la actividad microbiana por efectos de la enmienda orgánica (SIMMONS *et al.*, 2013) produciéndose sustancias como ácidos orgánicos (acético y butírico) (SIMMONS *et al.*, 2016), amonio y ácido nitroso (LAZAROVITS, 2001).

Actualmente, esta segunda fase del proceso de la biosolarización de suelos ha sido descrita por diversos autores modificando su denominación y renombrándola como Desinfección Biológica de Suelos (BSD) (MOMMA *et al.*, 2013), Desinfección Anaeróbica de Suelos (ASD) (BLOK *et al.*, 2000) y Desinfección Reductiva de Suelos (RSD) (KATASE *et al.*, 2009). En dichos procesos, al igual que la biosolarización de suelos, se realiza la aplicación de materia orgánica fresca seguida de una abundante lámina de riego y finalmente de un sellado mediante un filme plástico. En este proceso se produce una reducción en la concentración de oxígeno en el suelo, obteniéndose un bajo potencial redox con lo que se produce la reducción de NO₃⁻, Mn⁺⁴, Fe⁺³ y SO₄⁻². A partir de este momento, se producen diversos gases (amoníaco, sulfuro de hidrógeno y óxido nitroso) y, ácidos grasos (butírico, maleico, láctico, acético, cítrico y propiónico) que realizan un control de malas hierbas, patógenos y plagas (LAMERS *et al.*, 2010; ROSSKOPF *et al.*, 2012).

2.1.1 Materias orgánicas útiles al proceso

En la realización del proceso de biosolarización pueden ser utilizadas como materia orgánica diversos residuos agrarios, estiércoles ganaderos y numerosos

subproductos agroindustriales, (BELLO *et al.*, 1997) los cuales son muy heterogéneos en su composición, siendo imprescindible que su relación C/N sea superior a 8.

En sus comienzos, la biofumigación fue desarrollada como una técnica que hacía uso de especies de *Brassicaceae* en el proceso (KIRKEGAARD *et al.*, 1993) en el cual no eran utilizadas cubiertas plásticas para la retención de los compuestos producidos en la descomposición. La importancia en la utilización de este género de plantas radica en la presencia de ciertos compuestos denominados glucosinolatos que al momento de sufrir la hidrólisis por acción de la enzima mirosinasa se descomponen en sustancias conocidas como isotiocianatos, tiocianatos, nitrilos y oxazolidinas, por mencionar algunos. En el proceso los isotiocianatos tienen sus picos de producción durante las primeras horas del proceso de degradación (GARDINER *et al.*, 1999) pero dicho efecto no es constante, y tienden a disminuir su concentración de forma rápida en los suelos, alcanzando su concentración máxima a los 5-8 días después de su aplicación (GIMSING y KIRKEGAARD, 2006), además de que la eficiencia en la liberación de estos compuestos depende de la especie aplicada, pero que en cualquier caso es tan baja que no llega a superar el 5% (MORRA y KIRKEGAARD, 2002).

Desde el momento en que esta técnica fue desarrollada, otras especies de la familia *Brassicaceae* como *B. campestris*, *B. carinata*, *B. juncea*, *B. napus* (GARDINER *et al.*, 1999), *B. nigra*, *B. oleracea*, *Raphanus sativus* (HANSEN y KEINATH, 2013) y *Sinapsis alba* (ROS *et al.*, 2016) han sido estudiadas en forma de harina de semillas, así como material en verde. Actualmente, uno de los productos comerciales para su utilización son los pellets procedentes de harina de semillas de *Brassica carinata*, los cuales contienen una alta concentración de sinigrin como mayor glucosinolato (SANCHI *et al.*, 2005). La utilización de pellets presenta como ventaja una reducción en el tiempo de solarización ya que incrementa su eficacia (GARIBALDI *et al.*, 2010), así como también se evita la necesidad de desarrollar un cultivo de *Brassicaceae* para obtener el material en verde con el que se realizará la biosolarización del suelo, permitiendo un mejor uso del terreno de cultivo. Por otra parte, el empleo de los pellets debe de realizarse aplicando solarización para que las altas temperaturas alcanzadas permitan una alta concentración de isotiocianatos en el suelo (MORALES-RODRÍGUEZ *et al.*, 2016), sino su efecto en el control de agentes patógenos sería parcial (GARIBALDI *et al.*, 2010).

2.2 Efectos de la aplicación de la biosolarización

La aplicación de la biosolarización a los suelos tiene diversos efectos atribuidos como lo son el control de plagas y enfermedades de origen telúrico como las causadas por *Pythium ultimum* (GAMLIEL y STAPLETON, 1993), *Fusarium oxysporum f. sp. radicylopersici* (KLEIN *et al.*, 2011); *Fusarium oxysporum f. sp. dianthi* (GARCÍA-RUIZ *et al.*, 2009; BASALLOTE-UREBA *et al.*, 2016), *Fusarium oxysporum f. sp. asparagi* (BLOK *et al.*, 2000), *Fusarium oxysporum f. sp. lactucae* (GILARDI *et al.*, 2016) *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* (HUANG *et al.*, 2015), *Phytophthora capsici* (NÚÑEZ-ZOFÍO, 2011), *Macrophomina phaseolina* (NDIAYE *et al.*, 2007; CHAMORRO *et al.*, 2015), *Rhizoctonia solani* (KLEIN *et al.*, 2011), *Verticillium dahliae* (BLOK *et al.*, 2000) *Pyrenochaeta lycopersici* (DÍAZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2017) y nematodos fitopatógenos como *Meloidogyne javanica* (OKA *et al.*, 2007; KLEIN *et al.*, 2011), *Meloidogyne incognita* (PIEDRA-BUENA *et al.*, 2006; ROS *et al.*, 2008; ROS *et al.*, 2016), *Globodera rostochiensis* (VALDES *et al.*, 2012). Además, produce un control sobre flora arvense (AL-SOLAIMANI

et al., 2015; MAURO *et al.*, 2015) y es una opción para la remediación de suelos contaminados por sustancias químicas como lo son los herbicidas (FENOLL-SERRANO *et al.*, 2010, FENOLL *et al.*, 2014) e insecticidas (FENOLL *et al.*, 2011).

La aplicación de la biosolarización puede modificar diversos parámetros del suelo, entre los que se encuentran el pH (KLEIN *et al.*, 2007), densidad aparente, conductividad eléctrica, porcentaje de materia orgánica y concentración de NO_3^- y K^+ por mencionar algunos (NÚÑEZ-ZOFÍO, 2011), lo que se traduce en una mejora de la fertilidad del suelo incrementando la productividad de los cultivos (MARÍN-GUIRAO, 2016), así como de sus características cualitativas (MAUROMICALE *et al.*, 2011).

2.2.1 Efecto de la biosolarización sobre vigor de plantas y producción

En este epígrafe son mencionados diversos trabajos en los que se ha estudiado el efecto de la biosolarización sobre el vigor de plantas, así como aspectos de la producción en diversos cultivos:

GUERRERO *et al.* (2006) reportaron resultados acerca de la comparativa del uso de la biofumigación frente a la biosolarización sobre la producción y vigor en plantas de pimiento (*Capsicum annum* L.) realizados en el campo de Cartagena (Murcia). En su trabajo experimentaron por 3 años la aplicación de una mezcla de estiércol fresco de oveja + gallinaza (a dosis de $7+2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ para el primer año, $5+2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ para el segundo año) tanto aplicando biofumigación como biosolarización, y fue en el 3er año donde la dosis con estos mismos estiércoles varió, aportándose la mezcla de $4+1,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ para el caso de la biosolarización y de $5+2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ en el caso de la biofumigación. Dichas materias orgánicas fueron comparadas con un tratamiento sin tratar y otro con aplicación de bromuro de metilo ($30 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$). El desarrollo de las plantas no fue influenciado por alguno de los tratamientos durante los 2 primeros años de ensayo, fue hasta la 3era campaña cuando las parcelas en la que se aplicó la biofumigación y biosolarización mostraron un mayor porte de plantas al final del ciclo en comparación a los otros tratamientos. En cuanto a la producción el tratamiento que aplicó la biosolarización fue el que mayores producciones mostró durante los 3 ensayos siendo superior estadísticamente a las parcelas donde el bromuro de metilo fue aplicado durante el segundo año, y finalmente el tratamiento donde fue aplicada la biofumigación tuvo un descenso en la producción a través de los años del ensayo incluso llegando a un valor inferior al obtenido en las parcelas sin tratar.

MARTÍNEZ *et al.* (2006) en la zona del campo de Cartagena estudiaron el efecto sobre la producción de pimiento (*Capsicum annum* L.) de la biosolarización reiterada por hasta 6 años durante 3 años de ensayos donde los tratamientos aplicados fueron fumigación con bromuro de metilo ($30 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), un testigo sin tratar y tratamientos con diversas dosis decrecientes de mezcla de estiércol fresco de oveja y gallinaza que parten desde los $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ y decreciendo a 7,5, 6, 4,5 y terminando a dosis de $2,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Los resultados que obtuvieron fueron que la aplicación de la biosolarización tuvo producciones comparables e incluso superiores en algún año a los tratamientos en que el bromuro de metilo fue aplicado y que estos tratamientos en su conjunto tuvieron una producción superior al testigo sin tratar. Durante todos esos experimentos se abonó el cultivo con abonos minerales, además de haber realizado las enmiendas orgánicas.

ROS *et al.* (2008) reportaron sus resultados sobre la producción de pimiento (*Capsicum annum* L.) en el campo de Cartagena cuando compararon el efecto de la aplicación al suelo del fumigante químico bromuro de metilo (a dosis de $30 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ por 100 días, el cual se venía repitiendo por 3 años), frente a un tratamiento sin aplicación alguna de fumigantes y finalmente, a 4 diversos tratamientos de biosolarización aplicando como enmienda orgánica una mezcla de estiércol de oveja y gallinaza (2-2,5:1 p/p) mediante rotovator a 20 cm de profundidad y solarización por 100 días. Un tratamiento consistió en la incorporación de la mezcla de estiércol en un suelo biosolarizado por primera vez a dosis de $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, el siguiente consistió en una dosis de $7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ en suelo en su segundo año de tratamiento, el tercero recibió el proceso de biosolarización por 3 años a dosis de $6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, el último de estos tratamientos representaba la aplicación de la biosolarización durante su 4 año con una aplicación de enmienda de $4,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Es necesario considerar que todos los tratamientos durante el desarrollo del cultivo llevaron una fertilización continua, incluso aquellos tratamientos que tuvieron la aplicación de enmienda orgánica. La producción de pimiento comercial fue mayor para los tratamientos biosolarizados (excepto en el tratamiento en que se aplicó $6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ el cual llegó a tener una producción comparada a cuando es aplicado el bromuro de metilo como desinfectante del suelo). Este mismo comportamiento fue repetido al momento de clasificar los frutos obteniéndose una mayor cantidad de frutos de clase extra y primera.

GARCÍA-RUIZ *et al.* (2009) para el cultivo del clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) en la provincia de Cádiz, estudiaron el efecto tanto de la biofumigación como de la biosolarización frente a desinfectantes químicos sobre la producción comercial y no comercial, en el que fueron abonados con fertilizantes químicas de manera continua durante el desarrollo del ciclo. Dichos autores compararon la aplicación al suelo de los tratamientos de compost de alperujo ($12 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) + biofumigación y biosolarización, compost de clavel + crisantemo ($12 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) + biofumigación y biosolarización, compost de clavel + crisantemo ($5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) + gallinaza ($5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) + biofumigación y biosolarización, dicloropropeno + cloropicrina ($50 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), dicloropropeno + cloropicrina ($50 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) + *Trichoderma* 34, metam sodio ($120 \text{ cc}\cdot\text{m}^{-2}$) + 4 semanas de solarización, metam sodio ($120 \text{ cc}\cdot\text{m}^{-2}$) + 4 semanas de solarización + *Trichoderma* 34, testigo sin tratar y bromuro de metilo ($30 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$). La producción de tallos comerciales a los 252 días después de la plantación fue estadísticamente igual para todos los tratamientos ensayados excepto en aquel que fue aplicado compost de clavel + crisantemo + biosolarización que presentaron los valores más bajos, a partir de este momento durante las siguientes cosechas la producción de tallos comerciales fue igual entre los diversos tratamiento y es hasta las dos últimas cosechas realizadas a los 664 y 699 días de plantación cuando dos tratamientos biofumigados fueron lo que menor número de tallos comerciales $\cdot\text{m}^{-2}$ presentaron (compost de clavel + crisantemo y compost de clavel + crisantemo + gallinaza). En lo referente a los tallos no comerciales producidos en las parcelas de ensayo, ninguno de los tratamientos empleados tuvo una mayor cantidad de destrío durante la mayor parte del trabajo y no es sino hasta las últimas 3 cosechas (641, 664 y 699 días después de la plantación) que los testigos producen un mayor número de tallos no comerciales, y son los tratamientos con aplicación de bromuro de metilo y, compost de clavel + crisantemo + biosolarización en los que menor destrío se obtuvo. Estas producciones estuvieron relacionadas con el efecto de la enfermedad de la Fusariosis del clavel presente en el ensayo, de lo que puede concluirse que los tratamientos

biofumigados fueron los que mayor índice de enfermedad tuvieron y por consiguiente fueron mayores las pérdidas. Los tratamientos con biosolarización sin gallinaza también tuvieron elevados índices de enfermedad. Fue el tratamiento con restos de clavel + crisantemo + gallinaza y la biosolarización la que dio mejores resultados que la aplicación del bromuro de metilo en dos campañas sucesivas.

MAUROMICALE *et al.* (2011) reportaron resultados positivos sobre la producción y la calidad de frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) por efecto del empleo de la biosolarización en el sur de Italia. En sus ensayos aplicaron un producto orgánico comercial (contenido en C-orgánico 29%, C-húmico 13%, ácidos húmicos 22% y una relación C/N 14,5) a dosis de 0,35 y 0,7 kg·m⁻², y un tratamiento sin aplicar materia orgánica, y posterior plastificación a todos los tratamientos, y un manejo de la fertilización del cultivo para todos los tratamientos a la aplicada comercialmente durante el ciclo de producción, obteniendo como resultado un incremento en el porcentaje de materia seca en los frutos sólo por efecto de la solarización del suelo. La producción de tomate tuvo un incremento de hasta un 61% cuando se comparó la dosis máxima de enmienda frente al testigo sin aplicación de materia orgánica. Para los parámetros cualitativos del fruto, la aplicación de materia orgánica produjo mejores características en el mesocarpio del fruto, firmeza de pulpa, acidez, el contenido de azúcares reducidos, sólidos solubles totales, contenido en ácido ascórbico y cenizas siendo para todos estos el incremento de forma gradual y relacionado de manera positiva a la cantidad de materia orgánica aplicada.

NÚÑEZ-ZOFÍO (2011), reportó en sus trabajos para el cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) en el País Vasco como la aplicación de diversos tratamientos de biosolarización como el uso de estiércol fresco de oveja más gallinaza (10 kg peso fresco·m⁻², mezcla 2,3:1 en peso) y estiércol semicompostado de caballo más gallinaza (10 kg peso fresco·m⁻², mezcla 1:1 volumen) tuvieron una mayor producción comercial de frutos de pimiento (4,3 y 3,8 kg·m⁻², respectivamente) frente a tratamientos con aplicación de pellets de *Brassica carinata* (0,3 kg·m⁻²), otro sin solarizar y sin enmienda y, otro solo con solarización y sin enmienda que obtuvieron una producción de 3,2, 2,8 y 3,4 kg·m⁻² respectivamente, además de obtener plantas de mayor altura en los tratamientos donde fue aplicada la biosolarización. Este comportamiento volvió a repetirse en el tiempo con los mismos tratamientos, solo que esta vez las dosis de estiércol fresco y semicompostado fueron de 2,5 y 1,9 kg·m⁻² respectivamente, llegando a alcanzarse producciones de 9,7 y 10,5 kg·m⁻² siguiendo el mismo orden de los estiércoles descritos con antelación.

En la región de Murcia y continuando con sus ensayos, NÚÑEZ-ZOFÍO (2011) reportó en sus trabajos que el empleo de la biosolarización por 6 semanas en cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) durante 2 años consecutivos en los que fueron utilizados como tratamientos vinaza (1,5 L·m⁻²) y vinaza + estiércol fresco de oveja (1,5 L·m⁻² y 2,5 kg·m⁻², respectivamente) tuvieron un mayor producción de frutos para el primer año en comparación al testigo sin tratar, pero iguales estadísticamente ante el testigo fumigado con bromuro de metilo (30 g·m⁻²). Para el segundo año las producciones de pimiento cuando fue aplicado el bromuro de metilo como fumigante del suelo fueron en decremento diferenciándose de las zonas en que fueron biosolarizadas con vinazas con y sin estiércol llegando a producirse una diferencia de producción desde 1 hasta 1,7 kg·m⁻².

DOMÍNGUEZ *et al.* (2014) reportaron que el empleo de la biosolarización aumentó la producción del cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) en Huelva. En sus ensayos estudiaron el efecto de tratamientos de biosolarización por 30 días utilizando gallinaza fresca a una dosis de $1,25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ con y sin *Trichoderma* a $0,00035 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, gallinaza a dosis de $2,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, pellets de *Brassica juncea* a $0,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, vinaza de remolacha azucarera a $1,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ y orujo de olivo seco a $1,25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, y utilizando como testigo la aplicación de gallinaza sin solarizar. Sus resultados reportaron que la mayor producción fue obtenida cuando el tratamiento aplicado fue gallinaza fresca más solarización, además de obtener el menor porcentaje de frutos de segunda clase. Cabe enfatizar que todos los tratamientos recibieron una fertilización mineral durante el desarrollo del cultivo.

MAURO *et al.* (2015) reportaron los resultados en dos ensayos realizados en Siracusa (Italia) sobre el efecto de la solarización y biosolarización en la producción de cultivo de tomate bajo invernadero el cual fue abonado con fertilización de síntesis en todos los tratamientos aplicados durante el desarrollo del ciclo de producción. En su primer ensayo evaluaron el efecto reiterado de la solarización sin aplicación de enmiendas orgánicas durante 2 y 3 campañas, frente a un suelo solarizado en su primer año y un control sin solarizar. Los resultados que obtuvieron demostraron que la aplicación de la solarización aumentó la producción en un 92% (comparando el tratamiento de 3 años de solarización frente al suelo sin solarizar) y el número de frutos por planta. Este efecto fue más evidente mientras mayor número de años había sido practicado la solarización en el suelo. En su segundo ensayo solo evaluaron durante una campaña el efecto de un producto orgánico comercial (contenido en C-orgánico 29%, C-húmico 13%, ácidos húmicos 22% y una relación C/N 14,5) aplicado como enmienda mediante biosolarización a las dosis de $0,35$ y $0,7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, frente a un tratamiento solarizado y otro sin solarizar. Los resultados de este ensayo demostraron que la aplicación de la biosolarización produjo un incremento constante de la producción en un 46% entre el tratamiento sin enmienda y la máxima dosis de enmienda, aumentándose también un incremento en el número de frutos por planta en un 29%.

MARÍN-GUIRAO (2016) estudió el efecto de diversos tratamientos de biodesinfección comparando biofumigación y biosolarización en el que utilizó como materia orgánica pellets de *Brassica carinata* ($0,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) con y sin activador microbiológico ($0,16 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}$), restos de brócolis deshidratados ($0,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) y gallinaza pelletizada ($0,15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) frente a un tratamiento sin enmienda sobre la producción y su calidad en cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) de ciclo corto y un cultivo consecutivo de sandía durante 2 años, los cuales fueron fertilizados de manera continua mediante abonos de síntesis. Durante el primer año estudió el efecto directo de la aplicación de las diversas enmiendas orgánicas, y durante el segundo año evaluó el efecto residual de las materias orgánicas aplicadas en el año anterior. Este autor reportó para el cultivo de tomate que durante el primer año los tratamientos biosolarizados presentaron la mayor producción, y dicho efecto se remarcó con la utilización de pellets de *Brassica carinata*, aunque hay que destacar que este efecto no fue significativo en comparación al testigo sin materia orgánica. En su segundo año, cuando evaluaron el efecto residual, encontraron que no hubo diferencias en la producción y la calidad del tomate entre los diferentes tratamientos empleados. En cuanto a los parámetros de calidad en fruto estudiados (diámetro ecuatorial, firmeza de pulpa, contenido en sólidos

solubles totales y acidez) la técnica de la biofumigación con aplicación de brasicas deshidratadas o pelletizadas fueron aquellas que mejores características proporcionaron a la calidad. Para el cultivo de sandía, la producción no se vio afectada ni por la técnica de biodesinfección ni por el tratamiento empleado, comportamiento que se repitió en la relación entre el perímetro transversal/perímetro longitudinal y otros componentes de la calidad del fruto (grosor de la corteza, firmeza de la pulpa, contenido en sólidos solubles totales y acidez) pero sólo durante el primer año. Fue para el segundo año donde se apreció que en las parcelas biofumigadas se incrementaron los valores de estos parámetros excepto en la firmeza de la pulpa donde el mayor efecto lo presentaron las parcelas biosolarizadas. En cuanto a las materias orgánicas, fueron los tratamientos con brasicas los que mejoraron las características del grosor de la corteza (brasicas deshidratadas) y la firmeza de la pulpa (pellets).

OZYILMAZ *et al.* (2016) estudiaron en Turquía el efecto sobre la producción del cultivo de fresa (*fragaria x ananassa* Duchesne) por la aplicación de tratamientos de biosolarización durante 6 semanas utilizando restos frescos cultivados de brócoli, restos frescos cultivados de habas, residuos secos de almazara ($2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$), cascarilla de arroz ($300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), azufre en polvo ($50 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) y vermicast ($1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$), frente a un suelo solarizado y otro control sin solarizar. Para el desarrollo del cultivo los autores mencionan que se aplicaron las técnicas convencionales de producción en la zona, aunque en ningún momento se especifica si es que se realizó abonado para las plantas. Los resultados de sus ensayos reportaron que las mayores producciones son alcanzadas cuando la solarización es considerada como único factor y de entre todas las enmiendas orgánicas utilizadas, fueron la aplicación de residuos producidos en almazara y la cascarilla de arroz las que sobresalieron, además del tratamiento en que azufre en polvo fue también aplicado.

2.2.2 Efecto de la biosolarización sobre las poblaciones microbianas

Como en párrafos anteriores ha sido comentado, la biosolarización ha sido empleada para el control de plagas y enfermedades que tienen su origen en el suelo, pero ante esta situación, la cuestión que podría plantearse es ¿cuál sería el efecto de esta técnica ante los demás microorganismos habitantes del suelo?, al fin estos, los microbios participan en con conferir al suelo su carácter fértil. Aunque este aspecto ha sido estudiado por diversos autores, es necesario profundizar en dicho aspecto ya que este parámetro ha sido analizado mediante el efecto sobre las poblaciones microbianas presentes en los suelos, y sobre su actividad enzimática (enzimas dehidrogenasa, β -glucosidasa, ureasa, fosfatasa ácida y alcalina) y microbiana (respiración basal).

A continuación, se revisan diversos trabajos en los que se analizó el efecto de la biosolarización sobre la microbiología de los suelos:

GELSOMINO y CACCO (2006) estudiaron en el sureste de Italia el impacto de la solarización del suelo por 72 días más enmiendas orgánicas sobre la diversidad de las comunidades microbianas mediante métodos moleculares. Los tratamientos ensayados fueron suelo sin enmienda orgánica con y sin solarización, suelo enmendado con estiércol de ganado ($3,75 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ pellets que contienen 36% C-orgánico, C/N ratio de 13/1, P_2O_5 3%, K_2O 2%, MgO 0,8% y microelementos 1,8%) con y sin solarización. Los resultados mostraron que la solarización con y sin aplicación de enmiendas orgánicas produjo profundos cambios a las 72 horas de iniciado el proceso en la estructura

molecular en las comunidades de las proteobacterias y actinomicetos. La solarización disminuyó el número de poblaciones bacterianas aumentando la intensidad las mismas, lo que posiblemente pueda ser debido a una especialización de las pocas poblaciones bacterianas a estas condiciones adversas. Y finalmente, la aplicación de enmiendas orgánicas en el suelo produjo un incremento en la diversidad bacteriana.

MARTÍNEZ *et al.* (2006) estudiaron el efecto de la biosolarización reiterada sobre las poblaciones microbianas en el suelo, encontrando que la aplicación de la biosolarización utilizando como materia orgánica una mezcla de estiércol fresco de oveja y gallinaza redujo la población de especies de *Fusaria* en el suelo a niveles equiparables a los que produce una desinfección con bromuro de metilo, tratamiento que fue considerado como testigo por su común uso en la zona del campo de Cartagena en las plantaciones de pimiento. El comportamiento anteriormente descrito también se presentó para el análisis de la microbiota fúngica total del suelo durante el 1er año de los 3 años que duró el ensayo y fue a partir del segundo año donde este comportamiento se invirtió produciéndose un incremento en las poblaciones microbianas al término de la biosolarización.

SCOPA y DUMONTET (2007) compararon el efecto sobre la masa microbiana, la respiración y la actividad enzimática del suelo por la aplicación de tratamientos de solarización, enmienda orgánica sin solarizar y finalmente, enmienda orgánica más solarización por un período de 37 días en los meses de julio y agosto en el sur de Italia. La enmienda orgánica fue un compost integrado por la mezcla de gallinaza, restos de podas de viñedo y olivo, el cual presentaba una relación C/N de 17. En sus resultados se expresó que la respiración de carbono, la actividad enzimática y el contenido en biomasa de carbono y nitrógeno fueron mayores en los tratamientos en que fueron aplicados enmiendas orgánicas, y que cuando estos fueron comparados entre sí, los valores en el contenido en biomasa fueron menores cuando las enmiendas fueron acompañadas de solarización.

ROS *et al.* (2008) también estudiaron el efecto de la biosolarización sobre la actividad enzimática del suelo comparando tratamientos con diversas cantidades de materia orgánica frente a la aplicación de bromuro de metilo como son especificados en el anterior apartado. El estudio lo realizaron en tres momentos: antes de la aplicación de los tratamientos, después de pasado el proceso de solarización (levantamiento de plásticos) y al final del ciclo de cultivo. Los resultados que ellos obtuvieron indican que la aplicación de tratamientos de biosolarización sin importar la cantidad de la enmienda utilizada disminuyeron la actividad de la ATP, enzima dehidrogenasa, fosfatasa, ureasa y β -glucosidasa después de haberse producido la solarización, pero estos valores al final del ciclo volvieron a niveles de inicio del ensayo, llegando a ser superiores para el caso de la actividad dehidrogenasa. Estos resultados no se repitieron cuando se aplicó bromuro de metilo, ya que dichas actividades enzimáticas a pesar de tener la misma respuesta después de la aplicación del tratamiento no pudieron estabilizarse hacia el final del ciclo de producción.

El estudio de poblaciones de la microbiota fusárica (UFC-g⁻¹ de suelo) mediante técnicas tradicionales en suelo antes y después de la aplicación de diversos tratamientos de biofumigación, biosolarización y desinfección química fue evaluado por GARCÍA-RUIZ *et al.* (2009). En su estudio apreció como las poblaciones de *Fusarium oxysporum* fueron afectadas de diferente manera según el tratamiento empleado, y es que cuando solo

fue aplicado el compost de crisantemo ya sea mediante biofumigación o biosolarización las poblaciones del hongo sufrieron un aumento al final del proceso al igual que el testigo, caso contrario a este efecto ocurrió con la aplicación del compost de alperujo con biofumigación o biosolarización, a la mezcla del compost de clavel + crisantemo + gallinaza con biofumigación o biosolarización, y las distintas desinfecciones químicas donde las poblaciones del hongo disminuyeron al fin de la aplicación de los tratamientos, excepto en aquel donde fue aplicado dicloropropeno + solarización + *Trichoderma* 34 ya que las poblaciones permanecieron iguales. En el caso de *Fusarium solani* todos los tratamientos ensayados produjeron un aumento en las poblaciones del hongo al final del proceso de desinfección del suelo. Finalmente, en el estudio de las poblaciones de *Fusarium roseum*, salvo en las parcelas testigo, realizando la aplicación de los demás tratamientos se apreció un efecto disminuyendo el número de UFC en los resultados de los análisis realizados en el suelo.

NÚÑEZ-ZOFIO (2011) aplicó diversos tratamientos de biodesinfección sobre cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) en el País Vasco, en los que estudió la actividad enzimática (deshidrogenasa, β -glucosidasa, fosfatasa ácida y alcalina, y la actividad ureasa) por el efecto de la aplicación de una mezcla de estiércol fresco de oveja y cama de pollo seca (3,85 kg peso seco·m⁻² en proporción 2,33:1 p:p) más plástico de solarización, mezcla de estiércol de caballo semicompostado y cama de pollo (3,85 kg peso seco·m⁻²) en proporción 1:1 v:v) más plástico de solarización, pellets de *Brassica carinata* (0,3 kg·m⁻²) más plástico de solarización además de una enmienda en verde con *Sinapsis alba* L. la cual fue cultivada en el mismo suelo después de la biosolarización frente a dos tratamiento sin enmienda orgánica, en el cual en uno fue aplicado plástico para solarización y en otro no. Los resultados que la autora obtuvo mostraron como la actividad enzimática del suelo aumentó inmediatamente después de la aplicación de los tratamientos con estiércol ya sea fresco o semicompostado en comparación a los controles y sólo encontraron diferencias al evaluar la fosfatasa ácida donde la aplicación de los pellets de *Brassica* aumentaron esta actividad enzimática. Posteriormente, evaluaron el efecto residual de estos mismos parámetros en el mismo suelo sin cultivar durante la época invernal, repitiéndose el mismo efecto por los estiércoles tanto compostados como semicompostados excepto en los valores de la β -glucosidasa y la respiración basal, donde el uso del estiércol semicompostado fue el tratamiento que mayores valores aportó. Y finalmente, al final del cultivo establecido el tratamiento con estiércoles semicompostados fueron los que incrementaron todos los valores de las actividades enzimáticas en comparación con los tratamientos sin enmiendas.

Este experimento fue repetido por segundo año y con los mismos tratamientos, sólo que en esta ocasión la cantidad de materia orgánica aplicada se estableció en base a los límites de unidades fertilizadoras de N (170 kg N·ha), quedando en 2,5 kg·m⁻² para la mezcla de estiércol fresco y 1,9 kg·m⁻² para la mezcla de estiércol semicompostado. Al final de la biosolarización los resultados del primer año se repitieron mostrándose la mayor actividad enzimática con la aplicación de materia orgánica, repitiéndose nuevamente dicho comportamiento al final del invierno sin haber cultivo alguno establecido.

Ensayo realizados en la región de Murcia por NÚÑEZ-ZOFÍO (2011) y descritos en el apartado anterior mostraron como la aplicación de enmiendas orgánicas en este caso vinazas y, vinazas + estiércol fresco de oveja mediante biosolarización después de una

reiteración de 2 años, aumentaron la actividad enzimática en el suelo (dehidrogenasa, β -glucosidasa, fosfatasa ácida y alcalina, actividad arilsulfatasa y ureasa) frente al testigo sin tratar y a un tratamiento de fumigación del suelo con bromuro de metilo.

En su trabajo MARÍN-GUIRAO (2016) utilizando las técnicas de biofumigación y biosolarización con diversas materias orgánicas descritos en el anterior apartado describe que las poblaciones fúngicas tienden a disminuir hasta prácticamente desaparecer después de aplicar los diversos tratamientos. Este comportamiento se repitió para las poblaciones bacterianas cuando se aplicó la técnica de biosolarización excepto cuando la materia orgánica empleada fueron pellets de *brassica carinata* en donde la población fue en aumento, de igual manera los tratamientos biofumigados con brassicas tanto en pellets como deshidratados continuaron con este incremento en las poblaciones.

Durante el desarrollo de los cultivos, también analizó el comportamiento de las poblaciones microbianas siendo bastante fluctuantes en los diversos muestreos y tratamientos empleados, pero sin consistencia al final del primer año de ciclo de tomate cultivado donde las poblaciones fúngicas tendieron a disminuir, este comportamiento no se repitió para el cultivo consecutivo de sandía donde las poblaciones también fueron fluctuantes, pero se incrementaron al final del ciclo. Para el segundo año, los comportamientos de las poblaciones para ambos cultivos en los diferentes tratamientos empleados no siguieron la misma tónica que el primer año, siendo las poblaciones muy heterogéneas, terminando con poblaciones mucho mayores que al inicio del año de producción.

Para el caso de las poblaciones bacterianas, durante el primer año, el comportamiento de las poblaciones fue homogénea para todos los tratamientos durante el ciclo de cultivo de tomate produciéndose el mismo efecto que en el caso de las poblaciones fúngicas durante el primer año y en el mismo cultivo en el cual las poblaciones tendieron a disminuir hasta casi desaparecer. Estas poblaciones para el cultivo de sandía en el primer año al igual que los hongos se incrementaron al final del cultivo. Para el segundo año, tanto para el cultivo de tomate como en el consecutivo de sandía las poblaciones bacterianas fueron muy heterogéneas, sin que se pudiera observar una tendencia en su comportamiento.

SERRANO (2017) estudió para la provincia de Badajoz el efecto de diversas enmiendas orgánicas en el suelo mediante la técnica de ASD (Desinfección anaeróbica de suelos) por 4 semanas sobre la actividad enzimática de los suelos al final de los tratamientos y la densidad de las poblaciones de hongos del género *Fusarium* antes y después de la aplicación de los tratamientos. Las materias orgánicas que fueron empleadas con plástico de solarización fueron salvado de arroz (20 t/ha), pellets de torta de colza (20 t/ha), orujo de vid (40 t/ha), pellets de *Brassica carinata* (3 t/ha), un testigo sin enmienda y finalmente un tratamiento testigo sin plástico y sin enmienda al suelo. La aplicación del salvado de arroz produjo en los suelos a final del ensayo un aumento en la actividad de las enzimas deshidrogenasa (variable indicativa de la actividad anaeróbica) y ureasa de forma significativa en comparación a los demás tratamientos y al inicio del ensayo, aspecto que no redundó para las actividades fosfatasa y β -glucosidasa donde todos los tratamientos e incluso el testigo presentaron un mismo comportamiento. En lo referente a las poblaciones de los hongos *Fusaria*, aunque la densidad total por gramo de suelo aumento en todos los tratamientos del inicio al fin

del ensayo, no se apreciaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos por efecto de las diversas materias orgánicas empleadas e incluso en aquella en que no hubo aplicación alguna.

MATERIALES Y MÉTODOS

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del invernadero

El invernadero del cual fueron tomadas las muestras de suelo para la realización del trabajo está codificado como U14 siendo de características de tipo raspa y amagado con un suelo mezclado con arena y con una superficie de 1760 m² y pertenece a las instalaciones de la Finca Experimental UAL-ANECOOP, la cual está localizada en el polígono 24, parcela 281 del paraje “Los Goterones” de la localidad de Retamar en el término municipal de Almería.

3.2 Antecedentes del invernadero

Para el ciclo 2009-2010, IBÁÑEZ-AYALA (2017) realizó un ensayo en el que se evaluó el efecto de la aplicación de lodos procedentes del corte y pulido del mármol de la zona de Macael (Almería) al suelo sobre sus parámetros químicos. En una superficie de 400 m² localizada en la zona suroeste aplicó 6 tratamientos: en 3 aplicó los lodos en zanjas de 10 m de longitud con una anchura de 30 cm y una profundidad de 60 cm, más 3 dosis de riego que fueron al 100, 75 y 50% de la dosis calculada y requerida para el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), los cuales fueron repetidos sin aplicación del lodo de mármol. Todos los tratamientos fueron fertirrigados durante el ciclo de producción.

Posterior a este trabajo, durante los siguientes ciclos 2010-2011, 2011-2012 y 2012-2013, el invernadero se dejó sin cultivar y fue prácticamente abandonado.

A partir de la primavera del año 2013, el grupo de investigación AGR-200 de la Universidad de Almería, retomó el invernadero y propuso realizar una recuperación de la fertilidad del suelo mediante la aplicación de materia orgánica producida en el invernadero como consecuencia del propio ciclo de producción.

Para el ciclo de producción 2013-2014, MERLO (2015) mediante la técnica de biosolarización aplicó como tratamientos (en los que no se utilizó fertilización de síntesis) restos de plantas de tomate y calabacín, estiércol pelletizado y restos plantas de tomate enfermas con *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* para evaluar el efecto sobre la producción y la calidad en un cultivo de tomate frente a otra zona del invernadero en la que fue aplicado una fertilización convencional mediante el riego.

En el ciclo 2014-2015, LEUNG (2016) evaluó la producción y SALMAN (2015) la calidad de ésta en un ciclo corto de producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), obtenida por el efecto de la biosolarización en la aplicación de tratamientos con restos de plantas de tomate producidas el ciclo anterior, restos plantas de tomate enfermas con *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*, pellets de *Brassica carinata*, restos de brócoli deshidratados, restos verdes de mostaza y rábano forrajero, frente al fertirriego, haciendo énfasis en que a los tratamientos que se aplicó materia orgánica no fueron abonados con fertilizantes de síntesis durante todo el ciclo de producción.

3.3 Características del ensayo

En este invernadero se establecieron dos ciclos largos de producción para las campañas de otoño de 2015-2016 (trasplante realizado el 2/septiembre/2016) y 2016-2017 (trasplante realizado el 6/septiembre/2016) teniendo una duración de 223 y 226

días respectivamente. En ambas campañas se estableció como cultivo tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tipo rama cv. Pitenza, sin injertar, a un tallo por planta y a una densidad de plantación de 2 plantas·m⁻².

3.4 Diseño experimental

En un diseño de bloques aleatorios con 7 tratamientos y 4 repeticiones cada uno, se establecieron los siguiente de tratamientos de biosolarización al suelo:

- T0 (TB): Testigo sin restos vegetales y sin fertirrigación.
- T1 (FERT): Testigo convencional (fertirrigación).
- T2 (F+B 0,5): Fertirriego + Biofence® a razón de 0,5 kg·m⁻².
- T3 (F+B 1): Fertirriego + Biofence® a razón de 1,0 kg·m⁻².
- T4 (RT): Restos vegetales del cultivo anterior (plantas de tomate) a razón de 3,5 kg·m⁻².
- T5 (RT+B 0,5): Restos vegetales del cultivo anterior (plantas de tomate) a razón de 3,5 kg·m⁻² + Biofence® a razón de 0,5 kg·m⁻².
- T6 (RT+B 1): Restos vegetales del cultivo anterior (plantas de tomate) a razón de 3,5 kg·m⁻² + Biofence® a razón de 1,0 kg·m⁻².

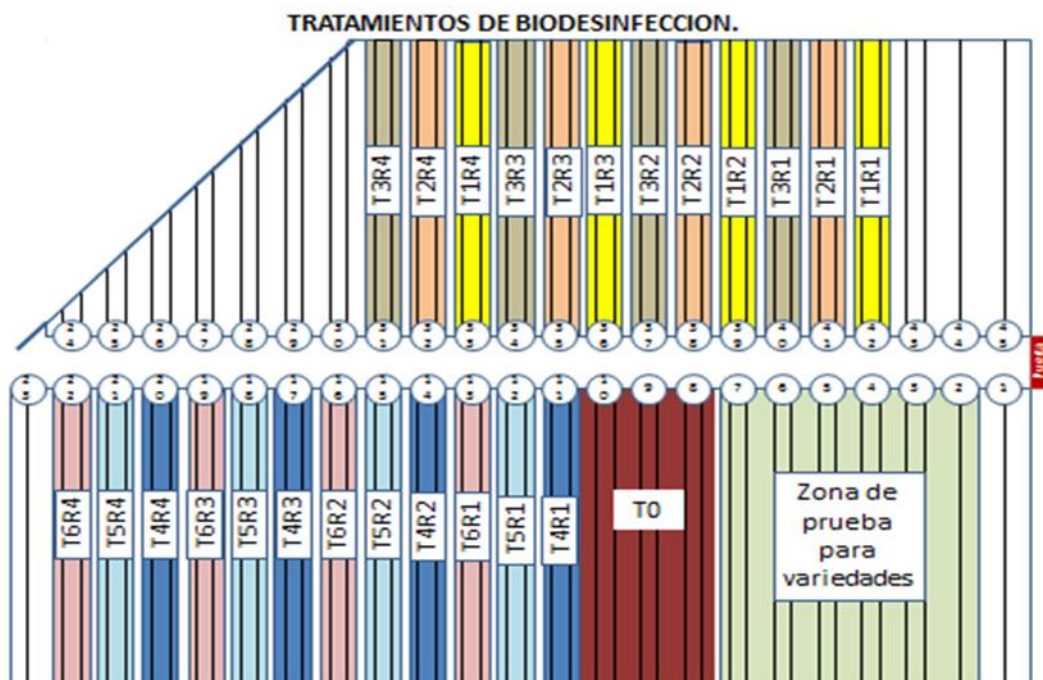


Figura 1. Plano de los tratamientos en el invernadero.

3.5 Aplicación de los tratamientos

Los restos de plantas de tomate que son aplicados en los tratamientos indicados en el diseño del experimento son las plantas desarrolladas en el cultivo anterior en el

mismo invernadero. Las plantas fueron descolgadas, arrancadas y llevadas al pasillo central para su triturado mediante una picadora de martillos accionada por un tractor.

Antes de haber sido incorporados los tratamientos al suelo, un tractor dio un pase de rotovator de forma cruzada por la zona en la que no iban a ser incorporados restos de plantas picados. En la zona de incorporación de restos de picados como se observa en el plano de tratamientos (Figura 1), se esparcieron los restos a razón de 3,5 kg de material fresco·m⁻² (con un contenido de humedad del 75%) y cuyo contenido en N es del 5% del peso en materia seca tomando en cuenta como guía los datos publicados por CASAS en 1996 (citado por CASAS-CASTRO y CASAS-BARBA, 1999) llegando a una aplicación aproximada al suelo de 437,5 kg de N·ha⁻¹. Posteriormente, se realizó el paso de rotovator hasta una profundidad aproximada de 30 cm para mezclar los restos con el suelo.

Las líneas de cultivo tuvieron una longitud de 20 m para todos los tratamientos y repeticiones, esto fue tomado en consideración para la aplicación de los tratamientos que contenían Biofence® el cual son pellets de *Brassica carinata* (cuya composición se especifica en la Tabla 1), el cual fue realizado mediante la apertura manual de carillas sobre las líneas de cultivo, con una anchura de 40 cm y una profundidad de 20 cm, en la que se aplicaron los pellets, para finalmente ser cerradas con tierra.

Tabla 1. Composición química del Biofence®.

| Parámetro | Contenido |
|-----------------------------|-----------|
| Nitrógeno orgánico | 6% |
| Fósforo orgánico disponible | 3% |
| Materia orgánica | 85% |

Se extendieron las líneas portagotos y se comprobó su funcionamiento mediante un ligero riego y, todo el suelo del invernadero fue cubierto con un plástico transparente de 100 galgas, el cual fue sellado entre los propios plásticos mediante el uso de grapas y por los bordes mediante arena, además ser sellados en las zonas de tubos tanto de las raspas como de los amagados del invernadero con cinta para embalar.

Posteriormente se dio riego por 4 días durante 2 horas cada uno y el invernadero se dejó solarizar por 93 días y 94 días para el primer y segundo año respectivamente.

Durante el proceso de biosolarización se monitorearon las temperaturas del suelo utilizando dos sensores, uno colocado en el tratamiento fertirrigado (FERT) en la repetición 3 y el segundo en la zona de restos de tomate (RT) en la repetición 2 a una profundidad de 15 cm cada uno.

Pasado el periodo de biosolarización, el plástico fue retirado, se dio un paso de rotovator para mullir el suelo, y se dio un riego de 30 min para preparar las condiciones del suelo para trasplante y finalmente, se instaló el cultivo.

Para el desarrollo del cultivo, en el caso de los tratamientos fertirrigados, el manejo de la fertilización del cultivo fue aplicado durante el ciclo completo de producción utilizando como base el manejo de la solución nutritiva según STEINER (1961) con incrementos de conductividad eléctrica continuos de 0,5 dS·m⁻¹ hasta llegar

a un valor máximo de $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Mientras que en el caso de los tratamientos con aplicación de restos de plantas de tomate triturados con y sin Biofence®, así como del testigo blanco fueron regados durante todo el ciclo de producción solo con agua, cuyas características son mostradas en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición química del agua utilizada para el riego del cultivo en el desarrollo de los ensayos.

| Parámetro | Resultado |
|---|-----------|
| Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 462 |
| pH | 7,3 |
| Bicarbonatos (mmol/L) | 0,97 |
| Nitrato (mmol/L) | <0,04 |
| Fosfato (mmol/L) | <0,03 |
| Sulfato (mmol/L) | 0,07 |
| Potasio (mmol/L) | 0,07 |
| Calcio (mmol/L) | 0,35 |
| Magnesio (mmol/L) | 0,19 |
| Cloruro (mmol/L) | 3,08 |
| Sodio (mmol/L) | 2,57 |

3.6 Muestreo de suelos

Cinco muestreos fueron realizados entre las 2 campañas de producción que duró el ensayo, haciéndose el primer muestreo antes de la incorporación de los tratamientos de la campaña 2015-2016, el segundo muestreo al trasplante en el mismo año, el tercer muestreo al finalizar el ciclo de producción de esta misma campaña, el cuarto al trasplante de la campaña 2016-2017 y el quinto muestreo al finalizar la campaña. Esta calendarización de los muestreos se detalla en la Tabla 3. La toma de suelos se realizó muestreando cada línea de cultivo perteneciente a cada tratamiento y repetición utilizando una pala y tomando los primeros 20 cm de profundidad. Estas muestras fueron llevadas para su análisis al laboratorio de Protección Vegetal del Departamento de Agronomía de la UAL.

Tabla 3. Muestreos realizados en el ensayo.

| Muestreo | Fecha | Momento del ciclo de producción |
|--|-------------------|--|
| Inicio del ensayo. | 14/abril/2015 | Después de la incorporación de restos de tomate al suelo y antes de los tratamientos de Biofence®. |
| Después de la primera biosolarización | 4/Septiembre/2015 | Inicio del ciclo de cultivo 2015-2016. Al trasplante. |
| Fin del primer cultivo. | 12/abril/2016 | Fin del ciclo de producción 2015-2016. Antes de la incorporación de tratamientos de biosolarización. |
| Después de la segunda biosolarización. | 7/septiembre/2016 | Inicio del ciclo de cultivo 2016-2017. Dos días después de realizar el trasplante. |
| Fin del segundo cultivo. | 24/abril/2017 | Fin del ciclo de producción 2016-2017. |

3.7 Análisis de muestras

Para ser analizadas las muestras, los suelos primeramente fueron secados a temperatura ambiente del laboratorio hasta que alcanzaron peso constante, después fueron trituradas y tamizadas con un tamiz de haz de luz de 200 micras, y posteriormente almacenados en una cámara frigorífica a 5°C de temperatura hasta el momento de la realización del correspondiente análisis.

3.7.1 Microbiota total de los suelos

El análisis de las poblaciones microbiológicas del suelo fue realizado utilizando el método de las diluciones sucesivas (TELLO *et al.*, 1991), el cual consiste en diluir la muestra de suelo 10 veces en agua. Este método utiliza agar malta como medio de cultivo al cual fue adicionado ácido cítrico como inhibidor del crecimiento bacteriano para conocer las poblaciones microbianas presentes en las muestras de suelo. Las placas fueron incubadas a temperatura ambiente del laboratorio y posteriormente, el conteo fue realizado utilizando un microscopio a los 5 días posteriores al análisis expresándose mediante U.F.C. \cdot g⁻¹ de suelo (Unidades Formadoras de Colonias por gramo de suelo), y la identificación se realizó de manera morfológica utilizando las claves morfológicas de BARTNETT y HUNTER (1972), y SAMSON *et al.* (1995).

3.7.2 Microbiota fusárica

De las mismas muestras manejadas en el apartado anterior, se tomó una cantidad de suelo de cada tratamiento y repetición, y se analizaron mediante el método Warcup utilizando el medio de cultivo KOMADA modificado para hongos del género *Fusarium* (TELLO *et al.*, 1991) y la identificación y conteo se realizó a los 5 días mediante observación al microscopio y se emplearon las claves de GERLACH y NIRENBERG (1982), NELSON *et al.* (1983) y, LESLIE y SUMMERELL (2006) expresando los resultados mediante U.F.C. \cdot g⁻¹ de suelo (Unidades Formadoras de Colonias por gramo de suelo).

3.7.3 Contenido de materia orgánica en suelo

De cada muestreo realizado y sólo de la repetición 3 de cada tratamiento empleado se cogieron 500 g de suelo los cuales fueron enviados para su análisis de características físico y químicas en un laboratorio oficial de la Junta de Andalucía.

3.8 Análisis estadístico

Los datos de la microbiota del suelo y flora fusárica fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA), utilizando el test de mínimas diferencias significativas (LSD) con un nivel de confianza del 95% y, empleando el programa estadístico STATGRAPHICS CENTURION XVI (MANUGISTIC, ROCKVILLE, MD).

RESULTADOS

4 RESULTADOS

4.1 Temperaturas de solarización

Antes de abordar el análisis de los resultados, es necesario recordar lo expresado en los materiales y métodos en lo relacionado al número de los sensores de temperatura utilizados: uno para la zona con enmienda orgánica y otro para la zona sin enmienda. Estos datos lo que hicieron fue dar una idea del comportamiento de las temperaturas en el suelo.

4.1.1 Temperaturas 1er año

De forma general las temperaturas del suelo (máximas, medias y mínimas) siempre fueron superiores a las que presentes en ambiente, lo que es producto directo de la aplicación del plástico de solarización.

En el primer año se apreció un ligero aumento en las temperaturas máximas de la zona donde no se aplicó enmienda orgánica (71°C) frente a la zona donde si fue aplicada (68,9°) (Gráfico 1). Pese a esta ligera diferencia en favor a la zona sin enmienda, las temperaturas máximas alcanzadas en el suelo a la profundidad muestreada en la zona donde se aplicó biosolarización (69,4°C) (Gráfico 2) fueron mayores a la zona en donde sólo se aplicó solarización (66,9°C), reafirmandose con la respuesta de las temperaturas mínimas y medias obtenidas (51,0-27,2°C de medias y 25,1°C de mínima para la zona con materia orgánica, frente a los 52,2-25,0°C de medias y 22,4°C de mínima para la zona sin enmienda), siendo posiblemente este efecto debido a la fermentación de la materia orgánica.

Finalmente, las caídas de las temperaturas en el tramo final del proceso de solarización son debidos a la aplicación del blanqueo para el sombreado del invernadero pocos días antes del levantamiento del plástico y preparación del suelo para el inicio del ciclo de producción.

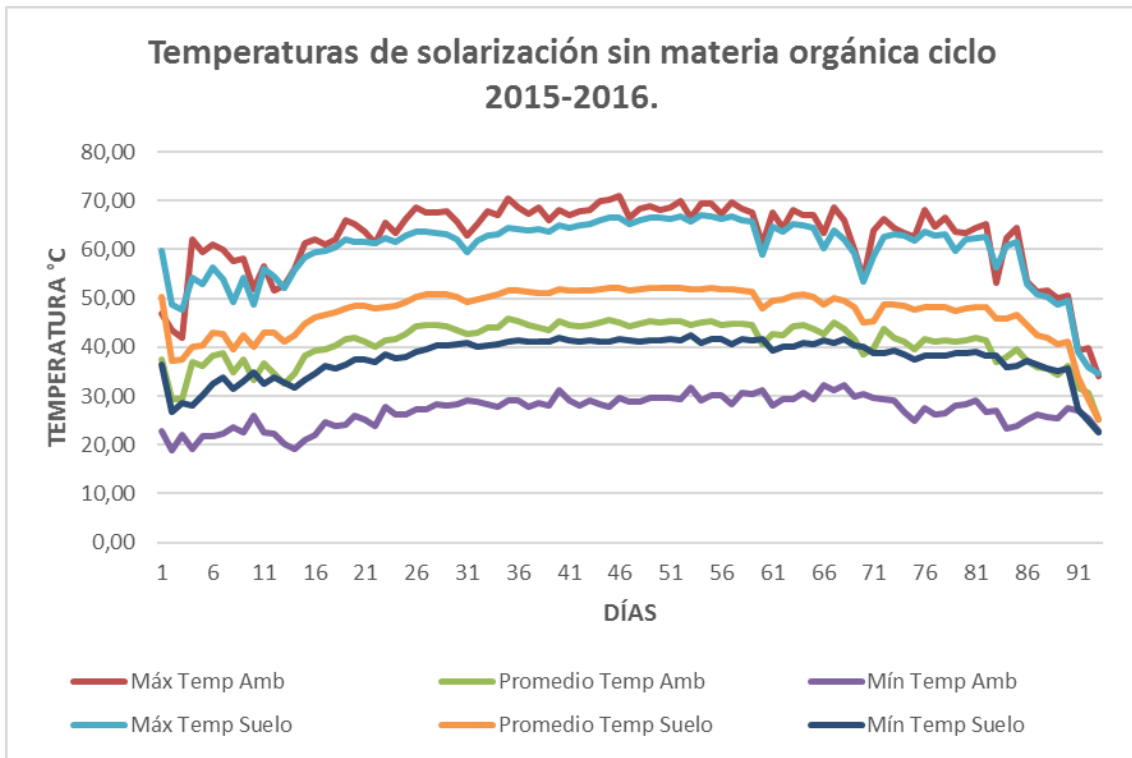


Gráfico 1. Temperaturas máximas, mínimas y promedio (°C) del ambiente y del suelo sin enmendar durante el primer ciclo del ensayo (2015-2016). Período de solarización del 2/6/2015 al 31/8/2016.

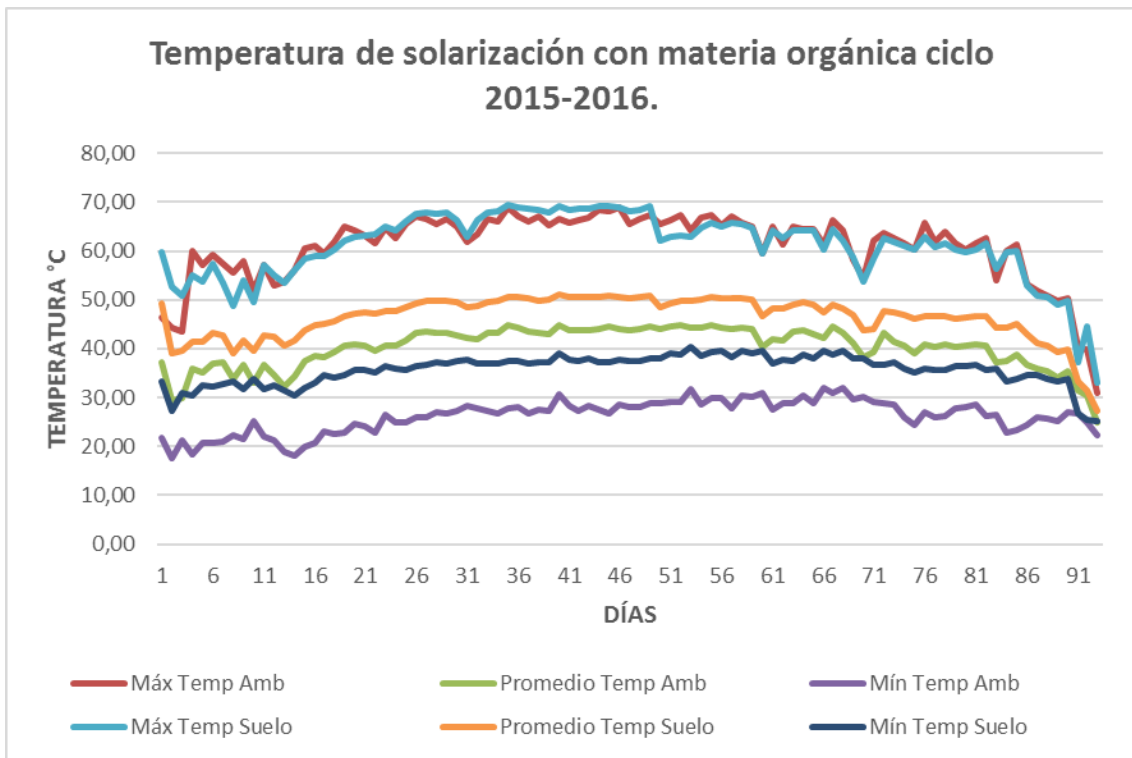


Gráfico 2. Temperaturas máximas, mínimas y promedio (°C) del ambiente y del suelo enmendado con materia orgánica durante el primer ciclo del ensayo (2015-2016). Período de solarización del 2/6/2015 al 31/8/2016.

4.1.2 Temperaturas 2do año

Durante el segundo año de biosolarización las temperaturas máximas del ambiente como del suelo con y sin materia orgánica aplicada fueron menores a las alcanzadas en el año anterior (Gráfico 3 y Gráfico 4). Además, a pesar de que las temperaturas ambientales en el interior del invernadero fueron más cálidas en la zona de aplicación de los tratamientos con materia orgánica (temperatura máxima 62,4°C) debido a la exposición solar, las temperaturas del suelo a la profundidad muestreada prácticamente no difirieron entre las zonas donde se aplicó la materia orgánica (temperatura máxima de 64,3°C, temperatura media de 41,2-32,0°C y temperatura mínima de 14,7°C) a aquella de donde no fue aplicada enmienda orgánica alguna (temperatura máxima de 64,0°C, temperatura media de 41,1-30,9°C y temperatura mínima de 15,1°C). Siendo este resultado diferente al aumento de temperatura que podría esperarse por el efecto de la fermentación de la materia orgánica aplicada al suelo. Esta falta de diferencia de temperaturas entre tratamientos solarizados con y sin enmiendas son comparables con los datos obtenidos por MARÍN-GUIRAO (2016), que tampoco reportó diferencia alguna en las temperaturas de solarización en la misma finca.

Al igual que en el primer año, la caída de las temperaturas al final del proceso de solarización fue debido al blanqueo del invernadero antes del levantamiento de los plásticos.

Englobando los resultados de las temperaturas obtenidas en estos dos años, se muestra como éstas fueron muy altas, y es claramente evidente cuando son comparados con datos obtenidos por otros autores como lo en el caso de MARÍN-GUIRAO (2016) que comparando la aplicación de diversas enmiendas orgánicas mediante biosolarización en la misma zona, reportó una temperatura máxima de 42,7°C a los 15 cm de profundidad.

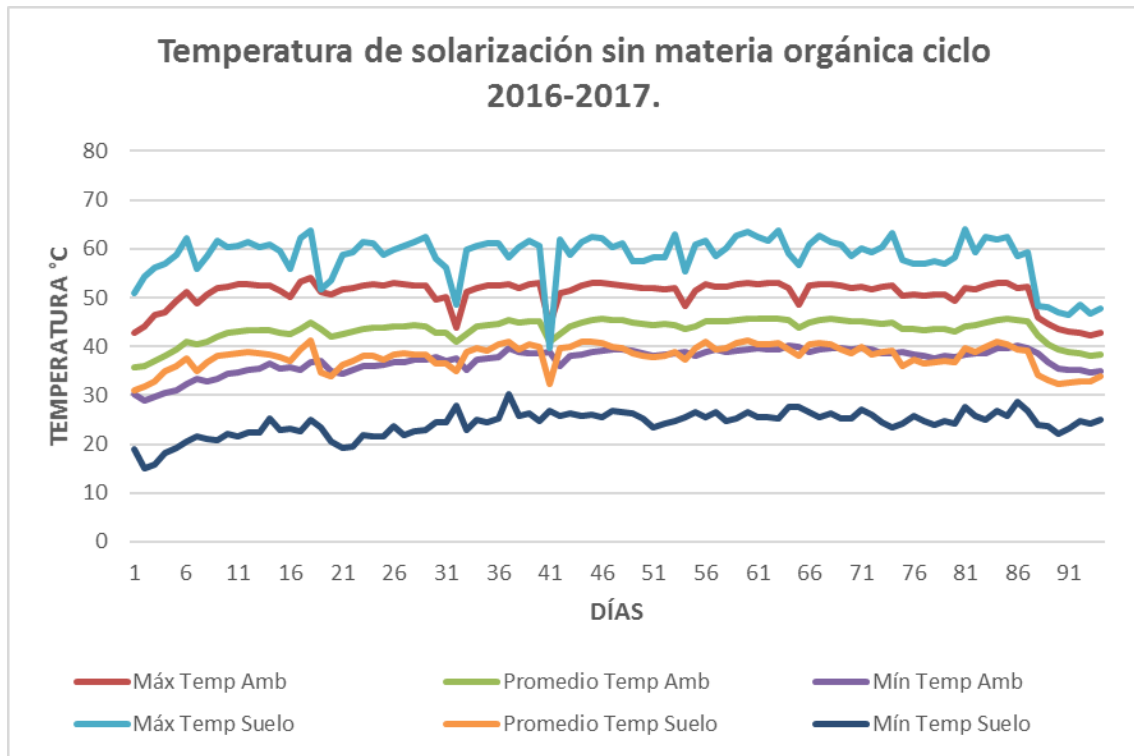


Gráfico 3. Temperaturas máximas, mínimas y promedio (°C) del ambiente y del suelo sin enmendar durante el segundo ciclo del ensayo (2016-2017). Período de solarización del 26/5/2016 al 30/8/2016.

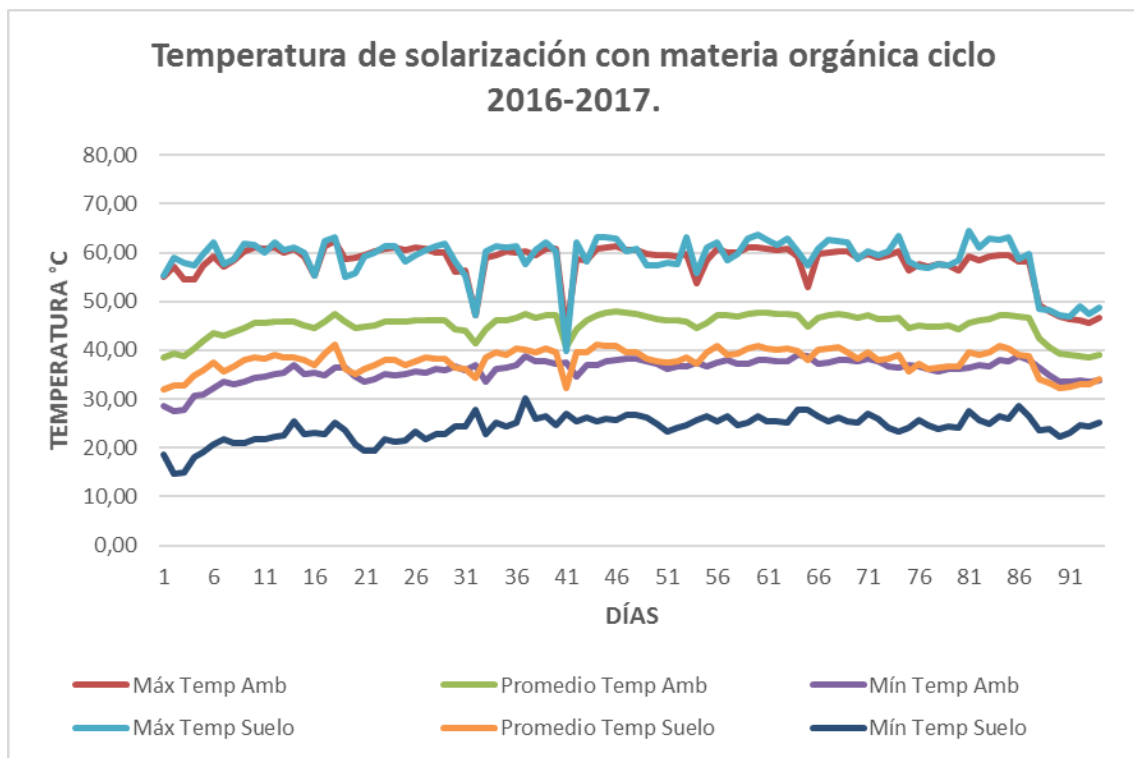


Gráfico 4. Temperaturas máximas, mínimas y promedio (°C) del ambiente y del suelo enmendado con materia orgánica durante el segundo ciclo del ensayo (2016-2017). Período de solarización del 26/5/2016 al 30/8/2016.

4.2 Microbiota total de los suelos

Primeramente, es necesario hacer una aclaración con el análisis estadístico de los datos, y es que, aunque en la Tabla 4 son presentados los p-valores del análisis de la varianza (ANOVA) y su comparación de medias mediante el test de mínimas diferencias significativas (LSD) con un nivel de confianza del 95%, dichos datos no pudieron ser evaluados de esta forma, ya que como se aprecia en sus desviaciones típicas los valores son tan altos lo que expresa una alta heterogeneidad en los resultados de los análisis de suelo hechos. Al ser comprobados los datos se observó que estos no cumplían con las asunciones de homocedasticidad y normalidad, por lo que no pudo realizarse un análisis paramétrico, incluso cuando dichos datos fueron sometidos a varias transformaciones para ser analizados ($1/x$, $1/\sqrt{x}$, $\ln x$, \sqrt{x} , siendo "x" el número de U.F.C.·g⁻¹ de suelo) (BOIX-RUIZ, 2015), estos siguieron sin cumplir las asunciones antes planteadas por lo que fue necesario la aplicación de un test no paramétrico mediante la prueba de Kruskal-Wallis (con un p-valor<0,05) en el que solo se pudieron apreciar diferencias entre tratamientos sin ser posible el establecimiento de sus niveles. Por lo que la interpretación de los resultados se realizó en base a los datos arrojados en su comportamiento, así como las tendencias observadas en los gráficos de las poblaciones.

Para el primer muestreo realizado (Tabla 4) no fue posible realizarse un análisis estadístico de los datos, y es que, aunque fueron tomadas las muestras de suelo en todos los tratamientos con sus repeticiones, no todas fueron analizadas en laboratorio para este parámetro. Los datos expuestos de este muestreo son las medias de las muestras analizadas que se presentan a continuación: repetición 3 para los tratamientos de testigo blanco (TB), fertirriego (FERT) y fertirriego más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (F+B 0,5), repeticiones 1 y 3 para el tratamiento del fertirriego más Biofence® 1 kg·m⁻² (F+B 1), repeticiones 1, 2 y 4 para el tratamiento de restos de plantas de tomate (RT), repetición 4 para el tratamiento de restos de plantas de tomate más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (RT+B 0,5) y, finalmente, las repeticiones 3 y 4 para el tratamiento de restos de plantas de tomate más Biofence® 1 kg·m⁻² (RT+B 1). Hay que destacar de antemano que estos datos son el comienzo del ensayo, de donde se parte para poder realizar una comparación en el tiempo y ver si pudiera existir un efecto sobre las poblaciones debido a los diversos tratamientos empleados.

Para el caso de las poblaciones bacterianas, con los datos obtenidos podemos ver que partimos en el ensayo con una mayor población para el tratamiento donde se aplicarán los restos de cosecha más Biofence® a 1 kg·m⁻² (RT+B 1), seguido a este número, los tratamientos en que serán aplicados fertirriego (FERT), fertirriego más Biofence® 1 kg·m⁻² (F+B 1) y restos de tomate más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (RT+B 0,5) parten prácticamente con valores iguales en cuanto a estas poblaciones. Posteriormente, el testigo blanco (TB) y el tratamiento de restos de plantas de tomate comienzan con valores casi iguales y, finalmente el tratamiento de fertirriego más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (F+B 0,5) es el que parte con los más bajos valores.

Para las poblaciones fúngicas, el tratamiento en que se aplicará fertirriego más Biofence® a 0,5 kg·m⁻² fue la que mayor población presentó a la par del tratamiento donde sólo serán aplicados restos de tomate (RT) aunque esta diferencia fue mínima. Los tratamientos en donde serán aplicados los restos de plantas más Biofence® en ambas cantidades fueron los que les siguieron en cuanto a estas poblaciones apreciándose como donde será aplicada la dosis de 1 kg·m⁻² tuvo un mayor número

frente a donde serán aplicados $0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. El tratamiento testigo blanco (TB) fue el siguiente en población, seguido por el fertirriego más Biofence $1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (F+B 1) y, finalmente, donde será aplicado sólo fertirriego durante el ciclo de producción es el tratamiento en el que se parte con la menor población. En cuanto a la diversidad de especies, fueron encontrados 13 diversos géneros de hongos (*Aspergillus*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium equiseti*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Geotrichum*, *Mucor*, *Acremonium*, *Botryotrichum*, *Stachybotrys*, *Trichoderma*, y *Paecylomices*) (datos no mostrados) siendo el género *Aspergillus* el que tuvo presencia en todas las muestras analizadas, especialmente en el tratamiento donde se aplicaron solo restos de plantas de tomate (RT) al igual que el género *Penicillium* y *Acremonium*.

Cabe destacar que el momento de la realización del muestreo fue al final de un ciclo de producción de un cultivo de tomate y que la reincorporación de los restos de plantas de tomate ya había sido hecha, aunque la aplicación de Biofence® y el fertirriego en aquellos tratamientos que llegasen a tenerlo aún no eran realizados. Además, de poder haber un efecto residual en algunos tratamientos y repeticiones debido a los tratamientos aplicados en el mismo suelo del ensayo realizado durante el ciclo de cultivo anterior (2014-2015).

Las poblaciones bacterianas para el segundo muestreo después de levantar los plásticos una vez terminado el proceso de biosolarización, mostraron una disminución generalizada (Gráfico 5) salvo para el tratamiento con fertirriego más Biofence® $0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (F+B 0,5) que fue el único que aumento en su número de U.F.C. $\cdot\text{g}^{-1}$ de suelo. A pesar de esto, las mayores poblaciones fueron las que se analizaron en el tratamiento de restos de plantas más Biofence® $1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (B+F 1), seguido de los tratamientos con fertirriego más Biofence® 1 y $0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (F+B 1 y F+B 0,5) y restos de plantas más Biofence® $0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (RT+B 0,5). El testigo blanco (TB) les siguió en orden debido al número de U.F.C. y finalmente estuvieron los tratamientos de restos de plantas (RT) y fertirriego (FERT).

Es necesario puntualizar de estos datos que las mayores poblaciones bacterianas fueron encontradas en los tratamientos en que fue aplicado el Biofence® a ambas dosis con y sin restos de cosecha del cultivo anterior y, aunque en este grupo hemos contemplado los tratamientos que llevan fertirriego en el diseño experimental hay que aclarar que para este momento no había sido aplicado fertilizante de síntesis alguno, ya que solo hemos pasado el proceso de biosolarización, lo que si se podría pensar es que los tratamientos fertirrigados en el ciclo anterior pudiesen tener un efecto acumulativo afectando la dinámica de las poblaciones, aunque esta suposición es más que cuestionable debido a la baja densidad de población encontrada en el tratamiento fertirrigado (FERT).

En el segundo muestreo para las poblaciones de hongos se apreció claramente un brusco descenso en comparación al primer muestreo para todos los tratamientos, como se aprecia en el Gráfico 6, así como también la diversidad de géneros ya que solo fueron apreciados 4 géneros (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium* y *Alternaria*) sin estar presentes en todos los tratamientos (Datos no presentados). El tratamiento que mantuvo una mayor población al final del proceso de biosolarización fue el de fertirriego más Biofence® $1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (F+B 1), seguido por los restos de tomate más Biofence® $0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (RT+B 0,5), el testigo blanco (TB) y, restos de tomate más Biofence® $1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (RT+B 1). Finalmente, para los tratamientos de fertirriego, el fertirriego más Biofence® $0,5$

kg·m⁻² (F+B 0,5) y los restos de plantas de tomate (RT) no se pudo apreciar población de hongo alguna con el método de análisis empleado. Conforme a los géneros encontrados, fueron los tratamientos con Biofence® a 1 kg·m⁻² ya sea con fertirriego o restos de tomate los que presentaron los 4 géneros de hongos descritos anteriormente, aunque también es necesario puntualizar que no fueron encontrados en todas las repeticiones del tratamiento analizado.

En el tercer muestro, el cual fue realizado al final del ciclo de producción 2015-2016, los resultados de los análisis microbianos se plasman en la tabla (Tabla 4). En ella se puede apreciar como las poblaciones bacterianas en casi todos los tratamientos tendieron a incrementar, siendo el tratamiento de fertirriego más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (F+B 0,5) el que mayor incremento presentó llegando hasta los 2.103.250 U.F.C.·g⁻¹ de suelo. El tratamiento que le siguió fue la aplicación de los restos de planta de tomate más Biofence® 1 kg·m⁻² (RT+B 1) siendo la población en comparación al anterior tratamiento un 61% menor. La aplicación de restos de tomate más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (RT+B 0,5) fue el tratamiento que le siguió, después en orden descendente estuvieron la aplicación de fertirriego (FERT), fertirriego más Biofence® 1 kg·m⁻² (F+B 1) (el cual a diferencia de los demás tratamientos presentó una disminución en su población en comparación al segundo muestreo) y los restos de plantas (RT). El testigo blanco (TB) presentó un decremento en las poblaciones de bacterias comparado al anterior tratamiento, llegando casi a no detectarse bacteria alguna en el análisis, lo que posiblemente podría ser causado por un agotamiento acumulado del suelo al no recibir aporte nutricional.

En este mismo muestreo, las poblaciones totales de hongos para todos los tratamientos aumentaron en mayor o menor número en comparación al muestreo anterior. Este mayor aumento lo mostró el tratamiento de restos de tomate (RT) alcanzado las 302.750 U.F.C.·g⁻¹ de suelo. Otro tratamiento que también tuvo un aumento en las poblaciones de manera importante, aunque no igual al tratamiento anteriormente descrito fue la aplicación de restos de tomate más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (RT+B 0,5), a partir de aquí el incremento en los siguientes tratamientos no fue tan importante. En este punto se encuentran los tratamientos de restos de plantas más Biofence® 1 kg·m⁻² (RT+B 1) y fertirrigación más Biofence® 1 kg·m⁻² (F+B 1), seguido del testigo blanco (TB) que de forma diferente a lo que podría pensarse en este tratamiento, el aumento de sus poblaciones fue mayor a aquellos en los que se aplicó fertirriego (FERT) y fertirriego más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (F+B 0,5). En cuanto a la diversidad de hongos, en el análisis fueron visibles 7 diversos géneros (*Acremonium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Chaetomium*, *Fusarium equiseti* y *Fusarium oxysporum*) (Datos no presentados). Los tratamientos de restos de plantas de tomate con y sin Biofence® a ambas dosis fueron los que mostraron las mayores poblaciones de *Acremonium*, *Aspergillus* y *Cladosporium*, excepto en el de restos de tomate más Biofence® 1 kg·m⁻² (RT+B 1) para este último género, de los demás géneros, aunque tuvieron presencia en algunos tratamientos, las poblaciones fueron muy bajas.

Para el cuarto muestreo, que es realizado después de la biosolarización de los tratamientos (justamente al momento del trasplante en el 2do ciclo de producción), se presentaron diversos comportamientos en las poblaciones de bacterias de los tratamientos empleados. Como se aprecia en el Gráfico 5, el tratamiento en que fue aplicado fertirriego más Biofence 1 kg·m⁻² (F+B 1) tuvo el mayor número de U.F.C.

producto de un aumento sustancial en comparación al muestreo anterior, este mismo comportamiento aunque en menor proporción lo tuvo el tratamiento de restos de tomate más Biofence 1 kg·m⁻² (RT+B 1), lo que podría ser debido a la alta dosis de los pellets de *Brassica carinata* utilizados en estos tratamientos y a la acumulación en el suelo de los pellets utilizados en el ciclo anterior, ya que al momento de abrirse las carillas para su aplicación se apreciaron restos de los mismos aplicados con antelación. El tratamiento de restos de tomate más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (RT+B 0,5) mostró una menor población y un efecto esperado por la biosolarización ya que las poblaciones disminuyeron en comparación al anterior muestreo. Los tratamientos de restos de tomate (RT), fertirriego más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (F+B 0,5) y fertirriego presentaron menores poblaciones, siendo solo el de restos de tomate el único que presentó un crecimiento en las poblaciones de un muestreo a otro. Y el testigo blanco (TB) mantuvo las poblaciones del anterior muestreo, que fueron las mínimas obtenidas.

Los comportamientos de los hongos en este muestreo presentaron una disminución en las poblaciones como consecuencia de la biosolarización para todos los tratamientos, excepto en el tratamiento fertirrigado más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (F+B 0,5) el cual registro un incremento tres veces superior a las poblaciones obtenidas del muestreo anterior para el mismo tratamiento. Sin embargo y pese al descenso pronunciado en las poblaciones en el muestreo, el tratamiento con restos de tomate (RT) presentó las mayores poblaciones de hongos llegando a 202.700 U.F.C. donde los principales géneros fueron *Aspergillus* y *Acremonium* (Datos no presentados).

Finalmente, para el quinto muestreo realizado al final del segundo ciclo de producción las poblaciones de bacterias en el tratamiento fertirriego más Biofence® 1 kg·m⁻² (F+B 1) fueron las mayores aunque disminuyeron del anterior muestreo, el siguiente en número de U.F.C. fue donde se aplicó fertirriego más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (F+B 0,5), los demás tratamientos presentaron una disminución en las poblaciones a niveles muy bajos excepto en el testigo blanco (TB) que si presentó un ligero incremento en la población, y el tratamiento restos vegetales (RT) fue el que menor población bacteriana tuvo al final del ensayo.

En este mismo muestreo para el caso de las poblaciones fúngicas, el comportamiento general fue un aumento para casi todos los tratamientos, y es que en el tratamiento donde fueron aplicados sólo restos de tomate (RT) se produjo una disminución de la población. De forma general los tratamientos con aplicación de restos de tomate con o sin Biofence® fueron los que presentaron el mayor número de U.F.C., siendo el tratamiento que la dosis de Biofence® de 1 kg·m⁻² la que mayor proporción presentó. Y finalmente, el tratamiento con fertirriego fue el que menor población fúngica presentó, incluso muy por debajo de la población de la zona donde se estableció el testigo en blanco (TB).

Dando una amplia visión de todos los muestreos en cuanto a las poblaciones bacterianas, la aplicación de los diversos tratamientos reprodujo un patrón poblacional muy heterogéneo que no se repitió en los dos años de ensayo pero que muestra como la aplicación de enmienda orgánica al suelo mediante biosolarización aumento las poblaciones. Estos patrones obtenidos en nuestros resultados difirieron con lo observado por MARÍN-GUIRAO (2016), el cual en sus condiciones de ensayo en la misma localidad mostró datos de un comportamiento bacteriano definido.

De forma general las poblaciones fúngicas mostraron un patrón común casi para todos los tratamientos aplicados (Gráfico 6), disminuyendo después de la solarización, pero presentado las mayores poblaciones, y aumentando al final del cultivo para ambos años, siendo un comportamiento comparable al reportado por MARTÍNEZ *et al.* (2009) en cultivo de pimiento y aplicando restos de plantas y estiércoles mediante biosolarización. A su vez, MARÍN-GUIRAO (2016) en suelo cultivado con tomate tiene este mismo comportamiento después de la solarización en su ensayo, pero que difieren al final del cultivo teniendo una disminución de las poblaciones, aunque habría de especificar que en su trabajo el sigue la dinámica población en diversos momentos del cultivo, caso que en nuestro caso sólo se limitó a ver estas diferencias entre el inicio y fin del ciclo.

Para nuestras condiciones, los tratamientos con aplicación de restos de tomate con o sin Biofence® fueron los que presentaron el mayor número de U.F.C. en hongos durante todos los muestreos realizados, siendo los géneros que más se expresaron en el análisis *Aspergillus* de igual forma a lo reportado por MARTÍNEZ *et al.*, (2009) para sus ensayos contrastando tratamientos químicos y no químicos. Además, dentro de los análisis se apreció una mayor diversidad de géneros de hongos para los tratamientos con aplicación de materia orgánica. Especificando que algunos géneros de hongos sólo se expresaron en tratamientos que tenían restos de tomate (RT, RT+B 0,5 y RT+B 1) como lo fueron *Fusarium solani*, *Chaetomium*, *Stachybotris* y *Trichoderma*, aunque a muy baja densidad. Sin embargo, otros géneros como lo fueron *Fusarium oxysporum*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Rhizopus* y *Cladosporium*, aparecieron en ciertas repeticiones de algunos tratamientos sin seguir algún patrón en el tipo de enmienda o fertilización y, por último, para el caso del género *Acremonium* este solamente se hizo presente en los tratamientos que no tuvieron aplicación de restos de tomate (RT, RT+B 0,5 y RT+B 1) picados al suelo. Los géneros y especies fúngicos descritos tienen un papel principalmente saprofítico (BARNETT y HUNTER, 1972), y aunque algunos de ellos son descritos mediante sus formas especializadas como patógenos en plantas (el caso de *Fusarium oxysporum*) ninguno de ellos produjo enfermedades de origen telúrico que afectasen al cultivo ensayado.

Un paréntesis obligado en este apartado es la interpretación estadística de los datos obtenidos, ya que fue necesario conjuntar las diferencias existentes entre la aplicación de un análisis de la varianza (ANOVA) en el supuesto caso de que los datos hubiesen podidos ser analizados paramétricamente y la aplicación de un test no paramétrico para observar la importancia en la realización correcta de la estadística correspondiente, que en el caso de las poblaciones microbianas es de forma general muy dispersa y difícil de analizar o de relacionarse con modelos que puedan dar una explicación en el comportamiento como lo han intentado diversos autores (BOIX-RUIZ, 2015; MARIN-GUIRAO, 2016).

Tabla 4. Efecto de la aplicación de diversos tratamientos con y sin enmiendas orgánicas mediante la técnica de biosolarización sobre la media poblacional de la microbiota bacteriana y fúngica (U.F.C.·g⁻¹ de suelo) y su desviación típica, durante dos ciclos de producción.

| M | Poblac. | TB | | FERT | | F+B 0,5 | | F+B 1 | | RT | | RT+B 0,5 | | RT+B 1 | | p-valor |
|---|---------|---------------|----|---------------|--------|----------------|----|---------------|----|---------------|----|---------------|----|----------------|---|---------|
| Antes 1er. Biosol. | Bact. | 471750,0 | | 857333,3 | | 35000,0 | | 886500,0 | | 435666,6 | | 863666,6 | | 1993000,0 | | ----- |
| | | ± 447230,2 | | ± 20207,2 | | ± 0,0 | | ± 829029,3 | | ± 293496,7 | | ± 951266,6 | | ± 1671175,9 | | |
| | Hongos | 116000,0 | | 48666,7 | | 570000,0 | | 70500,0 | | 562000,0 | | 321333,3 | | 362333,3 | | ----- |
| | | ± 71348,9 | | ± 18475,2 | | ± 0,0 | | ± 70353,9 | | ± 284759,5 | | ± 88928,8 | | ± 403286,9 | | |
| Después 1er Biosol. / Inicio 1er cultivo. | Bact. | 184200,0 | de | 90075,0 | e | 353525,0 | bc | 474600,0 | ab | 93775,0 | e | 255800,0 | cd | 591350,0 | a | 0,0000* |
| | | ± 38529,5 | | ± 69451,8 | | ± 317237,0 | | ± 527105,0 | | ± 57787,2 | | ± 84191,8 | | ± 442928,0 | | |
| | Hongos | 1700,0 | bc | 0,0 | c | 0,0 | c | 7325,0 | a | 0,0 | c | 3800,0 | b | 100,0 | c | 0,0000* |
| | | ± 3163,9 | | ± 0,0 | | ± 0,0 | | ± 13152,7 | | ± 0,0 | | ± 6790,6 | | ± 378,9 | | |
| Fin 1er cultivo / Antes 2da Biosol. | Bact. | 34675,0 | d | 196250,0 | c d | 2103250,0 | a | 187825,0 | cd | 107000,0 | cd | 479000,0 | bc | 836000,0 | b | 0,0000* |
| | | ± 35588,4 | | ± 260633,0 | | ± 2314430,0 | | ± 80617,8 | | ± 102687,0 | | ± 138912,0 | | ± 1025140,0 | | |
| | Hongos | 32150,0 | cd | 13325,0 | d | 5450,0 | d | 46550,0 | cd | 302750,0 | a | 143750,0 | b | 72000,0 | c | 0,0000* |
| | | ± 16572,4 | | ± 15942,0 | | ± 7909,6 | | ± 48497,4 | | ± 295201,0 | | ± 49958,3 | | ± 59364,2 | | |

M= Muestreo.

TB= Testigo blanco; FERT= Fertirriego; F+B 0,5= Fertirriego + Biofence® 0,5 kg·m⁻²; F+B 1= Fertirriego + Biofence® 1 kg·m⁻²; RT= Restos de plantas de tomate; RT+B 0,5= Restos de plantas de tomate + Biofence® 0,5 kg·m⁻²; RT+B 1= Restos de plantas de tomate + Biofence® 1 kg·m⁻².Diferentes letras en la misma fila y muestreo demuestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) mediante el test de mínimas diferencias significativas (LSD).* = Diferencias significativas entre tratamientos de una misma fila y muestreo ($p \leq 0,05$) mediante el test no paramétrico de Kruskal-Wallis.

Tabla 4 (Continuación). Efecto de la aplicación de diversos tratamientos con y sin enmiendas orgánicas mediante la técnica de biosolarización sobre la media poblacional de la microbiota bacteriana y fúngica (U.F.C.·g⁻¹ de suelo) y su desviación típica, durante dos ciclos de producción.

| M | Poblac. | TB | | FERT | | F+B 0,5 | | F+B 1 | | RT | | RT+B 0,5 | | RT+B 1 | | p-valor |
|---------------------------------------|---------|---------------|---|--------------|----|---------------|----|----------------|---|---------------|----|---------------|---|---------------|----|---------|
| Después 2da Biosol. / Inicio | Bact. | 38425,0 | c | 86075,0 | bc | 167325,0 | bc | 1109930,0 | a | 341125,0 | bc | 365200,0 | b | 882275,0 | a | 0,0000* |
| | | ± 23774,5 | | ± 79120,0 | | ± 154423,0 | | ± 1546570,0 | | ± 174582,0 | | ± 112644,0 | | ± 989319,0 | | |
| 2do cultivo. | Hongos | 25,0 | c | 25,0 | c | 17125,0 | bc | 0,0 | c | 202700,0 | a | 43750,0 | b | 28500,0 | bc | 0,0000* |
| | | ± 158,1 | | ± 158,1 | | ± 30348,6 | | ± 0,0 | | ± 212051,0 | | ± 42876,5 | | ± 46108,0 | | |
| Fin 2do cultivo. | Bact. | 155675,0 | c | 44875,0 | d | 232050,0 | b | 742300,0 | a | 875,0 | d | 173275,0 | c | 34600,0 | d | 0,0000* |
| | | ± 153118,0 | | ± 42929,4 | | ± 80596,2 | | ± 216398,0 | | ± 2221,0 | | ± 91129,7 | | ± 40156,0 | | |
| | Hongos | 11375,0 | d | 2925,0 | d | 71025,0 | c | 3725,0 | d | 150525,0 | b | 144425,0 | b | 270300,0 | a | 0,0000* |
| | | ± 16309,0 | | ± 2673,6 | | ± 95304,2 | | ± 3358,8 | | ± 55269,0 | | ± 186319,0 | | ± 198769,0 | | |

M= Muestreo.

TB= Testigo blanco; FERT= Fertirriego; F+B 0,5= Fertirriego + Biofence® 0,5 kg·m⁻²; F+B 1= Fertirriego + Biofence® 1 kg·m⁻²; RT= Restos de plantas de tomate; RT+B 0,5= Restos de plantas de tomate + Biofence® 0,5 kg·m⁻²; RT+B 1= Restos de plantas de tomate + Biofence® 1 kg·m⁻².

Diferentes letras en la misma fila y muestreo demuestran diferencias significativas ($p < 0,05$) mediante el test de mínimas diferencias significativas (LSD).

*= Diferencias significativas entre tratamientos de una misma fila y muestreo ($p < 0,05$) mediante el test no paramétrico de Kruskal-Wallis.

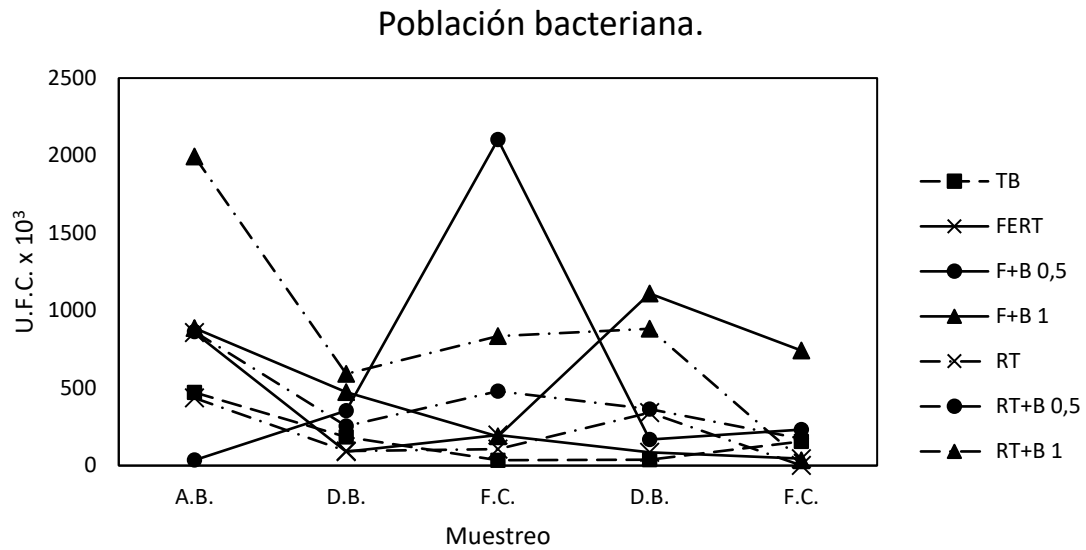


Gráfico 5. Variación de la densidad de las poblaciones bacterianas en función de los distintos tratamientos empleados y diversos momentos de muestreo (A.B. = Antes de biosolarizar; D.B.= Después de biosolarizar; F.C.= Fin del cultivo).

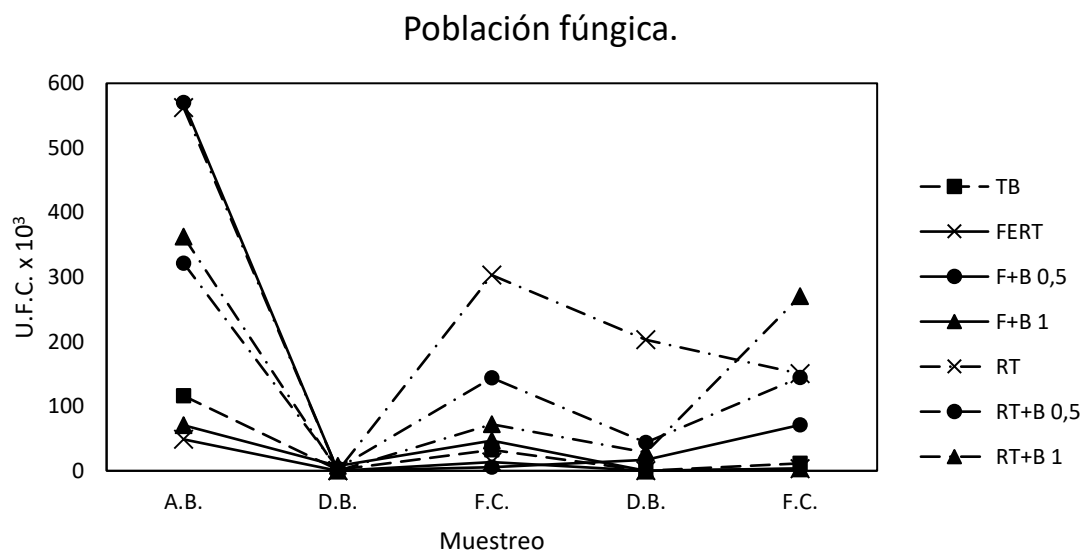


Gráfico 6. Variación de la densidad de las poblaciones fúngicas en función de los distintos tratamientos empleados y diversos momentos de muestreo (A.B. = Antes de biosolarizar; D.B.= Después de biosolarizar; F.C.= Fin del cultivo).

4.3 Microbiota fusárica

Los datos obtenidos en los resultados de este apartado (Tabla 5), al igual que los expresados en la microbiota total, no pudieron ser analizados mediante un análisis de la varianza (ANOVA) ya que no cumplieron con las asunciones de homocedasticidad y normalidad por lo que tuvo que ser de igual forma aplicada un test no paramétrico mediante la prueba de Kruskal-Wallis, estableciendo si hay diferencias estadísticamente

significativas entre tratamientos, pero sin establecer niveles entre distintos tratamientos.

Otra aclaración conveniente que realizar es que el método de análisis empleado solo es utilizado para conocer el comportamiento saprofito de los hongos presentes en este apartado y que no es posible conocer el carácter patógeno de este género que puede producir enfermedades vasculares y de la raíz en un amplio rango de hospedadores. A pesar de esto, también es conveniente puntualizar que, aunque hubo presencia del hongo en los resultados, en ningún momento hubo presencia de enfermedad relacionada con el síndrome que puede desencadenar diversas especies del género *Fusarium*.

Los resultados del primer análisis mostraron como *Fusarium oxysporum* fue la especie que mayor presencia en suelo tuvo en todos los tratamientos aplicados, aunque presentando diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, siendo los tratamientos de fertirriego (FERT) y fertirriego más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (F+B 0,5), en contraste al testigo blanco (TB) que fue el que presentó la menor población. *Fusarium solani* solo estuvo presente en los tratamientos que tuvieron como base la aplicación de restos de tomate, siendo el tratamiento de restos de tomate más Biofence® 1 kg·m⁻² (RT+B 1) el que tuvo la mayor población de forma estadística significativa. *Fusarium equiseti* estuvo presente en todos los tratamientos analizados, siendo los tratamientos con restos de tomate aquellos que más poblaciones presentaron. Para *Fusarium proliferatum* no se presentaron diferencias estadísticas significativas en la población, aún y cuando hubo presencia sólo en el tratamiento de restos de tomate más Biofence® 0,5 kg·m⁻², este punto es comprensible cuando se aprecia el valor de la desviación típica que presenta el tratamiento. No hubo presencia de *Fusarium dimerum* en ningún tratamiento. Finalmente, cuando se aprecia la población total del género, es difícil establecer si los mayores valores entre los diversos tratamientos realmente representan una diferencia estadísticamente significativa, sobre todo cuando se aprecian esos valores de desviaciones tan altas, lo que si es posible apreciar es que el testigo blanco (TB) presentó la menor presencia del género *Fusarium*.

Para el segundo muestreo que corresponde al término del proceso de solarización, es sorprendente ver como no se apreció ninguna de las especies encontradas en el análisis anterior, ya sea porque el proceso de solarización y biosolarización ha disminuido tanto las poblaciones que el método es incapaz de detectarlos, o posiblemente por la heterogeneidad del sistema suelo que no presenta una distribución de las poblaciones en toda la superficie.

Las poblaciones en el tercer muestreo al final del primer ciclo de producción aumentaron mostrando diferencias estadísticamente significativas, siendo todos los tratamientos que incorporaron los restos de plantas de tomate (RT) los que mayor población tuvieron, aunque mucho menor en comparación al primer muestreo realizado antes de aplicar la biosolarización. *Fusarium solani* apareció en los tratamientos de fertirriego (FERT), fertirriego más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (F+B 0,5), restos de tomate más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (RT+B 0,5) y restos de tomate más Biofence® 1 kg·m⁻² (RT+B 1) en una proporción tan baja que no presentó diferencias estadísticamente significativas con los demás tratamientos que no tuvieron presencia del hongo. Para *Fusarium equiseti*, las poblaciones presentaron diferencias estadísticamente significativas sólo para los restos de tomate más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (RT+B 0,5) que tuvo la mayor población. No

hubo presencia de *Fusarium dimerum* en el muestreo. Cuando se evaluó la población total de *Fusarium* se observaron diferencias estadísticas y que los tratamientos en que fueron aplicados restos de plantas de tomate con y sin Biofence® a cualquier dosis fueron las que mayores poblaciones totales del género presentaron al final del primer cultivo.

Para el cuarto muestreo (momento en el que se levantaron los plásticos de solarizar), al igual que en el segundo muestreo, prácticamente no hubo presencia de hongos del género *Fusarium*. Sólo hubo una mínima presencia para *Fusarium solani* cuando se aplicó el tratamiento de restos de tomate más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (RT+B 0,5), y de *Fusarium equiseti* cuando se aplicó fertirriego más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (F+B 0,5) al suelo, sin ser motivo en ambos casos de presentar diferencias estadísticamente significativas que se repiten al momento de la evaluación de la población total de hongos *Fusaria*.

En el quinto y último muestreo realizado al final del segundo cultivo, las poblaciones de las distintas especies de *Fusarium* se hicieron presentes y en ciertos tratamientos con un incremento considerable en los análisis mostrando diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos empleados. Este efecto se hizo más evidente para el caso de *Fusarium oxysporum* donde todos los tratamientos aumentaron la población en la misma proporción excepto en los tratamientos de fertirriego (FERT) y fertirriego más Biofence® 1 kg·m⁻² (F+B 1). En el caso de *Fusarium solani* el tratamiento que presentó un aumento considerable de la población fue en los suelos que se les aplicó restos de plantas de tomate (RT), seguido del tratamiento de restos de tomate más Biofence® 1 kg·m⁻² (RT+B 1), y para los tratamientos con restos de tomate más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (RT+B 0,5) y fertirriego más Biofence® 1 kg·m⁻² (F+B 1) sólo hubo presencia del hongo en los análisis, caso que no ocurrió en los tratamientos restantes. En el caso de *Fusarium equiseti*, las poblaciones presentes en los análisis fueron pequeñas, apreciándose solo en los tratamientos de testigo blanco (TB), fertirriego (FERT), restos de tomate (RT) y restos de tomate más Biofence® 1 kg·m⁻² (RT+B 1). *Fusarium proliferatum* sólo estuvo presente en los tratamientos de restos de plantas de tomate (RT) y restos de tomate más Biofence® 1 kg·m⁻² (RT+B 1) en poblaciones mucho mayores que *F. equiseti*. *Fusarium dimerum* sólo mostró mínima presencia en los análisis realizados para las muestras provenientes del tratamiento solamente fertirrigado (FERT) durante todo el ciclo de cultivo. Finalmente, las poblaciones totales del género *Fusarium* se vieron incrementadas en mayor proporción en los suelos donde se hizo sólo la aplicación de restos de plantas de tomate (RT), todos los demás tratamientos mostraron el aumento de las poblaciones en la misma proporción, excepto los tratamientos de fertirriego (FERT) y fertirriego más Biofence® 1 kg·m⁻² (F+B 1) que fueron los que menores poblaciones en este muestreo presentaron.

De forma global, al apreciar las curvas de población expresadas en el Gráfico 7, se observa como la población *Fusarica* siguió un comportamiento común a lo esperado disminuyendo el número de U.F.C. por efecto de la biosolarización y la solarización hasta niveles casi imperceptibles por el método analítico empleado, pero que incrementaron sus poblaciones de manera significativa en los tratamientos en que fue aplicada materia orgánica (restos de plantas de tomate y/o pellets de *Brassica carinata*) al final del cultivo de tomate. Este comportamiento apreciado en especies como *Fusarium oxysporum* y

Fusarium equiseti es comparable con la dinámica obtenida por GARCÍA-RUIZ *et al.* (2009) en suelos biosolarizados con enmiendas orgánicas para el cultivo de clavel.

Tabla 5. Efecto de la aplicación de diversos tratamientos con y sin enmiendas orgánicas mediante la técnica de biosolarización sobre la media de la población de la microbiota fusárica (U.F.C.·g⁻¹ de suelo) y su desviación típica durante dos ciclos de producción.

| Muestreo | Tratamiento | <i>F. oxysporum</i> | | <i>F. solani</i> | | <i>F. equiseti</i> | | <i>F. proliferatum</i> | | <i>F. dimerum</i> | | Total | |
|---|-------------|---------------------|-----|------------------|---|--------------------|----|------------------------|---|-------------------|---|---------------|----|
| Antes 1er Biosol. | TB | 585,5±675,0 | d | 0,0±0,0 | b | 10,0±22,8 | b | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 595,4±669,4 | c |
| | FERT | 6093,7±4299,2 | a | 0,0±0,0 | b | 4,6±9,9 | b | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 6098,2±4295,8 | a |
| | F+B 0,5 | 5991,9±5879,3 | a | 0,0±0,0 | b | 92,0±166,1 | ab | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 6084,0±5618,2 | a |
| | F+B 1 | 1992,3±4261,1 | cd | 0,0±0,0 | b | 8,6±16,0 | b | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 2000,9±4261,0 | bc |
| | RT | 3854,8±2054,8 | abc | 244,0±223,4 | b | 156,9±176,7 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 4255,7±2419,6 | ab |
| | RT+B 0,5 | 4784,1±2387,4 | ab | 526,9±431,2 | b | 189,1±279,0 | a | 1,7±6,8 | a | 0,0±0,0 | a | 5501,9±2409,8 | a |
| | RT+B 1 | 3039,3±2150,6 | bcd | 2746,4±2232,6 | a | 116,7±300,0 | ab | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 5902,5±1522,7 | a |
| | p-valor | 0,0001* | | 0,0000* | | 0,0126* | | 0,4294 | | 1,0000 | | 0,0000* | |
| Después 1er Biosol. / Inicio 1er cultivo. | TB | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a |
| | FERT | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a |
| | F+B 0,5 | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a |
| | F+B 1 | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a |
| | RT | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a |
| | RT+B 0,5 | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a |
| | RT+B 1 | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a |
| | p-valor | 1,0000 | | 1,0000 | | 1,0000 | | 1,0000 | | 1,0000 | | 1,0000 | |

TB= Testigo blanco; FERT= Fertirriego; F+B 0,5= Fertirriego + Biofence® 0,5 kg·m⁻²; F+B 1= Fertirriego + Biofence® 1 kg·m⁻²; RT= Restos de plantas de tomate; RT+B 0,5= Restos de plantas de tomate + Biofence® 0,5 kg·m⁻²; RT+B 1= Restos de plantas de tomate + Biofence® 1 kg·m⁻².

Diferentes letras en la misma columna y muestreo demuestran diferencias significativas ($p < 0,05$) mediante el test de mínimas diferencias significativas (LSD).

*= Diferencias significativas entre tratamientos de una misma columna y muestreo ($p < 0,05$) mediante el test no paramétrico de Kruskal-Wallis.

Tabla 5 (Continuación). Efecto de la aplicación de diversos tratamientos con y sin enmiendas orgánicas mediante la técnica de biosolarización sobre la media de población de la microbiota fusárica (U.F.C.·g⁻¹ de suelo) y su desviación típica durante dos ciclos de producción.

| Muestreo | Tratamiento | <i>F. oxysporum</i> | | <i>F. solani</i> | | <i>F. equiseti</i> | | <i>F. proliferatum</i> | | <i>F. dimerum</i> | | Total | |
|--|-------------|---------------------|---|------------------|---|--------------------|---|------------------------|---|-------------------|---|-------------|---|
| Fin 1er cultivo / Antes 2da Biosol. | TB | 0,1±0,2 | b | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | b | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,1±0,2 | b |
| | FERT | 0,2±0,4 | b | 0,3±0,6 | a | 0,0±0,0 | b | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,5±0,6 | b |
| | F+B 0,5 | 1,1±1,9 | b | 0,1±0,5 | a | 0,1±0,2 | b | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 1,2±2,3 | b |
| | F+B 1 | 0,0±0,0 | b | 0,0±0,0 | a | 0,1±0,2 | b | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,1±0,2 | b |
| | RT | 423,5±764,2 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | b | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 423,5±764,2 | a |
| | RT+B 0,5 | 173,7±312,0 | b | 0,3±0,9 | a | 5,4±9,8 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 179,5±308,8 | b |
| | RT+B 1 | 71,6±114,8 | b | 0,1±0,3 | a | 0,0±0,0 | b | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 71,7±115,0 | b |
| | p-valor | 0,0011 * | | 0,1968 | | 0,0002 * | | 1,0000 | | 1,0000 | | 0,0010 * | |
| Después 2da Biosol. / Inicio 2do cultivo | TB | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a |
| | FERT | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a |
| | F+B 0,5 | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,8±3,2 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,8±3,2 | a |
| | F+B 1 | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a |
| | RT | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a |
| | RT+B 0,5 | 0,0±0,0 | a | 0,9±3,5 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,9±3,5 | a |
| | RT+B 1 | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | a |
| | p-valor | 1,0000 | | 0,4294 | | 0,4294 | | 1,0000 | | 1,0000 | | 0,5465 | |

TB= Testigo blanco; FERT= Fertirriego; F+B 0,5= Fertirriego + Biofence® 0,5 kg·m⁻²; F+B 1= Fertirriego + Biofence® 1 kg·m⁻²; RT= Restos de plantas de tomate; RT+B 0,5= Restos de plantas de tomate + Biofence® 0,5 kg·m⁻²; RT+B 1= Restos de plantas de tomate + Biofence® 1 kg·m⁻².

Diferentes letras en la misma columna y muestreo demuestran diferencias significativas ($p < 0,05$) mediante el test de mínimas diferencias significativas (LSD).

*= Diferencias significativas entre tratamientos de una misma columna y muestreo ($p < 0,05$) mediante el test no paramétrico de Kruskal-Wallis.

Tabla 5 (Continuación). Efecto de la aplicación de diversos tratamientos con y sin enmiendas orgánicas mediante la técnica de biosolarización sobre la media de la población de la microbiota fusárica (U.F.C.·g⁻¹ de suelo) y su desviación típica durante dos ciclos de producción.

| Muestreo | Tratamiento | <i>F. oxysporum</i> | | <i>F. solani</i> | | <i>F. equiseti</i> | | <i>F. proliferatum</i> | | <i>F. dimerum</i> | | Total | |
|------------------|-------------|---------------------|----|------------------|---|--------------------|---|------------------------|---|-------------------|---|---------------|----|
| Fin 2do cultivo. | TB | 2547,2±4143,5 | a | 0,0±0,0 | b | 15,8±33,4 | a | 0,0±0,0 | b | 0,0±0,0 | b | 2563,0±4139,3 | bc |
| | FERT | 89,7±164,1 | b | 0,0±0,0 | b | 6,2±12,4 | a | 0,0±0,0 | b | 2,1±4,5 | a | 98,1±161,5 | c |
| | F+B 0,5 | 2939,1±3558,0 | a | 0,0±0,0 | b | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | b | 0,0±0,0 | b | 2939,1±3558,0 | b |
| | F+B 1 | 18,5±38,3 | b | 1,0±4,1 | b | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | b | 0,0±0,0 | b | 19,5±38,0 | c |
| | RT | 2740,2±3882,7 | a | 3966,6±7139,2 | a | 15,2±31,1 | a | 109,1±212,8 | a | 0,0±0,0 | b | 6831,1±7793,0 | a |
| | RT+B 0,5 | 1390,5±2278,7 | ab | 7,9±15,2 | b | 0,0±0,0 | a | 0,0±0,0 | b | 0,0±0,0 | b | 1398,5±2274,9 | bc |
| | RT+B 1 | 1517,3±1586,6 | ab | 545,8±964,9 | b | 10,1±36,7 | a | 53,8±99,1 | b | 0,0±0,0 | b | 2126,9±1353,6 | bc |
| | p-valor | 0,0073 * | | 0,0003 * | | 0,1631 * | | 0,0021 * | | 0,0038 * | | 0,0000 * | |

TB= Testigo blanco; FERT= Fertirriego; F+B 0,5= Fertirriego + Biofence® 0,5 kg·m⁻²; F+B 1= Fertirriego + Biofence® 1 kg·m⁻²; RT= Restos de plantas de tomate; RT+B 0,5= Restos de plantas de tomate + Biofence® 0,5 kg·m⁻²; RT+B 1= Restos de plantas de tomate + Biofence® 1 kg·m⁻².

Diferentes letras en la misma columna y muestreo demuestran diferencias significativas ($p < 0,05$) mediante el test de mínimas diferencias significativas (LSD).

*= Diferencias significativas entre tratamientos de una misma columna y muestreo ($p < 0,05$) mediante el test no paramétrico de Kruskal-Wallis.

Población total fusarica.

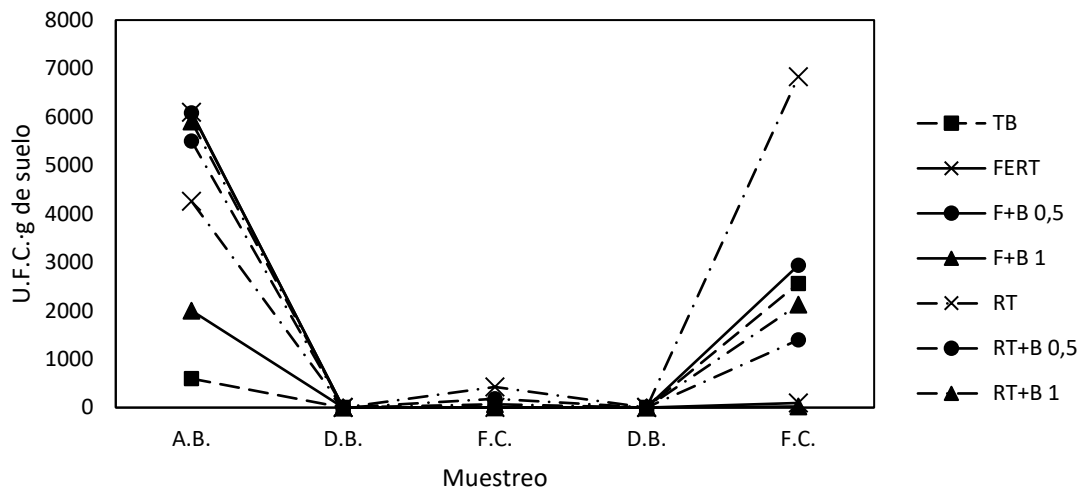


Gráfico 7. Variación de la densidad de la población total fusárica en función de los distintos tratamientos empleados y diversos momentos de muestreo (A.B. = Antes de biosolarizar; D.B.= Después de biosolarizar; F.C.= Fin del cultivo).

4.4 Contenido de materia orgánica en suelo

Cabe primeramente destacar que no fue realizado un análisis estadístico a los datos ya que solamente fue realizado el análisis de materia orgánica a muestras de la tercera repetición de cada tratamiento por muestreo de suelos. Y la interpretación que se da de los datos es para conocer las tendencias en el contenido de este importante parámetro en el suelo como se observan en el Gráfico 8.

Para el comienzo del ensayo se puede apreciar como los contenidos de materia orgánica en los suelos son muy homogéneos entre los distintos tratamientos (Tabla 6), sólo los tratamientos del testigo blanco (TB) y del fertirriego más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (F+B 0,5) son los que parten con los menores valores. En este mismo muestreo es apreciable como los tratamientos con restos de las plantas de tomate (RT) y restos de tomate más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (RT+B 0,5) mostraron la mayor concentración de este parámetro, lo que podría ser debido a que las aplicaciones de los restos de tomate acababan de ser hechos, aunque esta misma respuesta no se apreció con el tratamiento donde también fue aplicado restos de tomate más Biofence® 1 kg·m⁻² (RT+B 1). Los análisis de suelo después de la aplicación de la solarización en los tratamientos mostraron como se produjo un incremento en la concentración de materia orgánica en el suelo, siendo visible una mayor concentración en los tratamientos que tuvieron como base del ensayo la aplicación de restos de plantas de tomate del cultivo anterior. El único tratamiento que no mostró este incremento fue donde sería aplicado fertirriego (FERT) para el desarrollo del cultivo.

Para el final del cultivo lo esperado sería que disminuyera la concentración de materia orgánica en los suelos, tanto por el efecto de mineralización como por el agotamiento que produce el cultivo. Este efecto sólo se apreció para los tratamientos del testigo blanco (TB) de forma muy notoria, y ligeramente en los tratamientos fertirriego más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (F+B 0,5) y restos de plantas de tomate más Biofence® 1 kg·m⁻² (RT+B 1), para los demás tratamientos prácticamente se mantuvo el mismo nivel de materia orgánica y, sólo en el tratamiento fertirrigado durante el cultivo (FERT) presentó un incremento. Ya en el último

muestreo, realizado al final del segundo proceso de solarización del suelo, se presentó un incremento para los tratamientos de fertirriego más Biofence® 1 kg·m⁻² (F+B 1), restos de tomate más Biofence® 0,5 kg·m⁻² (RT+B 0,5), restos de tomate más Biofence® 1 kg·m⁻² (RT+B 1), y en menor medida para el testigo blanco (TB), sin embargo, en los tratamientos restantes se produjo una disminución en el contenido de materia orgánica.

De forma general, lo que podría esperarse como un comportamiento común en los suelos sería que los niveles de materia orgánica aumentasen después de la solarización y disminuyesen al final del ciclo de cultivo, repitiéndose año tras año de practicar este proceso. En nuestro ensayo, los únicos tratamientos que mostraron este comportamiento fueron donde se aplicaron restos de tomate más Biofence® 1 kg·m⁻² (RT+B 1), fertirriego más Biofence® 1 kg·m⁻² (F+B 1), y curiosamente el testigo blanco (TB) ya que en ningún momento tuvo aporte alguno. Esta disminución en el contenido de materia orgánica al final del cultivo es debido a las altas tasas de mineralización que tienen los suelos de la zona, lo que transforma la materia orgánica aplicada en nutrientes de fácil disposición para las plantas.

Tabla 6. Variación en el contenido (%) de materia orgánica durante el ensayo.

| Tratamiento | Antes de biosolarizar | Después de biosolarizar | Fin de cultivo | Después de biosolarizar |
|-------------|-----------------------|-------------------------|----------------|-------------------------|
| TB | 0,59 | 0,92 | 0,56 | 0,60 |
| FERT | 0,88 | 0,65 | 0,76 | 0,58 |
| F+B 0,5 | 0,62 | 0,94 | 0,90 | 0,58 |
| F+B 1 | 0,73 | 0,82 | 0,81 | 1,25 |
| RT | 0,95 | 1,06 | 1,05 | 0,90 |
| RT+B 0,5 | 0,96 | 1,02 | 1,03 | 1,18 |
| RT+B 1 | 0,72 | 1,02 | 0,92 | 1,08 |

Concentración de M.O.

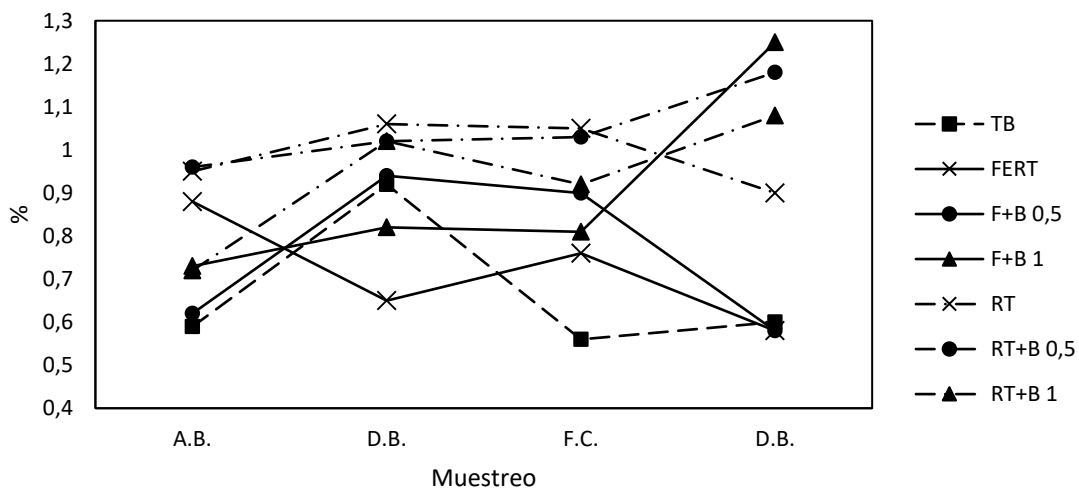


Gráfico 8. Variación en el contenido de materia orgánica (%) en función de los distintos tratamientos empleados y diversos momentos de muestreo (A.B. = Antes de biosolarizar; D.B.= Después de biosolarizar; F.C.= Fin del cultivo).

DISCUSIÓN

5 DISCUSIÓN

Para nuestras condiciones de ensayo, las adiciones de materia orgánica junto con la actividad microbiana produjeron en el primer año un incremento en la temperatura del suelo (EPSTEIN, 1997; SIMMONS *et al.*, 2013; ACHMON *et al.*, 2016), aunque este caso no se repitió en el segundo año. La solarización por sí misma produjo un gran incremento de las temperaturas, afectando posiblemente el contenido de materia orgánica produciendo una solubilización de la misma mejorando las propias características del suelo (CHEN y KATAN., 1980; CHEN *et al.*, 2000), afectando a los propios microorganismos en su comportamiento (HAVLIN *et al.*, 2005).

El desarrollo en el comportamiento de las poblaciones bacterianas durante los dos años de ensayo presentó diversos comportamientos por efecto de la solarización más aplicación de enmiendas orgánicas, y es que, aunque el primer año se pudo apreciar un efecto esperado disminuyendo las poblaciones casi en todos los tratamientos, en el segundo las poblaciones disminuyeron o aumentaron sin importar si hubo aporte de enmienda al suelo, lo que muestra que el principal factor que afectó a las poblaciones fue la solarización (GELSOMINO y CACCO, 2006; SIMMONS *et al.*, 2014) por encima del aumento en la diversidad que pueda producir la incorporación de materia orgánica (SUN *et al.*, 2004). También, estas diferencias pueden ser debidas a una serie de elementos intrínsecos en el proceso de análisis como los errores propios del método (BURGES, 1960; MARTÍNEZ *et al.*, 2009) y la representatividad de las muestras de suelo obtenidas (RODRÍGUEZ-MOLINA, 1996) y que son visibles al ser analizadas sus desviaciones en los resultados.

En el caso de las poblaciones fúngicas en el suelo, como se pudo apreciar, los resultados en el comportamiento tuvieron unas tendencias marcadas, siendo al igual que en las poblaciones bacterianas un efecto directo de la solarización, produciendo posiblemente una selección sobre los microorganismos presentes en el suelo (SIMMONS *et al.*, 2016), en microorganismos termófilos (organismos que sobreviven a temperaturas >45°C) (EPSTEIN, 1997), favoreciendo mecanismos como el incremento en la competencia o el antagonismo (KLEIN *et al.*, 2011) y la proliferación hacia formas saprofitas (ALABOUVETTE *et al.*, 1996), como fue observado en los géneros descritos durante los análisis desarrollados y que son habitantes comunes de los suelos en la región, y relacionados directamente al cultivo establecido como en el caso de los *Fusaria* (MARTÍNEZ *et al.*, 2011), y que pudieron ser favorecidos por el sustrato y la adición de nutrientes proveniente de las enmiendas (FERNÁNDEZ-BAYO *et al.*, 2017). No hay que ignorar, que los microorganismos tienen un papel crucial en el mantenimiento de la fertilidad del suelo, además de participar en diversos procesos biogeoquímicos, teniendo como ejemplo el papel desarrollado por los hongos *Aspergillus* y *Penicillium* como hongos nitrificantes en el ciclo del nitrógeno en el suelo (HORA e IYENGAR, 1960).

Para el final del cultivo, las poblaciones microbianas y especialmente las fúngicas sufrieron un aumento lo que pudo estar relacionado con el incremento de materia orgánica en el suelo y en el contenido de N en el suelo, debido a la muerte parcial de la biomasa microbiana (SCOPA y DUMONTET, 2007). Este N tiene un importante impacto sobre la comunidad (STARK *et al.*, 2007) siendo aprovechado por aquellos microorganismos capaces de soportar condiciones altas de temperatura y producir una recolonización del medio. Este comportamiento en el incremento de las poblaciones en el suelo de un cultivo después de biosolarizar también fue descrito por PÉREZ-PIQUERES *et al.* (2017), que al igual que en nuestros ensayos no apreció un aumento sustancial en el contenido de materia orgánica en el

suelo, considerando su alto contenido en origen de materia orgánica comparados a los suelos de cultivo de la zona de Almería. Otro factor que afectaría directamente el aumento de las poblaciones microbianas podría ser el efecto que tienen las raíces recolonizando la rizosfera mediante sus secreciones y exudados, lo que podría explicar claramente el aumento de la microbiota en los suelos donde no hubo un aporte de materia orgánica ni de fertilización mineral.

Finalmente, al comparar el efecto de los restos de tomate y los pellets de *Brassica carinata* sobre las poblaciones microbianas. Los pellets a pesar de ser aplicados a dosis muy superiores a las recomendadas solo tuvieron un efecto directo sobre las poblaciones bacterianas, pero no sobre las fúngicas, caso que si ocurrió cuando fueron aplicados los restos de tomate al suelo. En ambos casos las cantidades de N aplicados al suelo excedieron de manera sustancial los límites establecidos para enmiendas orgánicas de 170 kg de N·ha⁻¹ (DIRECTIVA 91/676/CEE).

CONCLUSIONES

6 CONCLUSIONES

Pese a la variabilidad de los resultados que no han permitido una comparación estadística, se puede decir:

- La aplicación de materia orgánica aumentó las poblaciones de bacterias, hongos y microbiota fusárica en el suelo.
- A lo largo del desarrollo del cultivo se recompuso la microbiota edáfica tal y como antes de ser aplicada la desinfección en el suelo.
- La biosolarización y la solarización disminuyen la presencia en el análisis de microorganismos llegando al cero analítico para los hongos del género *Fusarium*.
- La aplicación de la materia orgánica aumentó el contenido de materia orgánica en el suelo, aunque no tanto como era esperable, pero aparentando tener una correlación con el aumento de la microbiota del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achmon Y., Harrold D.R., Claypool J.T., Stapleton J.J., VanderGheynst J.S., Simmons C.W. 2016. Assessment of tomato and wine processing solid wastes as soil amendments for biosolarization. *Waste Management*. 48: 156-164.
- Al-Solaimani S.G., Mahmood S., Ahmad S., Duar I., El-Nakhlawy F.S., Nematullah A.A. 2015. Effectiveness of soil solarisation with polyethylene sheets & organic manure to control weeds & fungi & to increase the lettuce yield. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 6(9): 303-308.
- Alabouvette C., Hoepfer H., Lemanceau P., Steinberg C. 1996. Soil suppressiveness to diseases induced by soilborne plant pathogens. In: Stotzky G., Bollag J.M. (Eds.). *Soil Biochemistry*, vol 9. Marcel Dekker Inc, New York, USA. 371-413 pp.
- Barnett H.L., Hunter B.B. 1972. *Illustrated genera of imperfect fungi*, 3rd Ed. Burgess Publishing Company, EE. UU. 241 pp.
- Basallote-Ureba M.J., Vela-Delgado M.D., Capote N., Melero-Vara J.M., López-Herrera C.J., Prados Ligeró A.M., Talavera Rubia M.F. 2016. Control of *Fusarium* wilt of carnation using organic amendments combined with soil solarization, and report of associated *Fusarium* species in southern Spain. *Crop Protection*. 89: 184-192.
- Bello A., González J.A., Tello J. 1997. La biofumigación como alternativa a la desinfección de suelos. *Horticultura Internacional*. 41-43 pp.
- Bello A., López-Pérez J.A., Díaz-Viruliche L., Sanz R., Arias M. 1999. Bio-fumigation and local resources as methyl bromide alternatives. 3rd International Workshop "Alternatives to methyl bromide for the Southern European Countries", 7-10 Dec., Heraclion, Creta, Grecia, 17 p.
- Blok W.J., Lamers J.G., Termorshuizen A.J., Bollen G.J. 2000. Control of soilborne plant pathogens by incorporating fresh organic amendments followed by tarping. *Phytopathology*. 90(3): 253-259.
- Boix-Ruiz A. 2015. Evaluación del potencial infeccioso de sustratos de uso hortícola para *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. Tesis Doctoral. Universidad de Almería.
- Burges A. 1960. *Microorganisms in the soil*. Ed: The Hutchinson and Company. London, England.
- Casas-Castro A., Casas-Barba E. 1999. Análisis de suelo-agua-planta y su aplicación en la nutrición de los cultivos hortícolas en la zona del sureste peninsular. Ed. Caja Rural de Almería. 249 pp.
- Chamorro M., Miranda L., Domínguez P., Medina J.J., Soria C., Romero F., López Aranda J.M., de los Santos B. 2015. Evaluation of biosolarization for the control of charcoal rot disease (*Macrophomina phaseolina*) in strawberry. *Crop Protection*. 67: 279-286.
- Chen Y., Katan J. 1980. Effect of solar heating of soils by transparent polyethylene mulching on their chemical properties. *Soil Science*. 130(5): 271-277.
- Chen Y., Katan J., Gamliel A., Aviad T., Schnitzer M. 2000. Involvement of soluble organic matter in increased plant growth in solarized soil. *Biology and Fertility Soil*. 32: 28-34.

- Díaz-Hernández S., Gallo-Llobet L., Domínguez-Correa P., Rodríguez A. 2017. Effect of repeated cycles of soil solarization and biosolarization on corky root, weeds and fruit yield in screen-house tomatoes under subtropical climate conditions in the Canary Islands. *Crop Protection*. 94: 20-27.
- Directiva 91/676/ CEE. Relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias.
- Domínguez P., Miranda L., Soria C., de los Santos B., Chamorro M., Romero F., Daugovish O., López Aranda J.M., Medina J.J. 2014. Soil biosolarization for sustainable strawberry production. *Agronomy for Sustainable Development*. 34(4): 821-829.
- Epstein E. 1997. *The science of composting*. CRC Press. Florida, USA. 487 pp.
- Fenoll-Serrano J., Ruiz E., Hellín P., Lacasa A., Flores P. 2010. Enhanced dissipation of Oxyfluorfen, Ethalfuralin, Trifluralin, Propyzamide, and Pendimethalin in soil by solarization and biosolarization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58: 2433-2438.
- Fenoll J., Ruiz E., Hellín P., Martínez C.M., Flores P. 2011. Rate of loss of insecticides during soil solarization and soil biosolarization. *Journal of Hazardous Materials*. 185(2-3): 634-638.
- Fenoll J., Hellín P., Flores P., Lacasa A., Navarro S. 2014. Solarization and biosolarization using organic wastes for the bioremediation of soil polluted with terbutylazine and linuron residues. *Journal of Environmental Management*. 143: 106-112.
- Fernández-Bayo J.D., Achmon Y., Harrold D.R., Claypool J.T., Simmons B.A., Singer S.W., Dahlquist-Willard R.M., Stapleton J.J., VanderGheynst J.S., Simmons C.W. 2017. Comparison of soil biosolarization with mesophilic and termophilic solid digestates on soil microbial quantity and diversity. *Applied Soil Ecology*. 119: 183-191.
- Gamliel A., Stapleton J.J. 1993. Effect of chicken compost or ammonium phosphate and solarization on pathogen control, rhizosphere microorganisms, and lettuce growth. *Plant Disease*. 77(9): 886-891.
- Gamleil A., Austerweil M., Kritzman G. 2000. Non-chemical approach to soilborne pest management – organic amendments. *Crop Protection*. 19(8/10): 847-853.
- Gardiner J.B., Morra M.J., Eberlein C.V., Brown P.D., Borek V. 1999. Allelochemicals released in soil following incorporation of rapeseed (*Brassica napus*) green manures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47(9): 3837-3842.
- García-Ruiz A., Tello-Marquina J.C., Avilés-Guerrero M., Ordovás-Ascaso J. 2009. Fusariosis del clavel (*Fusarium oxysporum f. sp. Dianthi*) últimos avances en su control. Ediciones Agrotécnicas, S.L. Madrid, España. 275 pp.
- Garibaldi A., Gilardi G., Clematis F., Gullino M.L., Lazzeri L., Malaguti L. 2010. Effect of green *Brassica* manure and *Brassica* defatted seed meals in combination with grafting and soil solarization against *Verticillium* wilt of eggplant and *Fusarium* wilt of lettuce and basil. *Acta Horticulturae*. 883(1): 295-302.
- Gelsomino A., Cacco G. 2006. Compositional shifts of bacterial groups in a solarized and amended soil as determined by denaturing gradient gel electrophoresis. *Soil Biology and Biochemistry*. 38: 91-102.

- Gerlach W., Nirenberg H. 1982. The genus *Fusarium*- a pictorial atlas. (Biologische Bundesanstalt für Land- und Fortwirtschaft), Berlin-Dahlem, Deutschland.
- Gilardi G., Pugliese M., Gullino M.L., Garibaldi A. 2016. Effect of different organic amendments on lettuce fusarium wilt and on selected soilborne microorganisms. *Plant Pathology*. 65: 704-712.
- Gimsing A.L., Kirkegaard J.A. 2006. Glucosinolate and isothiocyanate concentration in soil following incorporation of *Brassica* biofumigants. *Soil Biology and Biochemistry*. 38: 2255-2264.
- Guerrero M.M., Martínez M.A., Ros C., Martínez M.C., Bello A., Lacasa A. 2006. Biosolarización y biofumigación para la producción de pimiento ecológico en invernadero.
- Hansen Z.R., Keinath A.P. 2013. Increased pepper yields following incorporation of biofumigation cover crops and the effect on soilborne pathogen populations and pepper diseases. *Applied Soil Ecology*. 63: 67-77.
- Havlin J.L., Beaton J.D., Tisdale S.L., Nelson W.L. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers: An introduction to nutrient management*. 7th Ed. Pearson Prentice Hall. New Jersey, USA. 515 pp.
- Hora T.S., Iyengar M.R.S. 1960. Nitrification by soil fungi. *Archives of Microbiology*. 35(3): 252-257.
- Huang X.Q., Wen T., Zhang J.B., Meng L., Zhu T.B., Liu L.L., Cai Z.C. 2015. Control of soil-borne pathogen *Fusarium oxysporum* by biological soil disinfection with incorporation of various organic matters. *European Journal of Plant Pathology*. 143: 223-235.
- Ibáñez-Ayala R. 2017. Evaluación del efecto de un horizonte artificial a base de lodos de corte y pulido de mármol sobre la fertilidad del suelo en un cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. Proyecto Fin de Carrera. Escuela Superior de Ingeniería. Universidad de Almería.
- Junta de Andalucía. 2016. Estrategia de restos vegetales en la horticultura de Andalucía. 18-25 pp.
- Katan J., Greenberger A., Alon H., Grinstein A. 1976. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology*. 66: 683-688.
- Katan J. 2015. Soil solarisation: the idea, the research and its development. *Phytoparasitica*. 43: 1-4.
- Katase M., Kubo C., Ushio S., Ootsuka E., Takeuchi T., Mizukubo T. 2009. Nematicidal activity of volatile fatty acids generated from wheat bran in reductive soil disinfection. *Japanese Journal of Nematology*. 39: 53-62.
- Kirkegaard J.A., Gardner J., Desmarchelier J.M., Angus J.F. 1993. Biofumigation using *Brassica* species to control pest and diseases in horticulture and agriculture. In: Proceedings of 9th Australian Research Assembly on Brassicas. Wrathner N., Mailes R.J. (Eds.). Waga Wagga, Australia. October 5th-7th. 77-82 pp.
- Klein E., Katan J., Austerweil M., Gamliel A. 2007. Controlled laboratory system to study soil solarization and organic amendment effects on plant pathogens. *Phytopathology*. 97(11): 1476-1483.

- Klein E., Katan J., Gamliel A. 2011. Combining residues of herb crops with soil heating for control of soilborne pathogens in a controlled laboratory system. *Crop Protection*. 30: 368-374.
- Lamers J.G., Runia W.T., Molendijk L.P.G., Bleeker P.O. 2010. Perspectives of anaerobic soil disinfestation. In: Proc. VIIth IS on Chemical and Non-Chemical Soil and Substrate Disinfestation. ISHS. Gamliel A., Coosemans J. (Eds.). Leuven, Belgium. *Acta Horticulturae* 883. 423 pp.
- Lazarovits G. 2001. Management of soil-borne plant pathogens with organic soil amendments: a disease control strategy salvaged from the past. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 23: 1-7.
- Leslie J.F., Summerell B.A. 2006. *The Fusarium laboratory manual*. Blackwell Publishing.
- Leung A.L. 2016. Evaluación de la aplicación de diferentes materias orgánicas mediante la técnica de biosolarización sobre producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Trabajo Fin de Grado. Escuela Superior de Ingeniería. Universidad de Almería.
- Marín-Guirao J.I. 2016. Evaluación del efecto de distintas materias orgánicas sobre la microbiota edáfica, contenido de nitratos en suelo, y producción y calidad de cultivos de tomate y sandía en suelo arenado bajo plástico. Tesis Doctoral. Universidad de Almería.
- Martínez M.A., Guerrero M.M., Martínez M.C., Ros C., Lacasa A., Tello J. 2006. Efecto de la biosolarización reiterada sobre la microbiota fúngica en cultivos de pimiento. VII Congreso SEAE Zaragoza, Nº 212.
- Martínez M.A., Lacasa A., Tello J.C. 2009. Ecología de la microbiota fúngica de los suelos de los invernaderos de pimiento y su interés agronómico. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural. Madrid, España.
- Martínez M.A., Martínez M.C., Bielza P., Tello J., Lacasa A. 2011. Effect of biofumigation with manure amendments and repeated biosolarization on *Fusarium* densities in pepper crops. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 38: 3-11.
- Mauro R.P., Lo Monaco A., Lombardo S., Restuccia A., Mauromicale G. 2015. Eradication of *Orobanche/Phelipanche* spp. seedbank by soil solarization and organic supplementation. *Scientia Horticulturae*. 193: 62-68.
- Mauromicale G., Longo A.M.G., Lo Monaco A. 2011. The effect of organic supplementation of solarized soil on the quality of tomato fruit. *Scientia Horticulturae*. 129: 189-196.
- Merlo J.D. 2015. Ensayo de recuperación de un suelo de invernadero mediante la utilización de diferentes tipos de materias orgánicas aplicadas mediante solarización sobre diferentes tipos de tomate (*Solanum lycopersicum*). Trabajo Fin de Carrera. Escuela Superior de Ingeniería. Universidad de Almería.
- Momma N., Kobara Y., Uematsu S., Kita N., Shinmura A. 2013. Development of biological soil disinfestations in Japan. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 97: 3801-3809.
- Morales-Rodríguez C., Vettriano A.M., Vannini A. 2016. Efficacy of biofumigation with *Brassica carinata* commercial pellets (Biofence) to control vegetative and reproductive structures of *Phytophthora cinnamomi*. *Plant Disease*. 100(2): 324-330.

- Morra M.J., Kirkegaard J.A. 2002. Isothiocyanate release from soil-incorporated *Brassica* tissues. *Soil Biology and Biochemistry*. 34: 1683-1690.
- Ndiaye M., Termorshuizen A.J., Van Bruggen A.H.C. 2007. Combined effects of solarization and organic amendment on charcoal rot caused by *Macrophomina phaseolina* in the Sahel. *Phytoparasitica*. 35(4): 392-400.
- Nelson P.E., Toussoun T.A., Marasas W.F.O. 1983. *Fusarium* species. An illustrated manual for identification. The Pennsylvania State University Press.
- Núñez-Zofío M. 2011. Evaluación de la biodesinfección para el control de *Phytophthora capsici* en el cultivo de pimiento en invernadero. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco.
- Oka Y., Shapira N., Fine P. 2007. Control of root-knot nematodes in organic farming systems by organic amendments and soil solarization. *Crop Protection*. 26(10): 1556-1565.
- Ozyilmaz U., Benlioglu K., Yildiz A., Benlioglu H.S. 2016. Effects of soil amendments combined with solarization on the soil microbial community in strawberry cultivation using quantitative real-time PCR. *Phytoparasitica*. 44: 661-680.
- Pérez-Piqueres A., Albiach R., Domínguez A., Canet R. 2017. Effect of soil preparation techniques on the biochemical properties and microbial communities of a citrus orchard after replanting and conversion into organic management. *Applied Soil Ecology*. 119: 8-17.
- Piedra-Buena A., García-Álvarez A., Díez-Rojo M.A., Ros C., Fernández P., Lacasa A., Bello A. 2006. Use of pepper crop residues for the control of root-knot nematodes. *Bioresource Technology*. 98(15): 2846-2851.
- Ros M., García C., Hernández M.T., Lacasa A., Fernández P., Pascual J.A. 2008. Effects of biosolarization as methyl bromide alternative for *Meloidogyne incognita* control on quality of soil under pepper. *Biology and Fertility Soils*. 45: 37-44.
- Ros C., Sánchez F., Martínez V., Lacasa C.M., Hernández A., Torres J., Guerrero M.M., Lacasa A. 2016. El cultivo de brásicas para biosolarización reduce las poblaciones de *Meloidogyne incognita* en los invernaderos de pimiento del sudeste de España. *ITEA*. 112(2): 109-126.
- Roskopf E.N., Hong J., Kokalis-Burelle N., Butler D. 2012. Status of ASD development in Florida. En: *Proceedings of Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions*. Orlando (FL), USA. 84-1 pp.
- Salman E.B. 2015. Evaluación de la aplicación de diferentes materias orgánicas sobre la calidad de frutos en un cultivo de tomate bajo invernadero (*Solanum lycopersicum* Mill.). Trabajo Fin de Grado. Escuela Superior de Ingeniería. Universidad de Almería.
- Samson R.A., Hoekstra E.S., Frisvad J.C., Filtenborg O. 1995. Introduction to food-borne fungi (Centraalbureau voor Schimmelcultures), Baarn, Netherlands.
- Sanchi S., Odorizzi S., Lazzeri L., Marciano P. 2005. Effect of *Brassica carinata* seed meal treatment on the *Trichoderma harzianum* T39-*Sclerotinia* species interaction. *Acta Horticulturae*. 698: 287-292.
- Scopa A., Dumontet S. 2007. Soil solarisation: Effects on soil microbiological parameters. *Journal of Plant Nutrition*. 30(4): 537-547.

- Serrano-Pérez P. 2017. L biodesinfección como técnica de control de *Phytophthora nicotianae* en el cultivo de pimiento. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura.
- Simmons C.W., Guo H., Claypool J.T., Marshall M.N., Perano K.M., Stapleton J.J., VanderGheynst J.S. 2013. Managing compost stability and amendment to soil to enhance soil heating during soil solarization. *Waste Management*. 33: 1090-1096.
- Simmons C.W., Claypool J.T., Marshall M.N., Jabusch L.K., Reddy A.P., Simmons B.A., Singer S.W., Stapleton J.J., VanderGheynst J.S. 2014. Characterization of bacterial communities in solarized soil amended with lignocellulosic organic matter. *Applied Soil Ecology*. 73: 97-104.
- Simmons C.W., Higgins B., Staley S., Joh L.D., Simmons B.A., Singer S.W., Stapleton J.J., VanderGheynst J.S. 2016. The role of organic matter amendment level on soil heating, organic acid accumulation and development of bacterial communities in solarized soil. *Applied Soil Ecology*. 106: 37-46.
- Six J., Paustian K., Elliot E.T., Combrink C. 2000. Soil structure and organic matter I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Science Society of America Journal*. 64: 681-689.
- Stark C., Condrón L.M., Stewart A., Di H.J., O'Callaghan M. 2007. Influence of organic and mineral amendments on microbial soil properties and processes. *Applied Soil Ecology*. 35: 79-93.
- Steiner A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*. 15: 134-154.
- Sun H.Y., Deng S.P., Raun W.R. 2004. Bacterial community structure and diversity in a century-old manure-treated agroecosystem. *Applied and Environmental Microbiology*. 70(10): 5868-5874.
- Tello J., Varés F., Lacasa A. 1991. Pruebas de patogeneicidad. En: Manual de laboratorio. Diagnóstico de hongos, bacterias y nematodos fitopatógenos (Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), pp 79-85. Madrid, España.
- Tisdale J.M., Oades J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*. 33: 141-163.
- Valdes Y., Viaene N., Moens M. 2012. Effects of yellow mustard amendments on the soil nematode community in a potato field with focus on *Globodera rostochiensis*. *Applied Soil Ecology*. 59: 39-47.