

TESIS DOCTORAL

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

Departamento de Agronomía

Efecto de la adición de restos de cosecha de tomate mediante biosolarización en la producción, calidad del tomate y morfología de la planta



Almería

Abril 2019

D. Pablo García Raya

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
Departamento de Agronomía
Doctorado en Agricultura Protegida

***EFFECTO DE LA ADICIÓN DE RESTOS DE COSECHA DE TOMATE MEDIANTE
BIOSOLARIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN, CALIDAD DEL TOMATE Y
MORFOLOGÍA DE LA PLANTA***

*EFFECT OF TOMATO CROP DEBRIS APPLIED THROUGH BIOSOLARIZATION
ON TOMATO YIELD, QUALITY AND PLANT MORPHOLOGY*



TESIS PRESENTADA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR POR LA
UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

AUTOR:

D. PABLO GARCÍA RAYA

DIRECTOR:

DR. D. JULIO CÉSAR TELLO MARQUINA

CODIRECTORES:

DR. D. FRANCISCO MIGUEL DE CARA GARCÍA

DR. D. FRANCISCO CAMACHO FERRE

ALMERÍA, ABRIL 2019

A Lucía.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

Resumen.....	7
Abstract	9

CAPÍTULO 1

1	Introducción General.....	11
1.1	La problemática de los restos vegetales	11
1.2	Medidas para el manejo de los restos vegetales	11
1.2.1	Compostaje de residuos.....	12
1.2.2	Abonado en verde	12
1.3	Biodesinfección de suelos	13
1.3.1	Solarización.....	13
1.3.2	Biofumigación.....	15
1.3.3	Biosolarización, características y descripción del proceso.....	15
1.3.4	Materias orgánicas susceptibles de ser utilizadas en la biosolarización..	16
1.3.5	Ventajas en el uso de la biosolarización.....	17
1.3.6	Ensayos en los que se utiliza la Biodesinfección	18
1.3.6.1	Influencia de la biodesinfección en la producción	18
1.3.6.2	Influencia de la biodesinfección en la calidad del fruto.....	22
1.3.6.3	Influencia de la biodesinfección en la morfología de la planta	23
1.3.6.4	Influencia de la biodesinfección en las propiedades físico químicas del suelo	24
1.3.7	Ensayos en los que se utiliza la Materia Orgánica como fuente de nutrición	25
1.3.7.1	Influencia de la Materia orgánica en la producción de tomate	25
1.3.7.2	Influencia de la Materia orgánica en la calidad del fruto.....	29
1.3.7.3	Influencia de la Materia orgánica en la morfología de la planta de tomate	33
1.3.7.4	Influencia de la Materia orgánica en el estado nutricional del suelo ..	36
1.4	Justificación	37
1.5	Hipótesis.....	38
1.6	Objetivo	38
1.7	Bibliografía.....	38

CAPÍTULO 2

2	Materiales y métodos generales	55
2.1	Introducción	55
2.2	Localización y clima exterior.....	55
2.3	Invernadero y clima interior	55
2.4	Diseño experimental	57
2.5	Enmiendas orgánicas y Balance de Nitrógeno en la fertilización empleada	58
2.6	Proceso de Biosolarización y toma de muestras	60
2.7	Estado nutricional del suelo	61
2.8	Material Vegetal y ciclo de cultivo	62
2.9	Bibliografía.....	63

CAPÍTULO 3

3	Efecto de la adición de la M.O. sobre la producción	65
3.1	Introducción	65
3.2	Objetivo	66
3.3	Materiales y métodos.....	66
3.3.1	Medida del peso y toma de datos	66
3.3.2	Análisis estadístico de los datos	67
3.4	Resultados	67
3.4.1	Balance de Nitrógeno aportado a los distintos sistemas de nutrición....	67
3.4.2	Producción puntual por unidad de superficie	68
3.4.3	Producción acumulada	72
3.4.4	Peso por fruto	76
3.4.5	Comparativa de la producción acumulada	80
3.5	Discusión.....	82
3.6	Conclusión	85
3.7	Bibliografía.....	86

CAPÍTULO 4

4	Efecto de la adición de la M.O. sobre la calidad del fruto de tomate	91
4.1	Introducción	91
4.2	Objetivo	91
4.3	Materiales y métodos.....	91
4.3.1	Medida de la calidad y toma de datos.....	92
4.3.1	Análisis estadístico de los datos	92
4.4	Resultados	93
4.4.1	Diámetro ecuatorial de los frutos.....	93
4.4.2	Firmeza de los frutos	95
4.4.3	Acidez de los frutos.	98
4.4.4	Contenido de azúcares	100
4.4.5	Color de los frutos	103
4.4.6	Contenido en NO_3^-	105

4.5	Discusión	108
4.6	Conclusiones.....	110
4.7	Bibliografía.	110

CAPÍTULO 5

5	Efecto de la adición de la M.O. sobre la morfología de la planta de tomate.....	115
5.1	Introducción	115
5.2	Objetivo	115
5.3	Materiales y métodos.....	116
5.3.1	Medida de la morfología de la planta y toma de datos	116
5.3.2	Análisis estadístico de los datos	116
5.4	Resultados	117
5.4.1	Diámetro del tallo de la planta de tomate	117
5.4.2	Longitud de la planta de tomate	119
5.4.3	Nº de hojas de la planta de tomate.....	122
5.4.4	Nº de ramilletes de la planta de tomate	125
5.4.5	Longitud entre nudos de la planta de tomate.....	127
5.5	Discusión	130
5.6	Conclusiones.....	132
5.7	Bibliografía.....	132

CAPÍTULO 6

6	Conclusiones.....	115
---	-------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1:	Distribución mundial donde la solarización ha sido ensayada.....	14
Figura 2	Situación y emplazamiento de la finca UAL-Anecoop.....	55
Figura 3:	Vista general del invernadero	56
Figura 4:	Diseño experimental del ensayo	58
Figura 5:	Incorporación de los restos de cosecha al suelo	59
Figura 6:	Incorporación de pellets de <i>Brassica carinata</i> al suelo.....	60
Figura 7:	Proceso de bio-solarización.....	61
Figura 8:	Desarrollo del cultivo.....	63
Figura 9:	Toma de muestras y pesado del fruto de tomate	66

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1:	Registro de temperaturas promedio durante el cultivo.....	56
Tabla 2:	Caracterización físico-química del agua de riego empleada	57
Tabla 3:	Propiedades físico-químicas de los restos de cosecha.....	59
Tabla 4:	Registro de temperaturas durante la solarización	61
Tabla 5:	Estado nutricional del suelo durante las dos campañas de estudio	62

Tabla 6: Listado de tratamientos fitosanitarios aplicados.....	63
Tabla 7: Fechas de muestreo de producción durante las dos campañas.....	67
Tabla 8: Dosis de Nitrógeno aportado en cada tratamiento.....	68
Tabla 9: Producción por cosecha, campaña 15-16.....	70
Tabla 10: Producción por cosecha, campaña 16-17.....	72
Tabla 11: Producción acumulada, campaña 15-16.....	74
Tabla 12: Producción acumulada, campaña 16-17.....	76
Tabla 13: Peso por fruto, campaña 15-16.....	78
Tabla 14: Peso por fruto, campaña 16-17.....	80
Tabla 15: Fechas de muestreo de calidad durante las dos campañas de ensayo ...	92
Tabla 16: Diámetro de los frutos de tomate, campaña 15-16.....	94
Tabla 17: Diámetro de los frutos de tomate, campaña 16-17.....	95
Tabla 18: Firmeza de los frutos de tomate, campaña 15-16.....	96
Tabla 19: Firmeza de los frutos de tomate, campaña 16-17.....	97
Tabla 20: Acidez de los frutos de tomate, campaña 15-16.....	99
Tabla 21: Acidez de los frutos de tomate, campaña 16-17.....	100
Tabla 22: Contenido en azúcar de los frutos de tomate, campaña 15-16.....	101
Tabla 23: Contenido en azúcar de los frutos de tomate, campaña 16-17.....	102
Tabla 24: Color de los frutos de tomate, campaña 15-16.....	104
Tabla 25: Color de los frutos de tomate, campaña 16-17.....	105
Tabla 26: Contenido en NO_3^- de los frutos de tomate, campaña 15-16.....	106
Tabla 27: Contenido en NO_3^- de los frutos de tomate, campaña 16-17.....	107
Tabla 28: Fechas de muestreo de morfología, dos campañas de ensayo.....	117
Tabla 29: Diámetros del tallo de tomate, campaña 15-16.....	118
Tabla 30: Diámetros del tallo de tomate, campaña 16-17.....	119
Tabla 31: Longitud de la planta de tomate, campaña 15-16.....	121
Tabla 32: Longitud de la planta de tomate, campaña 16-17.....	122
Tabla 33: Número de hojas de la planta de tomate, campaña 15-16.....	123
Tabla 34: Número de hojas de la planta de tomate, campaña 16-17.....	125
Tabla 35: Número de ramilletes de tomate, campaña 15-16.....	126
Tabla 36: Número de ramilletes de tomate, campaña 16-17.....	127
Tabla 37: Longitud entre nudos, campaña 15-16.....	129
Tabla 38: Longitud entre nudos, campaña 16-17.....	130

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Producción por cosecha, campaña 15-16.....	69
Gráfico 2: Producción por cosecha, campaña 16-17.....	71
Gráfico 3: Producción acumulada, campaña 15-16.....	73
Gráfico 4: Producción acumulada, campaña 16-17.....	75
Gráfico 5: Peso por fruto, campaña 15-16.....	77
Gráfico 6: Peso por fruto, campaña 15-16.....	79
Gráfico 7: Comparativa entre tratamientos de la producción acumulada.....	81
Gráfico 8: Diámetro ecuatorial del fruto de tomate, campaña 15-16.....	93

Gráfico 9: Diámetro ecuatorial del fruto de tomate, campaña 16-17	94
Gráfico 10: Firmeza del fruto de tomate, campaña 15-16	96
Gráfico 11: Firmeza del fruto de tomate, campaña 16-17	97
Gráfico 12: Acidez del fruto de tomate, campaña 15-16	98
Gráfico 13: Acidez del fruto de tomate, campaña 16-17	99
Gráfico 14: Contenido en azúcar del fruto de tomate, campaña 15-16	101
Gráfico 15: Contenido en azúcar del fruto de tomate, campaña 16-17	102
Gráfico 16: Color del fruto de tomate, campaña 15-16	103
Gráfico 17: Color del fruto de tomate, campaña 16-17	104
Gráfico 18: Concentración de NO_3^- de los frutos, campaña 15-16	106
Gráfico 19: Concentración de NO_3^- de los frutos, campaña 16-17	107
Gráfico 20: Diámetros del tallo, campaña 15-16	117
Gráfico 21: Diámetros del tallo, campaña 16-17	118
Gráfico 22: Longitud de la planta de tomate, campaña 15-16	120
Gráfico 23: Longitud de la planta de tomate, campaña 16-17	121
Gráfico 24: Nº de hojas de la planta de tomate, campaña 15-16	123
Gráfico 25: Nº de hojas de la planta de tomate, campaña 16-17	124
Gráfico 26: Nº de ramilletes de tomate, campaña 15-16	125
Gráfico 27: Nº de ramilletes de tomate, campaña 16-17	126
Gráfico 28: Longitud entre nudos de la planta de tomate, campaña 15-17	128
Gráfico 29: Longitud entre nudos de la planta de tomate, campaña 16-17	129

Resumen

La horticultura intensiva en invernadero puede causar diversos problemas de índole ambiental. Entre ellos el manejo, acopio y procesado de los restos de cosecha provocan entre otros la contaminación de acuíferos, la proliferación de plagas, malos olores o el abuso de tratamientos fitosanitarios.

Pese a que se han estudiado diversas alternativas al manejo de restos de cultivo (*e.g.* compostaje externo, biocombustible, alimentación animal etc.), ninguna ha conseguido solucionar satisfactoriamente el problema ambiental al que se enfrenta el agro almeriense.

Una forma de paliar esta problemática reside en el manejo de los restos de cosecha procedentes de invernadero como materia orgánica apta para ser aplicada mediante biosolarización. Si a esta problemática se aúna el auge en la implantación de sistemas de producción ecológicos y su necesidad de diversas enmiendas orgánicas para la nutrición vegetal, los restos de cosecha procedentes de invernadero, los cuales son viables para la aplicación mediante técnicas como la biofumigación y la biosolarización, cobran importancia.

El trabajo presentado en esta memoria de tesis doctoral fue realizado durante dos campañas agrícolas en un invernadero experimental de dimensiones y manejo comerciales, de tipo “raspa y amagado” situado en la provincia de Almería, en el que se ensayó la influencia de la materia orgánica (restos de plantas de tomate) aplicada mediante biosolarización en la producción y calidad de frutos y en la morfología de la planta de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Para poder realizar una comparación entre diferentes modelos de manejo de la materia orgánica y su implicación en la nutrición de la planta, los siguientes tratamientos fueron evaluados: Fertilización inorgánica con y sin pellets de *Brassica carinata*, restos de cosecha de tomate frescos con y sin pellets de *Brassica carinata* y un testigo sin fertilización.

Como resultados obtenidos destacan que la adición de materia orgánica mediante biosolarización mantuvo la producción a niveles similares a los tratamientos con fertilización inorgánica durante la mayor parte del ciclo de cultivo (exceptuando el último mes de estudio) presentando rendimientos productivos comparables a los obtenidos por los agricultores de la zona. En cuanto a la calidad hortícola de los frutos (*i.e.* dureza, calibre, ° Brix, pH o contenido en NO₃⁻) fueron muy similares entre tratamientos durante los dos años de cultivo, obteniéndose en todos los casos frutos aptos para el consumo y respetuosos con las normas de calidad del sistema agroalimentario. La morfología de la planta de tomate se mostró fuertemente influenciada por la nutrición empleada, siendo los

tratamientos con base de fertilización inorgánica la que produjo plantas más desarrolladas, presentando una mayor altura final, número de hojas y ramilletes.

A la luz de estos resultados, la aplicación de restos de cosecha al suelo mediante biosolarización se postula como una alternativa al manejo de los restos de cosecha procedentes de invernadero solventando un problema ambiental y repercutiendo favorablemente en la producción y calidad de un cultivo comercial de tomate.

Abstract

Intensive greenhouse horticulture can generate diverse environmental problems. Among them, management, storage and processing of crop debris can provoke aquifer contamination, pest proliferation, bad odors or the abuse of phytosanitary treatments. Several alternatives to the crop debris management (composting, bio-fuel, ensilage, etc.) have been studied, but nowadays none of them solve the environmental problem linked with horticulture.

The use of crop debris applied through solarization (*i.e.* Biosolarization) is one alternative not enough studied. This option pretends to reduce the environmental impact due to crop debris accumulation and promotes an alternative nutrition system less dependent on synthesis fertilizers.

The effect of the incorporation of crop debris through biosolarization on plant morphology, yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum*, L.) fruit was assessed in a trial conducted in two consecutive years in a semi commercial “raspa y amagado” greenhouse placed in Almería (Spain). Five nutrition systems were compared: inorganic fertilization with and without brassica pellets, fresh tomato plant debris with and without brassica pellets, and no fertilizer application (Control).

In both years the addition of fresh tomato plant debris through biosolarization maintained tomato yield at comparable levels to inorganic fertilizers (except for the last month of study).

Furthermore, tomato yield was comparable to those obtained by local farmers. Regarding to the fruit quality (*i.e.* firmness, equatorial diameter, °Brix, pH or [NO₃]) was very similar between treatments, obtaining suitable fruits for consumption and in accordance with actual quality standards. On the other hand, the morphology of the tomato plant was strongly influenced by the nutrition employed, inorganic fertilization based treatments produced more developed plants (*i.e.* higher final length, number of leaves and tomato clusters).

In light of these results, the application of tomato plant debris to the soil through biosolarization is postulated as an alternative for the management of crop debris, solving an environmental problem with a favorable impact on the production and quality of commercial tomatoes.

1 Introducción General

1.1 La problemática de los restos vegetales

La agricultura protegida en la cuenca del Mediterráneo ha mantenido un crecimiento sostenido a lo largo de las últimas décadas debido al aumento de población y demanda de hortalizas. Según Castilla (2013), en el año 2010 la superficie total destinada al cultivo de hortalizas en invernadero ascendía a 200000 ha. La provincia de Almería (Sureste español) con una superficie invernada de 30456 ha y un valor en la producción comercializada de frutas y hortalizas de 2537 M€, de los cuales 540 M€ corresponden a la producción de tomate, se revalida como el núcleo principal de producción hortícola protegida de Europa durante el año 2016 (Cabrera *et al.*, 2017).

Sin embargo, la localización de la producción ha conllevado problemas ambientales tales como contaminación y eutrofización de acuíferos, principalmente debido al excesivo empleo de abonos nitrogenados de síntesis, o al riego excesivo tanto en tratamientos de desinfección como en el desarrollo del cultivo, (Ramos *et al.*, 2002; Vázquez *et al.*, 2006; Thompson *et al.*, 2007).

Otro problema inherente al crecimiento e intensificación de la agricultura es la producción de residuos y su gestión. Los restos de cosecha procedentes de invernadero se caracterizan por una heterogeneidad en su composición y una estacionalidad en su producción, lo que dificulta su manejo (Junta de Andalucía, 2016). La provincia de Almería, en el año 2014 produjo aproximadamente 1900000 t de residuos sin deshidratar procedentes de los cultivos hortícolas (Junta de Andalucía, 2016; López-Hernández *et al.*, 2016).

Esta cantidad de restos de cosecha producida de manera anual, han provocado un problema ambiental y social, por lo que la búsqueda de alternativas para su manejo ha sido abordado por instituciones y organismos públicos. A continuación se presentan las alternativas actuales al manejo de restos vegetales para la provincia de Almería, pero que pueden ser extrapolados a cualquier sistema de producción hortícola protegido.

1.2 Medidas para el manejo de los restos vegetales

Diversas estrategias para el manejo de los restos vegetales procedentes de invernadero han sido estudiadas, Camacho-Ferre *et al.* (2000) las evaluaron en el plan de higiene del campo de Níjar, (segunda comarca en importancia en producción hortícola de Almería y primera en el cultivo del tomate). Entre las estrategias que analizan los autores se encuentran: el compostaje de los restos

en plantas de procesado; la alimentación para el ganado, para ello los restos de cosecha pueden estar frescos o preferiblemente ensilados, este proceso requiere de una fermentación anaeróbica para una mejor digestibilidad de los mismos. La pirólisis y la gasificación de los restos vegetales con la intención de obtener carbón, aceites o combustibles gaseosos es otra alternativa, aunque en desuso, debido a su potencial contaminador y degradador de la calidad del aire. La obtención de pastas de celulosa para la fabricación de cartones y papel, o el abonado en verde, la cual será abordada en profundidad en sucesivos capítulos. Todas estas alternativas han intentado poner fin al problema ambiental resultante del acopio de los restos de cosecha con resultados dispares.

1.2.1 Compostaje de residuos

Se puede definir el proceso de compostaje como la descomposición biológica aerobia de la materia orgánica en condiciones controladas de temperatura, humedad y aireación, seguida por una estabilización y maduración del producto (Iglesias-Jiménez, 1991; Moreno-Casco y Moral-Herrero, 2008).

Los restos de cosecha procedentes de invernadero comprenden un conjunto heterogéneo de restos de diversos cultivos, con un contenido en agua y una relación C/N variable, aunque no por ello dejan de ser aptos para el compostaje. El uso de materiales plásticos en el manejo de plantas hortícolas (rafias, clips, perchas etc.) son uno de los principales obstáculos a los que se enfrenta el compostado externo.

Actualmente la retirada y compostaje de los restos de cosecha en plantas de procesado es la alternativa que tiene una mayor preferencia entre los agricultores de la provincia, es una opción cómoda puesto que es de rápida aplicación y acelera la transición entre cultivos. Sin embargo, no queda exenta de problemas, patente en los numerosos artículos de prensa local que hacen referencia a su deficiente manejo (Anexo 1).

1.2.2 Abonado en verde

El abonado en verde, abono en verde o “green manuring” es una técnica ampliamente distribuida en agricultura extensiva, consiste en la incorporación al suelo de materia orgánica vegetal fresca, bien a través de diseños de cubiertas vegetales, o la incorporación de los restos de cosecha. Sus beneficios son varios, en primer lugar, previene del riesgo de erosión, debido a que los cultivos sembrados poseen una gran capacidad cobertora. Otro propósito es el de aumentar el contenido en nutrientes del suelo desde tres vías: evitando

que los nutrientes se lixivien tras el cultivo precedente, fijando N en el caso de leguminosas y aportando nitrógeno tras su incorporación al suelo como materia orgánica fresca. El diseño de un programa de abonado en verde debe de estar calendarizado en función del cultivo venidero, evitando solapes entre cultivos. Una vez crecido y antes de la floración el cultivo puede ser segado y acordonado (siembra directa o plantación sobre mulching vegetal), o bien reincorporado al suelo con arado de vertedera. Diversos autores han ensayado el abonado en verde como soporte nutritivo al cultivo venidero, tanto en intensivo como en extensivo. Zai *et al.* (2008); Campiglia *et al.* (2011); Reynafarje *et al.* (2014); Sosa-Rodríguez *et al.* (2014) encontraron un efecto positivo en la producción tras el uso de abonados en verde en diversos cultivos y sistemas de cultivo, produciendo más que los abonados inorgánicos o el estercolado. Demetrio *et al.* (1998), Tuzel *et al.* (2013), Duyar *et al.* (2009), Tittarelli *et al.* (2016) y Elfstrand *et al.* (2007) concluyeron que el abonado en verde tenía un rendimiento productivo al menos igual que otros sistemas de nutrición vegetal, sin embargo Mader *et al.* (2002), Ronga *et al.* (2017) y Gysi y Keller (1983) obtuvieron producciones inferiores en los tratamientos con abonado en verde. El abonado en verde puede ser reinterpretado en la agricultura intensiva si se combina con técnicas como la biofumigación y biosolarización.

1.3 Biodesinfección de suelos

En el sistema de producción hortícola Mediterráneo se recurre cada vez más a menudo a la desinfección anual de suelos. Entre las técnicas que surgen como alternativa a la retirada del bromuro de metilo y de la limitación del uso de otros fumigantes, la solarización, biosolarización y biofumigación son las más empleadas y ambientalmente sostenibles. A continuación se detallan estos tres métodos de desinfección de suelos.

1.3.1 Solarización

La solarización es una técnica que emplea la energía solar para incrementar la temperatura de un suelo humedecido y sellado por un plástico de polietileno con el propósito de reducir poblaciones de patógenos del suelo (Katan, 1981). De gran importancia para la realización de una solarización efectiva resulta su ejecución en los meses más calurosos del año durante un periodo mínimo de 30 días, el sellado total del suelo con un material plástico no poroso, y un riego a capacidad de campo para humedecer todo el perfil.

El efecto beneficioso tras la aplicación de la técnica se debe tanto al aumento de la temperatura y su influencia sobre los microorganismos

patógenos como por el estímulo que ejerce sobre microorganismos benéficos (MBTOC, 1995). Por otro lado, se ha puesto de manifiesto que los cambios ocasionados en la microbiota edáfica propician una “Respuesta en el incremento del crecimiento” la cual repercute posteriormente en el desarrollo y producción del cultivo (Katan, 1981; Stapleton *et al.*, 1985; Medina-Mínguez, 2002).

El efecto de la solarización sobre los patógenos de origen telúrico ha sido ampliamente estudiado a lo largo del planeta (Ilustración 1). Prueba de ello es la revisión bibliográfica realizada por Gamliel y Katan (2009) en la que la divulgación científica abarca a más de 60 países y 130 investigaciones. Particularizando para el caso de España entre los autores que han estudiado el efecto de la solarización en patógenos de origen telúrico destacan: González-Torres *et al.*, 1993; Melero-Vara *et al.*, 1995; López-Herrera *et al.*, 1997; López-Herrera *et al.*, 1998; López-Escudero y Blanco-López, 2001; López-Medina *et al.*, 2003; Nico *et al.*, 2003; Bello *et al.*, 2004; Barrau *et al.*, 2005; Hernández *et al.*, 2005; Melero-Vara *et al.*, 2005; Medina *et al.*, 2006; Berbegal *et al.*, 2007; Porras *et al.*, 2007a; Porras *et al.*, 2007b; Porras *et al.*, 2009a; Porras *et al.*, 2009b, Porras *et al.*, 2009c; Cebolla *et al.*, 2010; Melero-Vara *et al.*, 2011; Granadosa *et al.*, 2012; Melero-Vara *et al.*, 2012; Núñez-Zofío *et al.*, 2012; Basallote-Ureba *et al.*, 2016; Díaz-Hernández *et al.*, 2017; Pérez-Hernández *et al.*, 2017; Boix-Ruiz *et al.*, 2018.

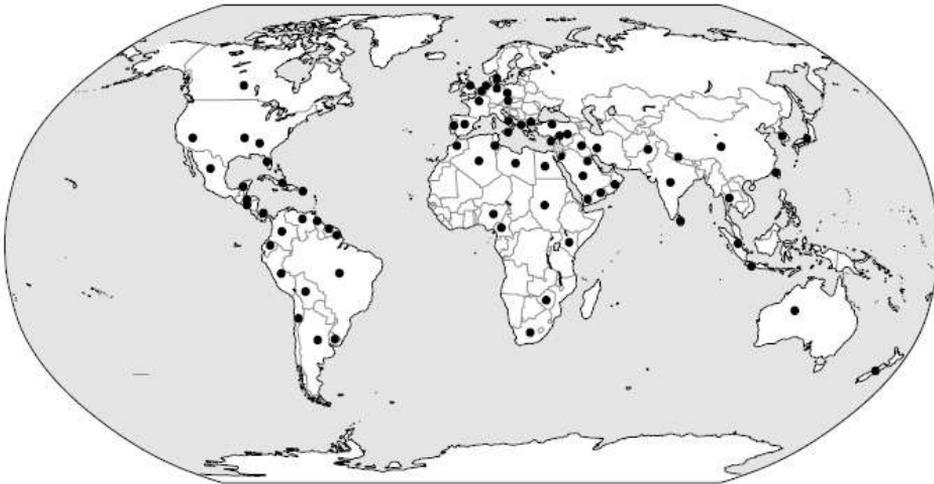


Figura 1: Distribución mundial donde la solarización ha sido ensayada (Gamliel y Katan, 2009)

1.3.2 Biofumigación

La biofumigación es una técnica tradicionalmente utilizada para la eliminación de patógenos de origen telúrico mediante la acción biocida de los isotiocyanatos (entre otros) producidos durante la descomposición de materia orgánica procedente de restos de brassicas (Kirkegaard, 1993), su aplicación ha sido estudiada para el control de numerosas enfermedades de origen telúrico. La técnica consiste en la incorporación de materias orgánicas preferiblemente frescas al suelo, con un tamaño de partícula lo más fino posible y a una profundidad comprendida entre 0-30 cm. Posterior a la incorporación de la materia orgánica se sella el poro resultante aplicando una dotación de agua necesaria hasta alcanzar capacidad de campo. Puede ser necesaria la reiteración en el tiempo de la aplicación de agua para poder descomponer totalmente la materia orgánica y que se produzca una hidrólisis de compuestos generados durante la descomposición.

Kirkegaard (2009) realizó una pormenorizada revisión bibliográfica del proceso de biofumigación en el que abarca las investigaciones realizadas por todo el mundo (más de 90 referencias) donde analiza la expansión de la técnica, aplicaciones, mecanismos de acción y limitaciones. En España, se han realizado numerosos estudios en los que se ha utilizado la biosolarización como técnica para el control de patógenos del suelo: (López-Medina *et al.*, 2003; Bello *et al.*, 2004; López-Martínez *et al.*, 2006; Medina *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2011; García-Ruiz *et al.*, 2013; Lacasa *et al.*, 2015; Basallote-Ureba *et al.*, 2016; Marín-Guirao *et al.*, 2016).

1.3.3 Biosolarización, características y descripción del proceso

La biosolarización (Bello-Pérez *et al.*, 1997) consiste en la combinación de la biofumigación (Kirkegaard, 1993) y la solarización (Katan, 1981), esto es una biofumigación en periodo de alta radiación solar, acompañada con el sellado del suelo con plástico de polietileno.

La biosolarización, como cualquier compostaje, se desarrolla en varias etapas: En la primera fase se produce un compostaje aeróbico de la materia orgánica añadida, los microorganismos condicionados 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, 1996). A partir de este momento, comienza una segunda fase del proceso donde se dan condiciones de anaerobiosis debido al

incremento de la actividad microbiana la cual consume todo el oxígeno disponible y al efecto 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) a demás de ácidos grasos y derivados de glucosinolatos propios de la biofumigación.

Actualmente, las fases del proceso de biosolarización de suelos han sido acuñadas por diversos autores 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 film plástico impermeable al oxígeno. Este último aspecto las diferencia de la biosolarización, ya que las condiciones de anoxia se prolongan durante un periodo superior. 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 NO_3^- , Mn^{+4} , Fe^{+3} y SO_4^{-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; Roskopf *et al.*, 2012).

España se sitúa como uno de los países donde más se ha estudiado la biosolarización, entre las investigaciones que se han realizado en los últimas dos décadas destacan: López-Medina *et al.*, 2003; Guerrero *et al.*, 2005b; Hernández *et al.*, 2005; López-Martínez *et al.*, 2006; Medina *et al.*, 2006; Berbegal *et al.*, 2007; Blanco *et al.*, 2009; Medina *et al.*, 2009; Porras *et al.*, 2009a; Martínez *et al.*, 2011; Melero-Vara *et al.*, 2011; López-Aranda *et al.*, 2012; Melero-Vara *et al.*, 2012; Núñez-Zofío *et al.*, 2012; García-Ruiz *et al.*, 2013; Núñez-Zofío *et al.*, 2013; Domínguez *et al.*, 2014; Guerrero-Díaz *et al.*, 2014; Chamorro *et al.*, 2015; Lacasa *et al.*, 2015; Marín-Guirao *et al.*, 2016; Díaz-Hernández *et al.*, 2017; Pérez-Hernández *et al.*, 2017; Gómez-Tenorio *et al.*, 2018; Ros *et al.*, 2018.

1.3.4 Materias orgánicas susceptibles de ser utilizadas en la biosolarización

Se han probado una amplia variedad de materias orgánicas para ser utilizados como enmiendas en procesos de biodesinfección. Las más utilizadas son especies de *Brassicas* (e. g. *B. juncea*, *B. carinata*, *B. napus*, *B. sativus*, *Sinapsis alba*, etc.) en una gran variedad de formas de aplicación (fresco,

pellets de semilla desgrasados y deshidratados, o emulsiones oleosas) debido principalmente a la acción biocida de sus compuestos volátiles generados durante la descomposición (derivados fruto de la hidrólisis de los glucosinolatos) con el objetivo último de controlar poblaciones de nematodos fitoparásitos, hongos fitopatógenos y plantas arvenses (Mithen, 2001).

El potencial biofumigante de la materia orgánica (*i.e.* su contenido en glucosinolatos) no debe de ser un factor limitante para su aplicación mediante biosolarización, pues la desinfección no se limita únicamente al efecto de la descomposición de aquellos compuestos biocidas, sino que otros factores influyen en el proceso además de las sinergias que se producen entre ellos (Kirkegaard, 2009). En este sentido, la reutilización de los restos de cosecha de los diversos cultivos hortícolas como material biofumigante y su influencia en el control de enfermedades y nutrición de cultivos es un campo de estudio por explorar.

Si bien es cierto que para que la incorporación de materiales orgánicos resulte en un método de control satisfactorio debe de realizarse un control riguroso de su composición química, las propiedades físicas del material y del proceso de la aplicación (Díez-Rojo *et al.*, 2010).

1.3.5 Ventajas en el uso de la biosolarización

El aporte de materia orgánica al suelo para aumentar la fertilidad es una práctica cultural que se ha realizado desde el comienzo de la agricultura, repercutiendo en los parámetros físicos-químicos y biológicos del suelo. Las ventajas de utilizar la técnica de biosolarización son: el aumento de las temperaturas debido a la acción combinada del plástico y de la descomposición de la materia orgánica (Scopa *et al.*, 2008; Mauromicale *et al.*, 2011), la retención de los gases procedentes de la descomposición (Hansen y Keinath, 2013) o el mejor aprovechamiento del agua, mejora de la estructura del suelo (Chan y Heenan, 1996), reducción de la erosión y la salinidad (McGuire, 2003), e incremento del contenido en materia orgánica (Bailey y Lazarovits, 2003; Thorup-Kristensen *et al.*, 2003), la solubilización de la materia orgánica (Stapleton *et al.*, 1985), la captura de CO₂ durante el desarrollo del cultivo biofumigante (Lazzeri *et al.*, 2013) o acelerar el proceso de descomposición “*in situ*” de restos vegetales procedentes del cultivo y reducir así el tiempo de transición entre la finalización de dicho cultivo y el comienzo del siguiente, (Reddy, 2011).

1.3.6 Ensayos en los que se utiliza la Biodesinfección

1.3.6.1 Influencia de la biodesinfección en la producción

Diversos autores han estudiado en profundidad los beneficios en la producción tras aplicar técnicas como la biofumigación o biosolarización en varios cultivos.

Marín-Guirao en su tesis doctoral titulada “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” (Marín-Guirao, 2016) evaluó el efecto de distintas materias orgánicas sobre la producción en cultivos de tomate y sandía en un suelo arenado cultivado bajo invernadero, para ello comparaba la biofumigación y la biosolarización. Como materias orgánicas empleó, pellets de *Brassica carinata*, restos de brócoli deshidratado combinados con un preparado microbiológico. Los resultados de producción del primer año de cultivo de tomate no mostraron diferencias entre los tratamientos de biosolarización, mientras que los de biofumigación produjeron sensiblemente menos. En el caso del primer cultivo de sandía los resultados de producción no marcaron diferencias entre el método de desinfección ni la enmienda empleada. En el segundo año de cultivo se analizó el efecto residual de las materias orgánicas, obteniendo que en el segundo cultivo tanto de tomate como de sandía la producción no mostró diferencias ni entre el factor materia orgánica ni el método de desinfección. La falta de diferencias durante los dos ciclos de cultivo pudo deberse al empleo de fertilización inorgánica que suplementaba a las enmiendas orgánicas, por lo que pudo enmascarar tanto mejoras en la producción como déficits (Marín-Guirao *et al.*, 2016).

Nuñez-Zofío en su tesis doctoral titulada “Evaluación de la biodesinfección para el control de *Phytophthora capsici* en el cultivo de pimiento en invernadero” (Nuñez-Zofío, 2012) aborda la biodesinfección en el País Vasco, aplicando para ello estiércol de oveja ya gallinaza, caballo y gallinaza y pellets de *Brassica carinata*. Tras un cultivo de pimiento los resultados de producción fueron favorecedores para el tratamiento con estiércol fresco de oveja y gallinaza, seguido por el de caballo y gallinaza. El tratamiento con brassicas solo produjo más que el testigo solamente solarizado (Nuñez-Zofío *et al.*, 2012).

Guerrero-Díaz en su tesis doctoral titulada “Biosolarización de invernaderos para cultivos de pimiento: manejo de patógenos y fatiga del suelo” (Guerrero *et al.*, 2007) realizó diversos ensayos sobre la aplicación de

técnicas como la biosolarización y la solarización. Uno de los ensayos consistió en el estudio a largo plazo de la reiteración de la biosolarización en un cultivo de pimiento para el control de nematodos del género *Meloidogyne*. En este ensayo de 7 campañas de duración, se añadieron para biofumigar en un inicio 7 kg·m⁻² de estiércol fresco de oveja y 3 kg·m⁻² de gallinaza, para acabar aceptando como dosis óptimas las de 2 kg·m⁻² y 0,5 kg·m⁻² de oveja y gallinaza respectivamente. Como resultados obtienen una estabilización a lo largo de las campañas de la producción, a pesar de no erradicar la plaga, si bien la aplicación del programa de fertirriego no se suprimió a pesar de añadir materia orgánica (Guerrero *et al.*, 2005).

De nuevo Guerrero *et al.* (2009) evaluaron el uso de pellets de brassicas como enmiendas para la biosolarización de invernaderos de pimiento con presencia de nematodos del género *Meloidogyne*. Analizaron 6 enmiendas orgánicas distintas, pellets de brassicas, estiércol semi compostado ovino, restos de cítricos y estiércol fresco de ovino junto a un testigo de Bromuro de Metilo, y otro blanco. El control total de los nematodos se produjo con el testigo bromuro, sin embargo, las producciones fueron mejores en los tratamientos enmendados, no encontrando diferencias entre los estiércoles, cítricos o pellets de brassicas. En este ensayo no se encontraron indicaciones de fertirriego, por lo que se asume que el fertirriego fue generalizado durante la campaña.

Martínez *et al.* (2012), compararon la eficacia entre biosolarización, biofumigación y desinfección con bromuro de metilo y su influencia sobre el control de nematodos del género *Meloidogyne* en un cultivo de pimiento. Como materia orgánica utilizaron restos de plantas de pimiento y estiércol. Tras tres campañas de cultivo los resultados mostraron que el bromuro de metilo y la biosolarización controlaron al nematodo, mientras que no lo hizo completamente la biofumigación. En cuanto a los resultados de producción, no se encontraron diferencias entre Bromuro de Metilo y biosolarización, mientras que la biofumigación produjo significativamente menos.

Díez-Rojo en su tesis doctoral titulada “Bases agronómicas para la utilización de restos agrarios en biodesinfección de suelos” (Díez-Rojo, 2010) analizan la solarización frente a la biosolarización enmendada con vinazas de remolacha. Durante el primer año de cultivo, obtuvo mayor producción en un cultivo de remolacha en los tratamientos biofumigados. La reiteración de la rotación acelga-tomate-pepino produjo incrementos significativos en la producción. El mismo autor en otro ensayo situado en Níjar (Almería) analizó el control de nematodos en invernadero, para ello utilizaron la biosolarización

con distintas dosis de vinaza de remolacha frente a la solarización. Posterior a la aplicación de los tratamientos y la biosolarización se plantó un tomate de ciclo corto. Las producciones comerciales fueron semejantes en todos los tratamientos biofumigados, mostrando diferencias con el testigo solarizado. A continuación se plantó un cultivo de pepino tipo Almería, en el que se repitió el mismo comportamiento que en el cultivo precedente. El autor demostró que el aporte de materia orgánica fue suficiente para el desarrollo del cultivo, aunque los rendimientos obtenidos fueron muy bajos en comparación con los de los agricultores de la misma comarca. Este ensayo ha sido el único en el que los autores detallan la ausencia de aplicación de fertilización inorgánica suplementaria durante el desarrollo de los cultivos (Díez-Rojo. *et al.*, 2010; Lacasa *et al.*, 2010).

Iapichino *et al.* (2008) ensayaron los efectos de la solarización y biofumigación en un cultivo de tomate en invernadero. Los tratamientos con una dosis de $2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de restos de *Brassica juncea* cv. ISCI-20 y biosolarización fueron los que obtuvieron una producción comercial de tomate de mayor cuantía durante los dos años de ensayo.

Porras *et al.* (2009a) estudiaron el efecto de la biofumigación con pellets de *Brassica carinata* y solarización (biosolarización) para el control de *Phytophthora* spp. en un cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) y su influencia en la producción comercial del fruto. Obtuvieron como resultado una mayor producción de fresa en el tratamiento biosolarizado en comparación con el solarizado y el control.

Garibaldi *et al.* (2010) observaron el efecto del abonado en verde con brassicas, y la aplicación de harina de brassicas desgrasadas con solarización (biosolarización) para el control de la verticilosis que afecta a la berenjena (*Verticillium dahliae*). Obtuvieron un mayor rendimiento en el cultivo de la berenjena cuando aplicaron solarización junto con la adición de brassicas en verde, lo que representaría una biosolarización.

Mauromicale *et al.* (2010) ensayaron la influencia de la solarización del suelo suplementado con distintas materias orgánicas sobre la producción de un cultivo de tomate. Los autores encuentran un aumento en la producción cuando incorporan estiércol vacuno, gallinaza y cuero previo a la solarización, alcanzando incrementos en la producción de hasta un 70% según dosis.

Mauromicale *et al.* (2011) evaluaron el efecto de solarización suplementada con materia orgánica (biosolarización) en la producción de tomate cultivado bajo invernadero en Sicilia. Obtuvieron como resultado una mayor producción en el tratamiento que había sido enmendado con mayor

cantidad de materia orgánica (humus) en comparación con un testigo sin enmendar.

Lombardo *et al.* (2012) realizaron un ensayo en el que comprobaron el efecto de la solarización y la biofumigación sobre distintas enfermedades de origen telúrico y su influencia posterior en un cultivo con de tomate en invernadero. Para ello realizaron un abonado de fondo con fertilizantes inorgánicos, seguido de la aplicación de estiércol compostado de vacuno y gallinaza y posteriormente un sellado del suelo con un filme plástico. Como resultado obtuvieron en producción una mejora en los tratamientos con materia orgánica, en comparación con un testigo desinfectado químicamente, y que el control sin desinfección.

Martínez *et al.* (2006) ensayaron el efecto de la biosolarización reiterada sobre la producción en cultivos de pimiento, durante 6 campañas consecutivas, en un invernadero experimental situado en el Campo de Cartagena. Para ello utilizaron como materia orgánica estiércol fresco de oveja y gallinaza, la cual fue añadida en dosis decreciente con el transcurso de los años (10 a 2,5 kg·m⁻²). La biosolarización proporcionó niveles de producción similar o superior al bromuro de metilo y al testigo no desinfectado. Los autores afirman que las diferencias observadas pueden corresponder, en parte al efecto desinfectante y en parte a la materia orgánica, ya que tanto en el suelo desinfectado con bromuro de metilo como en el no desinfectado no se aportó materia orgánica.

Hansen y Keinath (2013) evaluaron el incremento en la producción de pimiento cuando se aplica la biofumigación con cultivos de Brassicas como cobertura (*Raphanus sativus* L., *Brassica juncea* L., *Brassica napus* L.). Todos los tratamientos produjeron más que el testigo sin materia orgánica, aunque con una mayor presencia de “Blossom en rot”, causada por un desequilibrio hídrico y descompensación en la proporción Calcio/Nitrógeno.

Michel (2014) realizó una revisión de los trabajos realizados durante la última década en biosolarización en Suiza. El autor encontró un beneficio en el uso de harina de *Brassica* desgrasada y deshidratada en un cultivo de tomate (cv. Admiro) frente a distintas enfermedades (*Verticillium dahliae*, *Pyrenochaeta lycopersici* y *Colletotricum cococodes*) cuando la presión de la enfermedad era relativamente baja, obteniendo en todos los casos una mayor producción, sin embargo, en otro ensayo posterior cuando la presión de la enfermedad fue muy alta, las harinas de brassicas no tuvieron un efecto en la producción.

Díaz-Hernández *et al.* (2017) ensayaron el efecto de la desinfección de suelos (solarización, biosolarización y químico) sobre la producción en un cultivo de tomate bajo malla. Para ello compararon el uso de estiércol caprino y del metam-sodio como agentes desinfectantes. Encontraron una mejora en la producción con la biosolarización y la solarización durante los tres años de ensayo. La biosolarización resultó ser la mejor técnica en dos de las tres campañas. Los autores concluyen que la eliminación más eficiente de patógenos por parte de las técnicas de desinfección respetuosas con el medio ambiente fue la razón por la que produjeron más que en comparación con la desinfección química.

Como queda patente en las investigaciones mostradas anteriormente, la mejora de la producción no puede desligarse del control de la enfermedad en suelos infectados con algún patógeno mediante el empleo de la biosolarización.

1.3.6.2 Influencia de la biodesinfección en la calidad del fruto

En el citado trabajo de Porras *et al.* (2009a) estudiaron el efecto de la biofumigación con pellets de *Brassica carinata* y solarización (biosolarización) para el control de *Phytophthora* spp. en un cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) y su influencia en la calidad del fruto, como resultado obtuvieron que los frutos procedentes del tratamiento biosolarizado fueron los que presentaron un mayor tamaño durante las dos campañas, mostrando diferencias significativas con el resto de tratamientos desde el primer cultivo.

Mauromicale *et al.* (2011) evaluaron el efecto de solarización suplementada con materia orgánica (biosolarización) en la calidad de tomate cultivado bajo invernadero en Sicilia. Para ello aplicaron con biosolarización dosis crecientes de materia orgánica (humus), encontrando un aumento proporcional en parámetros relativos a la calidad del fruto tales como el peso fresco, el contenido en materia seca, el grosor del mesocarpo o el número de semillas por fruto. Se vieron afectados de la misma forma el color del fruto, la acidez valorable y el contenido en sólidos solubles.

Marín-Guirao *et al.* (2016) analizaron el efecto de la biosolarización y biofumigación en invernadero y su influencia en la calidad del fruto del tomate. Emplearon para ello distintas materias orgánicas, pellets de *Brassica carinata*, restos de brócoli deshidratados entre otros. Los autores encontraron durante el primer año de cultivo una mejora en la firmeza en los tratamientos biofumigados mientras que el diámetro, contenido en sólidos solubles, color y

acidez del fruto no mostraron diferencias entre las dos técnicas de desinfección. En el segundo cultivo no encontraron diferencias entre tratamientos, debido posiblemente a que no se reiteró la adición de materia orgánica junto con la biodesinfección.

1.3.6.3 Influencia de la biodesinfección en la morfología de la planta

Chen *et al.* (2000) evaluaron la aplicación de materia orgánicas solubles (ácidos húmicos extraídos de suelos que habían sido solarizados) como potenciador del crecimiento vegetal en suelos solarizados y sin solarizar en un cultivo de maíz. (*Zea mays L. cv Jubilee*) obteniendo un mayor peso seco de raíz y tallo para los tratamientos solarizados de manera significativa.

Porras *et al.* (2009a) estudiaron el efecto de la biofumigación con pellets de *Brassica carinata* y solarización (biosolarización) para el control de *Phytophthora spp.* en un cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) y su influencia en la morfología de la planta, concretamente en la superficie foliar que presentaban las plantas procedentes de cada tratamiento. Los autores concluyeron que el área foliar se vio influenciada por el tratamiento aplicado, siendo las plantas del tratamiento biosolarizado las que obtuvieron durante los dos años de ensayo las hojas más grandes, y su consiguiente influencia en el resto de parámetros productivos.

Mauromicale *et al.* (2010) ensayaron la influencia de la solarización del suelo suplementado con distintas materias orgánicas (estiércol vacuno, gallinaza y cuero) sobre el crecimiento de un cultivo de tomate (morfología). Demuestran que parámetros como el peso fresco de la planta, el número de hojas, el número de ramilletes y el diámetro se vieron incrementados linealmente a la cantidad de materia orgánica aportada. Mientras que el peso seco se vio reducido con el aporte de materia orgánica.

Lombardo *et al.* (2012) realizaron un ensayo en el que comprobaron el efecto de la solarización y la biofumigación sobre distintas plagas y su influencia posterior en el crecimiento y desarrollo de un cultivo de tomate en invernadero. Como tratamientos utilizaron un abonado de fondo con fertilizantes inorgánicos, seguido de la aplicación de estiércol compostado de vacuno y gallinaza. El diámetro del tallo y el número de hojas y de ramilletes se vieron afectados significativamente por el tratamiento al suelo. Las plantas cultivadas en el suelo biosolarizado desarrollaron más hojas por tallo que el desinfectado químicamente y el control. Puesto que todos los tratamientos habían contado con un soporte nutricional mineral, estas diferencias se

debieron al proceso de desinfección y su interacción con la materia orgánica empleada.

Stapleton *et al.* (1985) estudiaron el efecto de la solarización sobre el crecimiento de rábano (*Raphanus sativus* cv. White Icicle) y lechuga (*Lactuca sativa* cv. Parris Island). Para ello, los suelos que habían sido solarizados fueron utilizados para realizar un ensayo en macetas. En primer lugar realizaron un cultivo de rábano, que posteriormente fue cosechado para dar paso al cultivo de lechuga y comprobar el efecto residual de la técnica. Obtuvieron como resultados un mayor peso seco en los tratamientos solarizados para el cultivo de rábano. La producción de lechuga se vio más afectada por la nutrición mineral que se aplicaba durante el cultivo que por la solarización, por lo que los autores sugieren la necesidad de realizar la solarización entre cada cultivo.

1.3.6.4 Influencia de la biodesinfección en las propiedades físico químicas del suelo

Marín-Guirao *et al.* (2016) analizaron el efecto de la biosolarización y biofumigación en invernadero y su influencia en el estado nutricional del suelo. Emplearon para ello distintas materias orgánicas, pellets de *Brassica carinata*, restos de brócoli deshidratado entre otros. Los autores encontraron que tras la desinfección el contenido en nitratos se incrementó en todos los tratamientos, testigo incluido, si bien es cierto que el empleo de la biosolarización como técnica desinfectante obtuvo mejores resultados en la retención de nitratos, pudiendo deberse al régimen de riego diferente aplicado a cada tratamiento.

Fernández-Bayo *et al.* (2017) ensayaron el efecto de la enmienda con digestatos anaerobios de restos de cosecha aplicados mediante biosolarización sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Los autores obtuvieron una baja tasa de mineralización de Nitrógeno causado por una baja presencia de bacterias nitrificantes, un aumento en la concentración de Fósforo, aunque el Potasio y Amonio se mantuvieron constantes.

Mauromicale *et al.* (2010) evaluaron el efecto de la aplicación de distintos estiércoles (vacuno, gallinaza y cuero) junto con la biosolarización sobre las propiedades físico químicas del suelo, encontrando tras el cultivo de tomate un incremento tanto en las concentraciones de K_2O , P_2O_5 y Nitrógeno total.

Los mismos autores en un ensayo similar al anterior (Mauromicale *et al.*, 2011), en el que de nuevo incorporan al suelo previo a la solarización de la materia orgánica (humus) encuentran en los análisis físico-químicos del suelo entre otros: un incremento de NO_3^- , un equilibrio en la concentración de

nitrógeno total y una disminución en la concentración de K_2O y P_2O_5 tras un cultivo de tomate.

1.3.7 Ensayos en los que se utiliza la Materia Orgánica como fuente de nutrición

1.3.7.1 Influencia de la Materia orgánica en la producción de tomate

Los siguientes autores no aplicaron biosolarización junto con la adición de la materia orgánica, pero sus estudios resultan de interés debido a la relación materia orgánica y producción de tomate.

Heeb *et al.* (2005) compararon el efecto de distintas nutriciones y su efecto sobre la producción de un cultivo de tomate. Los tratamientos evaluados fueron una fertilización inorgánica a distintas proporciones de NO_3^- / NH_4^+ frente a un tratamiento orgánico (gallinaza y harinas de origen animal). Los autores obtuvieron una producción comercial de tomate similar entre la nutrición orgánica e inorgánica, no presentándose diferencias entre tratamientos o dosis aplicadas.

Kalbani *et al.* (2016) estudiaron el uso de diversos estiércoles (vacuno, gallinaza fresca y peletizada y harina de pescado) y su influencia en la producción de tomate. Hallaron que el fertilizante a base de pellets de harina de pescado (5% N) fue el que produjo mayor de frutos de tomate, alcanzando rendimientos por planta de hasta 6 kg.

Togun y Akanbi (2003) compararon la efectividad de los fertilizantes orgánicos compuestos por restos de diversos cultivos suplementados con gallinaza (maíz, pasto de guinea o frijol) frente a una fertilización inorgánica en un cultivo de tomate, y su influencia en la producción. Los autores hallaron que la producción no difirió entre los distintos tratamientos con fertilización y si con respecto a un testigo sin fertilizante. Obtuvieron niveles de producción muy bajos en ambos sistemas de nutrición, debido posiblemente a que el cultivo fue realizado al aire libre.

Gutiérrez-Miceli *et al.* (2007) cuando analizan el efecto del vermicompost de estiércol ovino como suplemento nutritivo en el cultivo del tomate y su influencia en producción, encuentran que la materia orgánica y la fertilización inorgánica produjeron estadísticamente igual.

Islam *et al.* (2017) analizaron el efecto de la fertilización orgánica (distintos tipos de compost y vermicompost) e inorgánica (N-P-K) sobre la producción de tomate, el tratamiento mixto presentó fue el más productivo, seguido de los compost y por último el inorgánico. Estos resultados alientan a seguir investigando en la vía de la mejora de la nutrición vegetal por medio de la

materia orgánica, puesto que los resultados entre la fertilización mixta y el compost difieren menos de un 10%, por lo que habría que analizar económicamente el balance global en la aplicación de los tratamientos.

Bettiol *et al.* (2004) hicieron una comparación entre sistemas de fertilización orgánico (compost sin detallar) e inorgánico en dos cultivares de tomate. Los autores encontraron que las plantas de tomate fertilizadas inorgánicamente presentaron una mayor producción de fruto. Si bien no queda claro en su investigación si las dotaciones de fertilizante fuesen iguales entre los dos sistemas de nutrición empleados.

Xu *et al.* (2001) ensayaron el uso de estiércol compostado de gallinaza frente a nutrición inorgánica a mismas dosis de unidades fertilizantes y su influencia en el desarrollo de un cultivo de tomate, como resultados los autores destacan que la producción de tomate fue semejante entre las nutriciones empleadas, el contenido en sólidos solubles en frutos fue mayor en los tratamientos orgánicos.

Stazi *et al.* (2018) en un ensayo de larga duración (13 años) encontraron un efecto positivo en la adición reiterada de materia orgánica frente al uso de fertilizantes de origen inorgánico. Los tratamientos aplicados al suelo fueron rotaciones de trigo-tomate-guisante junto con un abonado en verde con veza y colza además de una fertilización inorgánica. Encontraron como la producción comercial de tomate fue superior en los tratamientos enmendados.

Riahi *et al.* (2009) estudiaron la influencia de la nutrición (orgánica e inorgánica) en un ensayo de variedades de tomate. Los tratamientos orgánicos empleados estaban compuestos por composts mixtos a base de estiércoles de ganado vacuno y caballo, gallinaza y desechos de almazaras junto con fertilizantes líquidos comerciales (ácidos húmicos y fúlvicos). Los autores obtuvieron como resultados una producción superior con la nutrición inorgánica posiblemente debido a que las dosis aplicadas fueron diferentes entre sistemas de nutrición.

Elia *et al.* (2007) evaluaron distintos tipos de compost (residuos de almazara, lodos y residuos de naranja) frente a fertilización inorgánica para nutrir un cultivo de tomate. Aplicaron las mismas dosis de nitrógeno en ambos sistemas de producción obteniendo rendimientos productivos semejantes. Esta investigación pone de manifiesto que si las dosis de abonado aplicadas son semejantes entre sí, a pesar de la liberación más lenta de nutrientes por parte del compost, se pueden obtener producciones iguales para un cultivo de tomate.

Yanar *et al.* (2011) estudiaron el efecto de diferentes fertilizantes orgánicos (dos preparados comerciales y dos compost de estiércol vacuno y gallinaza) frente a la fertilización inorgánica en la producción de un cultivo de tomate. Como resultados obtuvieron una mayor producción en los tratamientos enmendados con estiércoles compostados.

Reeve y Drost (2012) estudiaron el efecto del abonado de fondo tanto con fertilizantes orgánicos como inorgánicos a diversas dosis sobre la producción del fruto de tomate. El fertilizante orgánico empleado fue un compost de gallinaza, mientras que el inorgánico un formulado de liberación lenta. En ambos sistemas no aplicaron fertilización durante el desarrollo del cultivo. Como resultados obtuvieron que durante el primer año tanto la producción de tomate como el número de frutos fueron superiores en la fertilización inorgánica mientras que en los siguientes dos años las producciones se igualaron.

Taiwo *et al.* (2007) ensayaron el efecto de la fertilización orgánica (compost de gallinaza y restos vegetales de maíz) e inorgánica en la producción de tomate. Obtuvieron como resultados una mayor producción en el tratamiento enmendado con compost de gallinaza.

Murmu *et al.* (2013) estudiaron el uso de vermicompost y restos de cultivo de maíz frente a fertilización inorgánica y su influencia en la producción de los frutos de tomate. Obtuvieron como resultados durante los dos años de ensayo una mayor producción en los tratamientos con nutrición inorgánica.

López-Martínez *et al.* (2016) evaluaron el efecto del abonado orgánico e inorgánico líquido en un cultivo de tomate crecido en sustrato sobre la producción de tomate. Reportan producciones muy inferiores en los tratamientos orgánicos, debido a la diferencia de dosis de fertilizante entre sistemas de nutrición. De la misma forma el diámetro del fruto fue mayor con la fertilización inorgánica. En contrapartida, los frutos procedentes de los tratamientos orgánicos presentaron un mayor contenido en azúcares (^oBrix) probablemente debido al estrés al que fueron sometidas las plantas.

Kumar *et al.* (2007) ensayaron la recuperación de variedades tradicionales de tomate mediante cultivo orgánico con harinas animales y fertilización inorgánica. Obtuvieron como resultado una producción de tomate semejante entre sistemas de nutrición y muy similar entre variedades.

Heeb *et al.* (2006) estudiaron la influencia de la fertilización orgánica e inorgánica en la producción de tomate. Utilizaron como fertilizante orgánico un abonado en verde con trébol para forraje a dosis similares a la fertilización inorgánica empleada. Obtuvieron un menor rendimiento productivo en los

tratamientos orgánicos, los autores especulan que puede ser debido a una falta de azufre el cual resulta necesario para la formación de estructuras para la planta.

Márquez-Hernández *et al.* (2013) evaluaron la producción de tomate mediante el uso de fuentes orgánicas de fertilización en invernadero (compost comercial sin detallar). Los autores obtuvieron la misma producción de tomate en los tratamientos fertilizados inorgánicamente y los que fueron enmendados con compost y suplementados bien con fertilización orgánica o inorgánica.

Boček *et al.* (2008) ensayaron el uso de distintas materias orgánicas (turba suplementada, gallinaza y paja, y estiércol vacuno peletizado) frente a un tratamiento fertilizado inorgánico y su influencia en la producción de tomate. Encontraron que parámetros como la producción, número de frutos y peso por fruto no difirieron entre tratamientos.

Moccia *et al.* (2006) observaron como en un ensayo de largo recorrido (7 años) las aplicaciones continuadas de estiércol (sin especificar origen) resultan en una producción similar de tomate cuando lo comparan con la aplicación de fertilizantes de síntesis. Cuando evaluaron el abonado en verde con avena, este no sule las necesidades del cultivo, produciendo menos cantidad de tomate.

Guajardo-Ríos *et al.* (2018) evaluaron la nutrición de plantas de tomate con harinas animales (vacuno y pescado) para sustituir la fertilización inorgánica. Los autores diseñan el ensayo a igualdad de dosis de unidades fertilizantes. Como resultados obtuvieron una producción de tomate semejante entre tratamientos.

Montagu y Goh (1990) ensayaron el uso de dos fertilizantes inorgánicos y dos orgánicos (compost y harinas de hueso y sangre) en un cultivo de tomate en macetas en invernadero. La producción se vio afectada tanto por la dosis de fertilizante como por el tipo siendo el tratamiento con harina de hueso y sangre igual de productivo que la fertilización inorgánica, mientras que el uso de compost produjo en menor cuantía. Los autores especulan pudo ser debido a una descompensación en la proporción C/N, a un menor contenido en nitrógeno o a la necesidad de un periodo de transición para que el nitrógeno se mineralice.

Sandei *et al.* (2013) ensayaron la influencia del abonado (orgánico e inorgánico) en la producción del fruto de tomate cultivado al aire libre. Los autores no describen la nutrición orgánica empleada o la dosis aplicada, tampoco si la nutrición fue aplicada en igualdad de unidades fertilizantes.

Como resultados encontraron una disminución en la producción (50% menos) cuando comparan la nutrición orgánica con respecto a la inorgánica.

Nguyen *et al.* (2015) estudiaron el efecto de la fertilización líquida (orgánica e inorgánica) en la producción de tomate tipo “cherry”. La fertilización inorgánica estuvo compuesta por una solución NPK estándar, mientras que el preparado orgánico estaba compuesto por restos de cosecha de algodón. Los autores encontraron que ambos sistemas de nutrición obtienen producciones semejantes.

Toor *et al.* (2006) compararon el uso de estiércoles de gallinaza y abonado en verde frente a la fertilización inorgánica. Los tratamientos orgánicos provocaron una menor producción de tomate, aunque sin presentar diferencias significativas.

Oikeh y Asiegbu (1993) en un estudio realizado para testar el efecto de estiércoles de cerdo, conejo, gallinaza y lodos de depuradora frente a una fertilización inorgánica. Los autores cuando analizaron la influencia de la nutrición en la producción del fruto de tomate, obtuvieron un mayor rendimiento de forma significativa en los tratamientos con estiércoles.

1.3.7.2 Influencia de la Materia orgánica en la calidad del fruto de tomate

Ilić *et al.* (2014) cuando evaluaron la composición de frutos de tomate nutridos mediante sistemas orgánico (estiércol caprino) e inorgánico encontraron que para todos los nutrientes examinados no existen diferencias, los tomates procedentes de nutrición orgánica no son más nutritivos que los inorgánicos. Los autores concluyen que las diferencias composicionales de los frutos se deben más al factor del cultivar que a la nutrición empleada.

Madrid *et al.* (2009) estudiaron el efecto de la nutrición orgánica e inorgánica en los parámetros de calidad relacionados con el fruto de tomate. Utilizaron como enmiendas orgánicas estiércol ovino y una mezcla de estiércol ovino y turba. Cuando analizaron el color del fruto obtuvieron valores muy semejantes entre tratamientos, independientemente de la nutrición empleada y sí relacionado con el estado fenológico de la planta. En cuanto a la morfología del fruto, los autores no encontraron una diferencia en el tamaño del fruto (diámetro ecuatorial y longitud) y peso. Las propiedades químicas de los frutos cosechados tampoco difirieron entre sistemas de nutrición, mostrando los frutos un pH comprendido entre 4,3-4,5 y °Brix 3,3-4,0.

Riahi *et al.* (2009) estudiaron la influencia de la nutrición (orgánica e inorgánica) en un ensayo de variedades de tomate. Los tratamientos orgánicos empleados estaban compuestos por composts mixtos a base de estiércoles de

ganado vacuno y caballo, gallinaza y desechos de almazaras junto con fertilizantes líquidos comerciales (ácidos húmicos y fúlvicos). Obtuvieron como resultados que la calidad de los frutos de tomate no se mostró afectada (Peso fresco, °Brix, pH o firmeza) para la mayoría de variedades.

Sandei *et al.* (2013) ensayaron la influencia del abonado (orgánico e inorgánico) en la calidad del fruto de tomate cultivado al aire libre. Los autores no describen la nutrición orgánica empleada o la dosis aplicada, tampoco si la nutrición fue aplicada en igualdad de unidades fertilizantes. Como resultados encontraron que la calidad del fruto de tomate no se vio afectada por el método de aporte nutritivo empleado.

Thybo *et al.* (2006) estudiaron el efecto de la aplicación de compost y un abonado en verde con hojas de trébol sobre la calidad de los frutos de tomate. Los autores no realizaron una comparación con un tratamiento con fertilización inorgánica, pero obtuvieron una calidad de frutos que presentaban unas características organolépticas y de composición aptas para consumo.

Elia *et al.* (2007) evaluaron distintos tipos de composts (residuos de almazara, lodos y residuos de la industria de la naranja) frente a fertilización inorgánica para nutrir un cultivo de tomate. Aplicaron las mismas dosis de nitrógeno en ambos sistemas de producción obteniendo un contenido en sólidos solubles similar entre tratamientos.

Yanar *et al.* (2011) estudiaron el efecto de diferentes fertilizantes orgánicos (dos preparados comerciales y dos compost de estiércol vacuno y gallinaza) y de la fertilización inorgánica en la calidad de un cultivo de tomate. Como resultados obtuvieron un tamaño del fruto semejante con ambas fertilizaciones.

Murmu *et al.* (2013) estudiaron el uso de vermicompost y restos de cultivo de maíz frente a fertilización inorgánica y su influencia en la calidad de los frutos de tomate. Obtuvieron durante los dos años de ensayo que la calidad del fruto fue mejor en el tratamiento con vermicompost (mayor tamaño y contenido en sólidos solubles).

López-Martínez *et al.* (2016) evaluaron el efecto del abonado orgánico e inorgánico líquido en un cultivo de tomate crecido en sustrato sobre la calidad de los frutos de tomate. Obtuvieron como resultados que el diámetro del fruto fue mayor con la fertilización inorgánica. En contrapartida, los frutos procedentes de los tratamientos orgánicos presentaron un mayor contenido en azúcares (°Brix).

Kumar *et al.* (2007) ensayaron la recuperación de variedades tradicionales de tomate mediante cultivo orgánico con harinas animales y fertilización inorgánica. Los autores analizaron el contenido en nitratos en fruto, no encontrando diferencias entre ratios de aplicación del fertilizante.

Pieper y Barrett (2009) estudiaron el efecto de los sistemas de producción orgánicos e inorgánicos en la calidad de los frutos de tomate. Ensayaron el uso de gallinaza de pollo y pavo como enmiendas orgánicas. Como resultados obtuvieron que parámetros como pH y °Brix no presentaron diferencias debido al método de nutrición empleado.

Ilic *et al.* (2013) evaluaron el efecto de la nutrición con materia orgánica (estiércol caprino aplicado a una cantidad de $0,3 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$) sobre la calidad de frutos de tomate, los autores encontraron un contenido de nitratos en frutos y pH similar entre tratamientos.

Nguyen *et al.* (2015) estudiaron el efecto de la fertilización (orgánica e inorgánica) en la calidad del fruto de tomate cherry. La fertilización inorgánica estuvo compuesta por una solución N-P-K estándar, mientras que el preparado orgánico estaba formado por restos de cosecha de algodón. El análisis composicional del fruto mostró que los enmendados con abono orgánico tenían un menor contenido en nitritos y nitratos que los fertilizados inorgánicamente.

Nassur *et al.* (2012) ensayaron el uso de compost (sin describir) en dosis crecientes para nutrir un ensayo de variedades de tomate. Encontraron relaciones entre parámetros de calidad de los frutos de ciertas variedades con las dosis de compost aplicadas. Los genotipos San Vito y Júpiter incrementaron su coloración roja en relación a la dosis de compost, mientras que la variedad HEM031 incrementó su dureza en función a la cantidad de compost aplicada. Los autores concluyen que el contenido de nitrato en fruto estaba íntimamente relacionado con el tipo de híbrido de tomate empleado.

Márquez-Hernández *et al.* (2013) evaluaron la calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero (compost comercial sin detallar). La calidad de los frutos de tomate (peso del fruto y diámetro) no se vieron afectados por el tipo de nutrición y sí el contenido en sólidos solubles, presentando el tratamiento con fertilización inorgánica exclusiva los valores más bajos.

Guajardo-Ríos *et al.* (2018) evaluaron la nutrición de plantas de tomate con harinas animales (vacuno y pescado) para sustituir la fertilización inorgánica. Los autores diseñaron el ensayo a igualdad de dosis de unidades fertilizantes. La calidad de los frutos (°Brix y firmeza) fueron semejantes entre

tratamientos, el contenido en nitratos en fruto fue igualado entre uno de los tratamientos orgánicos (dosis intermedia) y la fertilización inorgánica convencional.

Ferreira *et al.* (2006) estudiaron la influencia de la nutrición orgánica en la calidad de tomate. El pH de los frutos de tomate se vio incrementado por la dosis de fertilizante empleada. El contenido en sólidos solubles no fue afectado por la concentración de nitrógeno empleada en el abonado. Cuando analizaron el contenido en nitratos en fruto encontraron un incremento en su concentración en concordancia con el aumento de la dosis de fertilización.

Worthington (2001) realizó una revisión bibliográfica para intentar aclarar como el tipo de fertilización (orgánica e inorgánica) afecta a la calidad de diversos frutos. En el estudio de 41 trabajos relacionados encontró como los cultivos orgánicos en promedio contenían significativamente más vitamina C, Mg y P mientras que presentaban un menor contenido en nitratos que los cultivos fertilizados inorgánicamente. La autora concluye que los cultivos orgánicos mostraron en conjunto una mejor calidad nutricional y un menor contenido en metales pesados en comparación con los inorgánicos.

Svec *et al.* (1976) evaluaron la composición de frutos de tomate nutridos mediante enmiendas orgánicas (estiércol vacuno fresco, harina de semilla de algodón y harina de sangre) además de una fertilización inorgánica. Obtuvieron una concentración de nitrógeno en fruto del 5,06 % en orgánico mientras que solo un 3,52 % en inorgánico.

Toor *et al.* (2006) encontraron que el uso de estiércoles de gallinaza y abonado en verde frente a la fertilización inorgánica influyeron en la calidad del fruto de tomate. El pH de los frutos fue mayor en los frutos procedentes de fertilización inorgánica. El contenido en sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix) y nitratos fue semejante entre ambos sistemas. Los autores afirman que el nitrógeno pudo ser parcialmente perdido por volatilización y los nutrientes pudieron ser liberados lentamente por los fertilizantes orgánicos lo que resultó en una menor disposición para la planta.

Xu *et al.* (2001) ensayaron el uso de estiércol compostado de gallinaza frente a nutrición inorgánica a mismas dosis de unidades fertilizantes y su influencia en la calidad del fruto de tomate, como resultados los autores destacan el contenido en sólidos solubles fue mayor en los tratamientos orgánicos.

1.3.7.3 Influencia de la Materia orgánica en la morfología de la planta de tomate

Los siguientes autores no aplicaron la materia orgánica mediante biosolarización, pero sus estudios resultan interesantes debido a la relación entre la materia orgánica y la morfología de la planta de tomate.

Heeb *et al.* (2005) compararon el efecto de distintas nutriciones y su efecto sobre un cultivo de tomate. Los tratamientos evaluados fueron una fertilización inorgánica a distintas proporciones de $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ frente a un tratamiento orgánico (gallinaza y harinas de origen animal). Los autores obtuvieron como resultados una producción de biomasa (peso seco de la planta) significativamente menor en los tratamientos orgánicos con respecto a los inorgánicos. Mostrando menos desarrollo morfológico con respecto a todos los tratamientos y concentraciones. Como ha sido comentado anteriormente en el apartado de producción, este incremento en tamaño y estructura de la planta no se vio correspondido en producción, no encontrándose diferencias en el rendimiento obtenido entre orgánico e inorgánico a distintas dosis.

Bender *et al.* (2008) evaluaron el efecto de la materia orgánica (estiércol vacuno) y el uso de cubiertas vegetales como mulching sobre la morfología de la planta de tomate en un cultivo en invernadero. Los autores encontraron que los mulching vegetales mejoraron parámetros como la altura de la planta, la longitud y grosor de las raíces. Debido a la mejora en la aireación del suelo, incremento de temperatura o retención de agua.

Kalbani *et al.* (2016) estudiaron el uso de diversos estiércoles (vacuno, gallinaza fresca y peletizada y harina de pescado) y su influencia en la morfología de la planta de tomate. La morfología de la planta (crecimiento y desarrollo foliar) fue afectada positivamente por los tratamientos aplicados en comparación a un testigo. El tratamiento compuesto por gallinaza y harina de pescado proporcionó un mayor crecimiento para el híbrido Isabella F1.

Joshi y Vig (2010) analizaron el efecto del vermicompost vacuno a tres diferentes dosis frente a un testigo sin enmendar. Los parámetros morfológicos analizados fueron influenciados por el tratamiento, no mostrando diferencias entre los enmendados y sí con el testigo. Las plantas de tomate con enmienda fueron más altas, con un diámetro de tallo y número de hojas mayor.

de Brito *et al.* (1995) evaluaron el efecto de diversos compost (serrín y purines de cerdo líquido; estiércol vacuno, ovino, gallinaza y turba) en la microflora de la rizosfera de plantas de tomate y su incidencia en la promoción

del crecimiento de la planta. Los autores encontraron que el uso de compost de restos vegetales y diversos estiércoles mejoró el desarrollo vegetativo de la planta, aumentando parámetro como el peso seco por planta en comparación con un testigo sin aporte de materia orgánica.

Togun y Akanbi (2003) compararon la efectividad de los fertilizantes orgánicos (restos de diversos cultivos) frente a una fertilización inorgánica en un cultivo de tomate, y su influencia en el crecimiento de la planta. Los autores encontraron un mayor desarrollo de la planta (diámetro del tallo) a favor de la materia orgánica, mientras que el resto de parámetros (altura, área foliar y número de ramilletes) no se vieron afectados por los tratamientos.

Gutiérrez-Miceli *et al.* (2007) cuando analizaron el efecto del vermicompost de estiércol ovino como suplemento nutritivo en el cultivo del tomate y su influencia en la morfología de la planta, encontraron que la materia orgánica mejora la estructura de la planta, produciendo plantas de un mayor tamaño y diámetro del tallo.

Chanda *et al.* (2011) estudiaron el efecto del vermicompost y estiércol de granja sobre la morfología de la planta de tomate, cuando realizan una comparación con un cultivo con fertilización inorgánica aprecian que existen diferencias significativas entre tratamientos, mostrando las plantas crecidas mediante tratamientos con materia orgánica, un peso seco y número de hojas mayor.

Siddiqui y Akhtar (2008) evaluaron el efecto de diversas materias orgánicas sobre el crecimiento de la planta de tomate (altura y peso seco de la raíz). Como resultados obtuvieron que la altura de la planta se vio influenciada por el tipo de materia orgánica empleada, siendo los restos vegetales de neem y los biosólidos de depuradora los que produjeron las plantas más altas, seguido del estiércol de caballo, serrín de la industria maderera o el control sin fertilización. En cuanto al peso de la raíz el tratamiento que tuvo una influencia en el desarrollo radical fue el compuesto por los restos de plantas de neem.

Gagnon y Berrouard (1994) ensayaron tres tipos de fertilizantes orgánicos compuestos por restos de cultivo de colza y soja, restos de harinas animales y vegetales y lodos de depuradora a diversas dosis. Los autores resumen en sus resultados que el aporte de la materia orgánica favoreció en todos los casos el desarrollo vegetativo de la planta de tomate en comparación de un tratamiento sin aporte fertilizante.

Oikeh y Asiegbu (1993) en un estudio realizado para testar el efecto de estiércoles de cerdo, conejo, gallinaza y lodos de depuradora frente a una fertilización inorgánica. Obtuvieron como resultados, una morfología de la

planta de tomate (diámetro del tallo, altura de la planta, área foliar y número de hojas) semejante entre los dos sistemas de fertilización.

Islam *et al.* (2017) analizaron el efecto de la fertilización orgánica (distintos tipos de compost y vermicompost) e inorgánica (NPK). Los tratamientos empleados para ello fueron: vermicompost, compost, compost más aplicación de fertilización inorgánica, fertilización inorgánica y un testigo sin fertilización. El tratamiento que proporcionó un mayor desarrollo vegetativo de la planta de tomate fue el compuesto por compost y fertilización inorgánica, produciendo plantas de mayor porte, que se tradujo en un mayor número de ramilletes y flores.

Kashem *et al.* (2015) ensayaron el efecto sobre un cultivo de tomate de la adición de vermicompost de estiércol vacuno y una fertilización inorgánica. Los autores concluyeron que el vermicompost de estiércol vacuno mejoró el crecimiento de la planta de tomate, y del número de frutos con respecto a la fertilización inorgánica.

Pinto-Gomes *et al.* (2017) evaluaron el aporte de harina desgrasada de ricino, junto con cenizas de eucalipto como fertilizantes. Cuando aplican la mayor dosis obtuvieron plantas de tomate más vigorosas, presentando una altura, número de hojas, ramilletes y frutos mayor. Los autores no utilizaron ningún testigo o tratamiento inorgánico para realizar comparaciones.

Bettiol *et al.* (2004) hicieron una comparación entre sistemas de fertilización orgánico (compost sin detallar) e inorgánico en dos cultivares de tomate. Los autores encontraron que las plantas de tomate fertilizadas inorgánicamente presentaron un mayor desarrollo, con una altura final significativamente mayor. Los autores no especifican si las unidades fertilizantes empleadas fueron semejantes entre sistemas de nutrición.

Reeve y Drost (2012) estudiaron el efecto del abonado de fondo tanto con fertilizantes orgánicos como inorgánicos de lenta liberación a diversas dosis sobre la morfología de la planta de tomate. El fertilizante orgánico empleado fue un compost de gallinaza, mientras que el inorgánico un formulado de liberación lenta. El peso de las plantas era medido a final del cultivo durante los tres años de ensayo. Como resultado presentan que el peso de la planta tendió a igualarse al final del ensayo, mostrando solo diferencias entre nutriciones durante el primer cultivo.

Taiwo *et al.* (2007) ensayaron el efecto de la fertilización orgánica (compost de gallinaza y restos vegetales de maíz) e inorgánica en la morfología de la planta de tomate. Obtuvieron como resultados que los tratamientos con

compost y urea provocaron un mayor desarrollo de la planta comparado con el resto de tratamientos.

Heeb *et al.* (2006) estudiaron la influencia de la fertilización orgánica e inorgánica en la morfología de la planta de tomate. Utilizaron como fertilizante orgánico un abonado en verde con trébol para forraje a dosis similares a la fertilización inorgánica empleada. El contenido en nitrógeno en hoja fue mayor en el tratamiento orgánico, lo que indica una tendencia vegetativa de la planta, esto es apoyado por los resultados del peso final de la planta, donde el tratamiento orgánico presentó una biomasa mayor.

Márquez-Hernández *et al.* (2013) evaluaron la morfología de la planta de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero (compost comercial sin detallar). Los autores obtuvieron resultados en función del híbrido empleado, siendo “Big beef” el que presentó la misma altura final con ambos sistemas de nutrición.

Guajardo-Ríos *et al.* (2018) evaluaron la nutrición de plantas de tomate con harinas animales (vacuno y pescado) para sustituir la fertilización inorgánica. Los autores diseñan el ensayo a igualdad de dosis de unidades fertilizantes. La morfología de la planta fue afectada por los tratamientos, presentando las plantas fertilizadas inorgánicamente un mayor desarrollo (altura, área foliar y diámetro del tallo).

Nguyen *et al.* (2015) estudiaron el efecto de la fertilización (orgánica e inorgánica) en la morfología de la planta de tomate tipo “cherry”. La fertilización inorgánica estuvo compuesta por una solución NPK estándar, mientras que el preparado orgánico estaba compuesto por restos de cosecha de algodón. Los autores encontraron que ambos sistemas de nutrición provocaron en la planta el mismo desarrollo foliar.

Toor *et al.* (2006) encontraron que el uso de estiércoles de gallinaza y abonado en verde, frente a la fertilización inorgánica como nutrición para un cultivo de tomate, provocaron un menor desarrollo vegetativo de las plantas procedentes de los tratamientos orgánicos.

1.3.7.4 Influencia de la Materia orgánica en el estado nutricional del suelo

Islam *et al.* (2017) analizaron el efecto de la fertilización orgánica (distintos tipos de compost y vermicompost) e inorgánica (NPK) sobre las propiedades físico químicas del suelo, no se vieron afectadas por la aplicación de materia orgánica o fertirriego, por lo que las extracciones de nutrientes por la planta pudieron dejar al suelo como en su estado inicial previo al cultivo.

Reeve y Drost (2012) estudiaron el efecto del abonado de fondo tanto con fertilizantes orgánicos como inorgánicos de lenta liberación a diversas dosis sobre el estado nutricional del suelo tras varios cultivos de tomate. El fertilizante orgánico empleado fue un compost de gallinaza, mientras que el inorgánico un formulado de liberación lenta. Como resultados obtuvieron que la nutrición afectó al contenido final de macronutrientes en el suelo. En los tratamientos orgánicos el contenido en NO_3^- y NH_4^+ se vieron reducidos, mientras que la concentración de K^+ y P aumentaron en comparación a los tratamientos inorgánicos.

Kumar *et al.* (2007) ensayaron la recuperación de variedades tradicionales de tomate mediante cultivo orgánico con harinas animales. Los autores monitorizaron la concentración de nitrógeno en el suelo durante el desarrollo del cultivo el cual mostró un descenso progresivo a lo largo de los muestreos.

Moccia *et al.* (2006) observaron como en un ensayo de largo recorrido (7 años) en el que realizaron aplicaciones continuadas de estiércoles al suelo (sin especificar origen) y fertilización inorgánica el contenido de macronutrientes no se vio afectado salvo en el contenido en fósforo el cual se encontró en mayor proporción en el sistema orgánico. Cuando evaluaron el abonado en verde con avena, este no suplió las necesidades del cultivo, esquilmando el suelo.

Xu *et al.* (2001) ensayaron el uso de estiércol compostado de gallinaza frente a nutrición inorgánica a mismas dosis de unidades fertilizantes y su influencia en el estado nutricional del suelo. La extracción de nutrientes por parte de los cultivos fue semejante en los dos sistemas de producción siendo NO_3^- y K^+ los que disminuyeron a largo del cultivo mientras que P y NH_4^+ permanecieron constantes.

1.4 Justificación

La realización de la presente tesis doctoral queda justificada debido a la problemática expuesta anteriormente, esto es la deficiente gestión de residuos hortícolas y su potencial uso como biofertilizante cuando son incorporados mediante la técnica de biosolarización. Con esta técnica se consigue que la agricultura intensiva, en lugar de ser una actividad que origina contaminación, sea una vía para resolver problemas de impacto ambiental (Bello *et al.*, 2008). Además, esta tesis pretende establecer la base teórica necesaria para desarrollar un cultivo de tomate en invernadero, con la posibilidad de obtener un rendimiento productivo semejante a una fertilización inorgánica en un cultivo de tomate bajo invernadero.

1.5 Hipótesis

La hipótesis en la que se basa esta tesis doctoral, es que el empleo de los restos de cosecha de tomate (*i.e.* tallos, hojas, raíz y frutos inmaduros) cuando son incorporados al suelo mediante biosolarización tienen un efecto positivo en el desarrollo, producción y calidad del cultivo del tomate.

1.6 Objetivo

Para refutar la hipótesis planteada anteriormente, el objetivo general será desglosado y desarrollado de forma particular en cada uno de los capítulos que componen la presente tesis doctoral.

Capítulo 3: Evaluación del aporte de restos de cosecha de tomate mediante la biosolarización y su influencia en la producción comercial de un cultivo de tomate.

Capítulo 4: Evaluación del aporte de restos de cosecha de tomate mediante la biosolarización y su influencia en la calidad del fruto de tomate.

Capítulo 5: Evaluación del aporte de restos de cosecha de tomate mediante la biosolarización y su influencia en la morfología de la planta de tomate.

1.7 Bibliografía

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.

Bailey, K.L., Lazarovits, G., 2003. Suppressing soil-borne diseases with residue management and organic amendments. *Soil and Tillage Research* 72, 169-180.

Barrau, C., De Los Santos, B., Arroyo, F.T., Romero, F., 2005. Combined effects of organic residues and soil treatments on strawberry growth. *Acta Horticulturae* 698, 141-146.

Basallote-Ureba, M.J., Vela-Delgado, M.D., Capote, N., Melero-Vara, J.M., López-Herrera, C.J., Prados-Ligero, 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., Arias, M., López-Pérez, J.A., García-Álvarez, A., Fresno, J., Escuer, M., Arcos, S.C., Lacasa, A., Sanz, R., Gómez, P., Díez-Rojo, M.A., Piedra-Buena, A.,

Goitia, C., De La Horra, J.L., Martínez, C., 2004. Biofumigation, fallow, and nematode management in vineyard replant. *Nematropica* 34, 53-64.

Bello, A., López-Pérez, J.A., Díez-Rojo, M., López-Cepero, J., García-Álvarez, A., 2008. Principios ecológicos en la gestión de los agrosistemas. *Arbor* 184, 19-29.

Bello-Pérez, A., González-Pérez, J.A., Tello, J.C., 1997. La biofumigación como alternativa a la desinfección de suelos. *Horticultura Internacional* 43, 41-43.

Bender, I., Raudseping, M., Vabrit, S., 2008. Effect of organic mulches on the growth of tomato plants and quality of fruits in organic cultivation. *Acta Horticulturae* 779, 341-346.

Berbegal, M., García-Jiménez, J., Armengol, J., 2007. Evaluation of cauliflower residue incorporation followed by tarping for verticillium wilt control in artichoke. *Acta Horticulturae* 730, 399-407.

Bettiol, W., Ghini, R., Galvão, J.A.H., Siloto, R.C., 2004. Organic and conventional tomato cropping systems. *Scientia Agricola* 61, 253-259.

Blanco, C., Romero, F., De Los Santos, B., 2009. Evaluation of an empirical qualitative model for the control of strawberry powdery mildew at South-western Spain. *Acta Horticulturae* 842, 255-258.

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, 253-259.

Boček, S., Malý, I., Patočková, Š., 2008. Yield and quality of bush processing tomatoes fertilized with dried organic and organomineral fertilizers. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 56, 31-38.

Boix-Ruiz, A., Ibáñez-Salvador, M., García-Raya, P., Ruiz-Olmos, C., Gómez-Tenorio, M.A., Marín-Guirao, J.I., Camacho-Ferrea, F., Tello-Marquina, J.C., 2018. Solarization to control *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* on different substrates. *Acta Horticulturae* 1207, 211-216.

Cabrera, A., Uclés, D., Aguera, T., de la Cruz, E., 2017. Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería: Campaña 2016/2017. Editorial Fundación Cajamar 1,1-59.

Camacho-Ferre, F., Callejón-Ferre, A., Fernández-Rodríguez, E., Montoya-García, M., Moreno-Casco, J., Valverde-García, A., Galán-López, M., Rodríguez-Rodríguez, M., 2000. Estudio Técnico de Plan de Higiene Rural, 1, 1-570.

Campiglia, E., Mancinelli, R., Radicetti, E., 2011. Influence of no-tillage and organic mulching on tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) production and nitrogen use in the mediterranean environment of central Italy. *Scientia Horticulturae* 130, 588-598.

Castilla, N., 2013. *Greenhouse Technology and Management*, 2ª ed., CABI: Wallingford, Reino Unido, 1-335.

Cebolla, V., Roselló, J., Ramos, C., Pomares, F., 2010. Nitrate leaching after organic amendment under soil solarization in two different soils and its effects on yield and health of escarole and pepper. *Acta Horticulturae* 883, 259-266.

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.

Chan, K.Y., Heenan, D.P., 1996. The influence of crop rotation on soil structure and soil physical properties under conventional tillage. *Soil & Tillage Research* 37, 113-125.

Chanda, G.K., Bhunia, G., Chakraborty, S.K., 2011. The effect of vermicompost and other fertilizers on cultivation of tomato plants. *Journal of Horticulture and Forestry* 3, 42-45.

Chen, Y., Katan, J., Gamliel, A., Aviad, T., Schnitzer, M., 2000. Involvement of soluble organic matter in increased plant growth in solarized soils. *Biology and Fertility of Soils* 32, 28-34.

de Brito, A.M.A., Gagne, S., Antoun, H., 1995. Effect of Compost on Rhizosphere Microflora of the Tomato and on the Incidence of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 61, 194-199.

Demetrio, R., Guerra, J.G.M., Santos, G.D., De Almeida, D.L., De-Polli, H., Camargo, F.A.D., 1998. Soil nitrogen absorption by corn as affected by crop residues addition. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 33, 481-486.

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.

Díez-Rojo, M.A., López-Pérez, J.A., Arcos, S.C., González-López, M.R., Robertson, L., Guerrero, M.M., Ros, C., Lacasa, A., Torres-Nieto, J.M., de Cara-García, M., Tello-Marquina, J.C., Bello, A., 2008. Soil biodesinfección as an alternative to soil fumigants. *Proceedings of Fifth Internacional Congress of Nematology*, 1, 1-133.

Díez-Rojo, M., 2010. Bases agronómicas para la utilización de restos agrarios en biodesinfección de suelos. Tesis doctoral. Departamento de Producción Vegetal. Escuela técnica superior de Ingenieros Agrónomos, Madrid.

Díez-Rojo, M., López-Pérez, J., Urbano-Terrón, P., Bello, A., 2010. Biodesinfección de suelos y manejo agronómico. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. España. 1-407.

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, 821-829.

Duyar, H., Tuzel, Y., Kilic, O.G., Anac, D., 2009. The Effects of Green Manuring on Organic Head Lettuce Production in Greenhouse. *Acta Horticulturae* 807, 365-370.

Elfstrand, S., Bath, B., Martensson, A., 2007. Influence of various forms of green manure amendment on soil microbial community composition, enzyme activity and nutrient levels in leek. *Applied Soil Ecology* 36, 70-82.

Elia, A., Conversa, G., Trotta, G., Rinaldi, M., 2007. Organic fertilization on soil water content, yield and quality of processing tomato. *Acta Horticulturae* 758, 339-344.

Epstein, E., 1996. *The science of composting*. Routledge 1ª ed., 1-504.

Fernández-Bayo, J.D., Achmon, Y., Harrold, D.R., McCurry, D.G., Hernández, K., Dahlquist-Willard, R.M., Stapleton, J.J., VanderGheynst, J.S., Simmons, C.W., 2017. Assessment of Two Solid Anaerobic Digestate Soil Amendments for Effects on Soil Quality and Biosolarization Efficacy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65, 3434-3442.

Ferreira, M.M.M., Ferreira, G.B., Fontes, P.C.R., Dantas, J.P., 2006. Qualidade do tomate em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas estações. *Horticultura Brasileira* 24, 141-145.

Gagnon, B., Berrouard, S., 1994. Effects of several organic fertilizers on growth of greenhouse tomato transplants. *Canadian Journal of Plant Science* 74, 167-168.

Gamliel, A., Katan, J., 2009. Disease Control in Crops: Biological and Environmentally Friendly Approaches. *Disease Control in Crops: Biological and Environmentally Friendly Approaches*. Wiley-Blackwell, Edinburgh, UK, 196-220.

García-Ruiz, A., Palmero, D., Valera, D.L., De Cara, M., Ruíz, C.A., Boix, A., Camacho, F., 2013. Control of Fusarium vascular wilt on carnation using soil bio-disinfection in South West of Spain. *ITEA* 109, 13-24.

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, 295-302.

Gómez-Tenorio, M.A., Lupión-Rodríguez, B., Boix-Ruiz, A., Ruiz-Olmos, C., Marín-Guirao, J.I., Tello-Marquina, J.C., Camacho-Ferre, F., De Cara-García, M., 2018. *Meloidogyne*-infested tomato crop residues are a suitable material for biodisinfestation to manage *Meloidogyne sp.* in greenhouses in Almería (south-east Spain). *Acta Horticulturae* 1207, 217-222.

González-Torres, R., Meléro-Vara, J.M., Gómez-Vázquez, J., Díaz, R.M.J., 1993. The effects of soil solarization and soil fumigation on Fusarium wilt of watermelon grown in plastic house in south-eastern Spain. *Plant Pathology* 42, 858-864.

Granadosa, M.R., Bonachela, S., Hernández, J., López, J.C., Magán, J.J., Baeza, E.J., Gázquez, J.C., Pérez-Parra, J.J., 2012. Soil temperatures in a mediterranean greenhouse with different solarization strategies. *Acta Horticulturae*. 927, 747-753

Guajardo-Ríos, O., Lozano-Cavazos, C.J., Valdez-Aguilar, L.A., Benavides-Mendoza, A., Ibarra-Jiménez, L., Ascacio-Valdés, J.A., Aguilar-González, C.N., 2018. Animal-based organic nutrition can substitute inorganic fertigation in soilless-grown grape tomato. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science* 68, 77-85.

Guerrero-Díaz, M.M., Lacasa-Martínez, C.M., Hernández, A., Martínez, V., Martínez, M.C., Fernández-Molina, P., Lacasa, A., 2014. Biosolarization with agroindustrial byproduct for the control of soilborne pathogens in protected pepper crops in southeast Spain. *Acta Horticulturae* 1044, 157-161.

Guerrero, M., Lacasa, C., Ros, C., Martínez, V., Fenoll, J., Torres, J., Beltrán, C., Fernández, P., Bello, A., Lacasa, A., 2009. Pellets de brasicas como enmiendas para biosolarización de invernaderos de pimiento. XII Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas, 1, 1-6.

Guerrero, M., Martínez, M., Ros, C., Bello, A., Fernández, P., Martínez, M., Lacasa, A., 2007. Eficacia de la biosolarización como desinfectante del suelo en invernaderos de pimiento. *Actas de Horticultura* 48, 451-454.

Guerrero, M.M., Martínez, M.A., Martínez, M.C., Barcelo, N., Lacasa, A., Ros, C., Guirao, P., Bello, A., López, J.A., 2005. Biofumigation plus solarization efficacy for soil disinfestation in sweet pepper greenhouses in the southeast of Spain. *Acta Horticulturae* 698, 293-298.

Gutiérrez-Miceli, F.A., Santiago-Borraz, J., Montes-Molina, J.A., Nafate, C.C., Abud-Archila, M., Oliva-Llaven, M.A., Rincón-Rosales, R., Dendooven, L., 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Bioresource Technology* 98, 2781-2786.

Gysi, C., Keller, F., 1983. Green manure in the greenhouse a 3 year trial with intercropping. *Plant Soil* 74, 283-286.

Hansen, Z.R., Keinath, A.P., 2013. Increased pepper yields following incorporation of biofumigation cover crops and the effects on soilborne pathogen populations and pepper diseases. *Applied Soil Ecology* 63, 67-77.

Heeb, A., Lundegårdh, B., Ericsson, T., Savage, G.P., 2005. Effects of nitrate-, ammonium-, and organic-nitrogen-based fertilizers on growth and yield of tomatoes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168, 123-129.

Heeb, A., Lundegårdh, B., Savage, G., Ericsson, T., 2006. Impact of organic and inorganic fertilizers on yield, taste, and nutritional quality of tomatoes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 169, 535-541.

Hernández, S.D., Pérez, A.R., Correa, P.D., Llobet, L.G., 2005. Solar heating, biofumigation and conventional chemical treatments for the control of corky root in tomato. *Acta Horticulturae*. 698, 311-314.

Iapichino, G., Puleo, L., Vetrano, F., Sciortino, A., 2008. Effects of Solarization and Biofumigation on Tomato Greenhouse Production in the Southern Coast of Sicily. *Acta Horticulturae*. 801, 1557-1562.

Iglesias-Jiménez, E., 1991. Estudio del compostaje termófilo y aerobio de los residuos sólidos urbanos de Tenerife : poder fertilizante del compost y dinámica de los nutrientes aportados en un sistema suelo-planta. Tesis Doctoral. Departamento de Agromía. Universidad de La Laguna.

Ilic, Z.S., Kapoulas, N., Milenkovic, L., 2013. Micronutrient composition and quality characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from conventional and organic production. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 83, 651-655.

Ilić, Z.S., Kapoulas, N., Šunić, L., 2014. Tomato fruit quality from organic and conventional production. *Organic agriculture towards sustainability. InTech* 1, 147-169.

Islam, M.A., Islam, S., Akter, A., Rahman, M.H., Nandwani, D., 2017. Effect of organic and inorganic fertilizers on soil properties and the growth, yield and quality of tomato in Mymensingh, Bangladesh. *Agriculture* 7, 1-18.

Joshi, R., Vig, A.P., 2010. Effect of vermicompost on growth, yield and quality of tomato (*Lycopersicum esculentum* L). *African Journal of Basic & Applied Sciences* 2, 117-123.

Junta de Andalucía, 2016. Consejería de Agricultura y Pesca y Desarrollo Rural; Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Estrategia de gestión de restos vegetales en la horticultura de Andalucía 1, 1-40.

Kalbani, F.O.S.A., Salem, M.A., Cheruth, A.J., Kurup, S.S., Senthilkumar, A., 2016. Effect of Some Organic Fertilizers on Growth, Yield and Quality of Tomato (*Solanum lycopersicum*). *International Letters of Natural Sciences* 53, 1-9.

Kashem, A.M., Sarker, A., Hossain, I., Islam, M.S., 2015. Comparison of the Effect of Vermicompost and Inorganic Fertilizers on Vegetative Growth and Fruit Production of Tomato (*Solanum lycopersicum* L). *Open Journal of Soil Science* 5, 53-58.

Katan, J., 1981. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. *Annual Review of Phytopathology* 19, 211-236.

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 disinfestation. *Nematological Research (Japan)* 39, 53-62.

Kirkegaard, J., 2009. Biofumigation for plant disease control – from the fundamentals to the farming system. *Disease Control in Crops: Biological and Environmentally Friendly Approaches*. Wiley-Blackwell, Edinburgh, UK, 172-195.

Kirkegaard, J.A.G., P.A.; Desmarchelier, J.M. Angus, J.F., 1993. Biofumigation - using Brassica species to control pests and diseases in horticulture and agriculture. *Proceedings 9th Australian Research Assembly on Brassica*, N. Wratten and R.J. Mailer (eds) (Wagga Wagga, NSW: October 5-7, 1993) 77-82.

Kumar, R., Klein, D., Krumbein, A., Kopke, U., 2007. Product quality of greenhouse tomatoes: Effect of cultivars, organic N-fertilization and harvest time. *European Journal of Horticultural Science* 72, 46.

Lacasa, C.M., Guerrero, M.M., Ros, C., Martínez, V., Lacasa, A., Fernández, P., Núñez-Zofío, M., Larregla, S., Martínez, M.A., Díez-Rojo, M.A., Bello, A., 2010. Efficacy of Biosolarization with Sugar Beet Vinasses for Soil Disinfestation in Pepper Greenhouses *Acta Horticulturae* 883, 345-352.

Lacasa, C.M., Martínez, V., Hernández, A., Ros, C., Lacasa, A., Guerrero, M.D.M., Rodríguez-Molina, M.D.C., Serrano-Pérez, P., Larregla, S., 2015. Survival reduction of *Phytophthora capsici* oospores and *Pnicotianae chlamydospores* with Brassica green manures combined with solarization. *Scientia Horticulturae* 197, 607-618.

Lamers, J.G., Runia, W.T., Molendijk, L.P.G., Bleeker, P.O., 2010. Perspectives of anaerobic soil disinfestation. *Acta Horticulturae* 883, 277-283.

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.

Lazzeri, L., Malaguti, L., Cinti, S., Ugolini, L., De Nicola, G.R., Bagatta, M., Casadei, N., D'Avino, L., Matteo, R., Patalano, G., 2013. The brassicaceae biofumigation system for plant cultivation and defence. An Italian twenty-year experience of study and application. *Acta Horticulturae* 1005, 375-382.

Lombardo, S., Longo, A.M.G., Lo Monaco, A., Mauromicale, G., 2012. The effect of soil solarization and fumigation on pests and yields in greenhouse tomatoes. *Crop Protection* 37, 59-64.

López-Aranda, J.M., Miranda, L., Domínguez, P., Soria, C., Pérez-Jiménez, R.M., Zea, T., Talavera, M., Velasco, L., Romero, F., De Los Santos, B., Medina-Mínguez, J.J., 2012. Soil biosolarization for strawberry cultivation. *Acta Horticulturae* 926, 407-413.

López-Escudero, F.J., Blanco-López, M.A., 2001. Effect of a single or double soil solarization to control *Verticillium* wilt in established olive orchards in Spain. *Plant Disease* 85, 489-496.

López-Hernández, J.C., Pérez-Martínez, C., Acien-Fernández, F.G., 2016. Residuos vegetales procedentes de los invernaderos de Almería. *Publicaciones Cajamar* 17, 1-9.

López-Herrera, C.J., Perez-Jimenez, R.M., Basallote-Ureba, M.J., Bonilla, T.Z., Melero-Vara, J.M., 1997. Effect of soil solarization on the control of *Phytophthora* root rot in avocado. *Plant Pathology* 46, 329-340.

López-Herrera, C.J., Pérez-Jiménez, R.M., Zea-Bonilla, T., Basallote-Ureba, M.J., Melero-Vara, J.M., 1998. Soil solarization in established avocado trees for control of *Dematophora necatrix*. *Plant Disease* 82, 1088-1092.

López-Martínez, J.D., Vázquez-Díaz, D.A., Esparza-Rivera, J.R., García-Hernández, J.L., Castruita-Segura, M.A., Preciado-Rangel, P., 2016. Yield and nutraceutical quality of tomato fruit produced with nutrient solutions prepared using organic materials. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39, 409-414.

López-Martínez, N., Castillo, S., Aguirre, I., González-Zamora, J.E., Avilla, C., López-Medina, J., 2006. Effect of biofumigation on typical weeds of strawberry fields. *Acta Horticulturae* 708, 193-196.

López-Medina, J., López-Aranda, J.M., Medina, J.J., Miranda, L., Flores, F., 2003. Chemical and non-chemical alternatives to methyl bromide fumigation of soil for strawberry production. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 78, 597-604.

Mader, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., Niggli, U., 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science New York*. 296, 1694-1697.

Madrid, R., Barba, E.M., Sánchez, A., García, A.L., 2009. Effects of organic fertilisers and irrigation level on physical and chemical quality of industrial tomato fruit (cv. *Nautilus*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89, 2608-2615.

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, Departamento de Agronomía. Universidad de Almería, 1-164.

Marín-Guirao, J.I., Tello, J.C., Díaz, M., Boix, A., Ruiz, C.A., Camacho, F., 2016. Effect of greenhouse soil bio-disinfection on soil nitrate content and tomato fruit yield and quality. *Soil Research* 54, 200-206.

Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., Figueroa-Viramontes, U., Avila-Diaz, J., Rodríguez-Dimas, N., García-Hernández, J., 2013. Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero. *Phyton (Buenos Aires)* 82, 55-61.

Martínez, M.A., Guerrero, M.M., Martínez, M.C., Ros, C., Lacasa, A., Tello, J.C., 2006. Efecto de la biosolarización reiterada sobre la microbiota fúngica en cultivos de pimiento. VII Congreso SEAE Zaragoza Nº 212.

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 & Biotechnology* 38, 3-11.

Martínez, M.A., Martínez, M.C., Tello, J.C., Lacasa, A., 2012. Effect of biofumigation and repeated biosolarization on soil fungal communities in pepper crops. *Microbes in Applied Research: Current Advances and Challenges*, Málaga, Spain. World Scientific Publishing Co. 1, 99-103.

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.

Mauromicale, G., Monaco, A.L., Longo, A.M.G., 2010. Improved efficiency of soil solarization for growth and yield of greenhouse tomatoes. *Agronomy for Sustainable Development* 30, 753-761.

MBTOC, 1995. 1994 Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee. Assessment. Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer. UNEP, 1, 1-309.

McGuire, A.M., 2003. Mustard Green Manures Replace Fumigant and Improve Infiltration in Potato Cropping System. *Crop Management* 2, 1-6.

Medina-Mínguez, J., 2002. Soil solarization and biofumigation in strawberries in Spain. *Proceedings of International Conference on Alternatives to Methyl Bromide* 1, 1-123.

Medina, J.J., Miranda, L., Romero, F., De Los Santos, B., Montes, F., Vega, J.M., Páez, J.I., Bascón, J., Soria, C., López-Aranda, J.M., 2006. Seven year's work on alternatives to methyl bromide (MB) for strawberry production in Huelva (Spain). *Acta Horticulturae* 708, 205-210.

Medina, J.J., Miranda, L., Soria, C., Palencia, P., López-Aranda, J.M., 2009. Non-chemical alternatives to methyl bromide for strawberry: Biosolarization as case-study in Huelva (Spain). *Acta Horticulturae* 842, 961-964.

Melero-Vara, J.M., López-Herrera, C.J., Basallote-Ureba, M.J., Navas, J.A., López, M., Vela, M.D., González, L., Moraza, R., Prados-Ligero, A.M., 2005. Physical and chemical methods of controlling fusarium wilt of carnation as alternatives to methyl bromide treatments. *Acta Horticulturae* 698, 175-180.

Melero-Vara, J.M., López-Herrera, C.J., Basallote-Ureba, M.J., Prados, A.M., Vela, M.D., Macias, F.J., Flor-Peregrín, E., Talavera, M., 2012. Use of poultry manure combined with Soil Solarization as a control method for *meloidogyne incognita* in carnation. *Plant Disease* 96, 990-996.

Melero-Vara, J.M., López-Herrera, C.J., Prados-Ligero, A.M., Vela-Delgado, M.D., Navas-Becerra, J.A., Basallote-Ureba, M.J., 2011. Effects of soil amendment with poultry manure on carnation Fusarium wilt in greenhouses in southwest Spain. *Crop Protection* 30, 970-976.

Melero-Vara, J.M., Blanco-López, M.A., Bejarano-Alcazar, J., Jiménez-Díaz, R.M., 1995. Control of *Verticillium* wilt of cotton by means of soil solarization and tolerant cultivars in southern Spain. *Plant Pathology* 44, 250-260.

Michel, V.V., 2014. Ten years of biofumigation research in Switzerland. 5th International Symposium of Biofumigation 126, 1-10.

Mithen, R.F., 2001. Glucosinolates and their degradation products. *Advances in Botanical Research*. Academic Press 1, 213-262.

Moccia, S., Chiesa, A., Oberti, A., Tiftonell, P., 2006. Yield and quality of sequentially grown cherry tomato and lettuce under long-term conventional, low-input and organic soil management systems. *European Journal of Horticultural Science* 71, 183-191.

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.

Montagu, K.D., Goh, K.M., 1990. Effects of forms and rates of organic and inorganic nitrogen fertilisers on the yield and some quality indices of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Miller). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 18, 31-37.

Moreno-Casco, J., Moral-Herrero, R., 2008. *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa 1-572.

Murmu, K., Ghosh, B.C., Swain, D.K., 2013. Yield and quality of tomato grown under organic and conventional nutrient management. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59, 1311-1321.

Nassur, R.C.M.R., Vilas Boas, E.V.B., Botrel, N., Resende, F.V., Leite, B.S.F., 2012. Quality of tomatoes produced with different doses of organic compost. *Acta Horticulturae* 934, 1189-1196.

Nguyen, T.N., Tang, L.H., Peng, Y.K., Ni, J.Y., Chang, Y.N., 2015. Effects of Composite Inorganic, Organic Fertilizer and Foliar Spray of Multi-nutrients on Growth, Yield and Quality of Cherry Tomato. *Journal of Agricultural Science and Technology* 17, 1781-1788.

Nico, A.I., Jiménez-Díaz, R.M., Castillo, P., 2003. Solarization of soil in piles for the control of *Meloidogyne incognita* in olive nurseries in southern Spain. *Plant Pathology* 52, 770-778.

Nuñez-Zofío, M., 2012. Evaluación de la biodesinfección para el control de *phytophthora capsici* en el cultivo de pimiento de invernadero. Tesis Doctoral. Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Universidad del País Vasco, País Vasco.

Núñez-Zofío, M., Larregla del Palacio, S., Garbisu, C., 2012. Repeated biodisinfection controls the incidence of *Phytophthora* root and crown rot of pepper while improving soil quality. *Publicaciones INIA* 10, 1-12.

Núñez-Zofío, M., Larregla, S., Garbisu, C., 2012. Repeated biodisinfection controls the incidence of *Phytophthora* root and crown rot of pepper while improving soil quality. *Spanish Journal of Agricultural Research* 10, 794-805.

Núñez-Zofío, M., Larregla, S., Garbisu, C., Guerrero, M.M., Lacasa, C.M., Lacasa, A., 2013. Application of sugar beet vinasse followed by solarization reduces the incidence of *Meloidogyne incognita* in pepper crops while improving soil quality. *Phytoparasitica* 41, 181-191.

Oikeh, S.O., Asiegbu, J.E., 1993. Growth and yield responses of tomatoes to sources and rates of organic manures in ferralitic soils. *Bioresource Technology* 45, 21-25.

Pérez-Hernández, A., Porcel-Rodríguez, E., Gómez-Vázquez, J., 2017. Survival of *Fusarium solani f.sp. cucurbitae* and fungicide application, soil solarization, and biosolarization for control of crown and foot rot of Zucchini Squash. *Plant Disease* 101, 1507-1514.

Pieper, J.R., Barrett, D.M., 2009. Effects of organic and conventional production systems on quality and nutritional parameters of processing tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89, 177-194.

Pinto-Gomes, D., Fonseca de Carvalho, D., Ferreira Pinto, M., da Cunha-Valença, D., Oliveira-Medici, L., 2017. Growth and production of tomato fertilized with ash and castor cake and under varying water depths, cultivated in organic potponics. *Acta Scientiarum Agronomy* 39, 201-209.

Porras, M., Barrau, C., Arroyo, F.T., Santos, B., Blanco, C., Romero, F., 2007a. Reduction of *Phytophthora cactorum* in strawberry fields by *Trichoderma* spp. and soil solarization. *Plant Disease* 91, 142-146.

Porras, M., Barrau, C., Romero, F., 2007b. Effects of soil solarization and *Trichoderma* on strawberry production. *Crop Protection* 26, 782-787.

Porras, M., Barrau, C., Romero, E., Zurera, C., Romero, F., 2009a. Effect of biofumigation with *Brassica carinata* and soil solarization on *Phytophthora* spp. and strawberry yield. *Acta Horticulturae* 842, 969-972.

Porras, M., Barrau, C., Romero, F., 2009b. Effects of Trichoderma and soil solarization on *Phytophthora cactorum* in strawberry fields. *Acta Horticulturae* 842, 649-652.

Porras, M., Barrau, C., Romero, F., 2009c. Influence of Trichoderma and soil solarization on strawberry yield. *Acta Horticulturae* 842, 389-392.

Ramos, C., Agut, A., Lidón, A.L., 2002. Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region (Spain). *Environmental Pollution* 118, 215-223.

Reddy, P.P., 2011. Biofumigation and Solarization for Management of Soil-Borne Plant Pathogens. Scientific Publishers, India pp 1-431.

Reeve, J., Drost, D., 2012. Yields and soil quality under transitional organic high tunnel tomatoes. *HortScience* 47, 38-44.

Reynafarje, X., Siura, S., Calero, Y., Barreda, A., 2014. Potential Production of Organic Greenhouse Tomato (*Solanum lycopersicum*) by Small Farmers in the Coastal Desert of Peru. *Acta Horticulturae* 1041, 299-306.

Riahi, A., Hdider, C., Sanaa, M., Tarchoun, N., Ben Kheder, M., Guezal, I., 2009. Effect of conventional and organic production systems on the yield and quality of field tomato cultivars grown in Tunisia. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89, 2275-2282.

Ronga, D., Zaccardelli, M., Lovelli, S., Perrone, D., Francia, E., Milc, J., Ulrici, A., Pecchioni, N., 2017. Biomass production and dry matter partitioning of processing tomato under organic vs conventional cropping systems in a Mediterranean environment. *Scientia Horticulturae* 224, 163-170.

Ros, C., Martínez, V., Sánchez-Solana, F., López-Marín, J., Lacasa, C.M., Guerrero, M.D.M., Lacasa, A., 2018. Combination of biosolarization and grafting to control *Meloidogyne incognita* in greenhouse pepper crops. *Crop Protection* 113, 33-39.

Roskopf, E., Hong, J., Kokalis-Burelle, N., Butler, D., 2012. Status of ASD development in Florida. *Proceedings of annual international research conference on methyl bromide alternatives and emissions reductions* 1, 84-81.

Sandei, L., Vadalà, R., Pirondi, S., De Sio, F., Zaccardelli, M., Scelza, R., Adamo, P., Rao, M.A., 2013. Effect of industrial processing upon organic and conventional tomatoes: evaluation of quality and nutritional characteristics. *Acta Horticulturae* 971, 59-69.

Scopa, A., Candido, V., Dumontet, S., Miccolis, V., 2008. Greenhouse solarization: effects on soil microbiological parameters and agronomic aspects. *Scientia Horticulturae* 116, 98-103.

Siddiqui, Z.A., Akhtar, M.S., 2008. Effects of organic wastes, *Glomus intraradices* and *Pseudomonas putida* on the growth of tomato and on the reproduction of the Root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Phytoparasitica* 36, 460.

Simmons, C.W., Guo, H., Claypool, J.T., Marshall, M.N., Perano, K.M., Stapleton, J.J., Van der Gheynst, 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., 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.

Sosa-Rodríguez, B.A., Sánchez de Prager, M., Sanclemente-Reyes, O.E., 2014. Influencia de abonos verdes sobre la dinámica de nitrógeno en un Typic Haplustert del Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica* 63, 343-351.

Stapleton, J.J., Quick, J., Devay, J.E., 1985. Soil solarization - effects on soil properties, crop fertilization and plant-growth. *Soil Biology & Biochemistry* 17, 369-373.

Stazi, S.R., Mancinelli, R., Marabottini, R., Allevato, E., Radicetti, E., Campiglia, E., Marinari, S., 2018. Influence of organic management on As bioavailability: Soil quality and tomato As uptake. *Chemosphere* 211, 352-359.

Svec, L.V., Thoroughgood, C.A., Mok, H.C.S., 1976. Chemical evaluation of vegetables grown with conventional or organic soil amendments. *Soil Science and Plant Analysis* 7, 213-228.

Taiwo, L.B., Adediran, J.A., Sonubi, O.A., 2007. Yield and Quality of Tomato Grown with Organic and Synthetic Fertilizers. *International Journal of Vegetable Science* 13, 5-19.

Thompson, R.B., Martínez-Gaitan, C., Gallardo, M., Giménez, C., Fernández, M.D., 2007. Identification of irrigation and N management practices that contribute to

nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey. *Agricultural Water Management* 89, 261-274.

Thorup-Kristensen, K., Magid, J., Jensen, L.S., 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in Agronomy* 79, 227-302.

Thybo, A.K., Edelenbos, M., Christensen, L.P., Sørensen, J.N., Thorup-Kristensen, K., 2006. Effect of organic growing systems on sensory quality and chemical composition of tomatoes. *LWT-Food Science and Technology* 39, 835-843.

Tittarelli, F., Ceglie, F.G., Ciaccia, C., Mimiola, G., Amodio, M.L., Colelli, G., 2016. Organic strawberry in Mediterranean greenhouse: Effect of different production systems on soil fertility and fruit quality. *Renewable Agriculture and Food Systems* 32, 485-497.

Togun, A.O., Akanbi, W.B., 2003. Comparative Effectiveness of Organic-Based Fertilizer To Mineral Fertilizer on Tomato Growth and Fruit Yield. *Compost Science & Utilization* 11, 337-342.

Toor, R.K., Savage, G.P., Heeb, A., 2006. Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant components of tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis* 19, 20-27.

Tuzel, Y., Duyar, H., Oztekin, G.B., Gurbuz Kilic, O., Anac, D., Madanlar, N., Yoldas, Z., 2013. Effects of winter green manuring on organic cucumber production in unheated greenhouse conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 37, 315-325.

Vázquez, N., Pardo, A., Suso, M.L., Quemada, M., 2006. Drainage and nitrate leaching under processing tomato growth with drip irrigation and plastic mulching. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112, 313-323.

Worthington, V., 2001. Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains. *Journal of alternative and complementary medicine* 7, 161-173.

Xu, H.L., Wang, R., Mridha, M.A.U., 2001. Effects of Organic Fertilizers and a Microbial Inoculant on Leaf Photosynthesis and Fruit Yield and Quality of Tomato Plants. *Journal of Crop Production* 3, 173-182.

Yanar, D., Gebologlu, N., Yanar, Y., Aydin, M., Cakmak, P., 2011. Effect of different organic fertilizers on yield and fruit quality of indeterminate tomato (*Lycopersicon esculentum*). Scientific Research and Essays 6, 3623-3628.

Zai, A.K.E., Horiuchi, T., Matsui, T., 2008. Effects of compost and green manure of pea and their combinations with chicken manure and rapeseed oil residue on soil fertility and nutrient uptake in wheat-rice cropping system. African Journal of Agricultural Research 3, 633-639.

2 Materiales y métodos generales

2.1 Introducción

En el presente capítulo se detallan los materiales y métodos generales empleados en el desarrollo de la tesis doctoral, los cuales son comunes a todos los capítulos venideros. En los capítulos siguientes se especificarán los materiales y métodos particulares que en éste no tengan cabida.

2.2 Localización y clima exterior

Esta tesis se sustenta en el seguimiento de un ensayo de tomate de dos campañas de duración (2015-16 y 2016-17) en un invernadero situado en Almería (Sureste español, coordenadas 36°50'00" y N 2°27'00" O) en las instalaciones pertenecientes a la finca experimental UAL-ANECOOP emplazada en el término municipal de Almería en el paraje de los Goterones (polígono 24, parcela 281, recinto 9, coordenadas 36°51'46" y N 2°17'08" O) (Figura 2). El clima local es Mediterráneo semi-árido con inviernos suaves y veranos calurosos, con una pluviometría media anual inferior a 250 L·m⁻².

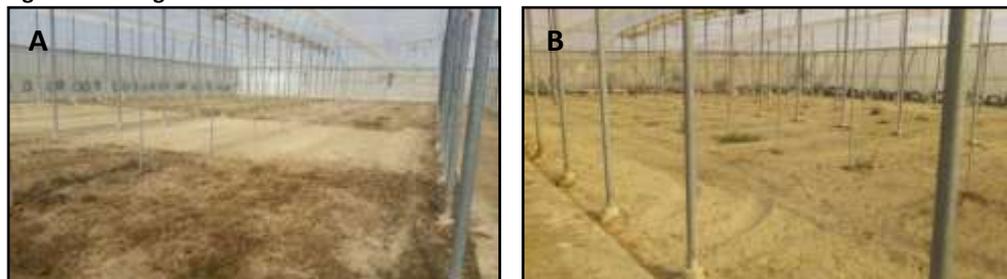
Figura 2 Situación y emplazamiento de la finca UAL-Anecoop



2.3 Invernadero y clima interior

Se trata de un invernadero de plástico tipo “raspa y amagado” de 1700m² de superficie con un suelo compuesto por una mezcla de arena y suelo (arenado modificado) (Bretones, 2003). El invernadero se encuentra dividido en dos zonas (Norte y Sur) por un pasillo hormigonado central. Dispone de sistema de riego localizado por goteo con emisores interlinea de 3L·h⁻¹ (0,5 m de separación entre goteros), el control del riego de cada zona es independiente, pudiéndose realizar distintas fertilizaciones según las necesidades del diseño experimental (Figura 3).

Figura 3: Vista general del invernadero



A: Tablar Sur del invernadero. **B:** Tablar Norte del invernadero

Las temperaturas máxima, media y mínima durante el primer y segundo año fueron medidas con una sonda de temperatura Hobo U23-001 Pro v2 (Tabla 1).

Tabla 1: Registro de temperaturas (°C) promedio durante el cultivo

	Temperatura Mínima	Temperatura Media	Temperatura Máxima
Primer cultivo			
Septiembre	20,02±1,91	27,08±2,09	39,81±4,14
Octubre	16,50±1,85	21,82±1,91	31,75±3,79
Noviembre	11,50±2,95	16,32±2,52	24,12±2,72
Diciembre	10,01±1,60	14,01±0,81	20,33±1,18
Enero	9,17±2,31	13,40±1,50	20,04±1,91
Febrero	9,09±2,51	13,56±1,62	21,13±2,47
Marzo	9,01±2,17	15,82±2,05	28,00±3,11
Abril	12,96±2,20	19,58±1,90	30,82±3,25
Mayo	15,08±1,73	21,49±1,51	33,20±4,96
Segundo cultivo			
Septiembre	6,57±1,65	12,52±1,93	25,28±5,50
Octubre	10,50±2,07	16,53±1,74	27,44±3,87
Noviembre	9,99±1,56	17,95±2,30	31,54±4,78
Diciembre	11,81±2,00	19,76±1,97	32,58±4,48
Enero	11,93±1,63	21,16±1,16	34,02±2,28
Febrero	20,24±2,62	27,34±3,13	38,89±4,93
Marzo	16,12±2,22	22,39±2,02	34,16±3,45
Abril	10,40±2,59	15,98±2,30	27,20±3,03
Mayo	9,75±1,95	14,31±1,49	24,13±3,75

Las características químicas del agua de riego empleada se ilustran en la Tabla 2.

Tabla 2: Caracterización físico-química del agua de riego empleada

Parámetro	Resultado	Unidad
Conductividad Eléctrica a 20°C	462	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
SAR	4,94	-
pH	7,3	-
Dureza	5	$^{\circ}\text{HTF}$
Residuo calculado	0,30	$\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$
Presión osmótica	0,17	atm
Sodio	59	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Potasio	2,9	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Calcio	14	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Magnesio	4,6	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Cloruro	109	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Sulfato	6,50	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Nitrato	<2,50	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Bicarbonato	59	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Carbonato	<24	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Fosfato	<2,50	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

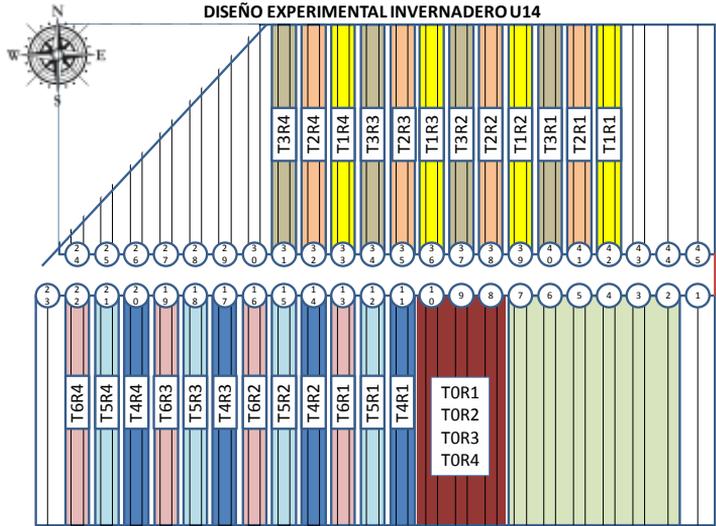
2.4 Diseño experimental

El diseño experimental estuvo formado por 7 tratamientos y 4 repeticiones distribuidos de manera aleatoria (Figura 4), cada parcela elemental poseía una superficie de 40 m^2 .

En la zona norte del invernadero se emplazaron los tratamientos con fertilización convencional siendo la solución nutritiva: $11\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de NO_3^- ; $1,5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de H_2PO_4^- , $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de SO_4^{2-} , $7,5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de K^+ , $5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ca^{2+} y $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de Mg^{2+} , con una CE incrementada de 0,5 a $3\text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$ durante el desarrollo del cultivo (Steiner, 1961), resultando los tratamientos: T_1 fertilización descrita; T_2 fertilización descrita y $0,5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de Biofence® (Triumph, Italia), T_3 fertilización descrita y $1\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de Biofence®.

En la zona sur se encontraban los que fueron enmendados con distintas materias orgánicas y/o riego exclusivo con agua sin fertilizante. Los tratamientos fueron: T_4 $3,5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de restos de plantas de tomate fresco; T_5 $3,5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de restos de plantas de tomate y $0,5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de Biofence® aplicado en surco sobre la línea de cultivo; T_6 $3,5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de restos de plantas de tomate fresco y $1\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de Biofence®. El ensayo contaba con un testigo “cero” T_0 : Riego exclusivo con agua, sin fertilizante ni materia orgánica.

Figura 4: Diseño experimental del ensayo



2.5 Enmiendas orgánicas y Balance de Nitrógeno en la fertilización empleada

Para la preparación de la enmienda orgánica, los restos de cosecha de tomate frescos del ciclo productivo anterior fueron picados a un tamaño de partícula inferior a 3 cm utilizando una picadora de martillos accionada por un tractor e incorporados al suelo con un rotocultor a las cantidades anteriormente indicadas (Figura 5). Las características físico-químicas de los restos de cosecha se detallan en la Tabla 3.

Figura 5: Incorporación de los restos de cosecha al suelo



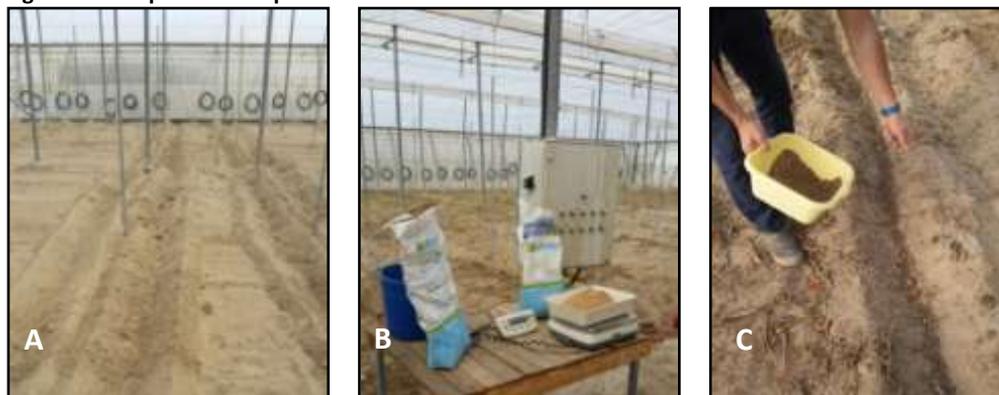
A: Descuelgue de plantas. **B:** Acordonado de plantas en pasillo central. **C:** Triturado mediante picadora de martillos. **D:** Esparcido de restos vegetales a dosis objetivo. **E:** Incorporación al suelo mediante rotocultor

Tabla 3: Propiedades físico-químicas de los restos de cosecha de tomate según diversos autores

AUTOR	M.S (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	C (%)	C/N	ρ (g·cm ⁻³)	pH
Contreras París <i>et al.</i> , (2015)	12,8	1,78	0,39	2,03	2,73	1,2	-	-	-	-
Moreno Casco y Moral Herrero, (2008)	13	3,20	-	-	-	-	28,3	8,6	0,1	7,9
Datos propios, (2017)	-	± 1,01	± 0,24	± 1,16	± 1,70	± 0,46	-	-	-	-
Casas Castro y Casas Barba, (1999)	-	3,5-5,5 2,89	0,3-0,7	3,5-5,5	1,8-3,5	0,4-0,8	-	-	-	-
Fernández <i>et al.</i> , (2014)	-	± 0,12	-	-	-	-	-	-	-	-

La aplicación del producto comercial Biofence[®], se realizó en surco (40 cm de ancho y 20 cm de profundo) sobre la línea de cultivo previo a la biosolarización. Biofence es un compuesto de pellets deshidratados y desgrasados de mostaza etíope (*Brassica carinata*) con un 6% N, 3,1% P, 2,2% K, 1,8% S, 0,5% Mg y elementos traza (Figura 6).

Figura 6: Incorporación de pellets de *Brassica carinata* al suelo



A: Apertura de surcos en la línea de cultivo. B: Pesaje de pellets/polvo de *Brassica carinata*. C: Aplicación a la dosis objetivo

2.6 Proceso de Biosolarización y toma de muestras

Tras la incorporación de todas las materias orgánicas detalladas, los tratamientos fueron sometidos a biosolarización o solarización en las dos campañas (Figura 7). El proceso se realizó durante 60 días previos al trasplante del cultivo (tras la aplicación de las enmiendas detalladas anteriormente) con un plástico de polietileno transparente de 200 galgas. La temperatura fue medida a 15 cm de profundidad durante el periodo de desinfección en dos puntos del invernadero (Tabla 4) con sondas de temperatura Hobo U23-001 Pro v2 (Onset Computer Corp., Bourne, MA, USA). La humectación del suelo fue realizada posterior a la colocación del plástico utilizando el mismo sistema de riego, dotándolo de agua sobre capacidad de campo ($30 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}$).

Figura 7: Proceso de bio-solarización



A: Prueba del sistema de riego. B: Sellado del plástico y dotación de riego. C: Retirada del plástico, nótese como el suelo conserva la humedad

Una semana previa a la implantación del cultivo se realizó la retirada del plástico de solarización, y se dio un pase de motocultor sobre las líneas de cultivo para la rotura y aireación del horizonte.

Tabla 4: Registro de temperaturas durante la solarización

	Temperatura Máxima	Temperatura Media	Temperatura Mínima
Primer cultivo			
Solarización Zona Norte	60,06±6,73	47,35±5,14	37,82±4,26
Solarización Zona Sur	60,95±7,08	46,36±4,52	35,71±3,11
Segundo cultivo			
Solarización Zona Norte	58,45±4,60	37,94±2,42	24,19±2,56
Solarización Zona Sur	58,86±4,53	37,90±2,39	24,16±2,64

2.7 Estado nutricional del suelo

El estado nutricional del suelo se muestra en la Tabla 5. La toma de muestras de suelo para análisis físico-químico se realizó al inicio del cultivo (fin de la biosolarización) y al fin del cultivo en las dos campañas de ensayo. Las muestras fueron tomadas en tres puntos centrales de la unidad experimental, retirando la primera capa de arena y a una profundidad comprendida entre 0-30 cm. La mezcla de suelo resultante (500 g aprox.) fue analizada por el laboratorio agroalimentario de la Junta de Andalucía (Atarfe, Granada).

Tabla 5: Estado nutricional del suelo durante las dos campañas de estudio

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²).

	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Materia Orgánica (%)	C.E. (mmhos·cm ⁻¹)	pH	Caliza Activa (%)	Carbonatos (%)	Arcilla (%)	Arena (%)	Limo (%)
Año 1, 2015-2016 (224 días)											
T0 Inicio	0,060	74	164	0,59	0,90	7,4	2,00	21,8	13,95	81,41	4,64
T0 Fin	0,057	73	41	0,56	0,74	8,1	2,10	26,5	6,40	78,05	15,55
T1 Inicio	0,077	78	168	0,88	0,49	7,5	2,55	25,0	13,20	82,35	4,45
T1 Fin	0,056	86	550	0,76	0,85	8,1	3,10	28,5	7,90	74,02	18,08
T2 Inicio	0,074	53	320	0,62	0,96	7,4	2,55	25,6	14,55	78,76	6,69
T2 Fin	0,095	119	420	0,9	1,43	7,7	3,15	27,1	6,80	75,33	17,87
T3 Inicio	0,074	50	196	0,73	1,02	7,5	2,45	25,6	13,85	79,13	7,02
T3 Fin	0,075	103	570	0,81	0,81	7,9	1,30	27,5	7,30	76,11	16,59
T4 Inicio	0,095	60	730	0,95	1,40	7,6	3,40	24,8	16,10	66,93	16,97
T4 Fin	0,102	86	460	1,05	1,27	8,1	4,10	24,2	9,75	59,34	30,91
T5 Inicio	0,095	65	520	0,96	0,65	7,7	3,65	25,0	13,20	63,33	23,47
T5 Fin	0,095	74	156	1,03	0,37	8,3	4,25	25,9	9,45	64,02	26,53
T6 Inicio	0,074	50	460	0,72	0,45	7,8	3,90	20,8	15,45	53,79	30,76
T6 Fin	0,097	67	310	0,92	0,64	8,1	4,10	25,2	1,95	60,42	37,63
Año 2, 2016-2017 (226 días)											
T0 Inicio	0,056	58	68	0,60	1,37	6,9	2,80	20,4	6,70	89,39	3,91
T0 Fin	0,062	75	62	0,60	1,44	7,9	2,20	30,2	7,62	81,21	11,14
T1 Inicio	0,066	72	380	0,58	1,46	6,8	2,50	20,5	5,65	81,17	13,18
T1 Fin	0,069	76	588	0,68	1,55	7,9	2,90	30,3	7,65	78,00	14,35
T2 Inicio	0,066	95	184	0,58	1,08	6,9	2,95	24,0	6,80	79,29	13,91
T2 Fin	0,091	86	613	0,81	1,97	7,8	3,00	31,8	5,10	75,85	19,05
T3 Inicio	0,144	105	710	1,25	2,24	6,7	2,95	20,5	6,45	78,34	15,21
T3 Fin	0,081	64	390	0,67	1,56	7,8	2,60	30,9	4,50	77,71	17,79
T4 Inicio	0,120	65	640	0,90	3,13	7,0	4,45	20,6	3,75	58,66	37,59
T4 Fin	0,088	55	280	0,78	1,39	8,0	4,00	26,6	3,90	60,30	35,80
T5 Inicio	0,121	65	620	1,18	2,11	7,0	4,20	21,7	8,30	64,09	27,61
T5 Fin	0,084	63	99	1,08	0,45	8,1	4,20	27,4	9,65	60,79	29,65
T6 Inicio	0,135	77	580	1,08	1,77	7,1	3,60	21,2	8,60	68,47	22,93
T6 Fin	0,096	62	355	0,96	2,13	7,9	4,50	27,9	10,20	65,47	24,33

2.8 Material Vegetal y ciclo de cultivo

El ciclo de cultivo comenzó el primer año el 2 de Septiembre de 2015 y concluyó a los 223 días mientras que el segundo año se inició el 6 de Septiembre de 2016 y finalizó a los 226 días. El material vegetal empleado fue tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Pitenza, F1 (Enza Zaden, Países Bajos) trasplantado a una densidad de 2 plantas/m². El manejo del cultivo fue realizado a un solo tallo, eliminando los brotes axilares y guiando la planta con rafia de polipropileno (Figura 8). El riego se realizó de acuerdo a la lectura de tensiómetros Modelo R

(Irrometer, Riverside CA, USA) colocados a 30 cm de profundidad, regando con tensiones comprendidas entre -15 y -20 KPa.

Figura 8: Desarrollo del cultivo



A: Trasplante. B: 30 días ddt. C: 60 días ddt. DDT: días después del trasplante

El control de plagas y enfermedades se realizó de manera convencional a las prácticas del entorno y legislación (Tabla 6). La polinización fue forzada con el uso de abejorros *Bombus terrestris* a una densidad de 4 colmenas/ha.

Tabla 6: Listado de tratamientos fitosanitarios aplicados en los dos años de ensayo

FECHA	NOMBRE COMERCIAL	Nº REGISTRO	TITULAR	FORMULADO	DOSIS APLICADA	Ud.
09/10/2015	OBERON	24010	BAYER CROPSCIENCE, S.L.	SPIROMESIFEN 24% [SC] P/V	0,5	mL ⁻¹
10/11/2015	COSTAR	22060	mitsui agriscience international S.A./N.V.	BACILLUS THURINGIENSIS KURSTAKI 18% [WG] P/P	0,3	gr ^{-L}
10/11/2015	SULF 80 WG	-	BRANDT-TRAGUSA	AZUFRE 80% WG	3	gr ^{-L}
18/12/2015	SERENADE AS	25094	BAYER CROPSCIENCE, S.L.	BACILLUS SUBTILIS 1,37% (1,7 X 10E10 CFU/G) [SC] P/V	1,5	gr ^{-L}
18/12/2015	COSTAR	22060	mitsui agriscience international S.A./N.V.	BACILLUS THURINGIENSIS KURSTAKI 18% [WG] P/P	0,4	gr ^{-L}
19/12/2015	CUMBRE 80% WG	-	ARYSTA LIFESCIENCE	AZUFRE 80% WG	3,3	gr ^{-L}
07/01/2016	SWITCH	21714	SYNGENTA ESPAÑA S.A.	CIPRODINIL 37,5% + FLUDIOXONIL 25% (ESP) [WG] P/P	1	gr ^{-L}
15/01/2016	MICENE PLUS	21494	SIPCAM INAGRA, S.A.	CIMOXANILO 4% + MANCOZEB 40% [WP] P/P	3	gr ^{-L}
18/01/2016	SWITCH	21714	SYNGENTA ESPAÑA S.A.	CIPRODINIL 37,5% + FLUDIOXONIL 25% (ESP) [WG] P/P	0,9	gr ^{-L}
10/02/2016	SWITCH	21714	SYNGENTA ESPAÑA S.A.	CIPRODINIL 37,5% + FLUDIOXONIL 25% (ESP) [WG] P/P	1	gr ^{-L}
31/12/2017	SWITCH	21714	SYNGENTA ESPAÑA S.A.	CIPRODINIL 37,5% + FLUDIOXONIL 25% (ESP) [WG] P/P	1	gr ^{-L}
21/01/2017	SWITCH	21714	SYNGENTA ESPAÑA S.A.	CIPRODINIL 37,5% + FLUDIOXONIL 25% (ESP) [WG] P/P	1	gr ^{-L}
28/01/2017	PYRUS 400 SC	24524	ARYSTA LIFESCIENCE BENELUX SPRL	PIRIMETANIL 40% (ESP) [SC] P/V	1,75	gr ^{-L}
03/02/2017	SWITCH	21714	SYNGENTA ESPAÑA S.A.	CIPRODINIL 37,5% + FLUDIOXONIL 25% (ESP) [WG] P/P	1	gr ^{-L}
11/02/2017	PYRUS 400 SC	24524	ARYSTA LIFESCIENCE BENELUX SPRL	PIRIMETANIL 40% (ESP) [SC] P/V	1,9	gr ^{-L}
17/02/2017	OBERON	24010	BAYER CROPSCIENCE, S.L.	SPIROMESIFEN 24% [SC] P/V	0,5	mL ⁻¹
25/02/2017	AZUFRIL FLOW	23184	TRADE CORPORATION INTERNATIONAL, S.A.	AZUFRE 80% [SC] P/V	3	gr ^{-L}
25/03/2017	ALTACOR 35 WG	25296	DU PONT IBERICA, S.L.	CLORANTRANILIPROL 35% [WG] P/P	0,1	gr ^{-L}
25/03/2017	COSTAR	22060	mitsui agriscience international S.A./N.V.	BACILLUS THURINGIENSIS KURSTAKI 18% [WG] P/P	0,4	gr ^{-L}

2.9 Bibliografía

Bretones, C., 2003. El enarenado. Técnicas de producción en cultivos protegidos. Publicaciones Cajamar vol 2, 110-118.

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. Publicaciones Cajamar 2ª ed. 1-249.

Contreras-París, J., Baeza-Cano, R.J., Segura-Pérez, M., 2015. Cuantificación de los nutrientes aportados al suelo por la incorporación de los restos de los cultivos hortícolas en invernaderos. *AE. Agricultura y ganadería ecológica* 12, 18-19.

Fernández, P., Pascual, J., Lacasa, A., 2014. Potencial de lixiviación de nitratos de la técnica de biosolarización en suelos de invernaderos de pimiento. *Actas de Horticultura* 66, 107-115.

Moreno-Casco, J., Moral-Herrero, R., 2008. *Compostaje*. Ediciones Mundi- Prensa 1-572.

Steiner, A.A., 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil* 15, 134-154.

3 Efecto de la adición de la M.O. sobre la producción

3.1 Introducción

La puesta en valor de los restos de cosecha supone un reto para la agricultura intensiva contemporánea, la provincia de Almería en el año 2014 produjo aproximadamente 1900000 t de residuos sin deshidratar (Junta de Andalucía, 2016; López-Hernández *et al.*, 2016). Estos restos de cosecha causan un gran impacto ambiental en el entorno debido a un deficiente manejo provocado por la estacionalidad de su producción.

La autogestión de los restos de cosecha ha sido una tarea pendiente por parte de los agricultores, quizás por falta de información para poder realizar un manejo eficiente. En la actualidad esta tendencia se está revirtiendo, por parte de la administración se está incentivando el uso de técnicas como la biosolarización y biofumigación para la incorporación de restos vegetales al suelo ya que garantizan un manejo sanitario y eficiente de los mismos (Junta de Andalucía, 2016).

Aunque la autogestión de residuos no es una técnica exclusiva para agricultura ecológica (1Mha en Andalucía durante 2015), (MAPAMA, 2016), el auge de los sistemas de producción ecológica y su necesidad de material orgánico rico en nutrientes han puesto en valor los restos vegetales procedentes de la horticultura (Willer y Lernoud, 2016).

Tanto la biosolarización (Bello Pérez *et al.*, 1997) como la biofumigación (Kirkegaard, 1993) han sido técnicas utilizadas comúnmente para el control de patógenos de origen telúrico, sin embargo son tanto o más válidas para la aceleración de la descomposición de materia orgánica fresca, disminuyendo el tiempo de transición entre cultivos y favoreciendo un parón biológico que erradica a diversas plagas (Reddy, 2011).

Como cualquier materia orgánica incorporada al suelo, los restos de cosecha producen diversos beneficios sobre los cultivos posteriores (Chanda *et al.*, 2011; Marín-Guirao *et al.*, 2016). Son varios los autores que han estudiado el efecto de la adición de materia orgánica mediante biosolarización en cultivos hortícolas suplementada con la utilización de fertilizantes inorgánicos (Mauromicale *et al.*, 2010; Mauromicale *et al.*, 2011; Núñez-Zofío *et al.*, 2012), mientras que el uso exclusivo de materia orgánica mediante biosolarización con el fin último de nutrir cultivos posteriores es un campo de estudio por abordar.

3.2 Objetivo

El objetivo del siguiente capítulo es evaluar el potencial nutritivo de los restos de cosecha de tomate (con y sin suplemento de pellets de brassicas) y riego exclusivo con agua, frente a una fertilización inorgánica tradicional (con y sin suplemento de pellets de brassicas) aplicados bajo la técnica de la bio-solarización y su influencia sobre la producción en un cultivo de tomate bajo invernadero.

3.3 Materiales y métodos

En este apartado se describen los materiales y métodos que no tuvieron cabida en el apartado de materiales y métodos generales, particularizando para aquellos que sean específicos o concernientes de la medida de la producción.

3.3.1 Medida del peso y toma de datos

Durante los dos años de ensayo se tomaron medidas del peso total por tratamiento y repetición en cada cosecha, así como del peso de 25 frutos de características representativas del total del conjunto muestral para obtener un peso por fruto promedio. Debido al manejo de los frutos durante la formación y desarrollo del racimo, no se presentan datos de frutos de destrío, puesto que estos eran eliminados precozmente obteniéndose una producción total que coincidía con la comercial. La medida de los datos de peso se realizó con una balanza digital Metter Toledo de sensibilidad 0,005 kg. (Figura 9).

Figura 9: Toma de muestras y pesado del fruto de tomate



La Tabla 7 muestra las fechas de muestreo de los dos ciclos de cultivo, se optó por una recolección semanal siempre y cuando los frutos presentasen unas características de color y maduración aptas para el consumo. Siempre se recolectaron todos los frutos durante el mismo día para evitar diferencias entre tratamientos.

Tabla 7: Fechas de muestreo durante las dos campañas

DDT: días después del trasplante

Muestreo	Año 1		Año 2	
	Fecha	DDT	Fecha	DDT
1	03/12/2015	92	14/12/2016	99
2	11/12/2015	100	21/12/2016	106
3	17/12/2015	106	28/12/2016	113
4	22/12/2015	111	04/01/2017	120
5	29/12/2015	118	11/01/2017	127
6	07/01/2016	127	18/01/2017	134
7	14/01/2016	134	26/01/2017	142
8	24/01/2016	144	01/02/2017	148
9	03/02/2016	154	08/02/2017	155
10	22/02/2016	173	15/02/2017	162
11	04/03/2016	184	23/02/2017	170
12	14/03/2016	194	02/03/2017	177
13	23/03/2016	203	09/03/2017	184
14	04/04/2016	215	23/03/2017	198
15	13/04/2016	224	06/04/2017	212
16	-	-	20/04/2017	226

3.3.2 Análisis estadístico de los datos

Tras realizar un análisis de la varianza múltiple donde el factor año fue considerado y debido a que éste tuvo un efecto significativo, las dos campañas de cultivo no pudieron ser consideradas estadísticamente iguales, por lo que los resultados fueron analizados de forma separada. El análisis utilizado para la comparación entre los tratamientos consistió en un análisis unifactorial (ANOVA Simple). El método empleado para la comparación de las medias fue el procedimiento de las mínimas diferencias significativas (LSD) con un nivel de confianza del 95%. Al tratarse de un análisis paramétrico las asunciones de normalidad y homocedasticidad fueron previamente comprobadas mediante los tests de Shapiro-Wilk y Levene respectivamente. El software utilizado fue Statgraphics Centurion XVI para Windows (Manugistic, Rockville, MD, USA).

3.4 Resultados

En los siguientes apartados se presentan los resultados en forma de gráficas y tablas concernientes a la producción comercial de tomate durante los dos años de estudio.

3.4.1 Balance de Nitrógeno aportado a los distintos sistemas de nutrición

Desde una óptica fitotécnica es preciso realizar un balance global de Nitrógeno aplicado al sistema, para ello es necesario poner en contexto la cantidad de materia orgánica aplicada y la cantidad de nitrógeno que proporciona. La Tabla 3 (materiales y métodos generales) muestra la composición nutricional de los restos

de cosecha, teniendo en cuenta las cantidades aportadas, la aplicación de restos de cosecha de tomate supuso una adición aproximada de Nitrógeno de $230 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

En cuanto a los pellets de *Brassica carinata*, para la dosis de $0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ la aplicación de nitrógeno fue de $250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ mientras que para la dosis de $1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ resultó en una cantidad de $500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Atendiendo a la solución nutritiva empleada en la zona norte del invernadero (materiales y métodos generales) la cantidad de nitrógeno total aplicada al cultivo fue de $250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. La Tabla 8 resume para cada tratamiento la cantidad de nitrógeno aportado y la fuente del mismo.

Tabla 8: Dosis de Nitrógeno aportado en cada tratamiento

Tratamiento	Fertilizante	Nitrógeno Total ($\text{kg}\cdot\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$)
T0	Testigo	0
T1	Fertilización Inorgánica	250
T2	Fertilización Inorgánica + Pellets	500
T3	Fertilización Inorgánica + Pellets	750
T4	Restos de Plantas de Tomate	230
T5	Restos de Plantas de Tomate + Pellets	480
T6	Restos de Plantas de Tomate + Pellets	730

Como se observa en la Tabla 8 los tratamientos (T1-T4, T2-T5 y T3-T6) tuvieron un aporte similar de nitrógeno aun siendo de diferente origen para poder realizar comparaciones entre los mismos.

3.4.2 Producción puntual por unidad de superficie

La producción puntual (Gráfico 1), representa el promedio de la producción de las cuatro repeticiones que conforman el tratamiento en cada cosecha. Estos valores siguen un comportamiento característico de un ciclo productivo que se lleva hasta agotamiento, esto es, un incremento en la producción en las primeras recolecciones hasta un punto culmen en el que se obtienen máximos rendimientos, para posteriormente empezar a decaer víctima del envejecimiento de la propia planta, de condiciones sub-óptimas de desarrollo, plagas y enfermedades.

Atendiendo a los datos mostrados en la producción puntual del primer cultivo (Gráfico 1) se observa como todos los tratamientos en un inicio tienen una producción semejante entre sí, con una tendencia ascendente. El primer punto de ruptura lo marca el Testigo “cero” el cual a partir de los 134 días empieza a producir sustancialmente menos, comportamiento que se prolongó hasta fin de cultivo. En cuanto a los demás tratamientos, las dos fertilizaciones empleadas (orgánica e inorgánica) tuvieron producciones similares hasta los 194 días de

cultivo, momento en el que los tratamientos con materia orgánica (con y sin Biofence®) alcanzan su máximo productivo para posteriormente comenzar a descender. En cambio los tratamientos con fertilización inorgánica (con y sin Biofence®) se mantuvieron en producción ascendente hasta los 215 ddt (31 días más que los cultivos con fertilización orgánica). A partir de los 215 ddt la producción en los tratamientos con fertilización inorgánica cae de manera notoria por lo que se dio por finalizado el primer ensayo.

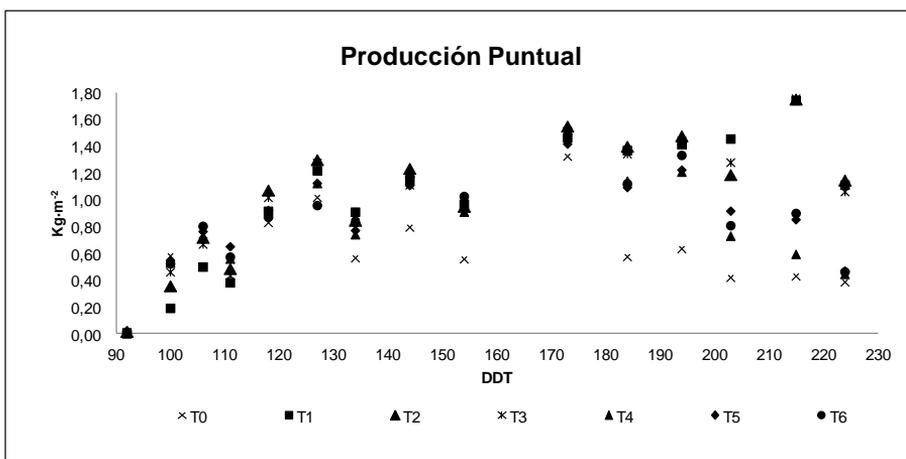


Gráfico 1: Producción por cosecha (kg·m⁻²) durante el primer cultivo, campaña 15-16

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del transplante.

El análisis estadístico de los datos (Tabla 9) muestra como desde los primeros muestreos ya existen diferencias significativas entre tratamientos. Atendiendo a la precocidad en la recolección, los tratamientos con materia orgánica y el testigo “cero” produjeron generalmente más que el resto de tratamientos durante las cinco primeras cosechas. A partir de este punto (118 ddt) y durante las siguientes 7 cosechas (hasta 194 ddt) los tratamientos con algún tipo de nutrición produjeron significativamente lo mismo, en cambio el tratamiento testigo desde la quinta cosecha mostró un agotamiento que continuaría hasta fin de cultivo. Desde los 194 ddt hasta fin de cultivo (224 ddt) los tratamientos con mayor producción fueron los que tenían como nutrición la fertilización inorgánica, mientras que se produjo una caída en la producción en los tratamientos con fertilización orgánica hasta fin de cultivo. El agotamiento de los tratamientos con fertilización inorgánica se produjo a los 215 ddt. El uso del compuesto comercial Biofence® no reportó

ningún incremento en la producción puntual durante la primera campaña, independientemente del sistema de cultivo (orgánico o inorgánico).

Tabla 9: Producción por cosecha ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) durante el primer cultivo, campaña 15-16

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets ($0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets ($1,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets ($0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets ($1,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P-valor
1	92	0,03±0,02	0,00±0,00	0,02±0,02	0,01±0,00	0,01±0,01	0,02±0,03	0,01±0,01	0,3297
2	100	0,58±0,06	0,19±0,06	0,36±0,09	0,46±0,21	0,53±0,21	0,55±0,14	0,53±0,12	0,0103
		A	C	BC	AB	AB	AB	AB	
3	106	0,75±0,09	0,50±0,09	0,72±0,07	0,67±0,10	0,71±0,13	0,76±0,06	0,80±0,06	0,0023
		AB	C	AB	B	AB	AB	A	
4	111	0,56±0,10	0,38±0,05	0,49±0,06	0,44±0,05	0,56±0,06	0,65±0,07	0,57±0,06	0,0002
		AB	D	BC	CD	AB	A	AB	
5	118	0,83±0,08	0,92±0,05	1,07±0,11	1,02±0,09	0,90±0,12	0,92±0,10	0,87±0,05	0,0161
		C	BC	A	AB	BC	BC	C	
6	127	1,02±0,10	1,22±0,10	1,30±0,09	1,28±0,13	1,12±0,15	1,12±0,08	0,96±0,45	0,1708
7	134	0,57±0,10	0,91±0,05	0,85±0,03	0,88±0,02	0,74±0,10	0,77±0,19	0,83±0,17	0,0052
		C	A	AB	AB	B	AB	AB	
8	144	0,80±0,08	1,15±0,14	1,23±0,06	1,11±0,21	1,14±0,08	1,11±0,03	1,17±0,13	0,0011
		B	A	A	A	A	A	A	
9	154	0,56±0,17	0,97±0,06	0,95±0,02	0,95±0,03	0,91±0,11	0,94±0,11	1,03±0,14	0,0001
		B	A	A	A	A	A	A	
10	173	1,33±0,23	1,46±0,21	1,55±0,31	1,51±0,21	1,52±0,09	1,42±0,09	1,52±0,03	0,6691
11	184	0,58±0,20	1,37±0,19	1,40±0,15	1,34±0,16	1,14±0,05	1,09±0,14	1,12±0,14	0,0000
		D	A	A	AB	BC	C	BC	
12	194	0,64±0,20	1,41±0,27	1,48±0,17	1,44±0,24	1,21±0,22	1,22±0,54	1,33±0,20	0,0081
		B	A	A	A	A	A	A	
13	203	0,42±0,09	1,46±0,23	1,19±0,08	1,28±0,14	0,73±0,05	0,92±0,11	0,81±0,13	0,0000
		D	A	B	AB	C	C	C	
14	215	0,43±0,18	1,74±0,29	1,75±0,38	1,76±0,28	0,59±0,20	0,85±0,10	0,90±0,23	0,0000
		C	A	A	A	BC	B	B	
15	224	0,39±0,20	1,11±0,16	1,15±0,08	1,06±0,25	0,45±0,09	0,47±0,16	0,46±0,09	0,0000
		B	A	A	A	B	B	B	

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas ($P \leq 0,05$, LSD test)

En la segunda campaña de estudio (Gráfico 2), la producción por recolección no fue tan homogénea como en el primer cultivo, mostrando tendencias distintas entre tratamientos. Los tratamientos con materia orgánica (con o sin Biofence®) tuvieron una producción estable durante los 226 días que duró el ensayo, mientras que los tratamientos con fertilización inorgánica (con o sin Biofence®) mostraron una tendencia productiva ascendente. Los tratamientos con fertilización orgánica fueron superados a los 155 ddt por la fertilización inorgánica. El testigo “cero” volvió a ser el tratamiento menos productivo puntualmente durante todo el cultivo.

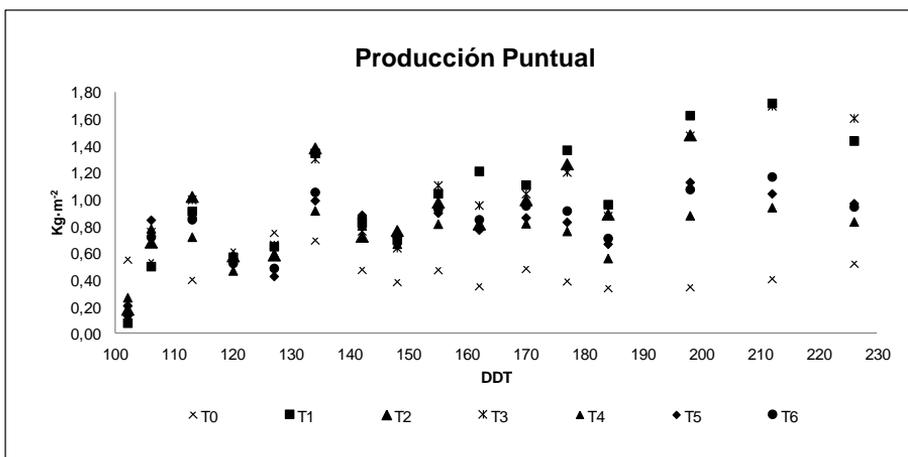


Gráfico 2: Producción por cosecha ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) durante el segundo cultivo, campaña 16-17

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets ($0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets ($1,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets ($0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets ($1,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). DDT: días después del transplante.

Atendiendo a la significancia del segundo ciclo de cultivo (Tabla 10), salvando muestreos puntuales, la producción por recolección fue muy semejante entre los tratamientos con nutrición orgánica e inorgánica (con y sin Biofence®) produciendo de manera similar desde el inicio del cultivo hasta los 155 ddt, momento en el que los tratamientos con materia orgánica empiezan a producir significativamente menos y de forma sostenida hasta final de cultivo (226 ddt). Los tratamientos con fertilización inorgánica mantuvieron en todo momento una producción puntual en ascenso hasta los 212 ddt, momento en que la producción decae.

El tratamiento testigo “cero” mostró el agotamiento lógico de un cultivo sin fertilización, produciendo significativamente menos desde la sexta cosecha (134 ddt) hasta final de cultivo, resultando en el tratamiento con un menor rendimiento por recolección.

Tabla 10: Producción por cosecha (kg·m⁻²) durante el segundo cultivo, campaña 16-17

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P-valor
1	99	0,55±0,11 A	0,08±0,03 C	0,18±0,04 AB	0,18±0,05 AB	0,27±0,22 B	0,21±0,12 AB	0,14±0,12 AB	0,0004
2	106	0,54±0,02 CD	0,50±0,12 D	0,68±0,08 BC	0,76±0,07 AB	0,78±0,09 AB	0,85±0,04 A	0,72±0,21 AB	0,0013
3	113	0,40±0,12 C	0,91±0,05 A	1,02±0,07 A	1,00±0,12 A	0,72±0,16 B	0,87±0,15 AB	0,85±0,08 AB	0,0000
4	120	0,62±0,09	0,57±0,11	0,58±0,17	0,57±0,03	0,47±0,09	0,56±0,10	0,52±0,08	0,5784
5	127	0,75±0,06 A	0,65±0,04 AB	0,58±0,09 ABC	0,66±0,1 AB	0,60±0,19 ABC	0,43±0,23 C	0,49±0,12 BC	0,0489
6	134	0,70±0,10 C	1,35±0,14 A	1,38±0,18 A	1,30±0,14 A	0,92±0,12 B	0,99±0,16 B	1,05±0,17 B	0,0000
7	142	0,48±0,09 B	0,83±0,09 A	0,72±0,14 A	0,76±0,12 A	0,81±0,23 A	0,88±0,16 A	0,87±0,15 A	0,0133
8	148	0,39±0,07 B	0,70±0,08 A	0,77±0,18 A	0,64±0,02 A	0,67±0,1 A	0,73±0,10 A	0,72±0,11 A	0,0010
9	155	0,48±0,07 B	1,04±0,24 A	0,98±0,12 A	1,11±0,44 A	0,82±0,17 A	0,90±0,16 A	0,93±0,15 A	0,0160
10	162	0,36±0,03 C	1,21±0,27 A	0,82±0,24 B	0,96±0,13 B	0,80±0,16 B	0,77±0,09 B	0,85±0,07 B	0,0000
11	170	0,49±0,07 D	1,11±0,15 A	1,00±0,04 ABC	1,04±0,21 AB	0,82±0,15 C	0,86±0,16 BC	0,95±0,10 ABC	0,0001
12	177	0,39±0,18 C	1,37±0,19 A	1,26±0,20 A	1,20±0,16 A	0,76±0,24 B	0,83±0,22 B	0,92±0,08 B	0,0000
13	184	0,34±0,22 D	0,96±0,10 A	0,89±0,12 AB	0,88±0,19 AB	0,56±0,15 CD	0,67±0,16 BC	0,71±0,09 BC	0,0001
14	198	0,35±0,16 C	1,63±0,23 A	1,48±0,26 A	1,48±0,28 A	0,88±0,25 B	1,13±0,18 B	1,08±0,04 B	0,0000
15	212	0,41±0,11 D	1,72±0,35 A	1,47±0,27 AB	1,70±0,28 A	0,94±0,15 C	1,04±0,28 C	1,17±0,29 BC	0,0000
16	226	0,52±0,12 C	1,44±0,35 A	1,22±0,18 AB	1,61±0,32 A	0,83±0,15 BC	0,97±0,38 B	0,95±0,28 B	0,0002

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P≤0.05, LSD test)

El uso del compuesto comercial Biofence® tampoco reportó incremento en la producción puntual durante la segunda campaña, independientemente del sistema de cultivo (orgánico o inorgánico).

3.4.3 Producción acumulada

Acumular la producción diluye el efecto de las producciones puntuales, compensando los valores en “pico de sierra” mostrados en el apartado anterior y permite realizar un análisis comparativo entre tratamientos de una manera más estable.

Atendiendo al Gráfico 3, se observa como durante 134 ddt todos los tratamientos produjeron de manera semejante, a partir de este punto el primer

tratamiento que se descuelga de la tendencia general es el tratamiento testigo “cero”, el cual empieza a producir menos hasta fin de cultivo. No es hasta los 194 ddt cuando se empiezan a mostrar diferencias en la producción acumulada entre los tratamientos con fertilización orgánica e inorgánica, comportamiento que se correlaciona con lo estudiado en el apartado anterior. Los tratamientos con fertilización inorgánica resultaron ser los más productivos de manera acumulada a final de cultivo, pero debido sólo a las tres últimas recolecciones.

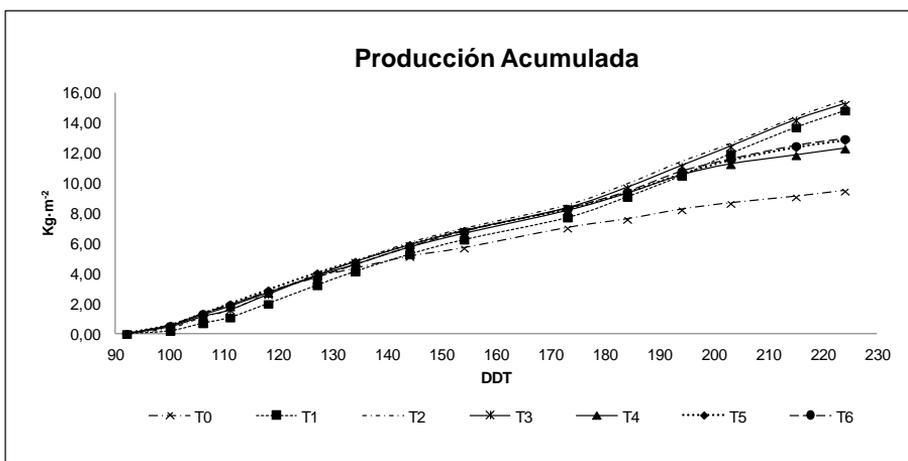


Gráfico 3: Producción acumulada ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) durante el primer cultivo, campaña 15-16

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets ($0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets ($1,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets ($0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets ($1,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). DDT: días después del transplante.

El análisis estadístico de la producción acumulada (Tabla 11) muestra como los tratamientos situados en la zona sur del invernadero (T0, T4, T5 y T6) tuvieron de manera significativa una entrada en producción más temprana que los situados en la zona norte (T1, T2 y T3). La producción acumulada se iguala en todos los tratamientos (excepto T1) a partir de los 118 ddt; no sería hasta los 194 ddt hasta que T1 igualaría de manera significativa en producción acumulada al resto de cultivos. En el caso del tratamiento testigo “cero” este produjo igual que el resto de tratamientos hasta la séptima cosecha (134 ddt), momento en el que la producción decae. En la decimocuarta cosecha se encuentran diferencias significativas entre los tratamientos con materia orgánica y fertilización inorgánica, produciendo los primeros en menor cuantía. Las producciones finales en el rango $12\text{-}15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ son comparables a los rendimientos obtenidos por los agricultores de la comarca para un ciclo largo de tomate (230 ddt).

Tabla 11: Producción acumulada (kg·m⁻²) durante el primer cultivo, campaña 15-16

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P-valor
1	92	0,03±0,02	0,00±0,00	0,02±0,02	0,01±0,00	0,01±0,01	0,02±0,03	0,01±0,01	0,3297
2	100	0,61±0,08	0,19±0,06	0,37±0,09	0,48±0,21	0,54±0,23	0,57±0,16	0,54±0,13	0,0115
		A	C	BC	AB	AB	AB	AB	
3	106	1,35±0,16	0,69±0,13	1,09±0,16	1,14±0,29	1,25±0,11	1,33±0,13	1,34±0,16	0,0002
		A	C	B	AB	AB	AB	AB	
4	111	1,91±0,15	1,08±0,11	1,58±0,20	1,58±0,30	1,81±0,16	1,99±0,14	1,92±0,21	0,0000
		A	C	B	B	AB	A	A	
5	118	2,74±0,24	1,99±0,16	2,65±0,21	2,60±0,23	2,72±0,06	2,91±0,04	2,79±0,24	0,0000
		AB	C	AB	B	AB	A	AB	
6	127	3,76±0,14	3,21±0,25	3,95±0,23	3,87±0,35	3,84±0,15	4,03±0,06	3,75±0,66	0,0390
		A	B	A	A	A	A	A	
7	134	4,33±0,11	4,12±0,22	4,79±0,22	4,76±0,34	4,58±0,22	4,81±0,22	4,58±0,66	0,0582
8	144	5,12±0,14	5,27±0,34	6,02±0,19	5,87±0,32	5,72±0,30	5,91±0,20	5,75±0,59	0,0053
		C	BC	A	A	AB	A	A	
9	154	5,68±0,20	6,23±0,32	6,97±0,17	6,82±0,33	6,63±0,39	6,85±0,29	6,78±0,54	0,0003
		C	B	A	A	AB	A	A	
10	173	7,01±0,42	7,70±0,49	8,52±0,41	8,34±0,51	8,15±0,41	8,27±0,31	8,30±0,55	0,0017
		C	B	A	AB	AB	AB	AB	
11	184	7,59±0,61	9,07±0,66	9,92±0,27	9,68±0,38	9,29±0,41	9,37±0,39	9,42±0,61	0,0000
		C	B	A	AB	AB	AB	AB	
12	194	8,22±0,73	10,48±0,90	11,40±0,32	11,12±0,18	10,50±0,59	10,59±0,89	10,76±0,78	0,0000
		B	A	A	A	A	A	A	
13	203	8,64±0,79	11,94±1,01	12,58±0,30	12,40±0,09	11,23±0,63	11,51±0,99	11,57±0,89	0,0000
		C	AB	A	A	B	AB	AB	
14	215	9,07±0,97	13,68±1,21	14,33±0,54	14,16±0,25	11,83±0,72	12,36±1,04	12,47±1,10	0,0000
		D	AB	A	A	C	C	BC	
15	224	9,46±1,15	14,79±1,21	15,48±0,55	15,22±0,48	12,27±0,71	12,83±1,10	12,93±1,11	0,0000
		C	A	A	A	B	B	B	

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P≤0.05, LSD test)

Durante el segundo ciclo de cultivo la producción acumulada difirió con lo acaecido en el cultivo anterior (Gráfico 4), mostrándose las diferencias entre tratamientos mucho antes. En un inicio todos los tratamientos produjeron de manera similar, sin embargo, a partir de la quinta cosecha el testigo “cero” empezó a producir de manera acumulada sustancialmente menos. No es hasta los 170 ddt cuando los dos sistemas de nutrición vegetal empiezan a distanciarse en lo que respecta a la producción acumulada, y es en este momento en el que los tratamientos con fertilización inorgánica producen en mayor cuantía hasta fin de cultivo. Los tratamientos con materia orgánica se mantuvieron productivos, aunque en menor medida.

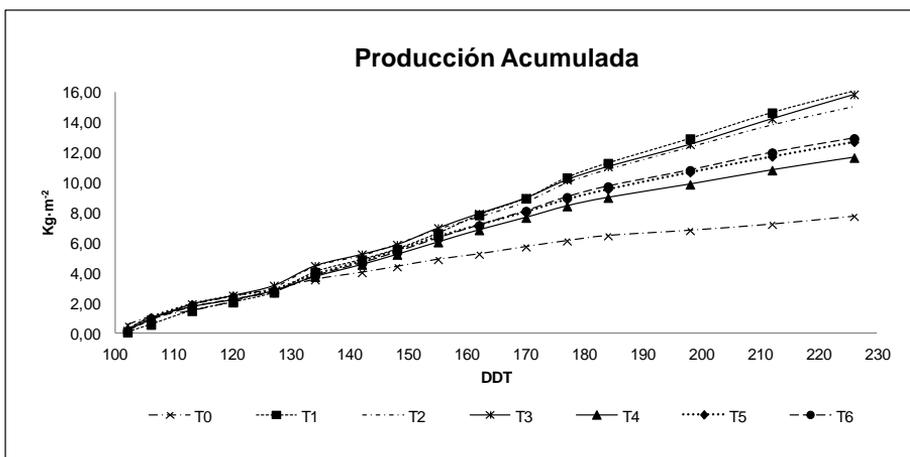


Gráfico 4: Producción acumulada (kg·m⁻²) durante el segundo cultivo, campaña 16-17

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del transplante.

La Tabla 12 muestra el análisis estadístico de la producción acumulada durante la segunda campaña de estudio, como se ha comentado sobre la gráfica anterior, de manera significativa se aprecian los siguientes resultados: El tratamiento T1, volvió a ser el que más tardó en entrar en producción, como en el año anterior, no igualando al resto de tratamientos hasta la séptima cosecha. El tratamiento testigo “cero”, se posicionó como el menos productivo desde la quinta cosecha, marcando aún más las diferencias de agotamiento que el cultivo anterior. Los tratamientos con materia orgánica produjeron de manera acumulada significativamente menos desde la décimo primera cosecha (170 ddt) pero se mantuvieron productivos hasta final de cultivo. Los tratamientos con fertilización inorgánica fueron los más productivos hasta final del ciclo de cultivo.

Tabla 12: Producción acumulada (kg·m⁻²) durante el segundo cultivo, campaña 16-17

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P-valor
1	99	0,55±0,11 A	0,08±0,03 C	0,18±0,04 AB	0,18±0,05 AB	0,27±0,22 B	0,21±0,12 AB	0,14±0,12 AB	0,0004
2	106	1,09±0,10 A	0,58±0,14 B	0,86±0,09 A	0,94±0,08 A	1,05±0,22 A	1,06±0,16 A	0,86±0,31 A	0,0068
3	113	1,49±0,11 B	1,49±0,14 B	1,88±0,11 A	1,93±0,15 A	1,77±0,10 A	1,92±0,18 A	1,72±0,31 AB	0,0032
4	120	2,11±0,19 B	2,06±0,25 B	2,46±0,22 A	2,51±0,17 A	2,24±0,06 AB	2,48±0,24 A	2,24±0,27 AB	0,0279
5	127	2,87±0,21	2,71±0,26	3,04±0,16	3,17±0,26	2,84±0,21	2,91±0,45	2,73±0,22	0,2193
6	134	3,56±0,25 C	4,06±0,16 AB	4,42±0,31 A	4,47±0,36 A	3,75±0,10 BC	3,90±0,44 BC	3,78±0,28 BC	0,0014
7	142	4,04±0,18 D	4,88±0,24 ABC	5,15±0,43 AB	5,24±0,43 A	4,56±0,16 C	4,78±0,54 ABC	4,65±0,27 BC	0,0019
8	148	4,43±0,14 C	5,58±0,26 AB	5,91±0,50 A	5,87±0,43 A	5,23±0,26 B	5,51±0,63 AB	5,37±0,38 AB	0,0008
9	155	4,90±0,09 C	6,63±0,46 AB	6,89±0,61 A	6,98±0,83 A	6,04±0,42 B	6,41±0,76 AB	6,30±0,34 AB	0,0006
10	162	5,26±0,12 C	7,84±0,71 A	7,70±0,56 AB	7,94±0,93 A	6,85±0,57 B	7,18±0,85 AB	7,15±0,41 AB	0,0001
11	170	5,75±0,14 C	8,94±0,71 A	8,70±0,58 A	8,98±1,13 A	7,67±0,59 B	8,05±0,86 AB	8,10±0,42 AB	0,0000
12	177	6,14±0,30 E	10,31±0,87 A	9,96±0,75 ABC	10,18±1,26 AB	8,43±0,82 D	8,88±1,03 CD	9,02±0,41 BCD	0,0000
13	184	6,48±0,49 E	11,28±0,93 A	10,85±0,83 ABC	11,06±1,35 AB	8,99±0,97 D	9,55±1,17 CD	9,73±0,49 BCD	0,0000
14	198	6,83±0,36 D	12,90±1,10 A	12,33±1,08 AB	12,53±1,62 A	9,87±1,21 C	10,68±1,24 C	10,80±0,52 BC	0,0000
15	212	7,24±0,48 D	14,62±1,43 A	13,80±1,29 AB	14,23±1,86 A	10,81±1,34 C	11,72±1,51 C	11,97±0,72 BC	0,0000
16	226	7,76±0,52 D	16,06±1,76 A	15,02±1,28 AB	15,83±2,14 A	11,65±1,49 C	12,69±1,84 C	12,92±0,98 BC	0,0000

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P≤0.05, LSD test)

3.4.4 Peso por fruto

Las tendencias representadas en el Gráfico 5 muestran la evolución en el peso del fruto a lo largo de las cosechas realizadas en un cultivo de tomate. Dicho comportamiento no difiere de lo que ocurre en un cultivo comercial, esto es, el peso del fruto desciende progresivamente durante el cultivo, siendo los frutos de mayor calibre los primeros recolectados.

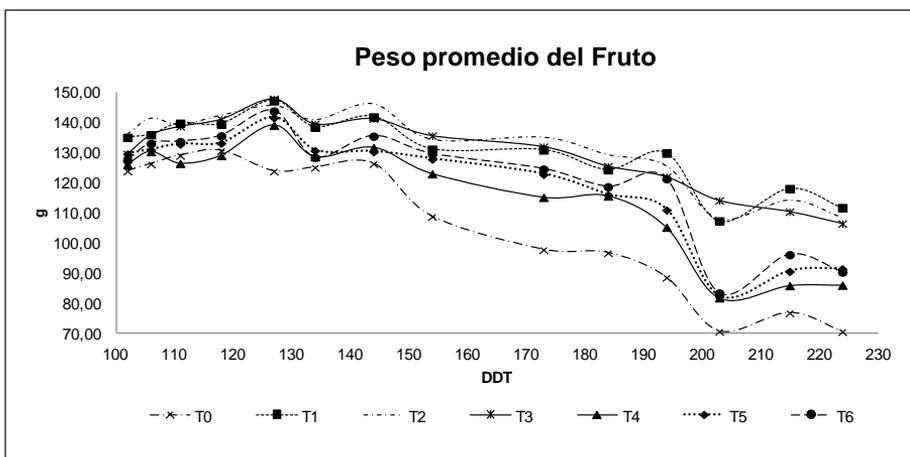


Gráfico 5: Peso por fruto (g) durante el primer cultivo, campaña 15-16

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del transplante.

En análisis estadístico a los datos concernientes al peso por fruto muestran que el sistema de nutrición influyó significativamente en el parámetro analizado. Los tratamientos con fertilización inorgánica (con y sin Biofence®) produjeron frutos de mayor peso a lo largo de todo el ensayo, en comparación con los de nutrición orgánica. Estos no lograron salvo en contados muestreos igualar el peso de los cultivos con fertilización inorgánica. El tratamiento que obtuvo frutos de menor tamaño fue el testigo “cero” finalizando con frutos de tamaño no comercial, mientras que el resto de tratamientos los frutos cumplieron con las características comerciales para el consumo.

Tabla 13: Peso por fruto (g) durante el primer cultivo, campaña 15-16

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P-valor
1	92	91,72±61,28	35,00±70,00	103,62±69,43	131,00±10,56	85,21±57,98	69,94±46,85	109,58±5,81	0,2656
2	100	123,75±2,55 C	134,90±2,00 AB	135,70±1,61 A	129,35±3,37 BC	125,90±2,55 C	129,40±6,26 BC	127,25±7,18 C	0,0041
3	106	126,10±3,53 C	135,80±2,77 AB	141,00±3,92 A	135,75±3,54 AB	130,20±6,32 BC	130,80±7,94 BC	132,90±4,64 BC	0,0105
4	111	128,90±1,94 CD	139,60±2,91 A	138,90±3,17 AB	138,60±2,59 AB	126,30±0,81 D	132,65±7,1 BCD	133,50±8,31 ABC	0,0022
5	118	130,50±3,27 D	139,35±4,99 ABC	142,00±1,95 A	140,95±5,12 AB	128,90±3,93 D	133,00±4,75 CD	135,40±6,00 BCD	0,0017
6	127	123,70±6,62 C	147,05±1,60 AB	145,25±7,23 AB	147,70±5,10 A	138,95±3,66 B	141,45±4,25 AB	143,65±8,11 AB	0,0001
7	134	124,95±2,20 C	138,30±4,01 AB	140,50±4,64 A	139,40±3,14 A	128,50±7,09 C	130,55±2,46 BC	128,30±10,29 C	0,0021
8	144	126,20±4,99 D	141,70±2,9 AB	145,80±4,07 A	141,15±1,51 AB	131,55±6,70 CD	130,15±5,22 CD	135,30±3,71 BC	0,0000
9	154	108,70±8,90 C	131,00±5,95 AB	134,05±3,30 AB	135,50±2,81 A	122,85±6,99 B	127,70±12,28 AB	129,40±10,23 AB	0,0018
10	173	97,70±5,29 E	130,75±5,04 AB	134,75±3,49 A	131,85±1,59 AB	115,05±8,61 D	122,65±2,64 C	124,40±5,91 BC	0,0000
11	184	96,65±10,71 D	124,20±4,76 ABC	129,00±3,84 A	125,40±7,14 AB	115,50±2,91 C	115,85±1,91 BC	118,55±9,26 BC	0,0000
12	194	88,50±11,81 D	129,70±13,32 A	125,30±2,47 A	121,85±4,44 AB	105,15±5,74 C	110,85±11,13 BC	121,20±10,5 AB	0,0000
13	203	70,65±6,33 C	107,25±4,32 A	107,75±9,60 A	114,00±3,61 A	81,75±10,71 B	82,15±2,27 B	83,35±7,86 B	0,0000
14	215	76,75±6,30 C	117,95±7,54 A	113,95±6,25 A	110,30±11,05 A	85,80±6,44 BC	90,50±10,44 B	96,05±13,83 B	0,0000
15	224	70,55±2,32 C	111,65±6,06 A	108,25±4,48 A	106,35±7,72 A	85,95±10,87 B	91,35±6,97 B	90,30±6,10 B	0,0000

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P≤0.05, LSD test)

La evolución del peso por fruto (Gráfico 6) durante el segundo cultivo de estudio siguió la misma tendencia que en el cultivo anterior, una disminución progresiva del peso a lo largo del cultivo, aunque en este caso los frutos de final de campaña eran sensiblemente menos pesados que en comparación con la primera.

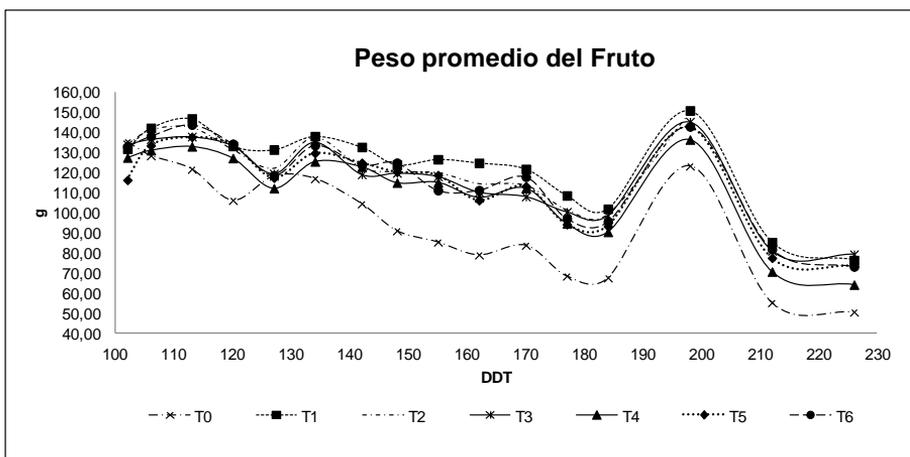


Gráfico 6: Peso por fruto (g) durante el segundo cultivo, campaña 15-16

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del transplante.

Durante el segundo cultivo, comparando la diferencia en el peso por fruto entre las distintas fertilizaciones (orgánica e inorgánica) se comprobó como los frutos de ambas fertilizaciones presentaron un peso semejante durante todo el periodo de ensayo (Tabla 14). El tratamiento testigo “cero” obtuvo los frutos de menor peso, volviendo a producir a final de cultivo frutos no aptos para el consumo debido a las exigencias comerciales. Es justo destacar la décimo cuarta cosecha (198 ddt) momento en el que todos los frutos rompen con la tendencia natural a la pérdida de peso a lo largo de un cultivo de tomate, este comportamiento fue debido al despunte de la planta de tomate que provocó un desvío de fotoasimilados, cambiando la tendencia de la planta de vegetativa a productiva. Este comportamiento no se presentó en el primer cultivo debido a que el despunte se realizó posteriormente.

Tabla 14: Peso por fruto (g) durante el segundo cultivo, campaña 16-17

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	p-valor
1	99	135,30±6,58	131,70±11,42	133,50±2,68	133,90±4,33	127,35±13,47	116,20±15,05	132,80±16,30	0,2575
2	106	128,40±6,61	142,10±5,07	141,10±5,76	136,50±5,85	131,00±9,82	133,40±4,69	138,00±6,39	0,0577
3	113	121,70±11,39 C	146,80±5,13 A	142,30±7,44 AB	137,80±3,56 AB	132,90±9,81 BC	137,60±8,20 AB	143,70±8,18 AB	0,0056
4	120	106,20±4,51	133,10±7,75	131,30±6,74	133,30±11,67	127,10±13,07	134,10±17,19	134,20±12,98	0,0216
5	127	118,20±4,05	131,30±2,18	121,90±8,77	119,40±8,03	112,10±6,49	117,30±10,13	118,60±9,52	0,0617
6	134	117,00±12,45	138,00±3,38	137,40±5,63	135,10±6,23	125,40±13,09	129,60±8,29	133,50±18,62	0,1212
7	142	104,50±13,80	132,60±4,62	122,20±9,10	119,00±6,45	122,80±16,50	124,80±13,60	123,80±8,56	0,0679
8	148	91,10±4,61 B	123,80±3,95 A	120,10±8,49 A	119,70±8,26 A	114,90±11,38 A	120,30±9,98 A	124,80±10,25 A	0,0002
9	155	85,50±1,94 B	126,50±5,04 A	119,70±8,21 A	118,00±12,11A	115,10±19,71A	118,70±15,39A	111,10±18,90A	0,0081
10	162	79,10±1,61 C	124,70±4,54 A	114,20±6,01 AB	110,20±10,78 B	107,60±12,10 B	106,10±11,35 B	111,20±11,42 B	0,0000
11	170	83,90±6,22 C	121,70±9,45 A	113,40±2,97 AB	108,00±4,39 B	112,20±9,36 AB	113,20±9,81 AB	117,80±5,39 AB	0,0000
12	177	68,60±8,75 C	108,50±6,08 A	101,20±4,77 AB	100,40±0,73 AB	94,60±12,58 B	94,20±8,15 B	97,10±7,54 B	0,0000
13	184	67,70±5,41 B	101,90±1,61 A	98,90±7,87 A	98,60±6,00 A	90,40±18,30 A	93,20±7,89 A	95,50±8,57 A	0,0007
14	198	123,30±18,57 B	150,80±7,32 A	149,80±10,59 A	145,20±14,28 A	136,30±9,46 AB	142,70±8,70 A	142,80±5,81 A	0,0415
15	212	55,40±7,23 C	85,30±6,92 A	79,90±10,81 AB	81,00±7,38 AB	70,70±5,23 B	77,5±10,39 AB	81,80±6,11 AB	0,0006
16	226	50,70±4,31 C	76,40±8,41 AB	80,80±12,76 A	79,30±14,22 A	64,20±7,23 BC	73,3±10,43 AB	73,20±5,32 AB	0,0031

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P<0.05, LSD test)

3.4.5 Comparativa de la producción acumulada

Resulta esclarecedor realizar una comparación dentro de los propios tratamientos durante las dos campañas de cultivo para poder observar de manera más concisa donde se produjeron las diferencias productivas relatadas en los apartados anteriores. Sin bien es cierto que cada campaña agrícola es distinta a las predecesoras y lo será a las siguientes, la agricultura bajo condiciones controladas minimiza estos efectos y permite realizar comparaciones entre campañas consecutivas. Como se puede observar en el Gráfico 7, durante los dos años de cultivo la mayoría de tratamientos tuvieron una producción acumulada muy semejante, siendo los dos únicos con una producción distinta: testigo “cero” el cual durante el segundo cultivo produjo menos de manera constante mostrando el agotamiento acumulado de los dos años de estudio y el T1 (fertilización inorgánica exclusiva) que produjo más durante el segundo cultivo en comparación con el primero, pudiendo deberse a una mejora en la dotación de riego o una menor incidencia de plagas y/o enfermedades.

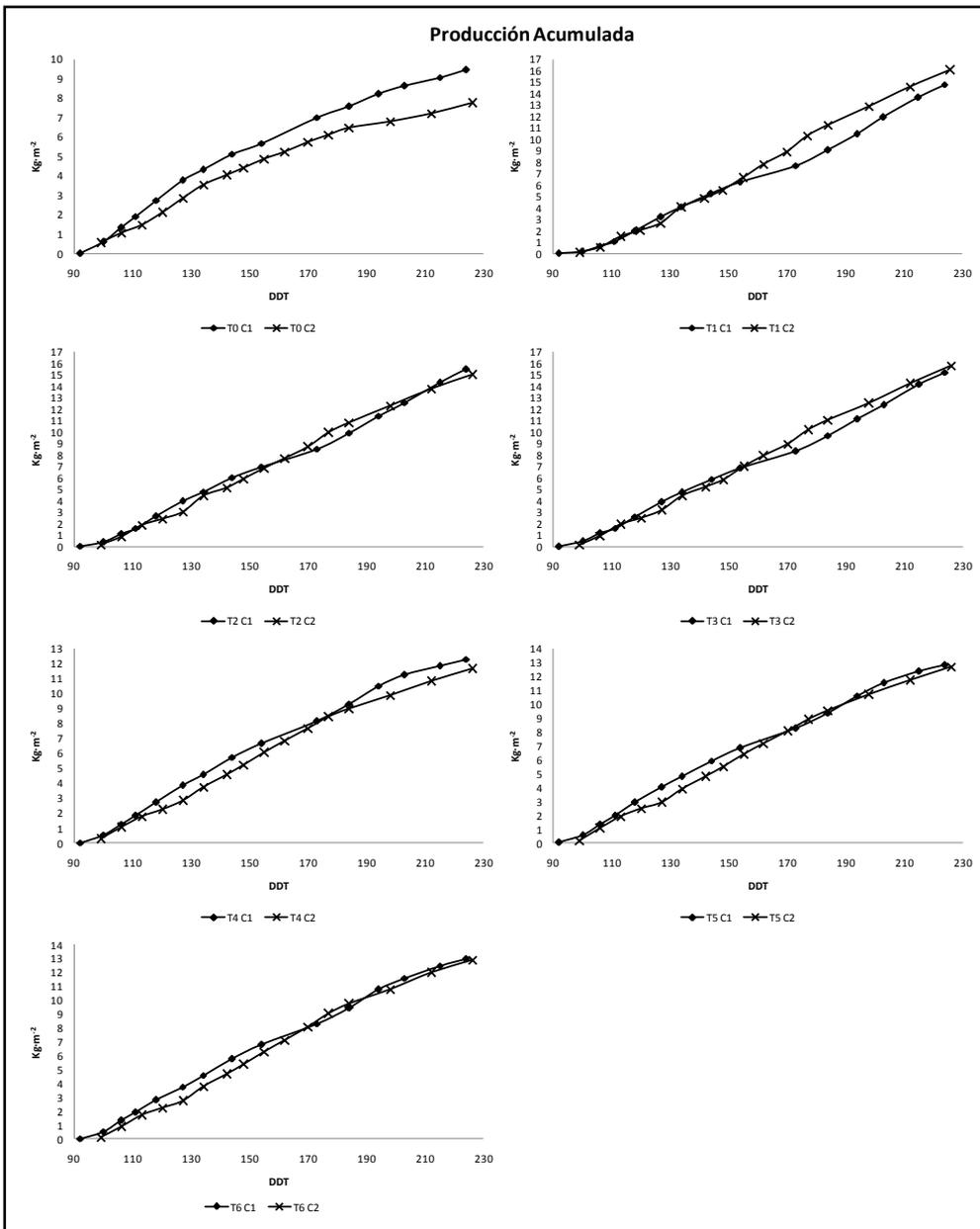


Gráfico 7: Comparativa entre tratamientos de la producción acumulada dos años de cultivo
 T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). C1: Cultivo 1 (2015/16). C2: Cultivo 2 (2016/17). DDT: días después del transplante.

3.5 Discusión

Los datos expuestos en el presente capítulo muestran como el uso de la materia orgánica procedente de restos de plantas de tomate y pellets de *Brassica carinata* satisficieron parcialmente la demanda de nutrientes por parte de un cultivo de tomate, produciendo de forma puntual y acumulada lo mismo que una nutrición de síntesis hasta los 194 ddt y los 165 ddt durante el primer y segundo año respectivamente. Podría pensarse que en los tratamientos con materia orgánica no se alcanzó la dosis óptima de Nitrógeno a aplicar a un cultivo de tomate para optimizar la producción, sin embargo son varios los autores que han trabajado en este aspecto: Hartz y Bottoms (2009) la sitúan en los 210 kg·N·ha⁻¹ obteniendo una producción de 139 t·ha⁻¹ de tomate. Zotarelli *et al.* (2009) establecen que una dosis superior a 220 kg·N·ha⁻¹ no es correspondida con un incremento productivo, solo conlleva un consumo de nitrógeno en régimen de lujo por parte de la planta. Araki y Yamaguchi (2007) en un ensayo en invernadero concluyen que la dosis recomendada de 300 kg·N·ha⁻¹ puede ser reducida hasta los 210 kg·N·ha⁻¹ para el cultivo del tomate obteniendo una producción comercial de 106 t·ha⁻¹. Soto *et al.* (2015) afirman que para un cultivo de tomate en invernadero en Almería la dosis óptima se sitúa en el rango 215-270 kg·N·ha⁻¹ descontando las posibles lixiviaciones y obtener una producción de 100 t·ha⁻¹. Elia y Conversa (2012) en un cultivo de tomate al aire libre establecen que la dosis 200 kg·N·ha⁻¹ fue la que mejoró el rendimiento productivo con una cuantía de 100-120 t·ha⁻¹. Erdal *et al.* (2006) establecen una dosis óptima de nitrógeno de 160 kg·ha⁻¹ aunque estiman que la extracción por parte del cultivo ascendió a 204 kg·N·ha⁻¹ pues el suelo partía con reservas.

Por lo que, atendiendo a las cantidades aplicadas y a los datos aportados por otras investigaciones, todas las dosis ensayadas en esta investigación cumplen con los requisitos mínimos para desarrollar un cultivo de tomate. Sin embargo la materia orgánica no consiguió suplir totalmente las necesidades del cultivo, las posibles causas para este hecho son varias, en primer lugar podría pensarse que no todo el Nitrógeno contenido en la materia orgánica fue mineralizado tras la biosolarización, la heterogeneidad de los restos de tomate aplicados (hojas, tallos y frutos) y su distinta proporción en hemicelulosa, celulosa y lignina pudieron influir en la tasa de mineralización y su consiguiente disponibilidad de Nitrógeno para la planta, disponiendo de menos nutrientes de lo teóricamente estudiado (Masunga *et al.*, 2016).

Otra posible explicación pudo ser la inmovilización del nitrógeno por parte de ciertos grupos microbianos para formar estructuras propias en procesos de

multiplicación y crecimiento, no poniéndolo a disposición de la planta (Yevdokmov y Blagodatsky, 1993). Por último, la lixiviación del Nitrógeno podría ser otra causa, pero durante el desarrollo del cultivo por diversos métodos no se obtuvo percolación en ningún momento debido al régimen de riegos aplicado.

Para poner en contexto las cantidades de materia orgánica aplicadas, la dosis máxima de Nitrógeno establecida por la legislación Europea (Directiva 91/676/CEE), Estatal (Real Decreto 261/1996) y Andaluza (Decreto 36/2008) para el uso de estiércoles y enmiendas orgánicas se sitúa en los $170 \text{ kg}\cdot\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$, por lo que todos los ensayos mostrados anteriormente, incluido el de esta presente tesis superan las dosis recomendadas. Por tanto, debería de ser cuestionado si con la dosis planteada por la administración se consiguen rendimientos productivos favorables para el agricultor.

En cambio la aplicación de fertilización de síntesis no está sujeta a la misma normativa, ya que su límite de aplicación se establece con dosis proporcional a la producción final de fruto obtenida. En el caso de la agricultura intensiva de Almería las dosis promedio de nitrógeno de origen inorgánico aplicadas por los agricultores se sitúan entre las concentraciones $847\text{--}976 \text{ kg}\cdot\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Soto *et al.*, 2015). Estas cuantías en cualquiera de los casos superan ampliamente las aplicadas en este ensayo y a la normativa para enmiendas orgánicas, sin embargo los rendimientos productivos obtenidos para un cultivo comercial de tomate de ciclo largo se sitúan en el mismo rango que lo obtenido en esta investigación, por lo que el campo de mejora y optimización es necesario para evitar problemas tan acuciantes como la contaminación y eutrofización de acuíferos (Thompson *et al.*, 2007).

Si centramos la discusión en los rendimientos productivos obtenidos, existen pocos estudios en el que la nutrición vegetal sea exclusiva del aporte de la materia orgánica aplicada bajo biosolarización en invernadero, además la mayoría de agricultores la suplementan con el aporte de abonado de síntesis durante el desarrollo del cultivo por lo que respecto a esta investigación resulta difícil realizar comparaciones.

Iapichino *et al.* (2008) afirman que los tomates cultivados tras realizar la técnica de biosolarización con restos de brassicas ($2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) y fertilización inorgánica presentaron mayor producción comercial que los tratamientos solamente solarizados. Ros *et al.* (2008) evalúan la técnica de la biosolarización con diversas materias orgánicas (estiércol de oveja y gallinaza) frente al bromuro de metilo, encontrando mayor producción de pimiento en el uso de los estiércoles, aunque los autores no puntualizan si utilizaban fertilización de síntesis en el cultivo.

Mauromicale *et al.* (2010) reportan un aumento en la producción de tomate (hasta un 70% según tratamiento) cuando incorporan al suelo previo a la solarización materia orgánica compuesta por estiércol de vacuno, gallinaza y cuero.

De nuevo Mauromicale *et al.* (2011) encuentran que la adición de un compost a base de estiércol de ganado vacuno y caballo previo a la solarización (*i.e.* biosolarización) tuvo un efecto positivo en las propiedades físicas y químicas de frutos de tomate en el sureste de Italia.

Núñez-Zofío *et al.* (2012) en un ensayo de biodesinfección de suelos en el País Vasco, encuentran mejoras productivas en cultivos de pimiento tras la adición de diversas materias orgánicas, establecen un incremento en la producción del 59% con estiércol de oveja y gallinaza semicompostado. Los autores anteriores no especifican si realizaban una fertilización inorgánica durante el desarrollo del cultivo. Marín-Guirao *et al.* (2016) concluyen que la biosolarización con restos de brassicas y pellets de gallinaza junto con fertilización inorgánica, benefició los posteriores cultivos de tomate, tanto en producción comercial, como en características organolépticas.

Las conclusiones de estos autores demuestran los efectos positivos de la biosolarización cuando se suplementa con materia orgánica y fertirriego, obteniendo producciones y frutos con una calidad hortícola comparables a un sistema convencional, sin embargo las aplicaciones de fertilización inorgánica durante el cultivo, deben de ser realizadas teniendo en cuenta el aporte global de macronutrientes al sistema, para poder optimizar los recursos y economizar los costes de cultivo. En ese sentido la investigación presente se postula como una evolución de las técnicas aplicadas por los autores anteriores, al reducir el aporte de fertilizante inorgánico a cero en los tratamientos con restos de cosecha y obtener rendimientos similares a un sistema de producción convencional.

Si obviamos el uso de técnicas biodesinfectantes, el aporte de materia orgánica para nutrir cultivos (en particular, tomate) ha sido ampliamente estudiado por diversos autores, y sus resultados reafirman lo anteriormente expuesto. Entre los que encontraron una producción de tomate semejante o mayor en la aplicación de materia orgánica frente a una fertilización inorgánica destacan Stazi *et al.* (2018), Elia *et al.* (2007), Yanar *et al.* (2011), Reeve y Drost (2012), Taiwo *et al.* (2007), Heeb *et al.* (2006), Nguyen *et al.* (2015), Márquez-Hernández *et al.* (2013), Boček *et al.* (2008), Moccia *et al.* (2006), Guajardo-Ríos *et al.* (2018), Montagu y Goh (1990).

Sin embargo Bettiol *et al.* (2004), Riahi *et al.* (2009), Sandei *et al.* (2013), Murmu *et al.* (2013), López-Martínez *et al.* (2016), Toor *et al.* (2006) encuentran una mayor producción de tomate en el uso de fertilizantes de origen inorgánico.

Es preciso analizar la producción del testigo (riego exclusivo con agua sin fertilizante). Al no aplicarse ningún tipo de materia orgánica la técnica de desinfección utilizada sería la solarización. Durante los dos años de cultivo se obtuvo producción comercial de menor cuantía, lo que pudo deberse a la solubilización de nutrientes remanentes producidos durante la solarización. Stapleton *et al.* (1985) encuentran un efecto similar al solarizar con plástico transparente, establecen un aumento en el contenido en NO_3^- y NH_4^+ disponibles para el cultivo posterior a la solarización. Lombardo *et al.* (2012) citando a Katan (1981) especulan que la solarización por si misma puede potenciar el crecimiento y desarrollo de la planta acuñando el término de “Respuesta en el incremento del crecimiento” y sugieren que es debido a una liberación rápida de nutrientes. Posible intrusión debido a la lixiviación de nutrientes por tratamientos adyacentes fueron descartados debido a que se respetó el efecto borde.

El uso de Biofence® como materia orgánica no supuso una mejora en la producción de tomate durante el primer cultivo. Esto coincide con lo estudiado por López-Aranda *et al.* (2012), Pane *et al.* (2012) o Marín-Guirao *et al.* (2016) los cuales no encuentran un beneficio en su aplicación. En lo que respecta a esta investigación el uso del producto comercial Biofence® representó un desembolso económico no correspondido en un aumento de producción que justifique su uso.

3.6 Conclusión

La incorporación de restos vegetales mediante biosolarización al finalizar el cultivo, se presenta como una práctica eficiente en el manejo de este residuo, solventó el problema de manejo de los restos de cosecha y se postula como una técnica respetuosa con el medio ambiente y que beneficia la economía circular, la cual pretende conseguir que los productos, subproductos y recursos en general mantengan su utilidad y valor en todo momento, procurando que no generen residuos sino nuevos productos. La adición de enmiendas orgánicas consiguió alcanzar producciones equiparables a la fertirrigación convencional (abonado de síntesis) durante la mayor parte del cultivo, presentando diferencias máximas de $2\text{-}3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ al final de un ciclo largo de tomate en invernadero.

3.7 Bibliografía

Araki, Y., Yamaguchi, H., 2007. Effects of drip fertigation on nutrient uptake, growth, yield and fruit quality of forcing culture tomato (*Lycopersicon esculentum* mill. var. *House-Momotarō*) under greenhouse. *Acta Horticulturae* 761, 417-423.

Bello-Pérez, A., González-Pérez, J.A., Tello, J.C., 1997. La biofumigación como alternativa a la desinfección de suelos. *Horticultura Internacional* 43, 41-43.

Bettiol, W., Ghini, R., Galvão, J.A.H., Siloto, R.C., 2004. Organic and conventional tomato cropping systems. *Scientia Agricola* 61, 253-259.

Boček, S., Malý, I., Patočková, Š., 2008. Yield and quality of bush processing tomatoes fertilized with dried organic and organomineral fertilizers. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 56, 31-38.

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. *Publicaciones Cajamar* 2ª ed. 1-249.

Contreras-París, J., Baeza-Cano, R.J., Segura-Pérez, M., 2015. Cuantificación de los nutrientes aportados al suelo por la incorporación de los restos de los cultivos hortícolas en invernaderos. *AE. Agricultura y ganadería ecológica* 12, 18-19.

Chanda, G.K., Bhunia, G., Chakraborty, S.K., 2011. The effect of vermicompost and other fertilizers on cultivation of tomato plants. *Journal of Horticulture and Forestry* 3, 42-45.

Decreto 36/2008, de 5 de febrero, por el que se designan las zonas vulnerables y se establecen medidas contra la contaminación por nitratos de origen agrario. *BOJA* 36/2008.

Directiva 91/676/CEE relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias. Manual de interpretación y elaboración de informes.

Elia, A., Conversa, G., 2012. Agronomic and physiological responses of a tomato crop to nitrogen input. *European Journal of Agronomy* 40, 64-74.

Elia, A., Conversa, G., Trotta, G., Rinaldi, M., 2007. Organic fertilization on soil water content, yield and quality of processing tomato. *Acta Horticulturae* 758, 339.

Erdal, I., Ertek, A., Senyigit, U., Yilmaz, H.I., 2006. Effects of different irrigation programs and nitrogen levels on nitrogen concentration, uptake and utilisation in processing tomatoes (*Lycopersicum esculentum*). *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46, 1653-1660.

Fernández, P., Pascual, J., Lacasa, A., 2014. Potencial de lixiviación de nitratos de la técnica de biosolarización en suelos de invernaderos de pimiento. *Actas de Horticultura* 66, 107-115.

Guajardo-Ríos, O., Lozano-Cavazos, C.J., Valdez-Aguilar, L.A., Benavides-Mendoza, A., Ibarra-Jiménez, L., Ascacio-Valdés, J.A., Aguilar-González, C.N., 2018. Animal-based organic nutrition can substitute inorganic fertigation in soilless-grown grape tomato. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B Soil & Plant Science* 68, 77-85.

Hartz, T.K., Bottoms, T.G., 2009. Nitrogen requirements of drip-irrigated processing tomatoes. *HortScience* 44, 1988-1993.

Heeb, A., Lundegårdh, B., Savage, G., Ericsson, T., 2006. Impact of organic and inorganic fertilizers on yield, taste, and nutritional quality of tomatoes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 169, 535-541.

Iapichino, G., Puleo, L., Vetrano, F., Sciortino, A., 2008. Effects of Solarization and Biofumigation on Tomato Greenhouse Production in the Southern Coast of Sicily. *Acta Horticulturae* 801, 1557-1562.

Junta de Andalucía, 2016. Consejería de Agricultura y Pesca y Desarrollo Rural; Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Estrategia de gestión de restos vegetales en la horticultura de Andalucía 1, 1-40.

Katan, J., 1981. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. *Annual Review of Phytopathology* 19, 211-236.

Kirkegaard, J.A.G., P.A.; Desmarchelier, J.M.; Angus, J.F., 1993. Biofumigation - using Brassica species to control pests and diseases in horticulture and agriculture. *Proceedings 9th Australian Research Assembly on Brassica*, N. Wratten and R.J. Mailer (eds) (Wagga Wagga, NSW: October 5-7, 1993) 1, 77-82.

Lombardo, S., Longo, A.M.G., Lo Monaco, A., Mauromicale, G., 2012. The effect of soil solarization and fumigation on pests and yields in greenhouse tomatoes. *Crop Protection* 37, 59-64.

López-Aranda, J.M., Miranda, L., Domínguez, P., Soria, C., Pérez-Jiménez, R.M., Zea, T., Talavera, M., Velasco, L., Romero, F., De Los Santos, B., Medina-Mínguez, J.J., 2012. Soil biosolarization for strawberry cultivation. *Acta Horticulturae* 926, 407-413.

López-Hernández, J.C., Pérez-Martínez, C., Acien-Fernández, F.G., 2016. Residuos vegetales procedentes de los invernaderos de Almería. *Publicaciones Cajamar* 17, 1-9.

López-Martínez, J.D., Vázquez-Díaz, D.A., Esparza-Rivera, J.R., García-Hernández, J.L., Castruita-Segura, M.A., Preciado-Rangel, P., 2016. Yield and nutraceutical

quality of tomato fruit produced with nutrient solutions prepared using organic materials. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39, 409-414.

MAPAMA, 2016. Agricultura ecológica estadísticas 2015. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Subdirección General de Calidad Diferenciada y Agricultura Ecológica 1, 1-175.

Marín-Guirao, J.I., Tello, J.C., Díaz, M., Boix, A., Ruiz, C.A., Camacho, F., 2016. Effect of greenhouse soil bio-disinfection on soil nitrate content and tomato fruit yield and quality. *Soil Research* 54, 200-206.

Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., Figueroa-Viramontes, U., Avila-Diaz, J., Rodríguez-Dimas, N., García-Hernández, J., 2013. Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernader. *Phyton (Buenos Aires)* 82, 55-61.

Masunga, R.H., Uzokwe, V.N., Mlay, P.D., Odeh, I., Singh, A., Buchan, D., De Neve, S., 2016. Nitrogen mineralization dynamics of different valuable organic amendments commonly used in agriculture. *Applied Soil Ecology* 101, 185-193.

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.

Mauromicale, G., Monaco, A.L., Longo, A.M.G., 2010. Improved efficiency of soil solarization for growth and yield of greenhouse tomatoes. *Agronomy for Sustainable Development* 30, 753-761.

Moccia, S., Chiesa, A., Oberti, A., Tiftonell, P., 2006. Yield and quality of sequentially grown cherry tomato and lettuce under long-term conventional, low-input and organic soil management systems. *European Journal of Horticultural Science* 71, 183-191.

Montagu, K.D., Goh, K.M., 1990. Effects of forms and rates of organic and inorganic nitrogen fertilisers on the yield and some quality indices of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Miller). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 18, 31-37.

Moreno Casco, J., Moral Herrero, R., 2008. *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa 1ª ed, 1-572.

Murmu, K., Ghosh, B.C., Swain, D.K., 2013. Yield and quality of tomato grown under organic and conventional nutrient management. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59, 1311-1321.

Nguyen, T.N., Tang, L.H., Peng, Y.K., Ni, J.Y., Chang, Y.N., 2015. Effects of Composite Inorganic, Organic Fertilizer and Foliar Spray of Multi-nutrients on

Growth, Yield and Quality of Cherry Tomato. *Journal of Agricultural Science and Technology* 17, 1781-1788.

Núñez-Zofío, M., Larregla del Palacio, S., Garbisu, C., 2012. Repeated biodesinfection controls the incidence of *Phytophthora* root and crown rot of pepper while improving soil quality. *Publicaciones INIA* 10, 1-12.

Pane, C., Vilecco, D., Pentangelo, A., Lahoz, E., Zaccardelli, M., 2012. Integration of soil solarization with *Brassica carinata* seed meals amendment in a greenhouse lettuce production system. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science* 62, 291-299.

Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. BOE núm. 61 de 11 de Marzo de 1996.

Reddy, P.P., 2011. *Biofumigation and Solarization for Management of Soil-Borne Plant Pathogens*. Scientific Publishers, India 1ª ed, 1-431.

Reeve, J., Drost, D., 2012. Yields and soil quality under transitional organic high tunnel tomatoes. *HortScience* 47, 38-44.

Riahi, A., Hdidier, C., Sanaa, M., Tarchoun, N., Ben Kheder, M., Guezal, I., 2009. Effect of conventional and organic production systems on the yield and quality of field tomato cultivars grown in Tunisia. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89, 2275-2282.

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 of Soils* 45, 37.

Sandei, L., Vadalà, R., Pirondi, S., De Sio, F., Zaccardelli, M., Scelza, R., Adamo, P., Rao, M.A., 2013. Effect of industrial processing upon organic and conventional tomatoes: evaluation of quality and nutritional characteristics. *Acta Horticulturae* 971, 59-69.

Siddiqi, M.Y., Kronzucker, H.J., Britto, D.T., Glass, A.D.M., 1998. Growth of a tomato crop at reduced nutrient concentrations as a strategy to limit eutrophication. *Journal of Plant Nutrition* 21, 1879-1895.

Soto, F., Gallardo, M., Thompson, R.B., Peña-Fleitas, M.T., Padilla, F.M., 2015. Consideration of total available N supply reduces N fertilizer requirement and potential for nitrate leaching loss in tomato production. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 200, 62-70.

Stapleton, J.J., Quick, J., Devay, J.E., 1985. Soil solarization - effects on soil properties, crop fertilization and plant-growth. *Soil Biology & Biochemistry* 17, 369-373.

Stazi, S.R., Mancinelli, R., Marabottini, R., Allevato, E., Radicetti, E., Campiglia, E., Marinari, S., 2018. Influence of organic management on As bioavailability: Soil quality and tomato As uptake. *Chemosphere* 211, 352-359.

Steiner, A.A., 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil* 15, 134-154.

Taiwo, L.B., Adediran, J.A., Sonubi, O.A., 2007. Yield and Quality of Tomato Grown with Organic and Synthetic Fertilizers. *International Journal of Vegetable Science* 13, 5-19.

Thompson, R.B., Martínez-Gaitan, C., Gallardo, M., Giménez, C., Fernández, M.D., 2007. Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey. *Agricultural Water Management* 89, 261-274.

Toor, R.K., Savage, G.P., Heeb, A., 2006. Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant components of tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis* 19, 20-27.

Willer, H., Lernoud, J., 2016. The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2016. Research Institute of Organic Agriculture FiBL and IFOAM Organics International 1, 1-340.

Yanar, D., Gebologlu, N., Yanar, Y., Aydin, M., Cakmak, P., 2011. Effect of different organic fertilizers on yield and fruit quality of indeterminate tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Scientific Research and Essays* 6, 3623-3628.

Yevdokmov, I.V., Blagodatsky, S.A., 1993. Nitrogen immobilization and remineralization by microorganisms and nitrogen uptake by plants: Interactions and rate calculations. *Geomicrobiology Journal* 11, 185-193.

Zotarelli, L., Dukes, M.D., Scholberg, J.M.S., Muñoz-Carpena, R., Icerman, J., 2009. Tomato nitrogen accumulation and fertilizer use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. *Agricultural Water Management* 96, 1247-1258.

4 Efecto de la adición de la M.O. sobre la calidad del fruto de tomate

4.1 Introducción

La calidad es definida por el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española en su primera y tercera acepción respectivamente como: “Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor”; “Adecuación de un producto o servicio a las características especificadas”. La calidad hortícola surge debido a la necesidad de estandarizar parámetros relativos a los frutos, en los que se prima la apariencia externa (color, textura y dureza), la interna (contenido en azúcares, acidez, etc.) y la seguridad alimentaria (ausencia de sustancias perjudiciales para el consumidor).

Existe un gran interés en la bibliografía consultada por establecer una relación entre la calidad de los frutos y los sistemas de producción (orgánico e inorgánico) empleados. Sin embargo resulta difícil encontrar investigaciones en las que la metodología empleada en ambos sistemas sea la adecuada para realizar comparaciones. Para poder realizar una comparación realista entre los dos sistemas de nutrición al menos se deben de igualar todas las variables que afectan a la calidad hortícola de los frutos. Esto es: misma localización, campaña de cultivo, cultivar, tipo de suelo, cantidad de nutrientes y punto de madurez en la recolección de los frutos.

Si bien es cierto que los sistemas de producción orgánico e inorgánico son tan diferentes entre sí que una simple medida de la composición química de un fruto no refleja su calidad (Zoran *et al.*, 2014) no se disponen de más herramientas analíticas que puedan aclarar la problemática.

4.2 Objetivo

El objetivo del siguiente capítulo es evaluar el potencial nutritivo de los restos de cosecha de tomate (con y sin suplemento de pellets de brassicas) y riego exclusivo con agua, frente a una fertilización inorgánica tradicional (con y sin suplemento de pellets de brassicas) aplicados bajo la técnica de la bio-solarización y su influencia en la calidad de los frutos de tomate procedentes de un cultivo protegido.

4.3 Materiales y métodos

A continuación se detallan los materiales y métodos particulares para la medida de la calidad hortícola de los frutos procedentes de un cultivo de tomate, los cuales no tuvieron cabida en el capítulo de materiales y métodos generales.

4.3.1 Medida de la calidad y toma de datos

Durante los dos años de ensayo se evaluaron los parámetros de calidad característicos del fruto de tomate. Se realizaron 5 muestreos de calidad en los cuales se midieron 10 frutos por tratamiento y repetición, resultando un total de 280 frutos por muestreo, 1400 por campaña o 2800 durante todo el experimento. La Tabla 15 muestra la calendarización de los ensayos de calidad durante los dos años de cultivo, estos coincidían con recolecciones para la medida de la producción. En estos ensayos, y para todos los frutos se analizaron los siguientes parámetros: Diámetro ecuatorial con un calibre digital Mitutoyo de 0,01 mm de precisión. Firmeza de la pulpa con un penetrómetro Agrost Penefel DFT14 con una punta de 0,5 cm². Previo a la medición se retiraba la epidermis del fruto de tomate en tres puntos equidistantes sobre su eje ecuatorial con el fin de realizar las tres medidas de dureza sin dispersión. La acidez se midió con un pH-metro Crison pH-25 ±0,01 con un electrodo (50 50 T) el cual se sumergía hasta estabilización en el jugo del tomate recién exprimido y filtrado. El contenido en sólidos solubles del jugo de tomate se midió con un refractómetro digital (Atago pal-1) ±0,1 °Brix. El color fue medido en el espacio de color CIEL*a*b* con un colorímetro Konica Minolta CR400 en tres puntos equidistantes en el eje ecuatorial del fruto. El contenido en NO₃⁻ fue medido en el jugo de tomate con una sonda selectiva de iones (Horiba laquatwin).

Tabla 15: Fechas de muestreo durante las dos campañas de ensayo
DDT: días después del transplante

Muestreo	Año 1		Año 2	
	Fecha	DDT	Fecha	DDT
1	17/12/2015	106	11/01/2017	127
2	14/01/2016	134	26/01/2017	142
3	22/02/2016	173	23/02/2017	170
4	14/03/2016	194	09/03/2017	184
5	04/04/2016	215	23/03/2017	198

4.3.1 Análisis estadístico de los datos

Tras realizar un análisis de la varianza múltiple donde el factor año fue considerado y debido a que éste tuvo un efecto significativo, las dos campañas de cultivo no pudieron ser consideradas estadísticamente iguales, por lo que los resultados fueron analizados de forma separada. El análisis utilizado para la comparación entre los tratamientos consistió en un análisis unifactorial (ANOVA Simple). El método empleado para la comparación de las medias fue el procedimiento de las mínimas diferencias significativas (LSD) con un nivel de confianza del 95%. Al tratarse de un análisis paramétrico las asunciones de normalidad y homocedasticidad fueron previamente comprobadas mediante los

tests de Shapiro-Wilk y Levene respectivamente. El software utilizado fue Statgraphics Centurion XVI para Windows (Manugistic, Rockville, MD).

4.4 Resultados

En los siguientes epígrafes se presentan los resultados de calidad del fruto de tomate correspondientes a las dos campañas de estudio.

4.4.1 Diámetro ecuatorial de los frutos

Durante el primer año de cultivo el diámetro de los frutos de tomate (Gráfico 8) siguió una tendencia descendente a lo largo del cultivo, independiente del tratamiento. Este comportamiento es normal en los cultivos de tomate, y se corresponde con la pérdida de peso del fruto. Se observan tres grupos claramente diferenciados, los formados por los tratamientos con fertilización inorgánica, orgánica y testigo “cero”, aunque en ciertos momentos los calibres llegan a ser muy semejantes (muestreo 1 y 4).

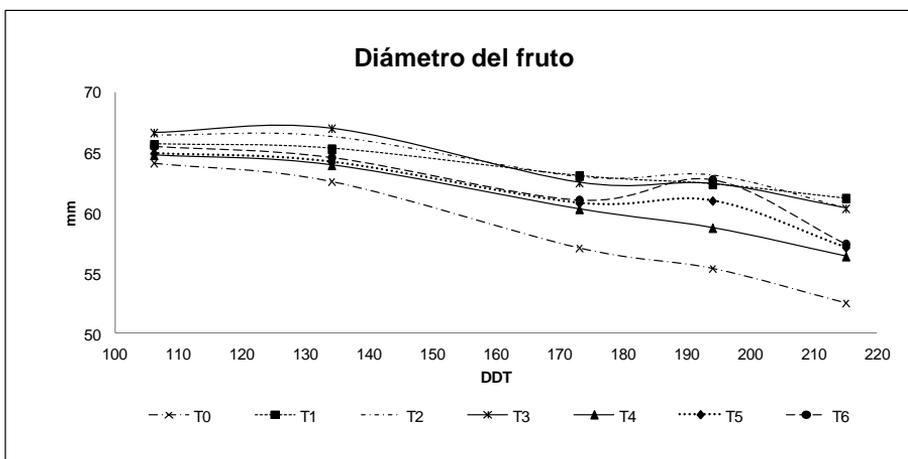


Gráfico 8: Diámetro ecuatorial del fruto de tomate (mm) durante el primer cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets ($0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets ($1,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets ($0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets ($1,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). DDT: días después del transplante.

Los frutos procedentes de los tratamientos con fertilización inorgánica, presentaron los frutos más grandes de manera significativa durante todo el ensayo, seguido por los tratamientos con fertilización orgánica. Los frutos procedentes del testigo “cero” fueron los más pequeños de manera significativa durante toda la campaña de estudio (Tabla 16).

Tabla 16: Diámetro de los frutos de tomate (mm) durante el primer cultivo, campaña 15-16

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P-valor
1	106	64,13±2,26 C	65,66±3,13 AB	66,41±2,34 A	66,64±4,09 A	64,78±2,21 BC	64,92±2,75 BC	65,53±2,07 AB	0,0005
2	134	62,61±5,10 E	65,31±2,26 BC	66,28±2,10 AB	67,00±2,18 A	63,96±2,04 D	64,21±2,65 CD	64,60±2,72 CD	0,0000
3	173	57,11±1,93 C	63,07±2,11 A	62,98±2,06 A	62,50±1,81 A	60,31±2,31 B	60,80±2,34 B	61,06±2,52 B	0,0000
4	194	55,41±2,75 D	62,39±2,21 A	63,11±2,12 A	62,39±1,67 A	58,75±1,91 C	61,00±1,93 B	62,75±1,73 A	0,0000
5	215	52,54±2,78 C	61,21±3,65 A	60,41±2,98 A	60,36±3,32 A	56,39±3,71 B	57,13±2,85 B	57,41±4,28 B	0,0000

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P≤0.05, LSD test)

Las tendencias que se presentaron en el primer cultivo se corroboran en el segundo (Gráfico 9). El calibre de los frutos de tomate vuelve a disminuir progresivamente a lo largo de los muestreos, aunque las diferencias entre tratamientos parecen reducirse produciendo frutos de tamaño similar durante todo el cultivo. El testigo “cero” volvió a ser el tratamiento con un calibre menor de manera progresiva y constante.

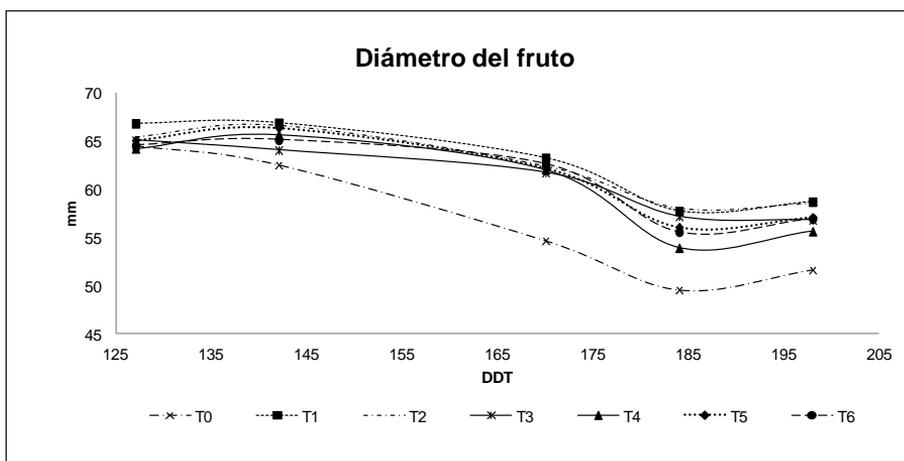


Gráfico 9: Diámetro ecuatorial del fruto de tomate (mm) durante el segundo cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del trasplante.

Atendiendo al análisis estadístico de los datos (Tabla 17), observamos como los tratamientos T1 y T2 fueron los que presentaron los frutos con un calibre superior al resto durante gran parte del cultivo, aunque en muchas ocasiones estas

diferencias no superaban los 2 mm. El testigo “cero” tuvo los frutos más pequeños durante todo el ciclo de cultivo.

Tabla 17: Diámetro de los frutos de tomate (mm) durante el segundo cultivo, campaña 16-17

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P-valor
1	127	64,52±2,50 BC	66,81±2,10 A	65,43±2,87 B	65,06±2,05 BC	64,21±2,54 C	65,07±3,07 BC	64,53±2,7 BC	0,0002
2	142	62,53±3,8 9D	66,87±2,68 A	66,63±3,31 AB	64,04±3,53 CD	65,67±3,79 AB	66,37±3,47 AB	65,10±3,87 BC	0,0000
3	170	54,68±3,44 C	63,23±2,57 A	62,38±2,34 AB	61,71±2,89 B	62,03±3,64 AB	62,21±3,23 AB	62,59±2,62 AB	0,0000
4	184	49,58±2,18 E	57,73±2,09 A	57,98±2,21 A	57,17±2,19 AB	53,91±4,29 D	56,06±3,17 BC	55,57±2,24 C	0,0000
5	198	51,65±4,30 D	58,69±3,21 A	58,50±2,97 A	56,80±2,84 BC	55,63±2,72 C	57,07±2,90 B	56,94±2,72 BC	0,0000

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P≤0.05, LSD test)

Los resultados obtenidos en relación al calibre del fruto de tomate muestran como durante los dos años de cultivo el diámetro del fruto tendió a disminuir a lo largo de todos los muestreos a lo largo del tiempo, siendo el más acusado en el tratamiento testigo cero. En cuanto a la influencia de la nutrición orgánica e inorgánica sobre el diámetro del fruto de tomate, en general los frutos con fertilización inorgánica presentaron un mayor calibre, si bien este pudo ser igualado puntualmente por los tratamientos con fertilización orgánica (Nascimento *et al.*, 2013) y en la mayoría de los casos las diferencias no superaron los 4 mm. Estos resultados coinciden con lo estudiado por López-Martínez *et al.* (2016) los cuales encuentran un mayor desarrollo del fruto mediante el uso de fertilización inorgánica. En cambio (Madrid *et al.*, 2009; Márquez-Hernández *et al.*, 2013; Marín-Guirao *et al.*, 2016) no encuentran diferencias en el diámetro de los frutos de tomate cuando comparan la aplicación de fertilización orgánica e inorgánica. Aunque también existen investigaciones en las que la nutrición orgánica produce frutos de tomate de mayor calibre que su equivalente inorgánica (Murmu *et al.*, 2013).

4.4.2 Firmeza de los frutos

La firmeza de los frutos de tomate siguió tendencias similares durante el primer cultivo para los tratamientos con fertilización orgánica e inorgánica, mostrando una tónica diferente el tratamiento testigo “cero” el cual durante las primeras recolecciones mostró una dureza mayor al resto.

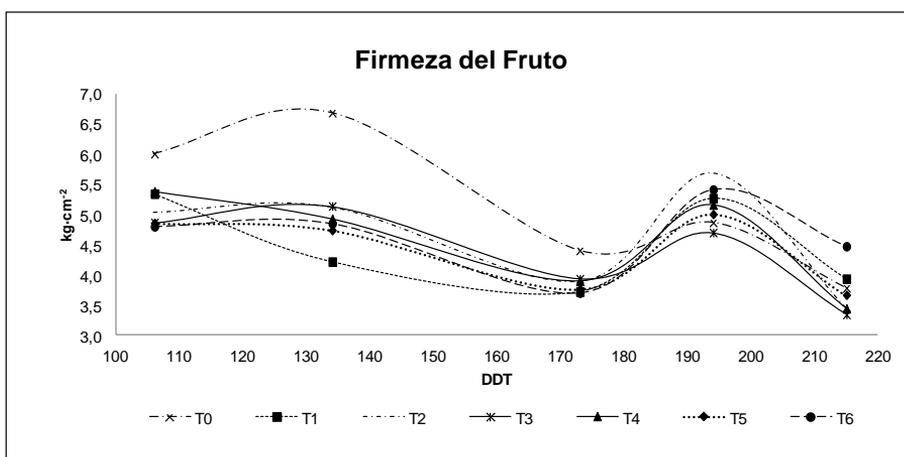


Gráfico 10: Firmeza del fruto de tomate (kg·cm⁻²) durante el primer cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del trasplante.

El análisis estadístico de los datos anteriormente plasmados, muestran como las tendencias descritas se corresponden con diferencias significativas, siendo el testigo “cero” el tratamiento con frutos de mayor dureza durante prácticamente todas las pruebas de calidad, siendo igualado por el resto de tratamientos solamente en el último muestreo.

Tabla 18: Firmeza de los frutos de tomate (kg·cm⁻²) durante el primer cultivo, campaña 15-16

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P-valor
1	106	6,01±0,64 A	5,34±0,57 BC	5,04±0,61 CD	4,86±0,51 D	5,38±0,57 B	4,86±0,63 D	4,80±0,67 D	0,0000
2	134	6,69±0,95 A	4,22±0,74 C	5,13±0,67 B	5,14±0,64 B	4,93±0,81 B	4,74±0,78 B	4,85±0,61 B	0,0000
3	173	4,40±0,69 A	3,72±0,63 B	3,90±0,67 B	3,93±0,61 B	3,90±0,67 B	3,76±0,72 B	3,70±0,65 B	0,0017
4	194	4,87±0,89 CD	5,27±0,65 BC	5,69±0,79 A	4,70±0,70 D	5,16±0,95 BC	5,01±0,88 BCD	5,41±0,81 AB	0,0000
5	215	3,78±0,92	3,93±1,59	3,45±1,22	3,34±1,19	3,44±1,30	3,67±0,97	4,47±0,64	0,4472

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P≤0.05, LSD test)

La firmeza de los frutos de tomate durante el segundo cultivo (Gráfico 11) siguió tendencias semejantes a las presentadas en el primer año. Todos los tratamientos presentaron un descenso en la dureza a lo largo de las cinco pruebas de calidad, siendo el testigo “cero” el que obtuvo los frutos más blandos presentando una tónica disidente a lo anteriormente expuesto.

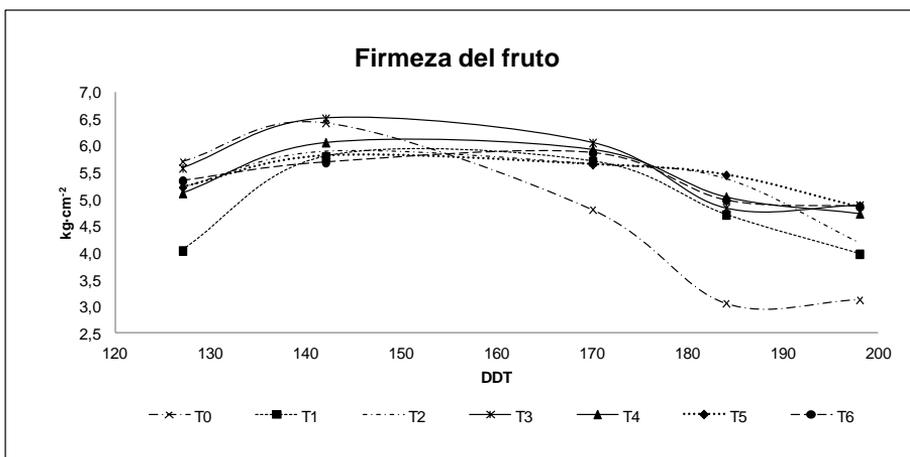


Gráfico 11: Firmeza del fruto de tomate (kg·cm⁻²) durante el segundo cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del trasplante.

Cuando se realiza el análisis estadístico de los valores de dureza del fruto durante la segunda campaña (Tabla 19) no se obtiene un comportamiento constante entre tratamientos, siendo T3, T5 y T6 aquellos que presentaron una mayor dureza en un mayor número de muestreos.

Tabla 19: Firmeza de los frutos de tomate (kg·cm⁻²) durante el segundo cultivo, campaña 16-17

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	p-valor
1	127	5,70±1,21 A	4,04±1,09 D	5,22±1,24 BC	5,58±0,95 AB	5,11±0,85 C	5,22±0,85 BC	5,34±0,77 ABC	0,0000
2	142	6,43±0,71 AB	5,79±0,73 C	5,89±0,82 C	6,51±0,82 A	6,06±1,04 BC	5,81±0,89 C	5,69±1,00 C	0,0000
3	170	4,81±0,79 B	5,70±0,86 A	5,66±0,88 A	6,05±1,10 A	5,93±1,09 A	5,65±0,98 A	5,86±1,09 A	0,0000
4	184	3,06±0,69 D	4,71±0,94 C	5,38±0,96 AB	4,84±0,82 C	5,04±0,77 BC	5,45±1,01 A	4,98±1,01 C	0,0000
5	198	3,13±0,89 C	3,98±0,85 B	4,18±1,01 B	4,89±0,87 A	4,73±1,07 A	4,84±0,79 A	4,86±0,86 A	0,0000

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P<0.05, LSD test)

Los resultados anteriormente expuestos muestran como la firmeza de los frutos de tomate disminuye a lo largo de los muestreos realizados, repitiéndose este patrón durante los dos años de estudio. En cuanto a la influencia de la fertilización en la firmeza del fruto de tomate, en general no presentan una relación con la dosis de fertilizante aplicada o con el tipo de fertilización (orgánica o inorgánica). Esto coincide con lo estudiado por diversos autores (Riahi *et al.*,

2009; Marín-Guirao *et al.*, 2016; Özer, 2017; Guajardo-Ríos *et al.*, 2018). En cambio Nassur *et al.* (2012) y Mauromicale *et al.* (2011) encuentran una relación creciente entre la cantidad de compost aplicada y la dureza del fruto.

4.4.3 Acidez de los frutos.

La acidez del fruto de tomate durante el primer cultivo (Gráfico 12) mostró un comportamiento semejante durante los ensayos de calidad realizados, manteniendo tanto valores como tendencias. Durante los primeros muestreos el pH siguió una tendencia descendente, mientras que en el último estos valores se vieron incrementados.

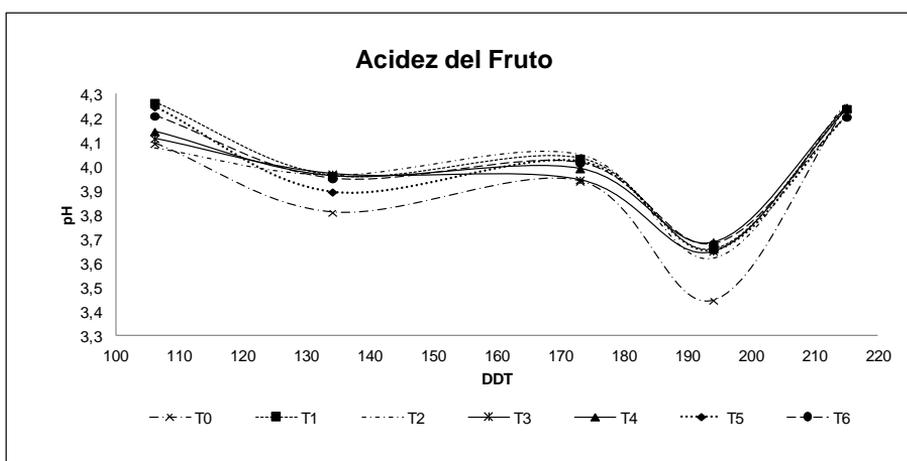


Gráfico 12: Acidez del fruto de tomate (pH) durante el primer cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del transplante.

El análisis estadístico de los datos anteriormente graficados (Tabla 20), muestran diferencias entre tratamientos, aunque en muchos de los casos estas diferencias sean del orden de centésimas, pero debido al gran número de medidas fueron significativas.

Tabla 20: Acidez de los frutos de tomate (pH) durante el primer cultivo, campaña 15-16

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P-valor
1	106	4,10±0,12 C	4,27±0,23 A	4,08±0,22 C	4,12±0,29 BC	4,15±0,24 BC	4,25±0,21 A	4,21±0,20 AB	0,0002
2	134	3,81±0,09 C	3,96±0,08 A	3,96±0,08 A	3,97±0,09 A	3,96±0,14 A	3,90±0,12 B	3,95±0,12 A	0,0000
3	173	3,94±0,15 C	4,04±0,12 AB	4,05±0,14 A	3,95±0,11 C	3,99±0,09 BC	4,02±0,09 AB	4,02±0,18 AB	0,0003
4	194	3,45±0,15 C	3,66±0,13 AB	3,62±0,13 B	3,65±0,11 AB	3,69±0,11 A	3,65±0,11 AB	3,68±0,11 A	0,0000
5	215	4,25±0,15	4,24±0,15	4,26±0,11	4,24±0,08	4,25±0,13	4,21±0,12	4,21±0,13	0,3820

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P<0.05, LSD test)

La tendencia de los resultados del pH de los frutos de tomate durante el segundo cultivo contrasta con la anterior, mostrando valores ascendentes a lo largo de los muestreos. La dispersión entre los tratamientos se ve incrementada en los primeros muestreos, presentando a final de cultivo valores muy similares.

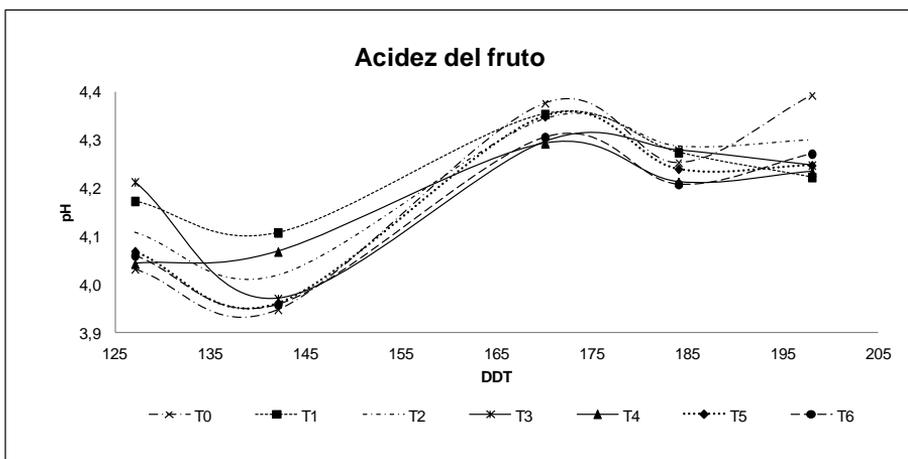


Gráfico 13: Acidez del fruto de tomate (pH) durante el segundo cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del trasplante.

Analizando estadísticamente los datos de pH (Tabla 21), se observan diferencias entre tratamientos pero como en el cultivo previo, estas diferencias suelen ser mínimas aunque significativas, el tratamiento que mantuvo los valores más altos durante este cultivo fue el T1 (fertilización inorgánica exclusiva).

Tabla 21: Acidez de los frutos de tomate (pH) durante el segundo cultivo, campaña 16-17

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P-valor
1	127	4,03±0,12 C	4,17±0,15 AB	4,11±0,15 BC	4,21±0,54 A	4,04±0,11 C	4,07±0,11 C	4,06±0,11 C	0,0026
2	142	3,95±0,09	4,11±0,50	4,02±0,13	3,97±0,09	4,07±0,52	3,96±0,10	3,96±0,11	0,0844
3	170	4,38±0,20 A	4,35±0,16 AB	4,34±0,09 ABCD	4,30±0,07 CD	4,29±0,07 D	4,35±0,12 ABC	4,31±0,07 BCD	0,0109
4	184	4,25±0,11 ABC	4,27±0,11 AB	4,29±0,08 A	4,28±0,06 AB	4,21±0,11 CD	4,24±0,08 BCD	4,21±0,09 D	0,0002
5	198	4,39±0,23 A	4,22±0,11 C	4,30±0,12 B	4,25±0,11 BC	4,23±0,11 C	4,25±0,11 BC	4,27±0,14 BC	0,0000

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P≤0,05, LSD test)

Los resultados obtenidos muestran como los frutos de tomate presentaron durante los dos años de cultivo un pH semejante entre tratamientos además de ser estable a lo largo del tiempo con valores comprendidos entre 3,90 y 4,30. No se apreciaron relaciones entre el origen de la fertilización o su cuantía sobre el pH del fruto de tomate, prueba de ello es el testigo cero el cual presentó valores semejantes al resto de tratamientos en ausencia de fertilización. Estos resultados concuerdan tanto en magnitud como en comportamiento con lo estudiado por diversos autores (Ferreira *et al.*, 2006; Thybo *et al.*, 2006; Madrid *et al.*, 2009; Pieper y Barrett, 2009; Riahi *et al.*, 2009; Nassur *et al.*, 2012; Ilic *et al.*, 2013; Nascimento *et al.*, 2013; Sandei *et al.*, 2013; Marín-Guirao *et al.*, 2016). Sin embargo Toor *et al.* (2006) encuentran un aumento de hasta 0,5 en el pH de frutos procedentes de fertilización inorgánica basada en NO₃⁻ frente a los enmendados con compost de gallinaza. May y Gonzales (1994) sugieren que altas dosis de nitrógeno provocan una disminución en el pH de los frutos.

4.4.4 Contenido de azúcares

El contenido en azúcar de los frutos de tomate durante el primer cultivo (Gráfico 14) tuvo una tendencia ascendente en todos los tratamientos, independiente de la nutrición empleada, sin embargo se observan claramente dos grupos bien diferenciados, por un lado los correspondientes a la fertilización inorgánica, y por otro los formados por el testigo “cero” y los de fertilización orgánica.

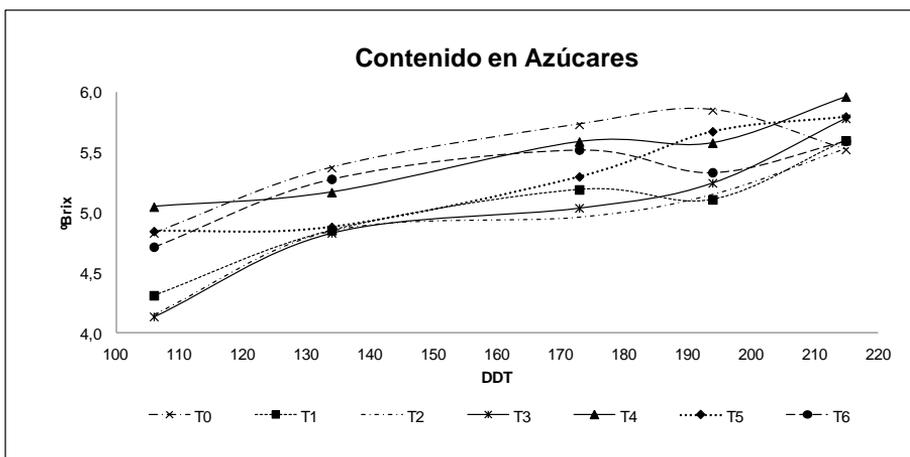


Gráfico 14: Contenido en azúcar del fruto de tomate (°Brix) durante el primer cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del trasplante.

En la Tabla 22 se puede corroborar las tendencias presentadas. Los tratamientos situados en la zona sur del invernadero (T0, T4, T5 y T6) presentaron los frutos con un mayor contenido en azúcares de manera estadísticamente significativa.

Tabla 22: Contenido en azúcar de los frutos de tomate (°Brix) primer cultivo, campaña 15-16

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	p-valor
1	106	4,83±0,8 AB	4,31±0,80 C	4,16±0,53 C	4,14±0,60 C	5,05±0,59 A	4,85±0,58 AB	4,72±0,46 B	0,0000
2	134	5,37±0,33 A	4,85±0,50 C	4,85±0,39 C	4,83±0,37 C	5,17±0,47 B	4,88±0,47 C	5,28±0,32 AB	0,0000
3	173	5,73±0,39 A	5,19±0,44 CD	4,96±0,40 D	5,04±0,29 DE	5,59±0,41 AB	5,30±0,67 C	5,52±0,49 B	0,0000
4	194	5,85±0,57 A	5,11±0,51 C	5,15±0,40 C	5,25±0,34 C	5,58±0,64 B	5,67±0,56 AB	5,33±0,51 C	0,0000
5	215	5,52±0,52 C	5,6±0,39 BC	5,53±0,46 C	5,78±0,35 AB	5,96±0,53 A	5,80±0,63 AB	5,59±0,6 BC	0,0004

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P≤0.05, LSD test)

Durante el segundo año de estudio (Gráfico 15), las tendencias fueron similares al primero con un incremento en el contenido en azúcares a lo largo de los diversos muestreos realizados. En este ciclo de cultivo las diferencias entre tratamientos fueron menores, presentando todos un comportamiento semejante.

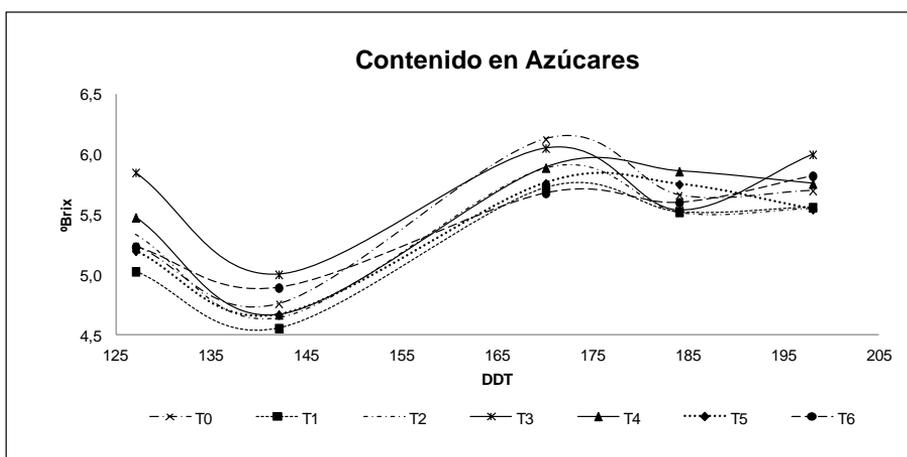


Gráfico 15: Contenido en azúcar del fruto de tomate (°Brix) durante el segundo cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del trasplante.

Atendiendo a los datos presentados en la Tabla 23, el tratamiento que presentó los frutos estadísticamente más dulces durante el mayor número de muestreos fue el tratamiento T3, seguido por el tratamiento T6.

Tabla 23: Contenido en azúcar de los frutos de tomate (°Brix) segundo cultivo, campaña 16-17

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	p-valor
1	127	5,24±0,57 BCD	5,03±0,50 D	5,33±0,48 BC	5,85±0,53 A	5,48±0,55 B	5,20±0,72 CD	5,23±0,70 BCD	0,0000
2	142	4,76±0,60 BC	4,56±0,53 C	4,64±0,50 C	5,00±0,45 A	4,67±0,54 BC	4,67±0,56 BC	4,89±0,52 AB	0,0026
3	170	6,13±0,47 A	5,72±0,42 C	5,88±0,48 BC	6,05±0,56 AB	5,89±0,67 BC	5,76±0,52 C	5,68±0,42 C	0,0003
4	184	5,66±0,68	5,52±0,59	5,52±0,51	5,54±0,48	5,86±0,90	5,75±0,72	5,60±0,62	0,1506
5	198	5,70±0,54 BC	5,56±0,68 C	5,55±0,50 C	6,00±0,60 A	5,76±0,49 ABC	5,54±0,64 C	5,82±0,57 AB	0,0025

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P<0.05, LSD test)

Los resultados anteriormente expuestos muestran que en la presente investigación el contenido en sólidos solubles en un cultivo de tomate tendió a ascender durante el desarrollo del cultivo. Aunque en ambos años se produjeron diferencias significativas entre tratamientos, los valores no dejaban de ser muy cercanos entre ellos. De nuevo no se apreciaron relaciones entre el origen de la fertilización o su cuantía sobre el contenido en sólidos solubles del fruto de tomate. Estos resultados coinciden tanto en magnitud como comportamiento con

lo estudiado por multitud de autores: Valencia, (2003); Warner *et al.*, (2004); Elia *et al.*, (2007); Madrid *et al.*, (2009); Pieper y Barrett, (2009); Riahi *et al.*, (2009); Nassur *et al.*, (2012); Nascimento *et al.*, (2013); Sandei *et al.*, (2013); Zoran *et al.*, (2014); Marín-Guirao *et al.*, (2016); Guajardo-Ríos *et al.*, (2018). En cambio: Toor *et al.*, (2006); Márquez-Hernández *et al.*, (2013); Murmu *et al.*, (2013); López-Martínez *et al.*, (2016) encuentran que el uso de materia orgánica incrementó el contenido en sólidos solubles en frutos de tomate. Alcanzando incluso Ferreira *et al.* (2006), Anac *et al.* (1993) y Mauromicale *et al.* (2011) relaciones lineales o modelos predictivos entre dosis de materia orgánica y contenido en sólidos solubles en frutos de tomate.

4.4.5 Color de los frutos

El color de los frutos representado por el cociente a^*/b^* , el cual es utilizado para medir el índice de madurez en frutos rojos, fue muy similar para los frutos del primer cultivo de tomate. El único tratamiento que tuvo valores sensiblemente más bajos fue el testigo “cero”.

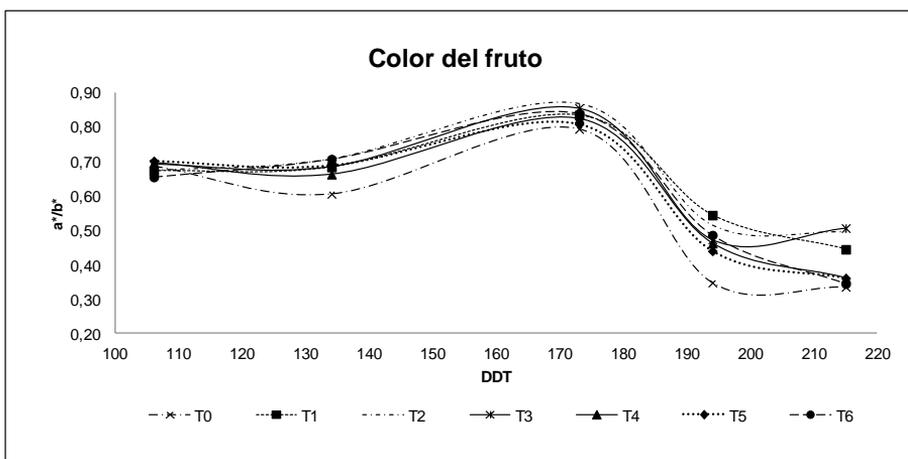


Gráfico 16: Color del fruto de tomate durante el primer cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del transplante.

Debido a las exigencias comerciales, todos los frutos eran recolectados en el mismo estado de madurez durante el cultivo y por ende en los ensayos de calidad. La homogeneidad en el color de los frutos provocó que se marcaran diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (orden de las centésimas) aunque inapreciables para el ojo humano (Tabla 24).

Tabla 24: Color de los frutos de tomate (a*/b*) durante el primer cultivo, campaña 15-16

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0C1	T1C1	T2C1	T3C1	T4C1	T5C1	T6C1	P-valor
1	106	0,69±0,11 AB	0,67±0,08 BC	0,67±0,09 BC	0,69±0,08 AB	0,70±0,11 AB	0,70±0,10 A	0,65±0,13 C	0,0056
2	134	0,61±0,08 C	0,68±0,10 AB	0,71±0,10 A	0,69±0,18 AB	0,66±0,10 B	0,69±0,10 AB	0,71±0,09 A	0,0000
3	173	0,79±0,09 E	0,83±0,07 C	0,87±0,06 A	0,85±0,07 AB	0,82±0,08 CD	0,81±0,09 DE	0,84±0,09 BC	0,0000
4	194	0,35±0,13 E	0,54±0,14 A	0,51±0,14 AB	0,47±0,17 C	0,46±0,11 CD	0,44±0,11 D	0,49±0,11 BC	0,0000
5	215	0,33±0,12 C	0,44±0,11 B	0,49±0,13 A	0,51±0,13 A	0,36±0,09 C	0,36±0,10 C	0,34±0,11 C	0,0000

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P≤0.05, LSD test)

Durante el segundo cultivo se presentaron valores más estables durante todos los ensayos de calidad, con menor diferencia entre los valores, pero sin embargo sí se apreciaron diferencias entre tratamientos, estando el color muy influenciado por la zona de cultivo del invernadero. Los tratamientos con fertilización inorgánica presentaron los valores mas altos.

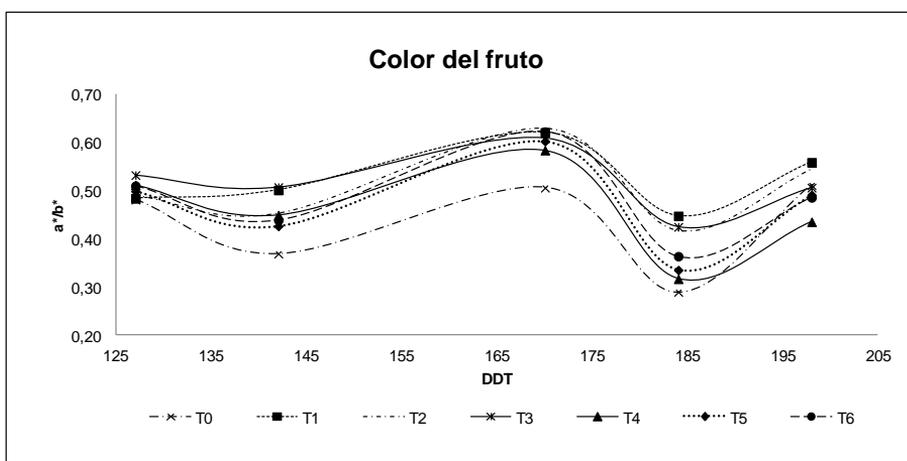


Gráfico 17: Color del fruto de tomate (a*/b*) durante el segundo cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del trasplante.

El análisis estadístico de los datos de colorimetría procedentes de los frutos de tomate del segundo cultivo (Tabla 25) afianza las tendencias mostradas en el Gráfico 10, mostrando que los tratamientos de la zona norte fueron los más rojos de manera significativa. Sin embargo, los frutos fueron cosechados en el mismo

punto de madurez, al igual que en el año anterior, por lo que estos datos estadísticos hay que interpretarlos con la prudencia correspondiente.

Tabla 25: Color de los frutos de tomate (a*/b*) durante el segundo cultivo, campaña 16-17

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0C2	T1C2	T2C2	T3C2	T4C2	T5C2	T6C2	P-valor
1	127	0,48±0,09 C	0,48±0,12 BC	0,49±0,13 BC	0,53±0,12 A	0,51±0,12 AB	0,50±0,11 BC	0,51±0,11 ABC	0,0067
2	142	0,37±0,14 C	0,50±0,11 A	0,45±0,11 B	0,51±0,10 A	0,45±0,11 B	0,43±0,11 B	0,44±0,11 B	0,0000
3	170	0,51±0,10 D	0,62±0,10 AB	0,63±0,10 A	0,61±0,1 AB	0,58±0,09 C	0,60±0,09 BC	0,62±0,09 AB	0,0000
4	184	0,29±0,13 D	0,45±0,12 A	0,42±0,13 A	0,42±0,15 A	0,32±0,13 CD	0,33±0,15 BC	0,36±0,15 B	0,0000
5	198	0,51±0,13 B	0,56±0,10 A	0,54±0,12 A	0,51±0,12 B	0,43±0,14 C	0,49±0,13 B	0,49±0,13 B	0,0000

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P<0.05, LSD test)

Los datos anteriormente expuestos muestran cómo durante los dos años de cultivo los valores de color representativos de frutos rojos presentaron tendencias distintas indiferentes al tipo de nutrición o dotación de unidades fertilizantes. Aunque se presentan diferencias entre tratamientos en los dos años de ensayo, estas no son apreciables al ojo humano, ya que todos los frutos fueron recolectados por personal cualificado en el mismo punto de madurez y requerimientos comerciales. Estos resultados coinciden con lo estudiado por Marín-Guirao *et al.*, (2016) y Sandei *et al.* (2013) salvando las diferencias por la variedad empleada y sus implicaciones en la coloración final. Otros autores encuentran correlaciones entre la dosis de materia orgánica empleada y el incremento en la coloración del fruto de tomate (Mauromicale *et al.*, 2011; Murmu *et al.*, 2013) comportamientos que no han podido ser corroborados en la presente investigación.

4.4.6 Contenido en NO₃⁻

El contenido en nitratos en la pulpa del fruto de tomate (Gráfico 18) mostró comportamientos diferentes a lo largo de los muestreos y del tratamiento nutricional aplicado al cultivo. Todos los tratamientos tuvieron una tendencia similar excepto T5 y T6, los cuales mostraron un decrecimiento lineal a lo largo del cultivo. Llama la atención que el tratamiento testigo “cero” presentase valores comparables a cultivos con fertilización inorgánica.

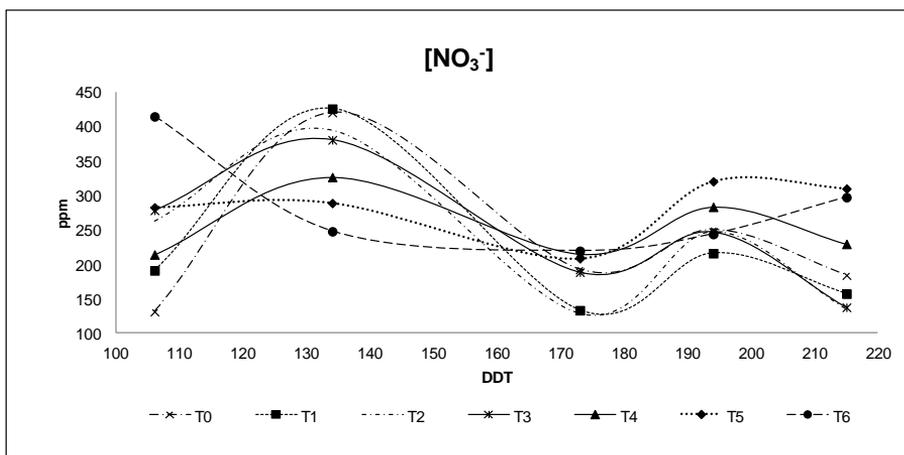


Gráfico 18: Concentración de NO_3^- de los frutos (ppm) de tomate durante el primer cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$). DDT: días después del trasplante.

El estudio estadístico de los datos relativos a la concentración de NO_3^- de los frutos de tomate durante el primer cultivo (Tabla 26) coinciden con lo representado en el Gráfico 11, presentando los tratamientos T5 y T6 las concentraciones significativamente más altas durante el mayor números de muestreos.

Tabla 26: Contenido en NO_3^- de los frutos de tomate (ppm) primer cultivo, campaña 15-16

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	p-valor
1	106	131,10±21,95 F	190,75±30,83 E	262,50±44,59 C	278,00±34,58 BC	213,83±52,48 D	282,25±42,64 B	414,25±59,09 A	0,0000
2	134	420,00±39,09 A	425,50±30,55 A	394,50±42,72 B	380,25±39,06 B	326,20±43,33 C	288,55±54,42 D	247,50±75,23 E	0,0000
3	173	192,25±61,37 B	133,00±16,04 C	128,48±31,16 C	188,25±22,63 B	214,75±21,60 A	208,25±23,63 A	219,25±20,68 A	0,0000
4	194	249,75±67,5 C	215,75±23,19 D	247,25±24,6C C	246,50±24,86 C	283,00±46,70 B	320,00±79,13 A	243,50±19,68 C	0,0000
5	215	184,00±17,66 C	157,00±20,28 D	134,75±11,09 E	137,25±9,33 E	229,25±47,31 B	309,50±38,96 A	297,00±38,38 A	0,0000

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas ($P \leq 0.05$, LSD test)

En el segundo cultivo (Gráfico 19), el contenido en nitratos resultó más homogéneo, presentando todos los tratamientos un comportamiento semejante. El tratamiento con restos de tomate (T4) fue el que obtuvo los valores más altos en la mayoría de los muestreos.

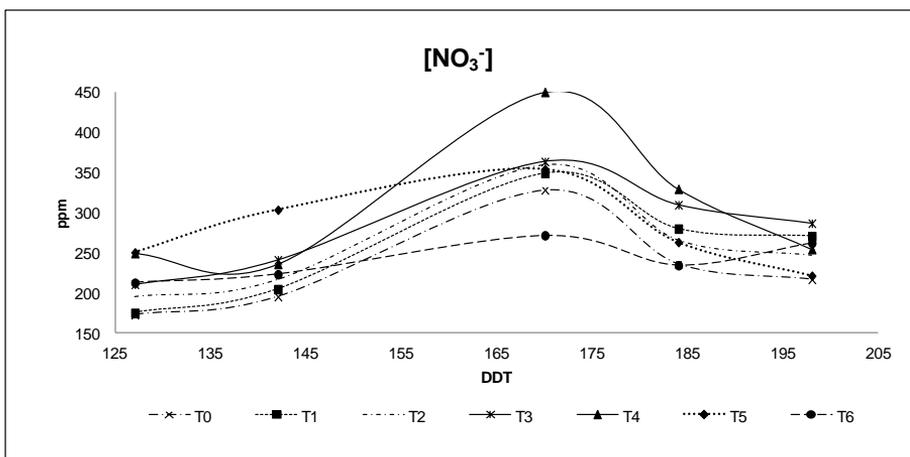


Gráfico 19: Concentración de NO₃⁻ de los frutos (ppm) de tomate durante el segundo cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del trasplante.

El análisis estadístico de los datos previamente mostrados (Tabla 27) muestra como la tendencia presentada anteriormente se vio revalidada, mostrando el tratamiento 4 diferencias estadísticamente significativas con respecto al resto de tratamientos en el mayor número de muestreos.

Tabla 27: Contenido en NO₃⁻ de los frutos de tomate (ppm) segundo cultivo, campaña 16-17

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P-valor
1	127	172,75±35,95 D	175,00±24,60 D	194,75±15,69 C	210,50±19,34 B	249,25±48,54 A	250,25±34,01 A	212,50±31,11 B	0,0000
2	142	195,25±36,58 D	204,50±23,64 CD	216,25±35,78 C	241,00±27,81 B	235,75±52,37 B	303,25±70,98 A	223,00±35,10 BC	0,0000
3	170	328,00±163,82 B	349,00±62,67 B	359,75±57,67 B	363,25±53,03 B	449,75±66,35 A	353,75±61,21 B	271,50±31,99 C	0,0000
4	184	236,00±40,56 D	279,75±46,93 C	265,50±36,79 C	309,50±40,57 B	329,25±55,63 A	263,00±49,93 C	234,25±26,78 D	0,0000
5	198	216,75±45,26 D	270,50±30,63 AB	246,50±34,46 C	286,50±57,63 A	254,25±33,12 BC	221,25±22,44 D	262,00±38,11 BC	0,0000

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P<0.05, LSD test)

Los resultados mostrados anteriormente indican que el origen de la fertilización influye hasta cierto punto en el contenido en nitratos del fruto de tomate. Los tratamientos con restos de cosecha presentaron la concentración de nitrato más alta durante el mayor número de muestreos coincidiendo con lo estudiado por Svec *et al.* (1976). En cambio estos resultados no muestran una relación lineal con la dosis de nitrógeno aplicado como reportan Ferreira *et al.*

(2006) y Nassur *et al.* (2012). En general la bibliografía consultada ofrece resultados dispares, Zoran *et al.* (2014) y Nguyen *et al.* (2015) reportan un contenido en nitratos en fruto de tomate mayor para la nutrición inorgánica que para la orgánica mientras que Ilic *et al.* (2013) y Toor *et al.* (2006) obtienen un contenido en nitratos similar entre la nutrición orgánica e inorgánica.

4.5 Discusión

Los resultados anteriormente expuestos sugieren que la calidad hortícola de los frutos está íntimamente relacionada con la nutrición aplicada a la planta, es decir, la planta no discrimina el origen de los nutrientes y sí su abundancia o ausencia. Prueba de ello son las investigaciones que corroboran que cuando la materia orgánica es aplicada en concentraciones de nutrientes equivalentes a una fertilización inorgánica produce frutos de tomate con una calidad de consumo semejante (Xu *et al.*, 2001; Elia *et al.*, 2007; Guajardo-Ríos *et al.*, 2018).

Podría pensarse que el uso de fertilización inorgánica tiene una ventaja con respecto a la enmienda orgánica ya que provoca una rápida respuesta por parte de la planta a su aporte, pudiendo corregir déficits observables con una mayor celeridad o “moldear” a la planta y las propiedades de sus frutos (Marschner, 2012).

Sin embargo, en condiciones normales de mineralización, la materia orgánica actúa como una fuente de liberación estable de nutrientes. Debido a la gran capacidad de intercambio catiónico que posee, disminuye las posibles fluctuaciones en la disposición de nutrientes por parte de la planta. Además la adición reiterada de materia orgánica sin descomponer al suelo provoca que las tasas de mineralización de varios años se solapen y complementen entre sí obteniendo una mejora en la nutrición de las plantas (Marschner, 2012; Reeve y Drost, 2012).

Todos estos argumentos apoyan la hipótesis de que la calidad hortícola, en particular del tomate, puede ser controlada mediante el uso de materia orgánica como fuente de nutrición, obteniendo frutos aptos para el consumo y de las preferencias comerciales establecidas.

Cuando comparamos los dos sistemas de nutrición empleados y su influencia sobre la calidad físico-química de los frutos de tomate, se muestra cómo en la mayoría de muestreos los parámetros no se vieron afectados por el tipo de fertilización. Los dos sistemas de nutrición vegetal produjeron frutos aptos para el consumo: calibre (57-67 mm) firmeza muy alta ($>2\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$) y color entre las categorías E-F (Domene-Ruiz, 2014a, b) además de un pH y contenido en sólidos

solubles deseados. En cuanto al contenido en Nitrato en fruto, la mineralización de los fertilizantes orgánicos es el factor determinante en la acumulación de nitratos en la planta, ante altas tasas de mineralización, el contenido en nitratos se ve incrementado, superando incluso los sistemas inorgánicos (Díaz-Hernández *et al.*, 2017).

Las diferencias que se producen en el calibre del fruto en los últimos muestreos durante ambos años de estudio son prueba de que la nutrición orgánica llega a su límite aun aplicándose a mismas dosis que en la inorgánica. Las causas han sido ampliamente discutidas en capítulos anteriores, pues factores como producción, morfología o calidad son interdependientes. Entre ellas se encuentran una tasa inferior de mineralización de la esperada quedando a disposición de la planta menos nutrientes de lo calculado (Masunga *et al.*, 2016), inmovilización microbiana del nitrógeno (Yevdokmov y Blagodatsky, 1993), o la lixiviación de Nitrógeno por efecto del riego, aunque esta última causa es poco probable debido a que no se encontró percolación en los lisímetros instalados.

Si analizamos el comportamiento que siguen los frutos procedentes del testigo “cero” los frutos presentan de manera sostenida un menor tamaño y un contenido en sólidos solubles mayor, síntomas del estrés al que fue sometida la planta por falta de nutrientes (Anac *et al.*, 1993; Valencia, 2003). Una tarea pendiente es realizar modelos predictivos de tasas de mineralización de la materia orgánica con los condicionantes presentes (ambiente controlado, enarenado, etc.) para poder establecer un protocolo que limite posibles detrimentos productivos y de calidad para el agricultor.

En el caso del producto comercial Biofence® no pareció mostrar ningún efecto en la calidad de los frutos de tomate, si bien es cierto que no se puede descartar que en presencia de patógenos de origen telúrico esta enmienda aporte algún tipo de mejora en la calidad del fruto.

4.6 Conclusiones

Los resultados presentados aprueban la hipótesis planteada de que la fuente de nutrición no afecta a la calidad hortícola de frutos de tomate si se aplica en dosis semejantes entre tratamientos.

De especial importancia resultan las dosis de aporte de materia orgánica puesto repercuten directamente en la calidad de los frutos (e.g frutos procedentes del testigo “cero”).

Durante las dos campañas de cultivo y en todos los muestreos, los frutos procedentes de los tratamientos con materia orgánica como fuente nutritiva fueron respetuosos con las normas que regulan la calidad del tomate, resultando en frutos aptos para el consumo.

4.7 Bibliografía.

Anac, D., Eryuce, N., Kilinc, R., 1993. Effect of N, P, K fertilizer levels on yield and quality properties of processing tomatoes in Turkey. *Acta Horticulturae* 376, 243-250.

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.

Domene-Ruiz, M.A., Segura-Rodríguez M., 2014a. Parámetros de calidad externa en la industria agroalimentaria. *Publicaciones Cajamar* 1, 1-12.

Domene-Ruiz, M.A., Segura-Rodríguez M., 2014b. Parámetros de calidad externa en la industria agroalimentaria. *Publicaciones Cajamar* 1, 1-18.

Elia, A., Conversa, G., Trotta, G., Rinaldi, M., 2007. Organic fertilization on soil water content, yield and quality of processing tomato. *Acta Horticulturae* 758, 339-344.

Ferreira, M.M.M., Ferreira, G.B., Fontes, P.C.R., Dantas, J.P., 2006. Qualidade do tomate em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas estações. *Horticultura Brasileira* 24, 141-145.

Guajardo-Ríos, O., Lozano-Cavazos, C.J., Valdez-Aguilar, L.A., Benavides-Mendoza, A., Ibarra-Jiménez, L., Ascacio-Valdés, J.A., Aguilar-González, C.N., 2018. Animal-based organic nutrition can substitute inorganic fertigation in soilless-grown grape tomato. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science* 68, 77-85.

Ilic, Z.S., Kapoulas, N., Milenkovic, L., 2013. Micronutrient composition and quality characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from conventional and organic production. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 83, 651-655.

López-Martínez, J.D., Vázquez-Díaz, D.A., Esparza-Rivera, J.R., García-Hernández, J.L., Castruita-Segura, M.A., Preciado-Rangel, P., 2016. Yield and nutraceutical quality of tomato fruit produced with nutrient solutions prepared using organic materials. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39, 409-414.

Madrid, R., Barba, E.M., Sánchez, A., García, A.L., 2009. Effects of organic fertilisers and irrigation level on physical and chemical quality of industrial tomato fruit (cv. Nautilus). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89, 2608-2615.

Marín-Guirao, J.I., Tello, J.C., Díaz, M., Boix, A., Ruiz, C.A., Camacho, F., 2016. Effect of greenhouse soil bio-disinfection on soil nitrate content and tomato fruit yield and quality. *Soil Research* 54, 200-206.

Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., Figueroa-Viramontes, U., Avila-Diaz, J., Rodríguez-Dimas, N., García-Hernández, J., 2013. Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernader. *Phyton (Buenos Aires)* 82, 55-61.

Marschner, P., 2012. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands 2^ª ed 1-651.

Masunga, R.H., Uzokwe, V.N., Mlay, P.D., Odeh, I., Singh, A., Buchan, D., De Neve, S., 2016. Nitrogen mineralization dynamics of different valuable organic amendments commonly used in agriculture. *Applied Soil Ecology* 101, 185-193.

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.

May, D.M., Gonzales, J., 1994. Irrigation and nitrogen management as they affect fruit quality and yield of processing tomatoes. *Acta Horticulturae* 376, 227-234.

Murmu, K., Ghosh, B.C., Swain, D.K., 2013. Yield and quality of tomato grown under organic and conventional nutrient management. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59, 1311-1321.

Nascimento, A.d.R., Soares Júnior, M.S., Caliari, M., Fernandes, P.M., Rodrigues, J.P., Carvalho, W.T.d., 2013. Qualidade de tomates de mesa cultivados em sistema orgânico e convencional no estado de Goiás. *Horticultura Brasileira* 31, 628-635.

Nassur, R.C.M.R., Vilas Boas, E.V.B., Botrel, N., Resende, F.V., Leite, B.S.F., 2012. Quality of tomatoes produced with different doses of organic compost. *Acta Horticulturae* 934, 1189-1196.

Nguyen, T.N., Tang, L.H., Peng, Y.K., Ni, J.Y., Chang, Y.N., 2015. Effects of Composite Inorganic, Organic Fertilizer and Foliar Spray of Multi-nutrients on Growth, Yield and Quality of Cherry Tomato. *Journal of Agricultural Science and Technology* 17, 1781-1788.

Özer, H., 2017. Effects of shading and organic fertilizers on tomato yield and quality. *Pakistan Journal of Botany* 49, 1849-1855.

Pieper, J.R., Barrett, D.M., 2009. Effects of organic and conventional production systems on quality and nutritional parameters of processing tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89, 177-194.

Reeve, J., Drost, D., 2012. Yields and soil quality under transitional organic high tunnel tomatoes. *HortScience* 47, 38-44.

Riahi, A., Hdider, C., Sanaa, M., Tarchoun, N., Ben Kheder, M., Guezal, I., 2009. Effect of conventional and organic production systems on the yield and quality of field tomato cultivars grown in Tunisia. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89, 2275-2282.

Sandei, L., Vadalà, R., Pironi, S., De Sio, F., Zaccardelli, M., Scelza, R., Adamo, P., Rao, M.A., 2013. Effect of industrial processing upon organic and conventional tomatoes: evaluation of quality and nutritional characteristics. *Acta Horticulturae* 971, 59-69.

Svec, L.V., Thoroughgood, C.A., Mok, H.C.S., 1976. Chemical evaluation of vegetables grown with conventional or organic soil amendments. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 7, 213-228.

Thybo, A.K., Edelenbos, M., Christensen, L.P., Sørensen, J.N., Thorup-Kristensen, K., 2006. Effect of organic growing systems on sensory quality and chemical composition of tomatoes. *LWT-Food Science and Technology* 39, 835-843.

Toor, R.K., Savage, G.P., Heeb, A., 2006. Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant components of tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis* 19, 20-27.

Valencia, J., 2003. Effect of fertilizers on fruit quality of processing tomatoes. *Acta Horticulturae* 613, 89-93.

Warner, J., Zhang, T., Hao, X., 2004. Effects of nitrogen fertilization on fruit yield and quality of processing tomatoes. *Canadian Journal of Plant Science* 84, 865-871.

Xu, H.-L., Wang, R., Mridha, M.A.U., 2001. Effects of Organic Fertilizers and a Microbial Inoculant on Leaf Photosynthesis and Fruit Yield and Quality of Tomato Plants. *Journal of Crop Production* 3, 173-182.

Yevdokmov, I.V., Blagodatsky, S.A., 1993. Nitrogen immobilization and remineralization by microorganisms and nitrogen uptake by plants: Interactions and rate calculations. *Geomicrobiology Journal* 11, 185-193.

Zoran, I.S., Nikolaos, K., Ljubomir, Š., 2014. Tomato fruit quality from organic and conventional production. *In tech* 1, 147-169.

5 Efecto de la adición de la M.O. sobre la morfología de la planta de tomate

5.1 Introducción

La caracterización de la morfología del desarrollo de la planta se considera como una información muy útil para evaluar distintos cultivares o sistemas nutricionales empleados. Frecuentemente puede suponer en ausencia de análisis foliares o nutricionales del suelo la única herramienta disponible para técnicos o agricultores de estimar el correcto desarrollo del cultivo.

Sin embargo la delgada línea que separa la optimización de la nutrición del consumo de lujo es ampliamente traspasada en los cultivos hortícolas comerciales (Soto *et al.*, 2015), bien por falta de información (análisis nutricionales) o por temor a obtener rendimientos productivos que no superen el umbral de la rentabilidad. Es cierto que un cultivo en el que se aplica una nutrición en régimen de lujo resulta en una planta más desarrollada y puede alcanzar su límite productivo (Marschner, 2012). Esto en cambio no queda exento de inconvenientes: tendencia a la producción vegetativa, susceptibilidad a enfermedades y en general un mayor costo de insumos.

Particularizando para el cultivo del tomate, es conocida la morfología de los principales cultivares en condiciones óptimas de nutrición con fertilizantes de origen inorgánico debido a que los genotipos actualmente cultivados en países desarrollados han sido seleccionados sin la limitación de fertilizante (Presterl *et al.*, 2003).

Sin embargo, el estudio de la morfología de la planta cultivada mediante el uso de materia orgánica, incluidos restos vegetales como nutrición, no ha sido evaluada y supone una alternativa interesante desde el punto de vista de la optimización de recursos.

5.2 Objetivo

El objetivo del siguiente capítulo es evaluar el potencial nutritivo de los restos de cosecha de tomate (con y sin suplemento de pellets de brassicas) y riego exclusivo con agua, frente a una fertilización inorgánica tradicional (con y sin suplemento de pellets de brassicas) aplicados bajo la técnica de la bio-solarización y su influencia en la morfología de la planta de tomate cultivada en invernadero.

5.3 Materiales y métodos

A continuación se detallan los materiales y métodos particulares para la valoración de la morfología de la planta, los cuales no tuvieron cabida en el capítulo de materiales y métodos generales.

5.3.1 Medida de la morfología de la planta y toma de datos

Durante los dos años de ensayo se midieron los parámetros característicos de la morfología de la planta de tomate. Se realizaron 4 muestreos de morfología durante el primer año y 5 durante el segundo en los cuales se midieron 10 plantas por tratamiento y repetición, resultando un total de 280 plantas por muestreo, 2520 en los dos años de experimentación. La Tabla 28 muestra la programación de la medida de la morfología durante los dos años de cultivo. En estos muestreos, y para todos los tratamientos se analizaron los siguientes parámetros: Diámetro del tallo en dos posiciones coincidentes con los frutos en maduración (calibre digital Mitutoyo de 0,01 mm de precisión), longitud de la planta (flexómetro de 1 mm de precisión), Nº de hojas y Nº de ramilletes. Posterior a la toma de medidas se calculó la longitud entre nudos como el cociente entre el número de hojas totales y la longitud de la planta.

5.3.2 Análisis estadístico de los datos

Tras realizar un análisis de la varianza múltiple donde el factor año fue considerado y debido a que éste tuvo un efecto significativo, las dos campañas de cultivo no pudieron ser consideradas estadísticamente iguales, por lo que los resultados fueron analizados de forma separada. El análisis utilizado para la comparación entre los tratamientos consistió en un análisis unifactorial (ANOVA Simple). El método empleado para la comparación de las medias fue el procedimiento de las mínimas diferencias significativas (LSD) con un nivel de confianza del 95%. Al tratarse de un análisis paramétrico las asunciones de normalidad y homocedasticidad fueron previamente comprobadas mediante los tests de Shapiro-Wilk y Levene respectivamente. El software utilizado fue Statgraphics Centurion XVI para Windows (Manugistic, Rockville, MD).

Tabla 28: Fechas de muestreo durante las dos campañas de ensayo

DDT: días después del transplante

Muestreo	Año 1		Año 2	
	Fecha	DDT	Fecha	DDT
1	20/10/2015	48	07/10/2016	31
2	25/11/2015	84	15/11/2016	70
3	26/01/2016	141	22/12/2017	107
4	08/04/2016	219	24/01/2017	140
5	-	-	06/03/2017	181

5.4 Resultados

5.4.1 Diámetro del tallo de la planta de tomate

El diámetro del tallo para dos puntos de la planta de tomate (Gráfico 20) mostró una disminución progresiva a lo largo de los muestreos, siendo el diámetro 1 el que presentó una reducción más acuciada. La nutrición vegetal mostró un efecto en el desarrollo del diámetro del tallo, siendo para los dos diámetros los tratamientos con un mayor calibre los correspondientes a la fertilización inorgánica. El tratamiento testigo “cero” mostró durante este primer año de ensayo las plantas con un diámetro menor de manera sostenida para los dos puntos medidos.

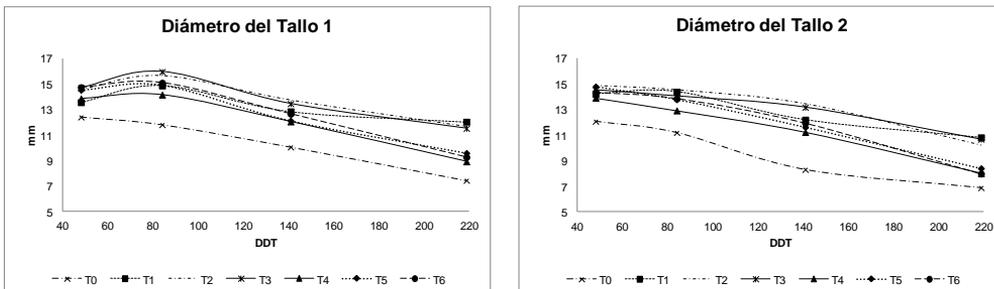


Gráfico 20: Diámetros del tallo (mm) de la planta de tomate durante el primer cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del transplante.

El análisis estadístico de los datos anteriormente graficados (Tabla 29), corrobora como los diámetros de la planta de tomate se vieron afectados estadísticamente por el tipo de fertilización. Los tratamientos con unos diámetros mayores se correspondieron con los tratamientos con fertilización inorgánica (T2 y T3). Los tratamientos con fertilización orgánica no igualaron (salvo en el primer muestreo) a los inorgánicos, obteniendo plantas significativamente más finas. El

testigo “cero” fue el tratamiento con un menor diámetro de forma significativa para los dos diámetros durante todo el periodo de ensayo.

Tabla 29: Diámetros del tallo (mm) de la planta de tomate durante el primer cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Diámetro 1									
Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P-valor
1	48	12,41±1,40 D	13,56±1,43 C	14,60±1,72 A	14,70±1,87 A	13,85±1,47 BC	14,53±1,52 AB	14,74±1,23 A	0,0000
2	84	11,81±1,31 D	14,87±1,62 B	15,68±1,21 A	15,96±1,17 A	14,15±1,33 C	14,91±1,42 B	15,09±1,26 B	0,0000
3	141	10,06±2,75 C	12,84±4,57 AB	13,75±2,29 A	13,45±2,65 AB	12,05±3,04 B	12,12±3,72 B	12,66±3,25 AB	0,0000
4	219	7,44±1,25 D	12,03±1,79 A	11,65±1,60 A	11,52±1,44 A	8,92±1,48 C	9,59±1,30 B	9,26±1,47 BC	0,0000
Diámetro 2									
1	48	12,07±1,42 D	14,20±1,18 BC	14,84±1,11 A	14,50±1,43 AB	13,89±1,40 C	14,78±1,33 AB	14,33±1,36 ABC	0,0000
2	84	11,19±1,37 D	14,37±1,47 AB	14,50±1,18 A	14,03±1,23 AB	12,90±1,47 C	13,77±1,64 B	13,84±1,53 B	0,0000
3	141	8,31±2,53 D	12,18±5,33 ABC	13,43±2,11 A	13,15±2,82 AB	11,22±2,82 C	11,61±3,58 C	11,92±3,65 BC	0,0000
4	219	6,89±1,30 C	10,80±1,58 A	10,23±1,68 A	10,66±1,78 A	8,00±1,34 B	8,39±1,22 B	7,97±1,34 B	0,0000

*Letras diferentes entre valores de una misma fila y año representan diferencias significativas (P≤0.05, LSD test)

Durante el segundo cultivo las tendencias fueron distintas para los tratamientos con fertilización inorgánica, presentando durante el último muestreo, coincidente con el final de cultivo, un incremento en los dos diámetros medidos. Los tratamientos con fertilización orgánica mantuvieron un diámetro estable a lo largo de todas las medidas, con una ligera tendencia a la disminución. El tratamiento testigo “cero” volvió a ser el que presentó los tallos más finos durante el ensayo.

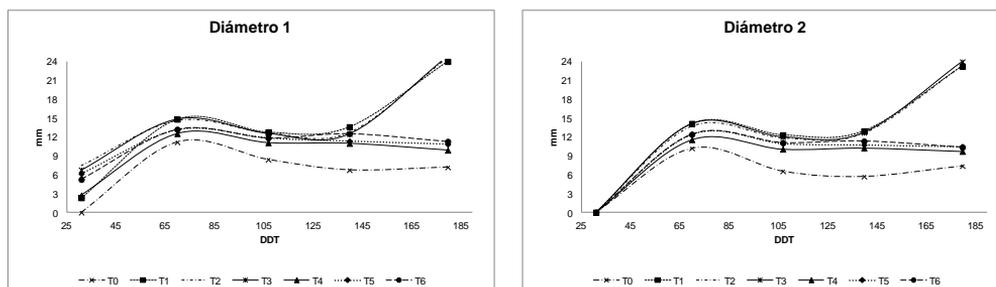


Gráfico 21: Diámetros del tallo (mm) de la planta de tomate durante el segundo cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del transplante.

La Tabla 30 muestra el análisis estadístico realizado a los datos anteriormente presentados. Como ya ocurrió en el cultivo precedente, se vuelve a repetir las tendencias, los tratamientos con fertilización inorgánica fueron los que presentaron plantas con un diámetro de tallo mayor que el resto, de manera significativa durante todo el ensayo, seguidos por los tratamientos con fertilización orgánica. El testigo “cero” volvió a ser el tratamiento con los diámetros más finos durante toda la campaña.

Tabla 30: Diámetros del tallo(mm) de la planta de tomate durante el segundo cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Diámetro1									
Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P-valor
1	31	0,00±0,00 C	2,32±4,40 C	7,40±13,78 A	6,75±5,07 A	2,71±4,03 BC	6,15±4,65 A	5,23±4,67 AB	0,0000
2	70	11,17±1,53 D	14,80±1,52 A	14,57±1,43 A	14,85±1,38 A	12,51±1,41 C	13,16±1,38 B	13,18±1,48 B	0,0000
3	107	8,41±1,88 D	12,76±1,15 A	12,59±1,66 A	12,57±1,20 A	11,06±1,72 C	11,81±1,80 B	11,83±2,00 B	0,0000
4	140	6,75±1,75 D	13,58±1,61 A	12,66±1,30 B	12,48±0,96 B	10,96±2,34 C	11,32±2,04 C	12,50±1,93 B	0,0000
5	181	7,19±1,46 D	23,97±3,03 A	24,58±1,90 A	24,83±1,70 A	9,88±1,78 C	10,84±1,93 B	11,26±1,81 B	0,0000
Diámetro 2									
1	31	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,0000
2	70	10,21±1,51 D	14,10±1,48 A	13,71±1,17 A	14,05±1,28 A	11,55±1,67 C	12,42±1,43 B	12,38±1,38 B	0,0000
3	107	6,57±1,78 D	12,29±1,33 A	11,84±1,56 A	11,98±1,20 A	10,04±1,74 C	10,94±1,62 B	11,07±1,76 B	0,0000
4	140	5,72±1,94 D	12,92±1,30 A	12,59±1,29 A	12,67±1,34 A	10,22±2,04 C	10,74±2,04 BC	11,31±1,79 B	0,0000
5	181	7,40±1,92 C	23,21±2,37 A	23,30±1,83 A	23,93±1,67 A	9,69±1,74 B	10,46±1,56 B	10,34±1,74 B	0,0000

*Letras diferentes entre valores de una misma fila y año representan diferencias significativas (P<0.05, LSD test)

5.4.2 Longitud de la planta de tomate

La longitud promedio de las plantas de tomate durante el primer año de ensayo (Gráfico 22) muestra la comparación del crecimiento de la planta en función del tratamiento nutricional aplicado a la planta. La tendencia de crecimiento es ascendente durante todo el cultivo para los tratamientos con alguna fertilización, mostrando solo diferencias de longitud en los últimos muestreos, sin embargo, el testigo “cero” marca el agotamiento a partir del tercer muestreo, ya que la planta detiene su crecimiento hasta final de ciclo.

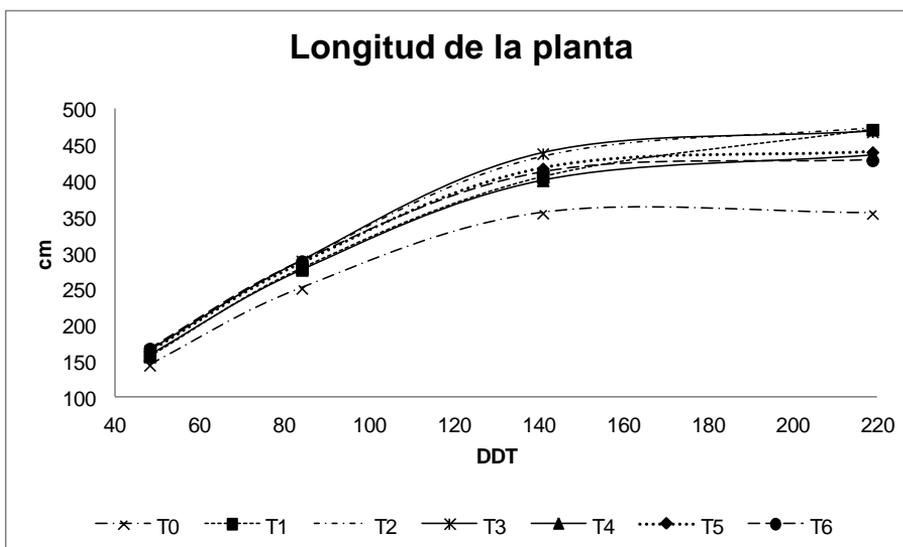


Gráfico 22: Longitud de la planta de tomate (cm) durante el primer cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets ($0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets ($1,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets ($0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets ($1,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). DDT: días después del transplante.

Interpretando el análisis estadístico a los datos, se observa como los tratamientos con fertilización inorgánica suplementada con Biofence® (T2 y T3) fueron los tratamientos con un mayor crecimiento de la planta de manera sostenida, pero igualados al final de cultivo por T1. Los tratamientos con fertilización orgánica, crecieron a un ritmo semejante durante los dos primeros muestreos, para a partir de los 141 ddt hacerlo más lentamente. El tratamiento testigo “cero” creció significativamente menos durante todo el cultivo, siendo el tratamiento con un menor desarrollo, mostrando un agotamiento desde los 141 ddt hasta fin de cultivo.

Tabla 31: Longitud de la planta de tomate (cm) durante el primer cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	p-valor
1	48	144,72±9,02	156,77±8,66	164,95±5,72	165,02±7,48	158,85±7,55	164,37±9,05	167,87±9,60	0,0000
		C	B	A	A	B	A	A	
2	84	251,17±15,26	278,80±15,18	289,45±13,49	289,10±17,42	276,72±21,37	286,25±16,97	288,85±15,79	0,0000
		C	B	A	A	B	A	A	
3	141	355,30±49,84	405,35±66,67	433,82±52,54	437,72±61,19	400,82±60,56	417,20±56,52	411,57±52,79	0,0000
		D	C	AB	A	C	ABC	BC	
4	219	354,83±66,26	470,80±25,53	473,62±33,76	467,72±32,85	435,90±74,04	439,85±28,07	428,45±35,45	0,0000
		C	A	A	A	B	B	B	

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P<0.05, LSD test)

Durante el segundo cultivo la longitud de la planta de tomate tuvo un comportamiento similar al año anterior, aunque el desarrollo fue más lineal. En el Gráfico 23 se ilustran las tendencias de crecimiento, siendo los tratamientos con un mayor crecimiento los correspondientes a la fertilización inorgánica, seguidos por los de fertilización orgánica. El testigo “cero” durante este ciclo de cultivo continuó creciendo en todos los muestreos, aunque en menor medida que el resto de tratamientos, no mostrando un agotamiento tan marcado como en el periodo anterior.

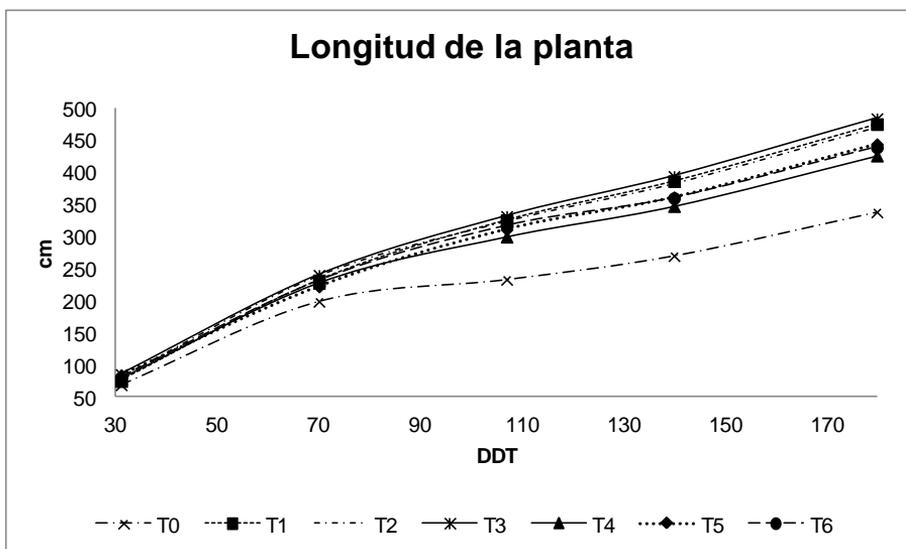


Gráfico 23: Longitud de la planta de tomate (cm) durante el segundo cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del trasplante.

El análisis estadístico de los datos (Tabla 32) refleja que los tratamientos con fertilización inorgánica fueron los que presentaron plantas con una mayor longitud, de manera sostenida aunque no presentando diferencias por el uso del Biofence®. Los tratamientos con fertilización orgánica mostraron crecimientos estadísticamente menores desde el primer muestreo, presentando a final de cultivo una diferencia de longitud en torno a los 30 cm. El testigo “cero” siguió creciendo durante todo el cultivo, aunque finalizó como el tratamiento con las plantas más pequeñas.

Tabla 32: Longitud de la planta de tomate (cm) durante el segundo cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	p-valor
1	31	69,10±5,10 E	74,91±5,88 D	81,40±5,26 BC	85,21±8,19 A	78,83±8,98 C	84,15±8,42 AB	80,42±12,87 C	0,0000
2	70	199,12±13,07 D	231,73±10,10 AB	238,57±13,55 A	239,82±12,02 A	227,85±19,61 BC	222,18±42,44 C	230,65±21,93 ABC	0,0000
3	107	233,32±26,71 E	325,32±13,93 AB	323,47±15,90 AB	331,42±15,21 A	299,75±25,63 D	311,17±29,74 C	316,35±29,33 BC	0,0000
4	140	270,25±35,90 D	386,30±20,60 A	381,97±20,14 A	393,72±22,83 A	347,42±31,50 C	361,27±32,13 B	359,92±30,30 B	0,0000
5	181	338,40±45,75 D	475,20±26,89 A	469,72±27,31 A	483,65±27,01 A	426,03±43,40 C	443,95±35,34 B	438,96±42,97 BC	0,0000

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P≤0.05, LSD test)

5.4.3 N° de hojas de la planta de tomate

El número de hojas está íntimamente relacionado con la longitud de la planta, todos los tratamientos mostrados en la Gráfico 24 muestran un aumento progresivo en el número de hojas a lo largo de los distintos muestreos. La regresión lineal $n^{\circ} \text{ hojas} = 4,12 + 0,092 \cdot \text{longitud de la planta}$ ($r^2=85\%$) permite establecer correlación entre variables. La tasa de crecimiento fue muy similar en los tratamientos con fertilización tanto orgánica como inorgánica, sin embargo, el tratamiento testigo “cero” presentó un menor número de hojas resultando en el menos desarrollado.

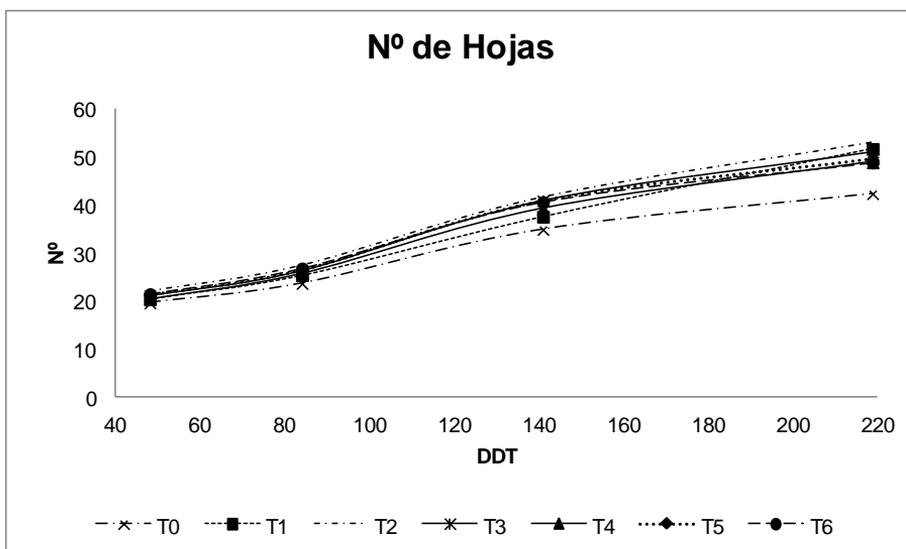


Gráfico 24: N° de hojas de la planta de tomate durante el primer cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del trasplante.

El análisis de los datos anteriores graficados (Tabla 33) muestra diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, el tratamiento con un mayor número de hojas de manera constante fue el tratamiento T2, seguido por el T6 hasta el último muestreo, momento en el que los tratamientos con fertilización inorgánica incrementan su desarrollo foliar en comparación con los orgánicos. El tratamiento testigo “cero” mostró el menor desarrollo foliar durante todo el estudio.

Tabla 33: Número de hojas de la planta de tomate durante el primer cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DD T	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	p-valor
1	48	19,65±1,29 E	20,55±1,69 CD	21,90±1,73 A	21,15±1,80 BC	20,42±1,51 D	21,20±1,57 ABC	21,50±1,64 AB	0,0000
2	84	23,67±1,77 E	25,42±2,04 D	27,30±2,27 A	26,35±2,30 BC	25,72±2,25 CD	26,37±1,82 BC	26,82±2,03 AB	0,0000
3	141	34,90±5,14 D	37,55±7,41 BC	41,52±5,38 A	40,85±5,98A	39,20±6,40 AB	40,67±5,42 A	40,60±6,47 A	0,0000
4	219	42,32±3,14 E	51,62±3,85 AB	52,97±4,37 A	50,95±4,05B	48,85±3,65 D	49,37±3,97 CD	48,77±4,15 D	0,0000

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P≤0.05, LSD test)

Durante el segundo año de cultivo, se repiten las tendencias presentadas en el primer cultivo, un mayor desarrollo del número de hojas en los tratamientos con fertilización orgánica e inorgánica y un menor de testigo “cero”. La regresión lineal n° hojas = $18,35+0,091 \cdot$ longitud de la planta ($r^2=75\%$) permite establecer correlación entre variables.

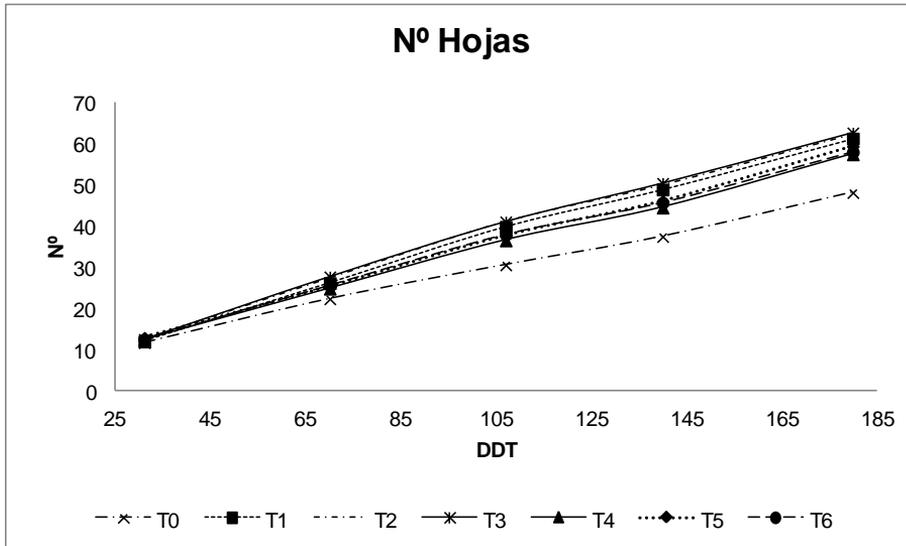


Gráfico 25: N° de hojas de la planta de tomate durante el segundo cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets ($0,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets ($1,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets ($0,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets ($1,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$). DDT: días después del transplante.

Atendiendo al análisis estadístico realizado a los datos anteriores (Tabla 34), los tratamientos con un mayor desarrollo en el número de hojas se correspondieron a los fertilizados inorgánicamente, mientras que los tratamientos con fertilización orgánica mostraron un menor desarrollo durante todo el periodo de crecimiento. El testigo “cero” volvió a ser el tratamiento con menor número de hojas, de manera sostenida en los distintos muestreos.

Tabla 34: Número de hojas de la planta de tomate durante el segundo cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P-valor
1	31	11,75±0,74 D	12,05±1,01 CD	12,50±0,75 B	12,57±1,03 AB	12,42±0,90 BC	12,96±0,83 A	12,52±0,98 B	0,0000
2	70	22,37±1,33 E	26,20±2,51 B	27,35±1,61 A	27,72±1,96 A	24,82±1,35 D	25,32±1,30 CD	25,60±1,35 BC	0,0000
3	107	30,60±2,21 E	39,85±3,13 B	41,02±2,52 A	41,05±2,37 A	36,52±3,14 D	37,65±2,52 CD	37,92±2,20 C	0,0000
4	140	37,47±3,07 E	48,87±3,96 B	49,90±2,58 AB	50,37±2,74 A	44,47±3,80 D	46,05±3,29 C	45,67±2,56 CD	0,0000
5	181	48,12±4,50 D	61,22±3,88 A	62,17±3,26 A	62,60±3,24 A	57,37±5,31 C	59,32±3,72 B	57,95±4,35 BC	0,0000

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P≤0.05, LSD test)

5.4.4 Nº de ramilletes de la planta de tomate

El desarrollo de ramilletes durante el primer cultivo (Gráfico 26), muestra un crecimiento progresivo y lineal a lo largo de los muestreos de morfología de la planta. No se encuentran diferencias en las tendencias de crecimiento entre los tratamientos con algún tipo de fertilización y si con respecto al testigo cero, siendo este último el que presentó menor número de racimos al final de la campaña.

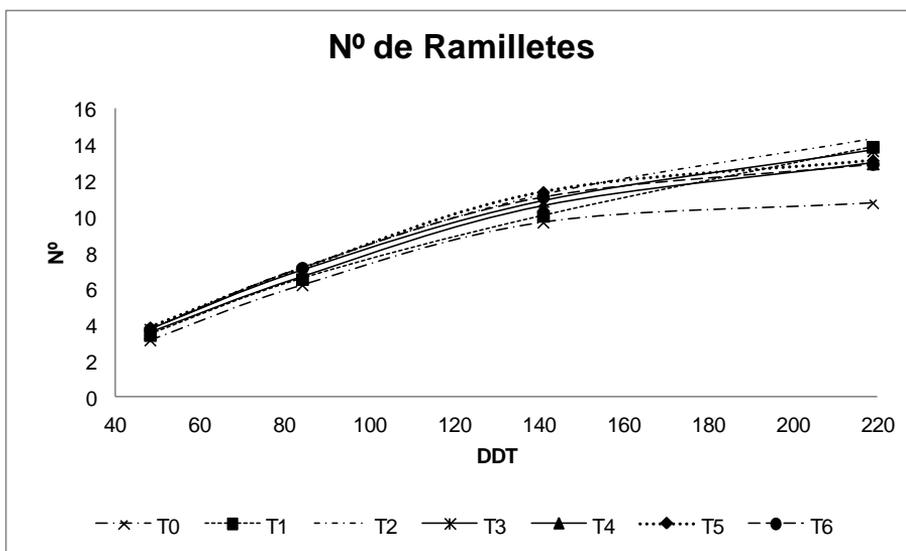


Gráfico 26: Nº de ramilletes de tomate durante el primer cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: días después del trasplante.

Cuando se aplica el análisis estadístico a los datos anteriormente plasmados (Tabla 35) se observa como los tratamientos con un aporte nutritivo suplementario de Biofence® (T2, T3, T5 y T6) obtuvieron en promedio un mayor número de ramilletes. Fueron seguidos por los tratamientos sin aporte de Biofence® (T1 y T4), mientras que el testigo “cero” produjo el menor número de ramilletes de manera significativa durante todo el ensayo.

Tabla 35: Número de ramilletes de tomate durante el primer cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	p-valor
1	48	3,17±0,38 D	3,45±0,55 C	3,75±0,43 AB	3,77±0,47 AB	3,57±0,54 BC	3,87±0,46 A	3,77±0,42 AB	0,0000
2	84	6,22±0,83 C	6,55±0,84 BC	7,17±0,67 A	7,02±0,53 A	6,65±1,25 B	7,12±0,82 A	7,17±0,71 A	0,0000
3	141	9,70±1,72 C	10,05±2,31 BC	11,22±1,52 A	10,85±1,49 AB	10,57±2,27 AB	11,37±1,61 A	11,10±1,76 A	0,0002
4	219	10,77±1,04 E	13,87±1,28 AB	14,32±1,45 A	13,65±1,35 BC	12,95±1,21 D	13,12±1,32 CD	12,92±1,38 D	0,0000

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P≤0.05, LSD test)

Durante el segundo cultivo los tratamientos con aporte nutricional obtienen un mayor número de ramilletes, mientras que el testigo “cero” marca los valores más bajos, por lo que el desarrollo en el número de ramilletes no muestra un comportamiento distinto al cultivo precedente.

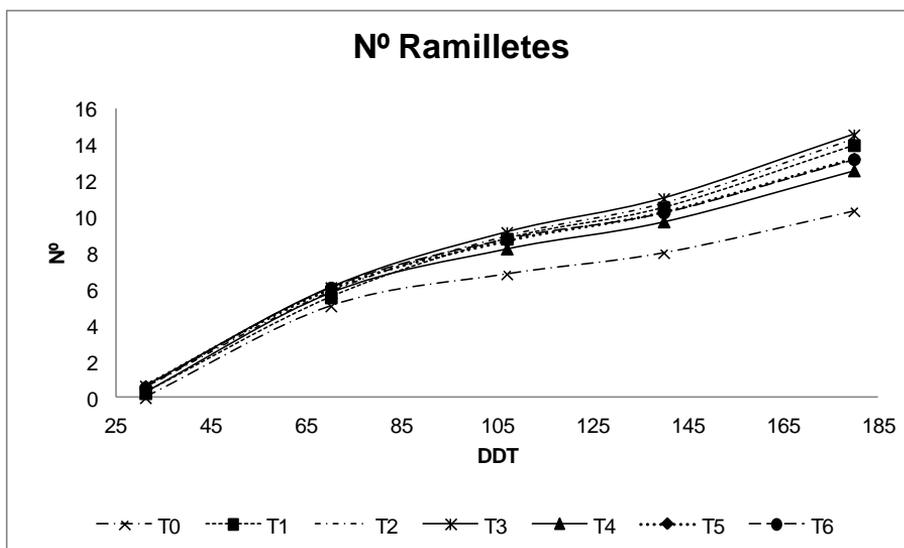


Gráfico 27: Nº de ramilletes de tomate durante el segundo cultivo.

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del

trasplante.

Analizando estadísticamente los datos anteriores se observa como los tratamientos T2 y T3 fueron los que tuvieron mayor número de ramilletes de manera significativa, habiendo sido igualados en desarrollo durante los primeros muestreos por T5 y T6. En el Muestreo 5 (181ddt), el acumulado en el número de ramilletes se observa como los tratamientos T2 y T3 tuvieron un promedio de 2 ramilletes más que los tratamientos de fertilización orgánica y 4 más que el testigo “cero” el cual volvió a ser el menos desarrollado.

Tabla 36: Número de ramilletes de la planta de tomate durante el segundo cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	p-valor
1	31	0,00±0,00 C	0,25±0,43 B	0,55±0,50 A	0,65±0,48 A	0,32±0,47 B	0,65±0,48 A	0,57±0,50 A	0,0000
2	70	5,07±0,61 D	5,55±0,67 C	5,85±0,36 B	6,10±0,54 A	5,82±0,38 B	5,97±0,57 AB	6,10±0,67 A	0,0000
3	107	6,85±0,86 D	8,80±0,60 AB	8,92±0,47 AB	9,15±0,66 A	8,25±0,86 C	8,65±1,05 B	8,80±0,99 AB	0,0000
4	140	8,02±0,89 E	10,52±0,90 BC	10,75±0,77 AB	11,02±0,99 A	9,75±0,98 D	10,25±0,98 C	10,25±0,89 C	0,0000
5	181	10,35±1,3 6E	13,97±1,07 B	14,30±0,99 AB	14,55±1,23 A	12,57±1,15 D	13,22±0,97 C	13,20±1,68 C	0,0000

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P≤0.05, LSD test)

5.4.5 Longitud entre nudos de la planta de tomate

La longitud entre nudos es un parámetro calculado a partir del número de hojas y la longitud total de la planta. Se ve muy influenciado por el periodo de desarrollo de la planta (vegetativo o productivo) y por las condiciones ambientales (temperatura y horas de luz).

Como se observa en el Gráfico 28, la longitud entre nudos entre el primer y segundo muestreo asciende, fruto del desarrollo vegetativo de la planta y las condiciones óptimas de desarrollo, para en el resto de muestreos estabilizarse y descender finalmente. Todos los tratamientos siguieron un comportamiento similar, ya que el cociente entre estos dos parámetros obtenía proporciones semejantes.

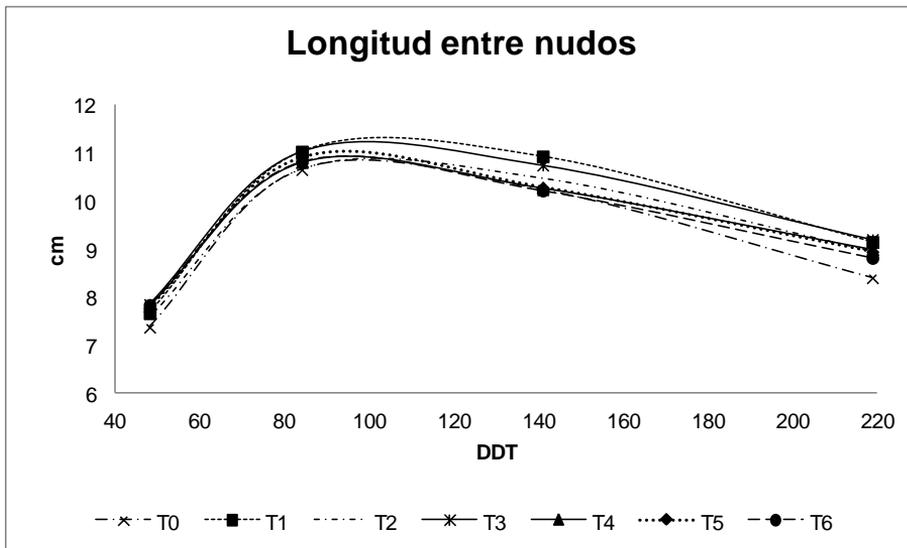


Gráfico 28: Longitud entre nudos de la planta de tomate durante el primer cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets ($0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets ($1,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets ($0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets ($1,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). DDT: Días después del trasplante.

Cuando analizamos estadísticamente los datos relativos a la longitud de la planta (Tabla 37) en el primer año de cultivo, observamos como existen diferencias estadísticamente significativas, aunque en solo ciertos muestreos puntuales. El muestreo 4 (219 ddt) muestra como resultado final que las plantas tanto con fertilización orgánica como inorgánica presentaron valores similares de longitud entre nudos, no encontrándose diferencias significativas. Sin embargo, esto no ocurre con el testigo “cero” el cual finalizó con los valores estadísticamente más bajos.

Tabla 37: Longitud entre nudos de la planta de tomate durante el primer cultivo (cm)

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P-valor
1	48	7,37±0,43 C	7,66±0,62 AB	7,57±0,56 BC	7,85±0,68 A	7,81±0,62 AB	7,79±0,67 AB	7,84±0,61 A	0,0034
2	84	10,64±0,81	11,02±0,98	10,66±0,86	11,02±0,86	10,8±1,02	10,88±0,82 A	10,81±0,80	0,3109
3	141	10,22±0,80 C	10,92±1,18 A	10,47±0,62 BC	10,74±0,63 AB	10,27±0,85 C	10,27±0,70 C	10,21±0,70 C	0,0001
4	219	8,40±1,52 B	9,14±0,58 A	8,95±0,43 A	9,20±0,51 A	8,99±2,09 A	8,94±0,66 A	8,81±0,73 AB	0,0360

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P<0.05, LSD test)

En el segundo año de cultivo, las tendencias se repitieron con lo ocurrido en el cultivo precedente (Gráfico 29), la longitud entre nudos sufrió un ascenso en los primeros muestreos, para luego estabilizarse hasta llegar a fin de cultivo. No se observan tendencias distintas entre tratamientos, aunque si en valores obtenidos.

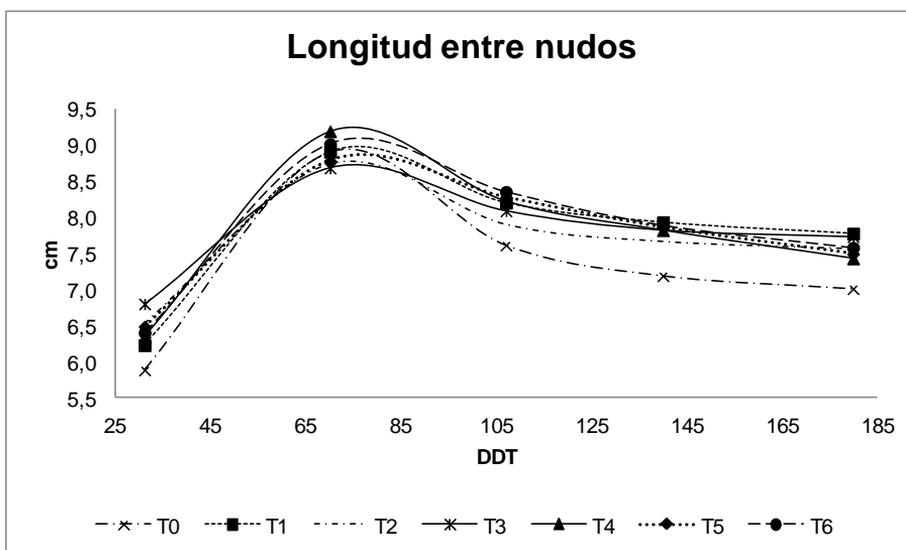


Gráfico 29: Longitud entre nudos de la planta de tomate durante el segundo cultivo

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

La estadística aplicada a estos datos muestra como los tratamientos acabaron con un crecimiento entre nudos muy similar, aunque existan diferencias significativas entre ellos. El tratamiento con un desarrollo menor al resto resultó ser el testigo “cero”.

Tabla 38: Longitud entre nudos de la planta de tomate durante el segundo cultivo (cm)

T0: Testigo. T1: Fertilización Inorgánica. T2: Fertilización Inorgánica + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T3: Fertilización Inorgánica + Pellets (1,0 kg·m⁻²). T4: Restos de Plantas de Tomate. T5: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (0,5 kg·m⁻²). T6: Restos de Plantas de Tomate + Pellets (1,0 kg·m⁻²). DDT: Días después del trasplante.

Nº	DDT	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	p-valor
1	31	5,88±0,38 D	6,23±0,40 C	6,52±0,42 B	6,80±0,72 A	6,34±0,53 BC	6,48±0,47 B	6,40±0,79 BC	0,0000
2	70	8,90±0,42 A	8,91±0,79 A	8,74±0,59 A	8,68±0,63 A	9,19±0,78 A	8,78±1,60 A	9,01±0,77 A	0,1499
3	107	7,61±0,58 C	8,20±0,62 A	7,90±0,48 B	8,09±0,44 AB	8,22±0,56 A	8,27±0,68 A	8,35±0,76 A	0,0000
4	140	7,19±0,53 C	7,93±0,47 A	7,66±0,43 B	7,82±0,39 AB	7,82±0,48 AB	7,85±0,60A B	7,89±0,65 AB	0,0000
5	181	7,01±0,45 D	7,77±0,43 A	7,56±0,44 BC	7,73±0,35 AB	7,43±0,44 C	7,49±0,55 C	7,58±0,56 ABC	0,0000

*Letras diferentes entre valores de una misma fila representan diferencias significativas (P<0.05, LSD test)

5.5 Discusión

Los datos expuestos en los resultados del presente capítulo muestran como la nutrición empleada en un cultivo de tomate influyó en los parámetros morfológicos representativos del cultivo, siendo las plantas cultivadas mediante fertilización inorgánica (con o sin pellets de *brassica*) las que presentaron un mayor: porte, número de hojas, número de ramilletes, y longitud entre nudos al finalizar el ensayo.

Son varios los autores que han estudiado la influencia positiva de la materia orgánica cuando es aplicada mediante solarización en la morfología de distintos cultivos. Las razones argumentadas por los autores son varias: Stapleton *et al.* (1985) postulan que la mejora en el crecimiento de la col china es debida al incremento en la concentración Nitrato/Amonio en los suelos solarizados. Chen *et al.* (2000) afirman que la promoción del crecimiento de plantas de maíz cuando se aplica solarización es debida a varias causas interrelacionadas. Entre ellas una mejora de los parámetros físico-químicos del suelo, una mayor presencia de ácidos húmicos que a su vez incrementan las poblaciones de *Pseudomonas fluorescens* las cuales ponen a disposición de la planta el hierro asimilable. Porras *et al.* (2009) relacionan la mejora en las características morfológicas de la fresa (superficie foliar) con la eliminación de patógenos por parte de la biosolarización. Mauromicale *et al.* (2010) postulan que la mejora en la morfología de la planta de tomate es debido a la mejora en las propiedades físico químicas del suelo tras realizar la biosolarización. En cambio Lombardo *et al.* (2012) establecen que la mejora en la morfología es debida al propio efecto de la solarización (solubilización de nutrientes), quedando la materia orgánica relegada a un segundo plano.

Sin embargo, la adición de la materia orgánica como soporte nutritivo sin la aplicación de tratamiento térmico (biosolarización o biofumigación) también provoca efectos positivos en la morfología de la planta en los cultivos posteriores. Particularizando para el cultivo del tomate, las investigaciones de Bender *et al.* (2008), Kalbani *et al.* (2016), Joshi y Vig (2010), de Brito *et al.* (1995), Togun y Akanbi (2003), Gutiérrez-Miceli *et al.* (2007), Chanda *et al.* (2011), Siddiqui y Akhtar (2008), Gagnon y Berrouard (1994), Pinto Gomes *et al.* (2017) Stazi *et al.* (2018), Reeve y Drost (2012), Taiwo *et al.* (2007) muestran una influencia positiva en el uso de diversas enmiendas orgánicas, incluso frente a una fertilización inorgánica sobre el desarrollo de la planta. También existen diversos estudios en los que la nutrición vegetal a cargo de la aplicación de materia orgánica no favorece el desarrollo de la planta de tomate, siendo la aplicación de la fertilización inorgánica las que presentan un mayor desarrollo (Oikeh y Asiegbu, 1993; Bettiol *et al.*, 2004; Toor *et al.*, 2006; Nguyen *et al.*, 2015; Guajardo-Ríos *et al.*, 2018). Heeb *et al.* (2005) y Heeb *et al.* (2006) encontraron un desarrollo morfológico similar en la planta de tomate cuando la aplicación de materia orgánica es evaluada frente a una fertilización inorgánica. Mientras que Islam *et al.* (2017) cuando suplementa la aportación de materia orgánica con fertilización inorgánica producen plantas de tomate con un desarrollo morfológico mayor que los tan solo enmendados. Como se ha establecido en el balance de materia aportado al sistema en el capítulo de producción, las dosis nutritivas aplicadas en esta investigación serían teóricamente suficientes para el correcto desarrollo de un cultivo de tomate. Sin embargo, durante los dos años de cultivo los tratamientos con fertilización con restos de plantas de tomate presentaron una morfología menos desarrollada que los fertilizados inorgánicamente. Las causas por las cuales los tratamientos con materia orgánica se desarrollaron en menor medida pudieron ser varias y están íntimamente relacionadas con las diferencias en producción: En primer lugar podría especularse que no todos los nutrientes contenidos en la materia orgánica estuvieron a disposición de la planta debido a las dinámicas de mineralización aunados a la heterogeneidad de los propios restos de cosecha sometidos a biosolarización (Masunga *et al.*, 2016).

Otra posible causa pudo ser la competición por el nitrógeno de ciertos grupos microbianos (Yevdokmov y Blagodatsky, 1993), los cuales pudieron inmovilizar nutrientes como el nitrógeno para el desarrollo de estructuras propias, aunque esta hipótesis debería de ser refutada con análisis microbiológicos del suelo.

Por último, podría pensarse que la dotación de riego y su influencia sobre la lixiviación del Nitrógeno podría ser otra causa. Sin embargo, debido al régimen de riego aplicado durante los dos años de cultivo, y a su control por medio de

lisímetros y tensiómetros, no hizo pensar que se produjesen pérdidas debido a este fenómeno.

Analizando la influencia de la adición de los pellets de *Brassica carinata* deshidratados, estos no influyeron significativamente en el desarrollo morfológico de la planta de tomate. Deberían de realizarse más ensayos en los que se evaluase la morfología de la planta en presencia de patógenos de origen telúrico para confirmar su efectividad.

5.6 Conclusiones

Los resultados presentados muestran cómo la morfología de la planta de tomate estuvo influenciada por el tipo de nutrición aplicada, siendo las plantas nutridas inorgánicamente las más desarrolladas.

Pese a los resultados aquí expuestos, en futuros trabajos se debería de abordar un análisis conjunto de la morfología de la planta y su relación con la producción con indicadores como “producción/biomasa total” para poder confirmar la hipótesis de que una planta más desarrollada no siempre es la más productiva.

5.7 Bibliografía

Bender, I., Raudseping, M., Vabrit, S., 2008. Effect of organic mulches on the growth of tomato plants and quality of fruits in organic cultivation. *Acta Horticulturae* 779, 341-346.

Bettiol, W., Ghini, R., Galvão, J.A.H., Siloto, R.C., 2004. Organic and conventional tomato cropping systems. *Scientia Agricola* 61, 253-259.

Chanda, G.K., Bhunia, G., Chakraborty, S.K., 2011. The effect of vermicompost and other fertilizers on cultivation of tomato plants. *Journal of Horticulture and Forestry* 3, 42-45.

Chen, Y., Katan, J., Gamliel, A., Aviad, T., Schnitzer, M., 2000. Involvement of soluble organic matter in increased plant growth in solarized soils. *Biology and Fertility of Soils* 32, 28-34.

de Brito, A.M.A., Gagne, S., Antoun, H., 1995. Effect of Compost on Rhizosphere Microflora of the Tomato and on the Incidence of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 61, 194-199.

Gagnon, B., Berrouard, S., 1994. Effects of several organic fertilizers on growth of greenhouse tomato transplants. *Canadian Journal of Plant Science* 74, 167-168.

Guajardo-Ríos, O., Lozano-Cavazos, C.J., Valdez-Aguilar, L.A., Benavides-Mendoza, A., Ibarra-Jiménez, L., Ascacio-Valdés, J.A., Aguilar-González, C.N., 2018. Animal-based organic nutrition can substitute inorganic fertigation in soilless-grown grape tomato. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science* 68, 77-85.

Gutiérrez-Miceli, F.A., Santiago-Borraz, J., Montes-Molina, J.A., Nafate, C.C., Abud-Archila, M., Oliva Llaven, M.A., Rincón-Rosales, R., Dendooven, L., 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresource Technology* 98, 2781-2786.

Heeb, A., Lundegårdh, B., Ericsson, T., Savage, G.P., 2005. Effects of nitrate-, ammonium-, and organic-nitrogen-based fertilizers on growth and yield of tomatoes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168, 123-129.

Heeb, A., Lundegårdh, B., Savage, G., Ericsson, T., 2006. Impact of organic and inorganic fertilizers on yield, taste, and nutritional quality of tomatoes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 169, 535-541.

Islam, M.A., Islam, S., Akter, A., Rahman, M.H., Nandwani, D., 2017. Effect of organic and inorganic fertilizers on soil properties and the growth, yield and quality of tomato in Mymensingh, Bangladesh. *Agriculture* 7, 1-18.

Joshi, R., Vig, A.P., 2010. Effect of vermicompost on growth, yield and quality of tomato (*Lycopersicum esculentum* L). *African Journal of Basic Applied Sciences* 2, 117-123.

Kalbani, F.O.S.A., Salem, M.A., Cheruth, A.J., Kurup, S.S., Senthilkumar, A., 2016. Effect of Some Organic Fertilizers on Growth, Yield and Quality of Tomato (*Solanum lycopersicum*). *International Letters of Natural Sciences* 53, 1-9.

Lombardo, S., Longo, A.M.G., Lo Monaco, A., Mauromicale, G., 2012. The effect of soil solarization and fumigation on pests and yields in greenhouse tomatoes. *Crop Protection* 37, 59-64.

Marschner, P., 2012. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands 2^ª ed 1-651.

Masunga, R.H., Uzokwe, V.N., Mlay, P.D., Odeh, I., Singh, A., Buchan, D., De Neve, S., 2016. Nitrogen mineralization dynamics of different valuable organic amendments commonly used in agriculture. *Applied Soil Ecology* 101, 185-193.

Mauromicale, G., Monaco, A.L., Longo, A.M.G., 2010. Improved efficiency of soil solarization for growth and yield of greenhouse tomatoes. *Agronomy for Sustainable Development*. 30, 753-761.

Nguyen, T.N., Tang, L.H., Peng, Y.K., Ni, J.Y., Chang, Y.N., 2015. Effects of Composite Inorganic, Organic Fertilizer and Foliar Spray of Multi-nutrients on Growth, Yield and Quality of Cherry Tomato. *Journal of Agricultural Science and Technology* 17, 1781-1788.

Oikeh, S.O., Asiegbu, J.E., 1993. Growth and yield responses of tomatoes to sources and rates of organic manures in ferralitic soils. *Bioresource Technology* 45, 21-25.

Pinto-Gomes, D., Fonseca de Carvalho, D., Ferreira-Pinto, M., da Cunha Valença, D., Oliveira Medici, L., 2017. Growth and production of tomato fertilized with ash and castor cake and under varying water depths, cultivated in organic potponics. *Acta Scientiarum. Agronomy* 39, 201-209.

Porras, M., Barrau, C., Romero, E., Zurera, C., Romero, F., 2009. Effect of Biofumigation with *Brassica carinata* and Soil Solarization on *Phytophthora* spp. and Strawberry Yield. *Acta Horticulturae* 842, 969-972.

Presterl, T., Seitz, G., Landbeck, M., Thiemt, E., Schmidt, W., Geiger, H., 2003. Improving nitrogen-use efficiency in european maize. *Crop Science* 43, 1259-1265.

Reeve, J., Drost, D., 2012. Yields and soil quality under transitional organic high tunnel tomatoes. *HortScience* 47, 38-44.

Siddiqui, Z.A., Akhtar, M.S., 2008. Effects of organic wastes, *Glomus intraradices* and *Pseudomonas putida* on the growth of tomato and on the reproduction of the Root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Phytoparasitica* 36, 460.

Soto, F., Gallardo, M., Thompson, R.B., Peña-Fleitas, M.T., Padilla, F.M., 2015. Consideration of total available N supply reduces N fertilizer requirement and potential for nitrate leaching loss in tomato production. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 200, 62-70.

Stapleton, J.J., Quick, J., Devay, J.E., 1985. Soil solarization - effects on soil properties, crop fertilization and plant-growth. *Soil Biology & Biochemistry* 17, 369-373.

Stazi, S.R., Mancinelli, R., Marabottini, R., Allevato, E., Radicetti, E., Campiglia, E., Marinari, S., 2018. Influence of organic management on As bioavailability: Soil quality and tomato As uptake. *Chemosphere* 211, 352-359.

Taiwo, L.B., Adediran, J.A., Sonubi, O.A., 2007. Yield and Quality of Tomato Grown with Organic and Synthetic Fertilizers. *International Journal of Vegetable Science* 13, 5-19.

Togun, A.O., Akanbi, W.B., 2003. Comparative Effectiveness of Organic-Based Fertilizer To Mineral Fertilizer on Tomato Growth and Fruit Yield. *Compost Science & Utilization* 11, 337-342.

Toor, R.K., Savage, G.P., Heeb, A., 2006. Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant components of tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis* 19, 20-27.

Yevdokmov, I.V., Blagodatsky, S.A., 1993. Nitrogen immobilization and remineralization by microorganisms and nitrogen uptake by plants: Interactions and rate calculations. *Geomicrobiology Journal* 11, 185-193.

6 Conclusiones

La aplicación de restos de cosecha de tomate mediante la técnica de biosolarización como única fuente fertilizante, permitió completar un cultivo de tomate de manera similar a una nutrición convencional con abonos de síntesis. El tipo de nutrición influyó de manera distinta en los parámetros analizados para un cultivo de tomate, lo cual queda patente en las siguientes conclusiones:

1. La adición de restos de cosecha mantuvo la producción de tomate durante la mayor parte del cultivo a niveles semejantes a una fertilización inorgánica. Futuras investigaciones deberían de enfocarse en la valoración económica de la reincorporación de los restos de cosecha para reafirmar la viabilidad de la técnica.
2. La incorporación de restos de cosecha mantuvo la calidad de los frutos de tomate, que fue comparable a la producida mediante nutrición de síntesis. Además ambos sistemas produjeron frutos acordes a las normas que rigen la calidad del tomate y las preferencias comerciales.
3. La morfología de la planta se mostró fuertemente influenciada por la fuente de nutrición empleada. Los restos de cosecha provocaron un menor desarrollo vegetativo de la planta cuando se comparó con una fertilización inorgánica.

Reflexión

En la agricultura de precisión en la que Almería se postula como referencia a nivel mundial, lamentablemente la optimización de recursos es una tarea pendiente. La producción de género a toda costa es una visión cortoplacista que provoca problemas de difícil, costosa o imposible solución. Esta investigación aporta datos empíricamente evaluados que demuestran que un aprovechamiento inteligente de los restos de cosecha procedentes de la actividad hortícola es factible. Además de minimizar el impacto ambiental producido y disminuir e incluso eliminar el aporte de fertilización de síntesis al cultivo.

Anexo 1

“Toque de atención al sector por la gestión de los restos vegetales. Expertos advierten de la necesidad de retirar cosechas de acuerdo a la normativa para evitar infecciones”. (Acceso 09.11.18).

<http://www.lavozdealmeria.es/Noticias/135144/123/Toque-de-atenci%C3%B3n-al-sector-por-la-gesti%C3%B3n-de-los-restos-vegetales>

“Alerta de plagas en el Poniente por la presencia de residuos vegetales. Los agricultores reclaman medidas eficaces para los restos”. (Acceso 09.11.18).

<http://www.lavozdealmeria.es/vernoticia.php?IdNoticia=135391&IdSeccion=4>

“Preocupa la falta de espacio para los residuos vegetales. Los agricultores critican la situación de la planta Ejido Medio Ambiente en el final de la campaña”. (Acceso 09.11.18).

<http://www.lavozdealmeria.es/Noticias/85748/3/page-style1.html>

“Las hogueras, solo para San Antón. La Junta de Andalucía intensificará los controles para evitar quemas ilegales de residuos agrícolas”. (Acceso 09.11.18).

<https://www.lavozdealmeria.com/noticia/3/provincia/121256/las-hogueras-solo-para-san-anton>

“Colapso en las plantas de residuos agrarios de la provincia. Los agricultores exigen una solución a la Junta de Andalucía”. (Acceso 09.11.18).

<http://www.lavozdealmeria.es/Noticias/77463/4/Colapso-en-las-plantas-de-residuos-agrarios-de-la-provincia>

“El abonado en verde para gestionar restos vegetales crece un 2% de hectáreas. El Ayuntamiento del Ejido se muestra "satisfecho con el incremento que está experimentando entre los agricultores esta práctica”. (Acceso 09.11.18).

http://www.diariodealmeria.es/almeria/abonado-gestionar-restos-vegetales-hectareas_0_1058894622.html

“La gestión y valorización de los restos vegetales, reto durante 2017. La Consejería aborda las líneas de trabajo orientadas a los residuos orgánicos como cuestión vital”. (Acceso 09.11.18).

http://www.diariodealmeria.es/finanzasyagricultura/gestion-valorizacion-restos-vegetales-reto_0_1100290520.html

“El reto de gestionar los restos vegetales, bajo la lupa en una jornada en el PITA”. (Acceso 09.11.18).

https://www.diariodealmeria.es/finanzasyagricultura/gestionar-restos-vegetales-jornada-PITA_0_1122188254.html

“Más extensión, más producción y más restos vegetales. En marcha el plan de gestión de la Junta basado en la economía circular”. (Acceso 09.11.18).

http://www.diariodealmeria.es/agriculturadealmeria/extension-produccion-Brestos-vegetalesB_0_1150085038.html

“La solución al problema de los restos vegetales continúa en 'stand-by'. Agricultura y Medio Ambiente informan del nuevo plan en Consejo de Gobierno”. (Acceso 09.11.18).

http://www.diariodealmeria.es/finanzasyagricultura/solucion-problema-vegetales-continua-stand-by_0_1065194043.html

“El Plan de Gestión de Restos Vegetales verá la luz a finales del mes de marzo. Las Consejerías de Agricultura y de Medio Ambiente ultiman los detalles del documento La instalación de plantas de menor tamaño y trituradoras a pie de finca, entre las soluciones”. (Acceso 09.11.18).

http://www.diariodealmeria.es/finanzasyagricultura/Plan-Gestion-Restos-Vegetales-finales_0_1007599259.html

“El nuevo Plan General de Restos Vegetales se prepara para ver la luz. Ya han pasado los 30 días de alegaciones y sugerencias a un documento muy bien valorado por la generalidad del sector Ahora solo falta conocer si habrá algún cambio al planteamiento inicial”. (Acceso 09.11.18).

http://www.diariodealmeria.es/finanzasyagricultura/Plan-General-Restos-Vegetales-prepara_0_1045995780.html

“Una mejor gestión de restos vegetales, necesaria”. (Acceso 09.11.18).

https://www.diariodealmeria.es/opinion/articulos/mejor-gestion-restos-vegetales-necesaria_0_1038796465.html

“Trabajan para dar solución al problema de los restos vegetales en explotaciones. Desde el Ayuntamiento apoyan la iniciativa de la Junta Destacan que la agricultura es el pilar fundamental de la economía del municipio”. (Acceso 09.11.18).

https://www.diariodealmeria.es/almeria/Trabajan-solucion-problema-vegetales-explotaciones_0_1049595661.html

“La quema ilegal de residuos agrícolas aumenta un 60%. La concejalía de Agricultura extrema la vigilancia en las zonas rurales para evitar esta situación · Han aumentado las solicitudes de licencia para invernaderos”. (Acceso 09.11.18).

http://www.diariodealmeria.es/almeria/quema-ilegal-residuos-agricolas-aumenta_0_601439917.html

“Restos vegetales, de problema a oportunidad de negocio. La Junta de Andalucía ha preparado el borrador de la que será la gestión para los próximos años, donde se pretende dar valor económico a los sobrantes del campo Almería produce el 80% de los residuos de toda la región”. (Acceso 09.11.18).

http://www.diariodealmeria.es/agriculturadealmeria/Restos-vegetales-problema-oportunidad-negocio_0_1040896370.html

“Los bomberos recurren al helicóptero del Infoca en un incendio de El Ejido. El fuego se inició en la noche del sábado en la planta de reciclaje de residuos agrícolas del paraje Tierras de Almería. Fue controlado pero la extinción se prolongará unos días”. (Acceso 09.11.18).

https://www.diariodealmeria.es/almeria/recurren-helicoptero-Infoca-incendio-Ejido_0_394760986.html

“La Junta anuncia una sanción a la planta de compostaje Albaida. Un centenar de agricultores solicita que se les devuelva el dinero que han pagado”. (Acceso 09.11.18).

https://www.diariodealmeria.es/almeria/Junta-anuncia-sancion-compostaje-Albaida_0_614038893.html

“El colapso de la planta de residuos se debe a una "falta de previsión". La portavoz del PSOE en Diputación, Esperanza Pérez, dice que la Junta construyó hace una década una en la capital y por decisión de su alcalde no se respetó el Plan Director”. (Acceso 09.11.18).

https://www.diariodealmeria.es/almeria/colapso-planta-residuos-falta-prevision_0_597840892.html

Los agentes detectan decenas de quemas ilegales con la excusa de San Antón. Hubo más de 20 denuncias y la mayoría de los fuegos se registraron en la zona de Níjar. (Acceso 09.11.18).

<http://www.lavozdealmeria.es/Noticias/145043/3/Los-agentes-detectan-decenas-de-quemas-ilegales-con-la-excusa-de-San-Ant%C3%B3n>

"Hemos ido poniendo pequeños parches para mejorar, pero hay mucho que hacer. El consejero de Agricultura espera dar en los próximos meses soluciones más contundentes al problema de los restos vegetales". (Acceso 09.11.18).
https://www.diariodealmeria.es/finanzasagricultura/poniendo-pequenos-parches-mejorar-hacer_0_1221778084.html



Article

Greenhouse Soil Biosolarization with Tomato Plant Debris as a Unique Fertilizer for Tomato Crops

Pablo García-Raya^{1,*}, César Ruiz-Olmos¹, José Ignacio Marín-Guirao¹, Carlos Asensio-Grima¹, Julio César Tello-Marquina¹ and Miguel de Cara-García²

¹ CIAIMBITAL, Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario, Universidad de Almería, Ctra Sacramento s/n, 04120 Almería, Spain; ceroan22@hotmail.com (C.R.-O.); jignaciomarin@gmail.com (J.I.M.-G.); casensio@ual.es (C.A.-G.); jtello@ual.es (J.C.T.-M.)

² IFAPA-La Mojonera, Camino San Nicolás n.1, 04745 La Mojonera, Spain; mdecara@gmail.com (M.d.C.-G.)

* Correspondence: pgr335@ual.es; Tel.: +34-950-015-527

Received: 10 November 2018; Accepted: 15 January 2019; Published: 19 January 2019

Abstract: Intensive greenhouse horticulture can cause various environmental problems. Among these, the management, storage, and processing of crop residues can provoke aquifer contamination, pest proliferation, bad odors, or the abuse of phytosanitary treatments. Biosolarization adds value to any fresh plant residue and is an efficient technique for the control of soil-borne diseases. This study aims to examine an alternative means of managing greenhouse crop residues through biosolarization and to investigate the influence of organic matter on yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum*, L.) fruit. With this purpose, the following nutritional systems were evaluated: inorganic fertilization with and without brassica pellets (Fert, Fert +, and Fert ++), fresh tomato plant debris with and without brassica pellets (Rest, Rest +, and Rest ++), and no fertilizer application (Control). The addition of organic matter was equal across all the treatments except for the control with regard to yield and quality of the tomato fruit. In light of these results, the application of tomato plant debris to the soil through biosolarization is postulated as an alternative for the management of crop residues, solving an environmental problem and having a favorable impact on the production and quality of tomatoes as a commercial crop.

Keywords: tomato; biofumigation; organic; inorganic fertilizer; sustainability; environment.

1. Introduction

Protected agriculture in the Mediterranean basin has maintained a sustained growth over the last decades due to the increase of human population and the demand for vegetables. According to Castilla [1], in 2010 the total area dedicated to the cultivation of greenhouse vegetables in the Mediterranean basin reached up to 200,000 ha. The province of Almería (southeast Spain), with a protected area of 30,456 ha and commercial production of fruit and vegetables valued at 2537 M€ (tomato production corresponded to 540 M€), was considered to be the main core of protected horticultural production in Europe in 2016 [2].

However, the location of production has led to environmental problems, such as the pollution and eutrophication of aquifers, mainly due to the excessive use of pesticides, synthetic nitrogenous fertilizers, or excessive irrigation when chemical disinfection is applied [3–7]. Another problem is the management of crop residues due to the seasonality in the waste production [8]. In particular, in 2014 Almería produced approximately 1,900,000 tons of non-dehydrated residues from horticultural crops [8,9]. Furthermore, organic matter resources, such as green manure, mulching, animal manure, and crop waste, are frequently added to the soil through biofumigation and biosolarization to prepare the soil for the next crop [10,11].

Biosolarization [12], as a combination of biofumigation [13] and solarization [14], is a technique which can involve the application of any type of organic amendment with disinfection properties to the soil. The advantages of using the biosolarization technique include increased temperature due to the combined action of plastic sheet and the decomposition of organic matter [15,16], improved water use and soil structure [17], reduced erosion and salinity [18], increased organic matter content [19,20], organic matter solubilization [21], CO₂ capture during the development of the biofumigant crop [22], and the acceleration of in situ decomposition of plant waste from crops which reduces the transition time between crops [23].

The increased introduction of ecological systems of production (50.9 Mha worldwide) [24], as well as the need for various organic amendments for plant nutrition, highlight greenhouse waste as viable for application through biosolarization.

The aim of this study is to evaluate the addition of organic matter (*i.e.*, crop residues) as fertilizers and test if this organic amendment is sufficient to support profitable tomato crops grown under an intensive production system.

2. Materials and Methods

2.1. Location, Climate, and Soil

The trial was conducted in two consecutive years (2015–2016, 2016–2017) at the University of Almería-ANECOOP Experimental Research Center in Almería (36.518N, 2.178W). The local climate is Mediterranean arid with mild winters and hot, dry summers (average annual rainfall below 250 L·m⁻²). The experimental greenhouse was an Almería-type “raspa y amagado” greenhouse [25], the most common in the area. The greenhouse had an area of 1,700 m², with a northwest to southeast orientation and crops rows aligned northeast to southwest. The soil was composed of a mixture of sand and soil [26]. The history of previous crops as well as preliminary analyses showed absence of tomato soilborne pathogens in soil. During the cropping periods, no soil treatments were applied. Soil nutrition analysis was performed previously to plant transplants. Soil samples were taken at seven points throughout the greenhouse at a depth of 0–30 cm; the soil mix was analyzed by an accredited laboratory. At the start of the experiment, the soil consisted of 14.33% clay, 72.24% sand, and 13.43% silt. Soil pH was 7.56, organic matter content was 0.78%, total nitrogen (N) was 700 mg·kg⁻¹, available phosphorus (P) was 61.43 mg·kg⁻¹, and exchangeable potassium (K) was 365 mg·kg⁻¹.

The greenhouse had a drip irrigation system with 3-L·h⁻¹ emitters. In the same greenhouse during previous years (2013–2014 and 2014–2015), two tomato crops were grown with the incorporation of organic matter. In the first year, the crop was transplanted on 2 September 2015 and remained for 173 days. In the second year (2016), the crop was planted on 6 September and remained for 170 days. The plants were tomato cv. Pitenza F1 (Enza Zaden, Enkhuizen, the Netherlands) at a density of two plants per m². Plants consisted of a single stem; axillary shoots were eliminated and the plant was trained along a polypropylene rope. Irrigation was performed based on readings of a Model R tensiometer (Irrrometer, Riverside, CA, USA) which was placed at a depth of 30 cm; irrigation was performed at pressures between –15 and –20 KPa. Control of pests and diseases was carried out in a conventional manner according to environmental practices and legislation. Pollination was forced with the use of bumblebees at a density of four hives per ha.

Air temperature in the greenhouse was measured using a Hobo U23-001 Pro v2 temperature data logger (Onset Computer Corp., Bourne, MA, USA). During the growing period, the minimum, average, and maximum temperatures in the greenhouse were 12.60 ± 2.14 °C, 18.13 ± 1.77 °C, and 27.69 ± 3.06 °C in the first season, and 11.78 ± 4.16 °C, 18.52 ± 4.63 °C, and 30.46 ± 6.05 °C in the second season.

2.2. Experimental Design, Fertilization, and Soil Disinfection

The experimental design comprised seven treatments with four replications randomly distributed in two large zones (*i.e.*, organic and inorganic). In this way, three treatments were in the inorganic zone and four in the organic zone of the greenhouse. Each elementary plot had an area of 40 m², each containing 80 plants. The two zones of the greenhouse each had an independent irrigation system. In the inorganic zone of the greenhouse, the following treatments applied to the soil with inorganic fertilization were used (the nutritive solution is reported in Table 1): Nutritive solution (Fert); Nutritive solution and 0.5 kg·m⁻² of Biofence® (Fert +); Nutritive solution and 1 kg·m⁻² of Biofence® (Fert ++). In the organic area of the greenhouse, the treatments amended with different organic materials and/or exclusive irrigation with water without fertilizer were as follows: 3.5 kg·m⁻² of fresh tomato plant debris (Rest); 3.5 kg·m⁻² of fresh tomato plant debris and 0.5 kg·m⁻² of Biofence® (Rest +); 3.5 kg·m⁻² of fresh tomato plant debris and 1 kg·m⁻² of Biofence® (Rest ++). The trial had a “zero” treatment (Control), which involved irrigation with water only, without the use of fertilizer or organic matter. The nutritional characteristics of the commercial product, Biofence®, are presented in Table 1. For the preparation of the organic amendments, fresh tomato plant debris from the previous production cycle was chopped to a particle size of less than 3 cm using tractor-powered hammer grinders and incorporated into the soil with a rototiller at the previously reported doses. The tomato debris consisted of the remaining plants at the end of the previous crop. This material included neither fruits nor roots. The existing compositional data of tomato debris is sparse and shows considerable variability among various nutrient levels [27–30]. The chemical characteristics of tomato plant debris used were: nitrogen (N) 4.12%, phosphorus (P) 0.40%, potassium (K) 2.83%, calcium (Ca) 3.43%, and magnesium (Mg) 0.86%. The commercial product, Biofence®, was applied along the crop row prior to the solarization of the specified treatments. All the treatments were subjected to biosolarization or solarization in the two growing periods for 60 days before transplanting the crop by covering the soil with a transparent polyethylene plastic sheet (0.05 mm thickness). The temperature was measured at 15-cm depth during the period of (bio)solarization at two points in the greenhouse using a Hobo U23-001 Pro v2 temperature probe (Onset Computer Corp., Bourne, MA, USA). Soil wetting was carried out after placing the plastic sheet using the same irrigation system, adding water up to field capacity (30 L·m⁻²). Irrigation water was analyzed during the two years of research to confirm the absence of fertilizer.

Table 1. Nutrition systems used.

Nutritive Solution	NO ₃ ⁻ : 11 mmol·L ⁻¹ , H ₂ PO ₄ ⁻ : 1.5 mmol·L ⁻¹ , SO ₄ ²⁻ : 2 mmol·L ⁻¹ , K ⁺ : 7.5 mmol·L ⁻¹ , Ca ²⁺ : 5 mmol·L ⁻¹ , Mg ²⁺ : 2 mmol·L ⁻¹ . E.C. increased from 0.5 to 3.0 ds·m ⁻¹ during crop development.
Biofence®	Dehydrated and defatted pellets of <i>Brassica carinata</i> , 6% N, 3.1% P, 2.2% K, 1.8% S, 0.5% Mg. Triumph Italia.

2.3. Parameters Analyzed

2.3.1. Tomato Yield

During the growth of the crop, several parameters were measured and/or calculated for each harvest, such as yield, accumulated yield (calculated), and weight per fruit, using a Mettler Toledo electronic scale. The weight per fruit was obtained from the average weight of 25 fruits with representative characteristics of the sample set. Fruits which had suitable commercial characteristics and were of the desired ripeness for consumption were harvested.

2.3.2. Fruit Quality

The quality of the tomato fruit was evaluated three times in each crop cycle, using 10 marketable fruits per experimental plot (280 fruits in each of the three samplings, 840 in total). The analyzed parameters were as follows: equatorial diameter with a digital caliber (Mitutoyo); firmness of the pulp with a penetrometer (Agrosta Penefel DFT14) with an end of 0.5 cm². Three measurements were taken in each fruit with gaps of 120°. Prior to measurement, the fruit cuticle was removed at each site. Fruit pH was determined with a pH-meter Crison pH-25+ with penetrating electrode. Fruit soluble solids pulp content was measured with a digital refractometer (Atago pal-1) and fruit color was measured with a colorimeter (Konica Minolta CR400). Three measurements were taken in each fruit, in three equidistant places of the equatorial zone, with gaps of 120°. The tomato color values were recorded as A*/B*.

2.4. Statistical Analyses

After finding that both trials could be considered statistically equal for the accumulated yield parameter, the results were analyzed as one individual experiment for a more consistent analysis. On the other hand, given that for the other tomato yield parameters (*i.e.*, mean yield and weight per fruit) and for the quality fruit parameters the effect of year was significant and both trials could not

be considered statistically equal, the results were analyzed separately. The analysis carried out for the comparisons between treatments consisted of simple analysis of variance (ANOVA) and means separated by Tukey's honest significant difference test ($p < 0.05$). As this was a parametric analysis, the conditions of normality and homoscedasticity were checked previously (Shapiro–Wilk and Levene tests, respectively). The statistical package used was STATGRAPHIC CENTURION XVI v16.2.04 (Manugistic Incorporate, Rockville, MD, USA) for Windows.

3. Results

3.1. Tomato Yield

3.1.1. Accumulated Tomato Yield

The accumulated yield during both crops (Figure 1) was consistent and did not show differences depending on the nutrition system used. Treatments with crop debris (with and without Biofence®) produced the same yield as plants that were fertigated (with and without Biofence®). All the treatments produced higher yields than the control.

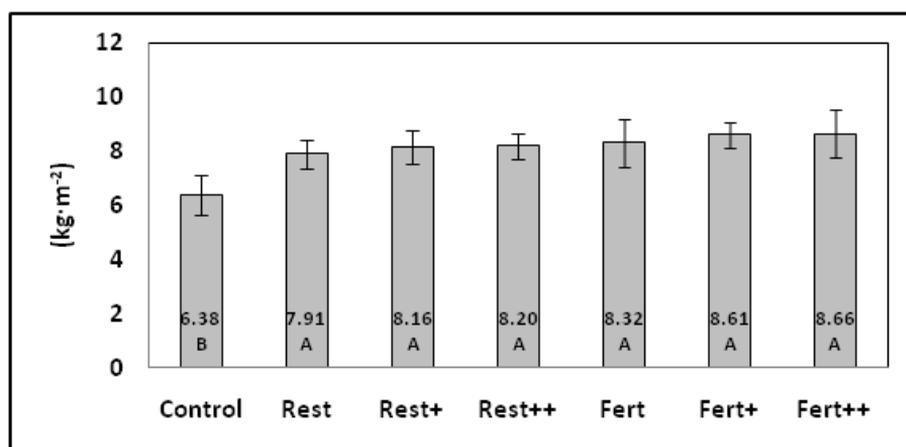


Figure 1. Effect of soil bio-disinfection treatments with tomato plant debris (with and without brassica pellets) as a unique fertilizer, and inorganic fertilization treatments (with and without brassica pellets) in the accumulated yield of tomato fruits. The results correspond to the average of two seasons. Different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$, Tukey's honest significant difference (HSD) test).

3.1.2. Yield per Harvest

The average yield for each harvest (Table 2) was similar to the first crop cycle (p -value>0.005); the Control treatment produced substantially less throughout the cropping period, but the yield was not significantly different from the others treatments. With the second crop, differences between treatments were observed, and as occurred in the accumulated production, the treatments with crop debris (with and without Biofence®) produced the same yield as the fertigated treatments (with and without Biofence®). With the Control treatment, yield was lower with the second crop and was significantly different compared to the other treatments.

Table 2. Effect of soil biosolarization treatments with tomato plant debris (with and without brassica pellets) as a unique fertilizer, and of inorganic fertilization treatments (with and without brassica pellets) on tomato yield and fruit quality variables in two growing seasons (autumn–winter).

Treatment	Mean Yield (kg·m ⁻²)	Fruit Weight (g)	Size (mm)	Firmness (kg·cm ⁻²)	Soluble Solids (°Brix)	Fruit Acidity (pH)	Fruit Color (A*/B*)
Season 1. 2015–2016 (173 days)							
Control	0.70 ± 0.10	118.22 ± 10.06C	61.28 ± 3.09C	5.70 ± 0.76A	5.31 ± 0.51A	3.95 ± 0.12C	0.69 ± 0.10C
Rest	0.82 ± 0.11	123.34 ± 10.46BC	63.02 ± 2.19B	4.74 ± 0.68B	5.27 ± 0.49A	4.03 ± 0.16B	0.73 ± 0.10B
Rest+	0.83 ± 0.09	124.83 ± 9.97BC	63.31 ± 2.58B	4.45 ± 0.71CD	5.01 ± 0.58B	4.06 ± 0.14AB	0.73 ± 0.10AB
Rest++	0.83 ± 0.12	129.97 ± 7.01AB	63.73 ± 2.44B	4.45 ± 0.64CD	5.17 ± 0.42A	4.06 ± 0.16AB	0.73 ± 0.11AB
Fert	0.77 ± 0.08	127.35 ± 10.22ABC	64.68 ± 2.50A	4.43 ± 0.65D	4.78 ± 0.58C	4.09 ± 0.15A	0.73 ± 0.08B
Fert+	0.85 ± 0.08	136.16 ± 10.28A	65.22 ± 2.17A	4.69 ± 0.65BC	4.65 ± 0.44C	4.03 ± 0.15B	0.75 ± 0.09A
Fert++	0.83 ± 0.10	137.13 ± 3.93A	65.38 ± 2.70A	4.64 ± 0.59BCD	4.67 ± 0.42C	4.01 ± 0.16B	0.74 ± 0.11AB
<i>p</i> -value	0.6770	0.0016	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Season 2. 2016–2017 (170 days)							
Control	0.52 ± 0.07C	106.45 ± 6.71D	60.57 ± 3.28 D	5.65 ± 0.90 B	5.38 ± 0.55 B	4.12 ± 0.14	0.45 ± 0.11D
Rest	0.70 ± 0.15B	120.77 ± 12.25 C	63.97 ± 3.32 BC	5.70 ± 1.00 B	5.34 ± 0.59 B	4.13 ± 0.23	0.51 ± 0.11 C
Rest+	0.73 ± 0.13AB	122.85 ± 11.24 BC	64.56 ± 3.26 B	5.56 ± 0.91 B	5.21 ± 0.60 BC	4.13 ± 0.11	0.51 ± 0.10C
Rest++	0.74 ± 0.12AB	126.32 ± 11.50 ABC	64.07 ± 3.06 BC	5.63 ± 0.96 B	5.27 ± 0.55 BC	4.11 ± 0.10	0.52 ± 0.10 BC
Fert	0.81 ± 0.12A	132.03 ± 5.68 A	65.64 ± 2.45 A	5.18 ± 0.89 C	5.10 ± 0.48 C	4.21 ± 0.27	0.53 ± 0.11 AB
Fert+	0.79 ± 0.12AB	127.01 ± 6.53 AB	64.81 ± 2.84 AB	5.59 ± 0.98 B	5.28 ± 0.49 B	4.16 ± 0.12	0.52 ± 0.11 BC
Fert++	0.82 ± 0.13A	124.63 ± 7.42 BC	63.60 ± 2.82 C	6.05 ± 0.96 A	5.63 ± 0.51 A	4.16 ± 0.23	0.55 ± 0.11 A
<i>p</i> -value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0555	0.0000

* The same letter within columns indicates no significant difference ($p \leq 0.05$, Tukey’s HSD test).

3.1.3. Weight per Fruit

The weight per fruit was affected during the first growing cycle by the type of fertilization (Table 2). The treatments with inorganic fertilization produced fruits of greater weight but was not significantly different from the other nutritional treatments, except for the Rest and Control treatments. Fruits from the Rest + and Rest ++ treatment groups were of similar weight to fruits with other treatments. In the second crop, treatments with crop residues produced fruits of similar weight to those of treatments with fertilization. During the two years, control fruits had lower weights compared to any other treatment in both years of cultivation.

3.2. Fruit Quality

3.2.1. Size

The size of the tomato fruits was smaller in the treatments with crop residues in the first crop (Table 2), although in the second crop treatments with crop residues produced fruits of similar size to those from the fertigated treatments. In both years, the Control treatment was the one that produced the smallest fruit. In all cases, the average size of the fruits was in the range of M values of 57–67 mm, which is a commercial standard.

3.2.2. Firmness

The firmness of the fruits (Table 2) was affected by the treatments in both production cycles. In the first crop, the control fruits were the hardest compared to the other treatments. In the second crop, there was no difference between most of the treatments, with Fert ++, Rest, and Control being the treatments with the highest firmness values. The Fert treatment produced the softest fruits.

3.2.3. Soluble Solids

The fruits from soil treated with crop residues and from the control were the sweetest in the first tomato crop. In the second crop, these differences were not apparent, with Fert ++ and Control treatments resulting in the sweetest fruits; the other treatments resulted in fruits with a similar soluble solids content (Table 2).

3.2.4. Acidity of the Fruit

The fruit acidity (Table 2) was affected by the nutrition of the plants in the first crop. The control fruits had a lower pH, and the rest of the treatments resulted in fruits with very similar values, although there was a significant difference between them. In the second crop, no significant differences were observed between soil treatments (p -value > 0.005).

3.2.5. Color

The parameter A*/B* (Table 2) showed differences between treatments in the first crop, although they were minimal and imperceptible to the human eye. The Control treatment resulted in the lowest values. In the second crop, the parameter A*/B* showed differences between treatments, which were minimal and negligible, similar to the previous year because the harvesting took place at the same point of maturity. Again, the Control treatment presented the lowest values during the second crop.

4. Discussion

Several authors have studied in depth the benefits for production of using techniques such as biofumigation or biosolarization in several crops [31–42].

On the other hand, there are few studies investigating plant nutrition based exclusively on the addition of organic matter applied under biosolarization in a greenhouse. Most authors supplement soil with synthetic fertilizer during the development of the crop. For this reason, it is difficult to compare past results with those from this study. The current results indicate that in both years the treatments that received organic matter did not differ from those that were fertigated, in terms of the parameters of harvest time and accumulated yield. Iapichino et al. [36] reported that tomatoes grown after carrying out the biosolarization technique with brassica residue ($2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) and inorganic fertilization showed higher commercial production than those grown with only solarized treatments. Ros et al. [43] evaluated the biosolarization technique with various organic materials (sheep and chicken manure) and reported a greater production of pepper fruit with the use of manures; the authors did not specify whether they used an inorganic fertilizer in the culture.

Mauromicale et al. [44] reported an increase in tomato yield (up to 70% depending on the treatment) when organic matter composed of cow dung, poultry manure, and leather was incorporated into the soil prior to solarization. Again, Mauromicale et al. [16] found that the addition of compost based on cattle or horse manure prior to solarization (*i.e.*, biosolarization) had a positive effect on the physical and chemical properties of tomato fruits in the southeast of Italy. Nuñez-Zofío et al. [45], in a trial of bio-disinfection of soils in the Basque Country, found improved production in pepper crops after the addition of various organic materials, with an increase in production of 59% with semi-composted sheep manure and poultry manure. The previous authors did not specify if they performed inorganic fertilization during the development of the crop. Marín-Guirao et al. [11] concluded that biosolarization with residues of brassicas and pellets of chicken manure supplemented with inorganic fertilization benefited tomato crops, improving the yield and organoleptic tomato fruit characteristics. The findings reported by these authors demonstrate the positive effects of biosolarization when it is supplemented with organic matter and fertigation, obtaining yields and fruits with a fruit quality comparable to a conventional system. However, the application of inorganic fertilization plus organic matter must be carried out with consideration of the global contribution of macronutrients to the system, so as to optimize resources and reduce costs. In this sense, the current research is postulated as an evolution of the techniques used by the previous

authors, reducing the contribution of inorganic fertilizer to zero in the treatments with crop residues and obtaining a comparable yield to that obtained with a conventional production system.

It is necessary to analyze the control yield; this treatment was solarized in both growing years of this experiment. This could be the reason why a smaller commercial production levels were obtained, due to the solubilization of remaining nutrients produced during solarization. Stapleton et al. [21] found a similar effect when solarizing with transparent plastic; the authors reported an increase in the content of NO_3^- and NH_4^+ available for post-solarization cultivation. Lombardo et al., [39] quoting Katan [14], speculated that solarization by itself can potentiate the growth and development of the plant by coining the term “increased growth response” and suggested that this is due to a rapid release of nutrients.

The use of Biofence® as an organic material did not provoke an improvement either in yield or in the organoleptic properties of tomato fruit in crops over both years. Supplementation with the pellets resulted in an improvement in yield, though this change was not significant. These findings are partly consistent with those of López-Aranda et al. [46], Pane et al. [47], and Marín-Guirao et al. [11], who did not report any benefit with Biofence® application. Pane et al. [47] suggested that the application of brassica carinata flour, with or without solarization, could have a protective effect on some microbial groups that benefit soil activity and the establishment of the crop. However, Guerrero et al. [48] tested Biofence® for the control of nematodes of the genus *Meloidogyne* did not find any benefits from its use, as it was ineffective in controlling nematodes and had no positive effect on pepper production compared to the use of fresh manures. With regard to this study, the use of the commercial product, Biofence®, represented a financial investment with no corresponding increase in yield to justify its use.

The quality parameters of the tomato fruit were affected by the type of fertilization. It should be noted that the fruits from plants treated with fertigation, in the first year, had higher size and weight than fruits of the others treatments, but this was not maintained in the second year. It is noteworthy that Marín-Guirao et al. [11] obtained values for acidity, °Brix, and color similar to those obtained in this study. However, Mauromicale et al. [16] reported that parameters such as firmness, color, and soluble solids content (°Brix) were increased proportionally to the increase in organic matter in the treatments used, contrasting with the results of this study. In our study, the Control treatment showed an increase similar to that reported by Mauromicale et al. [16], which may be due to the scarcity of nutrients with no organic amendment.

From a commercial point of view, the two systems of vegetable nutrition produced fruit suitable for consumption: caliber M (57–67mm), very high firmness ($>2\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$), and color between the E and F categories. It should be noted that the

Int. J. Environ. Res. Public Health **2019**, *16*, 279

values of °Brix and pH were closer to a “cherry” tomato type than to a long-life tomato [49,50].

5. Conclusions

The incorporation of plant debris at the end of the crop cycle using biosolarization has been shown to be an efficient practice for the management of this residue, solving the problem of handling crop residues by offering a technique that respects the environment, benefits the circular economy, and provides a reference for horticultural production systems, even for the transition to organic farming. The addition of organic amendments provides the necessary nutrients for the correct development of a greenhouse tomato culture (5–6 months), achieving the same yield as a conventional inorganic fertilization system and, furthermore, maintaining the main organoleptic properties of the fruit while also being economically beneficial for growers. Future research should be focused on determining the impact on the water footprint due to improved soil structure as a result of organic matter, an aspect of vital importance for the protected agriculture of the Mediterranean basin.

Author Contributions: Conceptualization, J.C.T.-M. and C.R.-O.; methodology, J.I.M.-G. and C.R.-O.; investigation, C.R.-O. and P.G.-R.; resources, C.A.G.; writing—original draft preparation, P.G.-R.; writing—review and editing, J.I.M.-G. and M.d.C.-G.; supervision, J.I.M.-G. and M.d.C.-G.; project administration, J.C.T.-M.; funding acquisition, J.C.T.-M. and P.G.-R.

Funding: This research was funded by the University of Almería PPIT and the AGR200 research group, Almería, Spain.

Acknowledgments: We thank the UAL-ANECOOP Foundation Experimental Research Center for their collaboration and assistance during the development of this study.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Castilla, N. *Greenhouse Technology and Management*, 2nd ed.; CABI: Wallingford, United Kingdom, 2013; 1-335; ISBN: 9781780641034. Available online: <https://www.cabi.org/bookshop/book/9781780641034> (accessed on 09.11.2018).
2. Cabrera, A.; Uclés, D.; Aguera, T.; de la Cruz, E. Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería: Campaña 2016/2017. *Editorial Fundación Cajamar*, **2017**, *1*, 1-59. Available online: <http://www.publicacionescajamar.es/series-tematicas/informes-coyuntura-analisis-de-campana/analisis-de-la-campana-hortofruticola-de-Almeria-campana-2016-2017/> (accessed on 09.11.2018).

3. Lamichhane, J.R. Pesticide use and risk reduction in European farming systems with IPM: An introduction to the special issue. *Crop Prot.* **2017**, *97*, 1-6, doi:<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.01.017>. Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219417300261> (accessed on 09.11.2018).
4. Ramos, C.; Agut, A.; Lidón, A.L. Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region (Spain). *Environ. Pollut.* **2002**, *118*, 215-223. doi:[https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00314-1](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00314-1). Available online: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11939284> (accessed on 09.11.2018).
5. Vázquez, N.; Pardo, A.; Suso, M.L.; Quemada, M. Drainage and nitrate leaching under processing tomato growth with drip irrigation and plastic mulching. *Agric Ecosyst Environ.* **2006**, *112*, 313-323. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.07.009>. Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880905003816> (accessed on 09.11.2018).
6. Thompson, R.B.; Martínez-Gaitan, C.; Gallardo, M.; Giménez, C.; Fernández, M.D. Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey. *Agric. Water. Manag.* **2007**, *89*, 261-274. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.01.013>. Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377407000376?via%3DIhub> (accessed on 09.11.2018).
7. Yasuor, H.; Ben-Gal, A.; Yermiyahu, U.; Beit-Yannai, E.; Cohen, S. Nitrogen management of greenhouse pepper production: agronomic, nutritional, and environmental implications. *HortScience* **2013**, *48*, 1241-1249. Available online: <http://hortsci.ashspublications.org/content/48/10/1241.full> (accessed on 09.11.2018).
8. Junta de Andalucía. Estrategia de gestión de restos vegetales en la horticultura de Andalucía. *Consejería de Agricultura y Pesca y Desarrollo Rural; Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio*, **2016**, *1*, 1-45. Available online: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Lineas_actuacion_materia_gestion_restos_vegetales_horticultura_Andalucia.pdf (accessed on 09.11.2018).
9. López-Hernández, J.C.; Pérez-Martínez, C.; Acien-Fernández, F.G. Residuos vegetales procedentes de los invernaderos de Almería. *Publicaciones Cajamar*, **2016**, *17*, 1-9. Available online: <https://www.cajamar.es/pdf/bd/agroalimentario/innovacion/formacion/actividades-de-transferencia/017-restos-vegetales-1466406472.pdf> (accessed on 09.11.2018).
10. Kumar, V.; Abdul-Baki, A.; Anderson, J.D.; Mattoo, A.K. Cover crop residues enhance growth, improve yield, and delay leaf senescence in greenhouse-grown tomatoes. *HortScience*, **2005**, *40*, 1307-1311.

Int. J. Environ. Res. Public Health **2019**, *16*, 279

Available online: <http://hortsci.ashspublications.org/content/40/5/1307.abstract> (accessed on 09.11.2018).

11. Marín-Guirao, J.I.; Tello, J.C.; Díaz, M.; Boix, A.; Ruiz, C.A.; Camacho, F. Effect of greenhouse soil bio-disinfection on soil nitrate content and tomato fruit yield and quality. *Soil Res.* **2016**, *54*, 200-206, doi:<https://doi.org/10.1071/SR15106>. Available online: <http://www.publish.csiro.au/SR/SR15106> (accessed on 09.11.2018).
12. Bello Pérez, A.; González-Pérez, J.A.; Tello, J.C. La biofumigación como alternativa a la desinfección de suelos. *Horticultura Internacional*, **1997**, *43*, 41-43. <http://digital.csic.es/bitstream/10261/84815/1/La%20biofumigaci%C3%B3n%20como%20alternativa.pdf> (accessed on 09.11.2018).
13. Kirkegaard, J.A.G., P.A.; Desmarchelier, J.M.; Angus, J.F. Biofumigation - using Brassica species to control pests and diseases in horticulture and agriculture. *Proceedings 9th Australian Research Assembly on Brassica Wagga Wagga, Australia*, 5-7 October **1993**, *1*, 77-82. Available online: <https://publications.csiro.au/rpr/pub?list=BRO&pid=procite:1ab24273-efdb-43d2-a034-071ccfa128c4> (accessed on 09.11.2018).
14. Katan, J. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. *Annu. Rev. Phytopathol.* **1981**, *19*, 211-236, doi:10.1146/annurev.py.19.090181.001235. Available online: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.py.19.090181.001235> (accessed on 09.11.2018).
15. Scopa, A.; Candido, V.; Dumontet, S.; Miccolis, V. Greenhouse solarization: effects on soil microbiological parameters and agronomic aspects. *Sci. Hort.* **2008**, *116*, 98-103. doi:10.1016/j.scienta.2007.11.008. Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423807004037> (accessed on 09.11.2018).
16. Mauromicale, G.; Longo, A.M.G.; Lo Monaco, A. The effect of organic supplementation of solarized soil on the quality of tomato fruit. *Sci. Hort.* **2011**, *129*, 189-196. doi:10.1016/j.scienta.2011.03.024. Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423811001324> (accessed on 09.11.2018).
17. Chan, K.Y.; Heenan, D.P. The influence of crop rotation on soil structure and soil physical properties under conventional tillage. *Soil Tillage Res.* **1996**, *37*, 113-125, doi:10.1016/0167-1987(96)01008-2. Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167198796010082> (accessed on 09.11.2018).
18. McGuire, A.M. Mustard Green Manures Replace Fumigant and Improve Infiltration in Potato Cropping System. *Crop Management* **2003**, *2*, 1-6, doi:10.1094/cm-2003-0822-01-rs. Available online: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/cm/abstracts/2/1/2003-0822-01-RS> (accessed on 09.11.2018).

19. Bailey, K.L.; Lazarovits, G. Suppressing soil-borne diseases with residue management and organic amendments. *Soil Till. Res.* **2003**, *72*, 169-180, doi:[https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00086-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00086-2). Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198703000862> (accessed on 09.11.2018).
20. Thorup-Kristensen, K.; Magid, J.; Jensen, L.S. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Adv. Agron.* **2003**, *79*, 227-302, doi:10.1016/s0065-2113(02)79005-6. Available online: <http://www.orgprints.org/107/> (accessed on 09.11.2018).
21. Stapleton, J.J.; Quick, J.; Devay, J.E. Soil solarization - effects on soil properties, crop fertilization and plant-growth. *Soil Biol. Biochem.* **1985**, *17*, 369-373, doi:10.1016/0038-0717(85)90075-6. Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0038071785900756> (accessed on 09.11.2018).
22. Lazzeri, L.; Malaguti, L.; Cinti, S.; Ugolini, L.; De Nicola, G.R.; Bagatta, M.; Casadei, N.; D'Avino, L.; Matteo, R.; Patalano, G. The brassicaceae biofumigation system for plant cultivation and defence. An italian twenty-year experience of study and application. *Acta Hort.* **2013**, *1005*, 375-382, doi:10.17660/ActaHortic.2013.1005.44 Available online: https://www.actahort.org/books/1005/1005_44.htm (accessed on 09.11.2018).
23. Reddy, P.P. *Biofumigation and Solarization for Management of Soil-Borne Plant Pathogens*, 1st ed.; Scientific Publishers: Jodhpur, India, 2011; 1-431; ISBN: 9788172336974. Available online: <http://www.scientificpub.com/book-details/Biofumigation-and-Solarization-for-Management-of-Soil-Borne-Plant-Pathogens-151.html> (accessed on 09.11.2018).
24. Willer, H.; Lernoud, J. The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends. *Research Institute of Organic Agriculture FiBL and IFOAM Organics International*: Frick, Switzerland, **2016**, *1*, 1-340. Available online: <https://shop.fibl.org/CHde/mwdownloads/download/link/id/785/?ref=1> (accessed on 09.11.2018).
25. Valera, D.L.; Belmonte, L.J.; Molina-Aiz, F.D.; López, A.; Camacho, F. The greenhouses of Almería, Spain: technological analysis and profitability. *Acta Hort.* **2017**, *1170*, 219-226, doi:10.17660/ActaHortic.2017.1170.25 Available online: https://www.actahort.org/books/1170/1170_25.htm (accessed on 09.11.2018).
26. Bretones, C. El enarenado. In *Técnicas de producción en cultivos protegidos*, 1st ed.; Ed. Instituto Cajamar: Madrid, España, 2003, Volume 1, pp. 110-118; ISBN: 84-95531-15-1. Available online: <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/series-tematicas/agricultura/tecnicas-de-produccion-en-cultivos-2.pdf> (accessed on 09.11.2018).

Int. J. Environ. Res. Public Health **2019**, *16*, 279

27. Contreras París, J.; Baeza Cano, R.J.; Segura Pérez, M. Cuantificación de los nutrientes aportados al suelo por la incorporación de los restos de los cultivos hortícolas en invernaderos. *Agricultura y ganadería ecológica* **2015**, *11*, 18-19.
Available online:
<https://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/actas/cd-actas-xicongresoseae/actas/comunicaciones/67-cuantificacion-nutrientes-contreras-resumen.pdf> (accessed on 09.11.2018).
28. Moreno Casco, J.; Moral Herrero, R. *Compostaje*, 1st ed.; Mundi-Prensa: Madrid, España, 2008; 1-572; ISBN: 9788484763468.
Available online:
<https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484763468/compostaje> (accessed on 09.11.2018).
29. Casas Castro, A.; Casas Barba, E. Análisis de suelo -agua-planta y su aplicación en la nutrición de los cultivos hortícolas en la zona del sureste peninsular. *PublicacionesCajamar* **1999**, *1*, 1-249.
Available online:
<http://www.publicacionescajamar.es/series-tematicas/agricultura/analisis-de-suelo-agua-planta-y-su-aplicacion-en-la-nutricion-de-cultivos-horticolos-en-la-zona-peninsular/> (accessed on 09.11.2018).
30. Fernández, P.; Pascual, J.; Lacasa, A. Potencial de lixiviación de nitratos de la técnica de biosolarización en suelos de invernaderos de pimiento. *Sociedad Española de Ciencias de Hortícolas* **2014**, *66*, 107-115.
Available online:
<http://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2066.%20V%20Jornadas%20del%20grupo%20de%20fertilizaci%C3%B3n/Sesi%C3%B3n%201.%20Cultivos%20Hort%C3%ADcolas/Potencial%20de%20lixiviaci%C3%B3n%20de%20nitratos%20de%20la%20t%C3%A9cnica%20de%20biosolarizaci%C3%B3n%20en%20suelos%20de%20invernaderos%20de%20pimiento.pdf> (accessed on 09.11.2018).
31. Chen, Y.; Katan, J.; Gamliel, A.; Aviad, T.; Schnitzer, M. Involvement of soluble organic matter in increased plant growth in solarized soils. *Biol. Fertil. Soils* **2000**, *32*, 28-34, doi:10.1007/s003740000209.
Available online: <https://link.springer.com/article/10.1007/s003740000209> (accessed on 09.11.2018).
32. Guerrero, M.M.; Martínez, M.A.; Ros, C.; Martínez, M.C.; Bello, A.; Lacasa, A. Biosolarización y biofumigación para la producción de pimiento ecológico en invernadero. *Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, **2006**, *103*,1-8.
Available online:
<https://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2006/CD%20Congreso%20Zaragoza/Ponencias/103%20Guerrero%20Com-%20Biosolarizaci%C3%B3n.pdf> (accessed on 09.11.2018).
33. Martínez, M.A.; Guerrero, M.M.; Martínez, M.C.; Ros, C.; Lacasa, A.; Tello, J.C. Efecto de la biosolarización reiterada sobre la microbiota fúngica en cultivos de pimiento. *Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, **2006**, *212*,1-10.
Available online:

- <https://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2006/CD%20Congreso%20Zaragoza/Ponencias/212%20Martinez%20Com-%20Efecto.pdf> (accessed on 09.11.2018).
34. Díez-Rojo, M.; López-Pérez, J.; Urbano-Terrón, P.; Bello, A. *Biodesinfección de suelos y manejo agronómico*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino: Madrid, España, 2010; 1-407; NIPO:770.10.292.0.
Available online: https://www.miteco.gob.es/va/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/libro%20de%20biodesinfecci%C3%B3n_tcm39-185072.pdf (accessed on 09.11.2018).
35. Fernández-Bayo, J.D.; Achmon, Y.; Harrold, D.R.; McCurry, D.G.; Hernandez, K.; Dahlquist-Willard, R.M.; Stapleton, J.J.; VanderGheynst, J.S.; Simmons, C.W. Assessment of Two Solid Anaerobic Digestate Soil Amendments for Effects on Soil Quality and Biosolarization Efficacy. *J. Agric. Food Chem.* **2017**, *65*, 3434-3442, doi:10.1021/acs.jafc.6b04816.
Available online: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28409935> (accessed on 09.11.2018).
36. Iapichino, G.; Puleo, L.; Vetrano, F.; Sciortino, A. Effects of Solarization and Biofumigation on Tomato Greenhouse Production in the Southern Coast of Sicily. *Acta Hort.* **2008**, *801*, 1557-1562, doi: 10.17660/ActaHortic.2008.801.192.
Available online: https://www.actahort.org/books/801/801_192.htm (accessed on 09.11.2018).
37. Porras, M.; Barrau, C.; Romero, E.; Zurera, C.; Romero, F. Effect of Biofumigation with Brassica carinata and Soil Solarization on Phytophthora spp. and Strawberry Yield. *Acta Hort.* **2008**, *842*: 969-972, doi: 10.17660/ActaHortic.2009.842.215.
Available online: https://www.actahort.org/books/842/842_215.htm (accessed on 09.11.2018).
38. Garibaldi, A.; Gilardi, G.; Clematis, F.; Gullino, M.L.; Lazzeri, L.; Malaguti, L. 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 Hort.* **2010**, *883*, 295-302, doi:10.17660/ActaHortic.2010.883.36.
Available online: https://www.actahort.org/books/883/883_36.htm (accessed on 09.11.2018).
39. Lombardo, S.; Longo, A.M.G.; Lo Monaco, A.; Mauromicale, G. The effect of soil solarization and fumigation on pests and yields in greenhouse tomatoes. *Crop Prot.* **2012**, *37*, 59-64, doi:10.1016/j.cropro.2012.02.010.
Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219412000373> (accessed on 09.11.2018).
40. Hansen, Z.R.; Keinath, A.P. Increased pepper yields following incorporation of biofumigation cover crops and the effects on soilborne pathogen populations and pepper diseases. *Appl. Soil Ecol.* **2013**, *63*, 67-77, doi:10.1016/j.apsoil.2012.09.007.
Available online:

Int. J. Environ. Res. Public Health **2019**, *16*, 279

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139312002302> (accessed on 09.11.2018).

41. Suja, G.; Byju, G.; Jyothi, A.N.; Veena, S.S.; Sreekumar, J. Yield, quality and soil health under organic vs conventional farming in taro. *Sci. Hortic.* **2017**, *218*, 334-343, doi:10.1016/j.scienta.2017.02.006.
Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423817300912> (accessed on 09.11.2018).
42. Achmon, Y.; Sade, N.; Wilhelmi, M.; Fernandez-Bayo, J.D.; Harrold, D.R.; Stapleton, J.J.; VanderGheynst, J.S. Effects of Short-Term Biosolarization Using Mature Compost and Industrial Tomato Waste Amendments on the Generation and Persistence of Biocidal Soil Conditions and Subsequent Tomato Growth. *J. Agric. Food Chem.* **2018**, *66*, 5451-5461, doi:10.1021/acs.jafc.8b00424.
Available online: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29763301> (accessed on 09.11.2018).
43. Ros, M.; Garcia, C.; Hernandez, M.T.; Lacasa, A.; Fernandez, P.; Pascual, J.A. Effects of biosolarization as methyl bromide alternative for *Meloidogyne incognita* control on quality of soil under pepper. *Biol. Fertil. Soils* **2008**, *45*, 37, doi:10.1007/s00374-008-0307-1.
Available online: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-008-0307-1> (accessed on 09.11.2018).
44. Mauromicale, G.; Monaco, A.L.; Longo, A.M.G. Improved efficiency of soil solarization for growth and yield of greenhouse tomatoes. *Agron. Sustain. Dev.* **2010**, *30*, 753-761, doi:10.1051/agro/2010015.
Available online: <https://link.springer.com/article/10.1051/agro/2010015> (accessed on 09.11.2018).
45. Nuñez-Zofío, M.; Larregla del Palacio, S.; Garbisu, C. Repeated biodisinfection controls the incidence of *Phytophthora* root and crown rot of pepper while improving soil quality. *Spanish Journal of Agricultural Research* **2012**, *10*, 794-805, doi:10.5424/sjar/2012103-571-11.
Available online: <http://revistas.inia.es/index.php/sjar/article/view/2342> (accessed on 09.11.2018).
46. López-Aranda, J.M.; Miranda, L.; Domínguez, P.; Soria, C.; Pérez-Jiménez, R.M.; Zea, T.; Talavera, M.; Velasco, L.; Romero, F.; De Los Santos, B. Soil biosolarization for strawberry cultivation. *Acta Hortic.* **2012**, *926*: 407-413, doi: 10.17660/ActaHortic.2012.926.57.
Available online: https://www.actahort.org/books/926/926_57.htm (accessed on 09.11.2018).
47. Pane, C.; Vilecco, D.; Pentangelo, A.; Lahoz, E.; Zaccardelli, M. Integration of soil solarization with *Brassica carinata* seed meals amendment in a greenhouse lettuce production system. *Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci.* **2012**, *62*, 291-299, doi:10.1080/09064710.2011.613850.
Available online: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09064710.2011.613850> (accessed on 09.11.2018).

48. Guerrero, M.; Lacasa, C.; Ros, C.; Martínez, V.; Fenoll, J.; Torres, J.; Beltrán, C.; Fernández, P.; Bello, A.; Lacasa, A. Pellets de brasicas como enmiendas para biosolarización de invernaderos de pimiento. *XII Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas* **2009**, *1*, 1-6.
Available online:
<http://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2054.%20VI%20Congreso%20Ib%C3%A9rico%20de%20Ciencias%20Hort%C3%ADcolas.%20XII%20Congreso%20Nacional%20de%20Ciencias%20Hort%C3%ADcolas/Comunicaciones/Pellets%20de%20brasicas%20como%20enmiendas%20para%20biosolarizaci%C3%B3n%20de%20invernaderos%20de%20pimiento.pdf> (accessed on 09.11.2018).
49. Domene Ruiz, M.A., Segura Rodriguez M. Parámetros de calidad externa en la industria agroalimentaria. *Publicaciones Cajamar* **2014**, *1*, 1-12.
Available online:
<https://www.cajamar.es/pdf/bd/agroalimentario/innovacion/investigacion/documentos-y-programas/003-calidad-externa-1401191044.pdf> (accessed on 09.11.2018).
50. Domene Ruiz, M.A., Segura Rodriguez M. Parámetros de calidad interna en la industria agroalimentaria. *Publicaciones Cajamar* **2014**, *1*, 1-18.
Available online:
<https://www.cajamar.es/pdf/bd/agroalimentario/innovacion/investigacion/documentos-y-programas/005-calidad-interna-1410512030.pdf> (accessed on 09.11.2018).



© 2018 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.
(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

