

UNIVERSIDAD DE ALMERIA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

“Evaluación de los niveles de nitratos en el segundo año de la aplicación de la biodesinfección.”

“Assessment of soil nitrate content in the second year after bio-disinfection treatments.”

**Mención:**

Hortofruticultura y Jardinería

**Curso 2017/2018**

**Alumno/a:**

Pedro Díaz Ortiz

**Director/es:**

Dr. Ing. Agr. Julio César Tello Marquina

Dr. Ing. José Ignacio Marín Guirao

# UNIVERSIDAD DE ALMERÍA



**Escuela Superior de Ingeniería**

**Grado en Ingeniería Agrícola  
Mención en Horticultura y Jardinería**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**“Evaluación de los niveles de nitratos en el segundo año de la  
aplicación de la biodesinfección.”**

**“Assessment of soil nitrate content in the second year after bio-  
disinfection treatments.”**

**Alumno:**

*Pedro Díaz Ortiz*

**Directores:**

*Dr. Ing. Agr. Julio César Tello Marquina*

*Dr. Ing. Agr. José Ignacio Marín Guirao*

*ALMERÍA, FEBRERO 2018*

## **AGRADECIMIENTOS:**

No queda un momento en mi vida, y este no será menos, que agradezca todo a la persona que está junto a mí, porque me apoyas en los momentos difíciles haciéndolos más livianos y siempre me das fuerzas para seguir. Sara, sin ti no hubiese encontrado mi vocación y mi vida no sería lo mismo. Gracias por darme todo, incluido Pedro José que viene en camino.

De corazón, dar unas inmensurables gracias a mis tutores José Ignacio y Javier, por transmitirme vuestros conocimientos, por haberme ayudado mucho con vuestra experiencia, por atender mis dudas en cualquier momento y por vuestra paciencia.

A mis padres por vuestro apoyo en todo momento y por tener la certeza de mis posibilidades.

A mis hermanos José Vicente, Miguel Ángel y Encarni y sus parejas Lourdes, Pilar y José Antonio que habéis confiado en mí y habéis sido mi inspiración para ser mejor.

Por último, agradecer a mi cuñado Ángel toda su ayuda y el cariño "a su manera", gracias por estar ahí.

## ÍNDICE.

1. INTERÉS Y OBJETIVOS .....	1
1.1. Introducción. ....	1
1.2. Antecedente del estudio presentado.....	4
1.3. Objetivos .....	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	5
2.1. La lixiviación de $\text{NO}_3^-$ en suelos agrícolas. ....	5
2.2. Efectos negativos de los nitratos. ....	6
2.2.1. Efecto sobre la salud humana. ....	6
2.2.2. Efecto sobre el medio ambiente. ....	7
2.3. Legislación específica Nitratos. ....	7
2.4. Lixiviado de nitratos en el sistema productivo de Almería. ....	10
3. MATERIAL Y MÉTODOS. ....	12
3.1. Ubicación del ensayo.....	12
3.1.1. Descripción general de finca. ....	12
3.1.2. Invernadero. ....	12
3.2. Datos climáticos de la zona de estudio. ....	13
3.3. Solución nutritiva .....	15
3.4. Suelo.....	15
3.5. Material Vegetal.....	16
3.6. Diseño experimental, enmiendas orgánicas y tratamientos de biodesinfección. ....	17
3.6.1. Enmiendas orgánicas empleadas en los tratamientos de biodesinfección.....	17
3.6.2. Realización de los tratamientos de biodesinfección. ....	18
3.7. Toma de datos.....	19
3.8. Diseño de muestreo .....	19
3.9. Extracción de solución del suelo. ....	20
3.10. Determinación de nitratos en la solución de suelo.....	21
3.11. Análisis estadístico .....	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	23
4.1. Concentración de nitratos en el suelo durante los ciclos de cultivo de tomate y sandía. Evaluación del efecto residual de los tratamientos de biodesinfección.....	23
5. CONCLUSIÓN.....	31
6. BIBLIOGRAFÍA.....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura.1: Designación de las zonas vulnerable en EU-27. Fuente: Informe de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo sobre la aplicación de la Directiva 91/676/CEE del Consejo relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura, periodo 2004-2007 (Bruselas, 9.2.2010). .....	8
Figura.2: Mapa de zonas vulnerables a la contaminación por nitratos en la CC.AA de Andalucía Orden 7 de julio de 2009 BOJA nº157, 2009. (Fuente: Junta de Andalucía). .....	9
Figura.3: (A) Ortofotografía de la Fundación Finca Experimental UAL-ANECOOP. Fuente: Google Maps, (B) Plano de la finca experimental con a la localización del ensayo en cuestión. Fuente: ( <a href="http://www.anecoop.com/es/fundacion-finca-experimental-ual-anecoop">http://www.anecoop.com/es/fundacion-finca-experimental-ual-anecoop</a> ). .....	12
Figura.4: Vista del invernadero U7. ....	13
Figura.5: (A) Esquema de estructura, (B) Detalle de altura en cumbre. ....	13
Figura.6: Registro de temperatura y humedad en invernadero para tomate. ....	14
Figura.7: Diseño experimental del ensayo. ....	19
Figura.8: Sonda tipo Rhizon SMS (Rizosphere research products). ....	20
Figura.9: Instalación de sondas: Perforación con alambre con $\varnothing$ de sonda (A), inserción de la sonda (B), nivelado de capa de arena (C) y Resultado final (D). ....	21
Figura.10: Tubo de vacío en succión con la sonda Rhizon SMS. ....	21
Figura.11: Medidor de nitratos cardímetro Cardy Twin Nitrate Meter B-343 (Horiba, Kyoto, Japón). ....	22
Figura.12: Concentración de nitratos en las parcelas experimentales biofumigadas (A) y biosolarizadas (B), a lo largo del ciclo de tomate (Campaña 2012-2013), un año después de los tratamientos. (Testigo=T0=--; Biofence=T1=0,3 kg m <sup>-2</sup> Biofence <sup>®</sup> ; Biofence+=T4=Biofence + 0,16 l Biolimp <sup>®</sup> ; Brassicas=T2=0,8 kg m <sup>-2</sup> Brassica oleracea; Brassicas+=T3=Brassicas + 0,15kg m <sup>-2</sup> Orgevit <sup>®</sup> ). .....	24
Figura.13: Concentración de nitratos en las parcelas experimentales biofumigadas (A) y biosolarizadas (B), a lo largo del ciclo de sandía, un año y medio después de los tratamientos. (Testigo=T0=--; Biofence=T1=0,3 kg m <sup>-2</sup> Biofence <sup>®</sup> ; Biofence+=T4=Biofence + 0,16 l Biolimp <sup>®</sup> ; Brassicas=T2=0,8 kg m <sup>-2</sup> Brassica oleracea; Brassicas+=T3=Brassicas + 0,15kg m <sup>-2</sup> Orgevit <sup>®</sup> ). .....	27

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla.1: Datos climáticos (Temperatura en °C, humedad relativa en %, radiación en W·m <sup>-2</sup> y precipitaciones en mm) durante el ciclo de cultivo de tomate correspondientes al estudio. Estación meteorológica UAL-ANECOOP. ....	14
Tabla.2: Datos climáticos (Temperatura en °C, humedad relativa en %, radiación en W·m <sup>-2</sup> y precipitaciones en mm) en cultivo de sandía del estudio. Estación meteorológica UAL-ANECOOP. ...	14
Tabla.3: Fertirrigación aplicada durante el cultivo de tomate del estudio. El inicio de la fertirrigación fue 12 y 9 días después del trasplante (DDT). ....	15
Tabla.4: Fertirrigación aplicada en cultivo de sandía del estudio. El inicio de la fertirrigación corresponde con el día del trasplante. ....	15
Tabla.5: Análisis del extracto saturado. ....	16
Tabla.6: Especies vegetales empleadas en el estudio, ciclos de cultivo y número de cosechas realizadas. ....	17
Tabla.7: Contenido en carbono y nitrógeno de las enmiendas empleadas. ....	18
Tabla.8: Resumen del ANOVA de dos vías de medidas repetidas en el tiempo (2-way RM ANOVA) realizado para evaluar la significancia del efecto residual de la aplicación de distintas técnicas de biodesinfección (biofumigación y biosolarización) y tratamientos (testigo=T0, biofence=T1, biofence+=T4, brassicas=T2 y brassicas+=T3) en el contenido de nitratos del suelo a lo largo del ciclo de tomate (Campaña 2012-2013). g.l.: grados de libertad. % var: porcentaje de la varianza. * = $p \leq 0,05$ ; *** = $p \leq 0,001$ .: ....	23
Tabla.9: Efecto de diferentes enmiendas orgánicas adicionadas mediante biofumigación y biosolarización en la concentración de nitratos del suelo (mmol·L <sup>-1</sup> ). Valores (media±desviación típica) expresados durante el ciclo de tomate cv. Kasillas en 2012-2013 (70, 77, 84, 91, 98, 105, 112, 119, 126, 133, 140, 149, 155, 161 DDT) y al finalizar el cultivo (179 DDT). T <sub>0</sub> =--; T <sub>1</sub> =0,3 kg Biofence®; T <sub>2</sub> =0,8 kg Brassicas deshidratada; T <sub>3</sub> =T <sub>2</sub> + 0,15kg Gallinaza deshidratada; T <sub>4</sub> =T <sub>1</sub> + 0,16 l Activador microbiológico. Diferentes letras en el mismo muestreo, muestran diferencias significativas (P≤0.05) mediante el test de Tukey (HSD).: ....	25

Tabla.10: Resumen del ANOVA de dos vías de medidas repetidas en el tiempo (2-way RM ANOVA) realizado para evaluar la significancia del efecto residual de la aplicación de distintas técnicas de biodesinfección (biofumigación y biosolarización) y tratamientos (testigo=T0, biofence=T1, biofence+=T4, brassicas=T2 y brassicas+=T3) en el contenido de nitratos del suelo a lo largo del ciclo de sandía. g.l.: grados de libertad. % var: porcentaje de la varianza \* =  $p \leq 0,05$ ; \*\* =  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* =  $p \leq 0,001$ ..... 26

Tabla.11: Efecto de diferentes enmiendas orgánicas adicionadas mediante biofumigación y biosolarización en la concentración de nitratos del suelo ( $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Valores (media $\pm$ desviación típica) expresados durante el ciclo de cultivo de sandía en 2013 (25, 32, 39, 46, 53, 67, 81, 88, 95 DDT) y al finalizar el cultivo (152 DDT). T<sub>0</sub>=--; T<sub>1</sub>=0,3 kg Biofence®; T<sub>2</sub>=0,8 kg Brassicas deshidratada; T<sub>3</sub>=T<sub>2</sub> + 0,15kg Gallinaza deshidratada; T<sub>4</sub>=T<sub>1</sub> + 0,16 l Activador microbiológico. Diferentes letras en el mismo muestreo, muestran diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) mediante el test de Tukey (HSD): .... 28

# **INTERÉS Y OBJETIVOS**



## **1. INTERÉS Y OBJETIVOS**

### **1.1. Introducción.**

La mayoría de los ecosistemas acuáticos se encuentran fuertemente influenciados por actividades humanas que han alterado drásticamente los flujos de nutrientes que se producen de forma natural entre el paisaje y los cuerpos de agua receptores (Smith, 2003). Una de las principales causas de esta alteración, se encuentra asociada al uso intensivo de la tierra para la producción de cultivos, que representa la mayor fuente de nitratos contaminantes de los ecosistemas acuáticos (i.e. eutrofización), incluidos los acuíferos de los que se obtiene agua para uso y consumo humano, causantes de importantes efectos negativos sobre la calidad de sus aguas y las comunidades que los pueblan (Keeney, 1986).

En la actualidad, la agricultura intensiva de regadío destaca por su prominente potencial para causar problemas de eutrofización en los cuerpos de agua, debido al empleo masivo de fertilizantes nitrogenados que producen drenajes de agua con elevadas concentraciones de nitratos (Burkart y Stoner, 2002; Babiker et al., 2004; Knox y Moody, 1991). Estos problemas ambientales se ven intensificados cuando las prácticas de agricultura intensiva son desarrolladas en regiones con climas semiáridos, como en los países mediterráneos, donde el empleo de enormes cantidades de agua para riego favorece que las tasas de recarga de los acuíferos subterráneos sea significativamente mayor que la derivada del agua de lluvia (Knox y Moody, 1991; Neeteson y Whitmore, 1998). En este sentido, en el modelo de producción hortícola intensiva bajo abrigo se produce el lixiviado de nitratos potencialmente contaminantes de los acuíferos (Pratt, 1984; Ramos et al., 2002; Vázquez et al., 2006; Dahan et al., 2013), principalmente cuando se aplican grandes volúmenes de agua en los tratamientos de desinfección del suelo, riegos pre-trasplante y durante las tres primeras semanas de cultivo (Thompson et al., 2007).

En base a esta importante problemática ambiental, la Directiva 91/676/CEE relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura (y su transposición al ordenamiento jurídico español efectuada por el Real Decreto 261/1996), obliga a las regiones declaradas vulnerables por contaminación de nitratos de origen agrario a implementar prácticas de manejo que reduzcan dicha contaminación, limitando el uso de abonos orgánicos y estableciendo umbrales de calidad de las aguas subterráneas.

Por otro lado, esta agricultura basada en prácticas agrarias reduccionistas con tendencia al monocultivo y la producción intensiva, ha propiciado, entre otros, la proliferación de organismos fitopatógenos habitantes del suelo, que provocan cuantiosas pérdidas de producción en multitud de cultivos (Messiaen y Lafon, 1967; Messiaen et al., 1991; Van Bruggen y Semenov, 2000). Considerando las diferentes estrategias para prevenir el ataque en plantas por patógenos del suelo, la desinfección de suelos agrícolas se ha convertido en una práctica común, que en el caso de cultivos intensivos en invernadero es llevada a cabo, generalmente, con frecuencia anual (Katan y Vanachter, 2009; Palmero et al., 2011). Para ello, el uso de formulaciones de síntesis, entre las que destacaba por su mayor aplicación y eficacia el bromuro de metilo (BrMe), se han convertido en una práctica común en las últimas décadas. Sin embargo, la retirada de esta materia activa por el Protocolo de Montreal, debido a sus efectos perjudiciales sobre la capa de ozono, ha propiciado el desarrollo de estudios en busca de alternativas eficaces y eficientes para la desinfección de suelos (Barrés et al., 2006). En este sentido, dado que las principales alternativas químicas (i.e. 1-3 dicloropropeno, cloropicrina, metam sodio, metam potasio) recientemente no han sido incluidas en el Anexo I de la Regulación 91/414/CEE relativa a la comercialización de productos fitosanitarios, las técnicas de desinfección de suelos agrícolas han cambiado extraordinariamente y, el uso de fumigantes químicos ha evolucionado hacia el empleo de materia orgánica o microorganismos antagonistas, que han sido probados como alternativas exitosas al BrMe (Gamliel et al., 2000; Bonanomi et al., 2007; 2010; Palmero et al., 2011;).

De entre éstas, el uso de enmiendas orgánicas en la desinfección de suelos, práctica conocida como biodesinfección en un sentido amplio, está adquiriendo una gran relevancia por su eficacia, y se ha mostrado como una alternativa económicamente viable, a la vez que medioambientalmente respetuosa (Alabouvette et al., 2005). La biodesinfección puede ser combinada con solarización o no (Katan, 1981; 1996). En el caso de combinación se denomina biosolarización, y biofumigación cuando no es usada la solarización. Al respecto, se han ensayado gran diversidad y cantidad de materiales como enmiendas orgánicas para el control de organismos fitopatógenos del suelo, aplicadas tanto en biofumigación (López-Cepero et al., 2007; Piedra-Buena, 2007), como en biosolarización (Guerrero et al., 2004; Ozores-Hampton et al., 2005; Oka et al., 2007; Ros et al., 2008, Núñez-Zofío et al., 2011).

Debe tenerse en cuenta que, una de las principales limitaciones del empleo de enmiendas orgánicas es que la mayoría de las enmiendas empleadas presentan alto contenido en nitrógeno (Neeteson *et al.*, 1999; Pomares y Canet, 2001; Bakker *et al.*, 2009). Además, la gran cantidad aportada en algunos casos para obtener un control satisfactorio, puede generar problemas ambientales, tales como, la eutrofización de aguas subterráneas por lixiviación de nitratos. Por ello, se presenta necesario un manejo apropiado que minimice e incluso evite efectos adversos derivados de su empleo, aspecto particularmente importante en los sistemas altamente antropizados de manejo intensivo.

En este sentido, son muchos los estudios que han evaluado los efectos de estas técnicas de biodesinfección frente a determinados microorganismos fitopatógenos, y en cambio, hasta donde nuestro conocimiento alcanza, la literatura especializada no abunda en estudios sobre los efectos de la adición de materia orgánica mediante dichas técnicas sobre la evolución de los nitratos en el suelo. El objetivo de la experimentación que se presenta en éste Trabajo Fin de Grado consiste en evaluar los efectos residuales tras la adición de enmiendas orgánicas comúnmente empleadas en tratamientos de biodesinfección con y sin solarización, en un segundo año sucesivo a los mismos, sobre la concentración de nitratos en el suelo, durante la secuencia de cultivos tomate-sandía en invernadero en el SE de España, concretamente en Almería, donde los suelos presentan la característica de ser arenados (Bretones, 2003). Debe destacarse que, la evaluación realizada e incluida en el presente proyecto, corresponde a un segundo año tras la incorporación de las enmiendas orgánicas. Esta información permitirá determinar si los efectos de tratamientos de biodesinfección mediante enmiendas orgánicas comúnmente empleadas, ofrecen un valor añadido contribuyendo a la reducción de la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos, para así fomentar su adopción en la práctica comercial, principalmente en las zonas declaradas vulnerables por contaminación de nitratos agrícolas.

## **1.2. Antecedente del estudio presentado.**

El estudio experimental presentado en este Trabajo Fin de Grado, se incluye en un proyecto más amplio, que fue planteado con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de técnicas de biodesinfección de suelos agrícolas en la retención de nitratos en un suelo arenado bajo abrigo. El proyecto, tenía como finalidad identificar aquellos tratamientos que permitieran reducir el lixiviado de los mismos, y por lo tanto su potencial efecto contaminador sobre los acuíferos. Así en los estudios previos en los que se evaluaron, el contenido de nitratos del suelo, tanto antes y después de las aplicaciones, como durante y al finalizar la secuencia de cultivos tomate-sandía consecutivos a los tratamientos (Marín-Guirao et al., 2012; Sánchez, 2012), se concluyó que la concentración de nitratos a la profundidad estudiada se incrementaba después de realizar los tratamientos de biodesinfección. De ésta manera, después de las biodesinfecciones, y de manera global para todas las materias orgánicas estudiadas, se apreció un incremento de nitratos que fue significativamente mayor en biosolarización frente a biofumigación. Así mismo, en los citados estudios se sugería que los aportes derivados del fertirriego podían enmascarar los posibles efectos de los tratamientos en el contenido de nitratos del suelo durante los cultivos, puesto que su concentración se igualaba a partir del segundo mes del cultivo de tomate. En conclusión, la mayor retención de nitratos en los suelos biosolarizados a la profundidad estudiada, reportaba a la biosolarización indicios como técnica de desinfección con capacidad para minimizar impactos por lixiviado de nitratos. Así mismo, se sugería que un buen manejo del riego en las primeras etapas del cultivo consecutivo a los tratamientos, ayudaría a reducir los aportes nutricionales externos, repercutiendo en una disminución de los costes de producción.

## **1.3. Objetivos**

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto residual de la aplicación de técnicas de biodesinfección de suelos agrícolas en la retención de nitratos en un suelo arenado bajo abrigo, con el fin de identificar aquellos tratamientos que permitieran reducir el lixiviado de los mismos y por lo tanto su potencial efecto contaminador sobre los acuíferos. Para ello, se aplicaron distintas técnicas de biodesinfección (biofumigación y biosolarización) mediante la adición de diferentes enmiendas orgánicas, y se evaluó el contenido de nitratos del suelo durante la secuencia de cultivos tomate-sandía un año después de haber realizado los tratamientos.

**REVISION**  
**BIBLIOGRAFICA**

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. La lixiviación de $\text{NO}_3^-$ en suelos agrícolas.**

En los sistemas hortícolas intensivos el drenaje es elevado, debido a que se aplican elevados volúmenes de riego para asegurar que las necesidades hídricas de los cultivos estén cubiertas, buscando una producción óptima. En la búsqueda de no reducir la producción por falta de nutrientes, con facilidad, se tiende a fertilizar en exceso los cultivos (Candela y Ramos, 1992). Estos dos condicionantes favorecen pérdidas de nitratos por lixiviación.

Las fuentes de nitratos para los cultivos se podrían englobar: (i) aplicaciones previas de estiércol, (ii) acumulación de N mineral de cultivos anteriores, y (iii) aplicación excesiva de N de fertilizante. (Thompson et al., 2004).

En el manejo de suelo en invernadero, es habitual realizar grandes aplicaciones de M.O. (Thompson et al., 2004). Éstas pueden ser catalogada según su origen, animal (estiércol) o vegetal (compostaje de residuos agrícolas y turbas) (Casas y Casas, 1999). En el 80% de los casos, en suelo enarenado se realiza la incorporación de estiércol en el momento de su construcción de al menos  $2000 \text{ kg N ha}^{-1}$ , (Thompson et al., 2007). Por motivos económicos, su reposición se realiza cada 2-5 años e incluso cada más tiempo, solo se reemplaza el material orgánico en las líneas donde se planta el cultivo, de  $950 \text{ kg N ha}^{-1}$  como valor medio (Thompson et al., 2007).

Estos grandes aportes de M.O. son habituales en sistema de cultivo hortícola (Thompson et al., 2004). Las cantidades de estiércol aplicadas, en la mayoría de los casos sobrepasa el límite de N impuesto por la UE y la legislación estatal y andaluza ( $170 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) (Granados et al., 2007; Pérez-Piqueres et al., 2006).

En el caso de la fertilización durante el cultivo, se realiza incorporando los abonos al agua de riego, ya sea empleando tanques simples de fertilización manual o mediante sistemas de programadores automáticos con tanques de solución concentrada (Thompson et al., 2007). En riego por goteo, en la mayoría de los riegos se incorpora de fertilizante, por tanto el riego localizado de alta frecuencia lleva implícito el concepto del fertirriego.

A mayor tasa de aplicación de fertilizantes, mayor es el incremento en la cantidad de nitratos lixiviados, puesto que no todo el nitrato aplicado es absorbido por el cultivo, afectando el momento y la dosis de aplicación de dichos fertilizantes. Pues aplicaciones pequeñas y frecuentes disminuyen la probabilidad de lixiviación (Candela y Ramos, 1992).

De otro modo, la forma en nitratos puede ser lixiviada con facilidad mientras que en amonio es retenida por el suelo antes de ser nitrificada, de este modo, en forma de amonio se producen menores pérdidas por lixiviación (Cameron y Haynes, 1986). Por sus características las formas nítricas como el nitrato potásico y nitrato cálcico son más empleadas, prácticamente por la totalidad de los productores. En torno al 50% de los agricultores utiliza en composición el nitrato amónico, sulfato amónico y sulfato monoamónico, (Thompson et al., 2007).

Muestreos de suelo en invernaderos comerciales confirman las grandes cantidades de N mineral presentes en estos suelos (Thompson et al., 2002). Por ello, los muestreos de suelo y/o solución de suelo para determinar la concentración de N mineral se hacen imprescindibles, necesarios para considerar las demandas nutricionales del cultivo en las diferentes etapas de desarrollo, y así planificar la fertilización nitrogenada adecuada, a pesar de esto, generalmente no son tenidos en cuenta (Thompson et al., 2004). De forma análoga, el manejo de nutrientes se establecen según la experiencia, sin la valoración de análisis de suelo, y sin la consideración de los nutrientes aportados con el estiércol (Thompson et al., 2004). La realización de análisis de suelo, agua o foliar sucede cuando hay algún problema evidente. (Thompson et al., 2007).

## **2.2. Efectos negativos de los nitratos.**

### **2.2.1. Efecto sobre la salud humana.**

Es necesario considerar que los nitratos que se encuentran en alimentos de la dieta humana, sin embargo, los problemas de salud por la ingesta de nitratos se derivan principalmente del consumo de aguas contaminadas por este compuesto como consecuencia de la actividad agrícola o ganadera (Follet y Follet, 2001).

Los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) por si mismos no son un riesgo para la salud, pero pueden reducirse a nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y este compuesto sí es considerado peligroso (Follet y Follet, 2001). En este sentido, la concentración de nitritos en las aguas superficiales como

subterráneas suele ser muy baja (Burkart y Stoner, 2002). Por el contrario los nitratos son contaminantes comunes de las aguas de origen agrario, incrementando el riesgo de formarse colonias bacterianas reductora (Burkart y Stoner, 2001).

A pesar de lo anteriormente mencionado, si la concentración de nitratos en el organismo es superior a 10 mg/L, la acción de determinados microorganismos los reduce a nitritos, acción que se realiza de forma natural en la saliva humana y en los fluidos gástricos (Fletcher, 1991). Al ser absorbidos por la sangre la hemoglobina se convierte en metahemoglobina, sustancia que inhibe el transporte de oxígeno en la sangre.

### **2.2.2. Efecto sobre el medio ambiente.**

Los nitratos carecen de la propiedad de ser retenidos en los suelos debido a su alta movilidad originándose pérdidas por lixiviados, generando procesos de eutrofización, afectando los acuíferos subterráneo, que incorporan estos nitratos por infiltración e imposibilitan cualquier proceso de corrección de estas aguas (FIAPA, 2006).

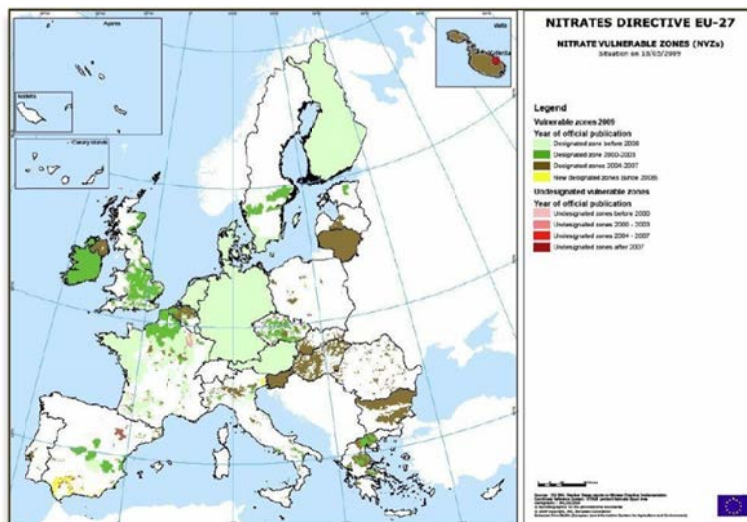
También puede afectar a océanos, debido a que cantidades elevadas de nitratos en los fondos marinos aumenta el crecimiento de algas, llegando a producir áreas muertas por reducción de los niveles de oxígeno durante la descomposición por la alta productividad biológica (FIAPA, 2006). Su desarrollo excesivo dificulta la entrada de la luz y el intercambio de oxígeno con la atmósfera produciendo la muerte de los peces por asfixia. La consecuencia es un ambiente anaerobio con procesos fermentativos, generando sulfhídrico y amoníaco (Kelly, 2001).

### **2.3. Legislación específica Nitratos.**

Dada la situación descrita del nitrógeno y sus efectos negativos, se han realizado una rigurosa legislación partiendo desde la comunidad europea hasta las medidas adoptadas por las comunidades autónomas para poder controlar y hacer un adecuado manejo de los nitratos en los suelos agrícolas.

La primera Directiva europea, 91/676/CEE del Consejo de 12 de diciembre de 1991 en relación a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura, la salud humana, los recursos vivos y los ecosistemas acuáticos, así como salvaguardar otros usos legítimos de las aguas (figura 1).





**Figura.1:** Designación de las zonas vulnerable en EU-27. Fuente: Informe de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo sobre la aplicación de la Directiva 91/676/CEE del Consejo relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura, periodo 2004-2007 (Bruselas, 9.2.2010).

A continuación, la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre (CE, 2000), “Marco sobre política de aguas”, que fue adaptada a nivel nacional mediante el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la ley de aguas, siendo revisado mediante el Real Decreto-Ley 4/2007, de 13 de abril (BOE, 2007), modificando la política de aguas con el objetivo de alcanzar un buen estado y la adecuado protección de las masas de aguas definidas en el ámbito de cada demarcación hidrográfica.

De este modo, La Directiva europea 91/676/CEE fue acogida por la legislación española por el Real Decreto 261/1996 de 16 febrero, (BOE, 1996) sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias. Estableciendo la competencia trasladada a las comunidades autónomas de las designaciones de las zonas vulnerables y considerando los valores máximos de 50ppm (mg/l), aparte de la elaboración de Códigos de Buenas Prácticas Agrarias para reducir la contaminación por nitratos y será de obligado cumplimiento en las zonas declaradas como vulnerables una vez adoptado y publicado el correspondiente Programa de Actuación.

Por tanto, a nivel andaluz, esta calificación se inicia con el Decreto 261/1998, de 15 de Diciembre, por el cual se designaron en Andalucía las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias en la Comunidad Autónoma

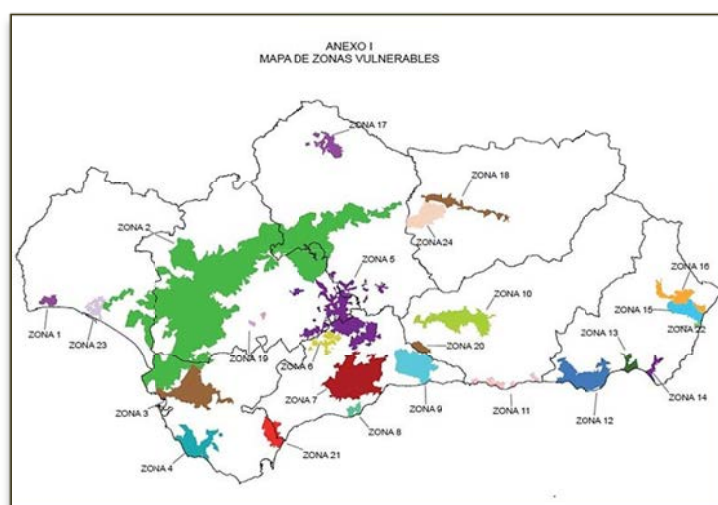
de Andalucía (BOJA, 1999). Las zonas designadas como vulnerables serán supervisadas y modificadas por los órganos competentes, en caso de cambios o factores no previstos en el momento de su designación.

Del mismo modo, la Orden de 27 de Junio de 2001 conjunta de las Consejerías de Medio Ambiente y de Agricultura y Pesca, aprobó el Programa de Actuación de las Zonas Vulnerables en Andalucía, que deberá ser revisado, como mínimo, cada cuatro años.

Ésta última fue derogada por la Orden de 18 de Noviembre de 2008, donde se propone un Programa de Actuación nuevo, estableciendo distintos niveles de actuación según la intensidad y el nivel del riesgo asociado de la actividad, implantándose obligaciones y limitaciones tanto a nivel general como específicas, en función del tipo de fertilizante, actividad agroganadera y de cultivos (BOJA, 2008b). De éste modo, se incluyen en la actividad tipo 2 a los recintos de uso agrícola.

Paralelamente con los programas de actuación, la Orden de 16 de mayo de 2008, de la Consejería de Agricultura y Pesca, desarrolla los requisitos de aplicación de la condicionalidad de las ayudas directas en el marco de la Política Agrícola Común (PAC), estableciendo medidas de conservación del medio y prevención de la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias (BOJA, 2008c).

El Decreto 36/2008, de 5 de febrero, por el que se designan nuevas zonas vulnerables en Andalucía y se establecen medidas contra la contaminación por nitratos de origen agrario (figura 2) (BOJA, 2008a).



**Figura.2:** Mapa de zonas vulnerables a la contaminación por nitratos en la CC.AA de Andalucía Orden 7 de julio de 2009 BOJA nº157, 2009. (Fuente: Junta de Andalucía).

Posteriormente, la Orden de 7 de julio de 2009, conjunta de las Consejerías de Agricultura y Pesca y Medio Ambiente, aprueba la modificación de las zonas vulnerables designadas mediante 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.

La más reciente es la Orden de 1 de junio de 2015, que derogada a la orden de 18 de noviembre de 2008 incluyendo el último programa de actuación aplicable a las zonas vulnerables (BOJA, 2015).

#### **2.4. Lixiviado de nitratos en el sistema productivo de Almería.**

El sistema de producción hortícola intensivo bajo abrigo localizado en el sureste de España, concentra la mayor superficie de invernaderos del mundo localizados dentro de una misma región (Castilla y Hernández, 2005). Concretamente, de acuerdo a datos correspondientes a la campaña 2015/2016, la provincia de Almería concentra aproximadamente 30.230 ha de invernaderos destinados a la producción intensiva de hortalizas siendo considerada como la “despensa” de Europa al proveer a este gran continente de la mayoría de verduras que en él se consumen (Cajamar, 2016). Esto convierte a la provincia de Almería en una zona de excepcional y elevada incidencia por el lixiviado de nitratos derivado de los cultivos bajo invernadero.

A escala autonómica, el Decreto 36/2008 y órdenes posteriores designan 24 zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias en Andalucía, 6 de las cuales se encuentran en a la provincia de Almería, localizadas en las principales zonas en las que se desarrollan cultivos hortícolas bajo abrigo (Campo de Dalías, Campo de Níjar y Bajo Andarax). Estas zonas, que practican una agricultura intensiva de regadío, son particularmente susceptibles a la contaminación de aguas subterráneas, principalmente porque los cultivos son fertilizados en muchos casos en cantidades excesivas y ocasionalmente son regados en exceso (Pratt, 1984). Además, en el sistema de producción almeriense, donde los cultivos en suelo arenado, incorporan grandes cantidades de estiércol en la preparación del terreno inicial tras la construcción del invernadero y/o en los “retranqueos” realizados en el tiempo, estas cantidades normalmente superan ampliamente la cantidad máxima de N establecidas en la legislación europea, estatal y andaluza ( $170 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). La limitación impuesta por la normativa a los aportes de estiércol, hace necesario que se identifiquen otras prácticas

que puedan contribuir a mejorar, entre otras, las características físicas de estos suelos (Granados *et al.*, 2007).

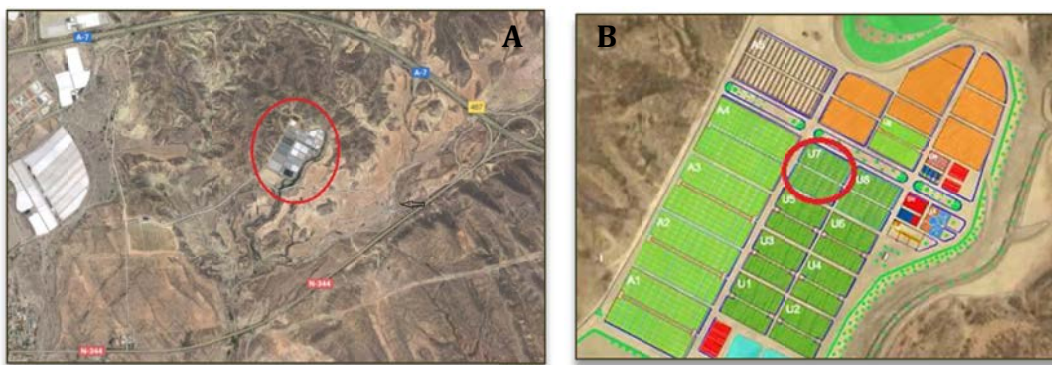
Como consecuencia de estas prácticas intensivas, grandes áreas de acuíferos poco profundos, situados bajo las principales áreas invernadas de esta provincia, presentan concentraciones que superan ampliamente el umbral fijado por la legislación con niveles superiores a  $100 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ , que en algunos casos llegan a superar los  $300 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$  (Jiménez-Espinosa *et al.*, 1996, 1997; Pulido-Bosch *et al.*, 1997, 2000; Pulido-Bosch, 2005). Este elevado grado de contaminación de acuíferos subterráneos representa una clara evidencia del importante fenómeno de lixiviado que se produce en los cultivos hortícolas intensivos bajo abrigo de la provincia de Almería (Thompson *et al.*, 2007), que resulta especialmente relevante cuando se aplican grandes volúmenes de agua en la desinfección química del suelo, así como durante el riego pre-trasplante y las tres primeras semanas de cultivo (Granados, 2011).

El desarrollo de prácticas de manejo del cultivo que minimice la contaminación de las aguas subterráneas se ha convertido en un requerimiento muy importante en el desarrollo de sistemas agrícolas intensivos sostenibles (Tilman *et al.*, 2001). En este sentido, el modelo de producción agrícola almeriense presenta la apremiante necesidad de implementar manejos que optimicen, tanto los recursos hídricos empleados como el aporte de elementos nitrogenados, principalmente en las etapas más susceptibles de causar contaminación por lixiviado de compuestos nitrogenados, a la vez que le permitan cumplir con las normativas vigentes. Para ello, es inevitable la evaluación de métodos alternativos de desinfección de suelos, que a su vez permitan mantener niveles óptimos de nitratos en el suelo, reduciendo a su vez la movilidad de los mismos para minimizar sus potenciales impactos sobre los ecosistemas acuáticos. En este sentido, y en base a los argumentos presentados anteriormente, la biodesinfección, mediante la incorporación de enmiendas orgánicas al suelo, se muestra como una alternativa interesante.

# **MATERIALES Y METODOS**

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS.

#### 3.1. Ubicación del ensayo.



**Figura.3:** (A) Ortofotografía de la Fundación Finca Experimental UAL-ANECOOP. Fuente: Google Maps, (B) Plano de la finca experimental con a la localización del ensayo en cuestión. Fuente: (<http://www.anecoop.com/es/fundacion-finca-experimental-ual-anecoop>).

##### 3.1.1. Descripción general de finca.

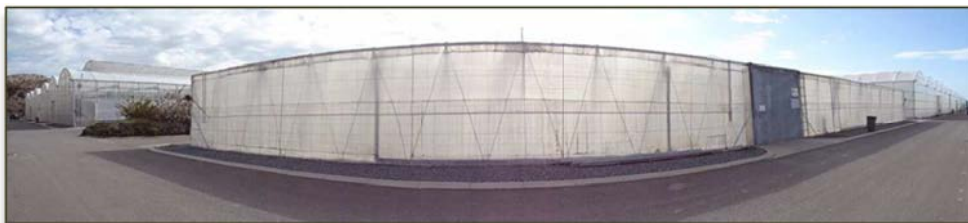
El ensayo se llevó a cabo en la campaña 2012/2013 en las instalaciones de la Finca Experimental de la Fundación UAL-ANECOOP. La finca se encuentra en el paraje “Los Goterones” de la localidad de Retamar en el término municipal de Almería. La identificación catastral es polígono 24, parcela 281 (longitud 2,1708° y latitud 36,5177°).

La superficie de la finca es de aproximadamente 140.000 m<sup>2</sup>, ocupados por diferentes invernaderos (la mayor parte disponen de estructura multitúnel y de tipo “raspa y amagado”) utilizados para la realización y el desarrollo de ensayos de investigación. Además, la finca dispone de oficinas, salas de sistemas de riego, laboratorio, etc.).

##### 3.1.2. Invernadero.

El ensayo se realizó en el invernadero U7 de la finca experimental de la fundación UAL-ANECOOP, con estructura de “raspa y amagado”. Dispone de 1917 m<sup>2</sup> invernada, siendo 1784 m<sup>2</sup> es superficie cultivable. Fue construido en el año 2004, siendo la campaña 2004-2005 la primera campaña agrícola.

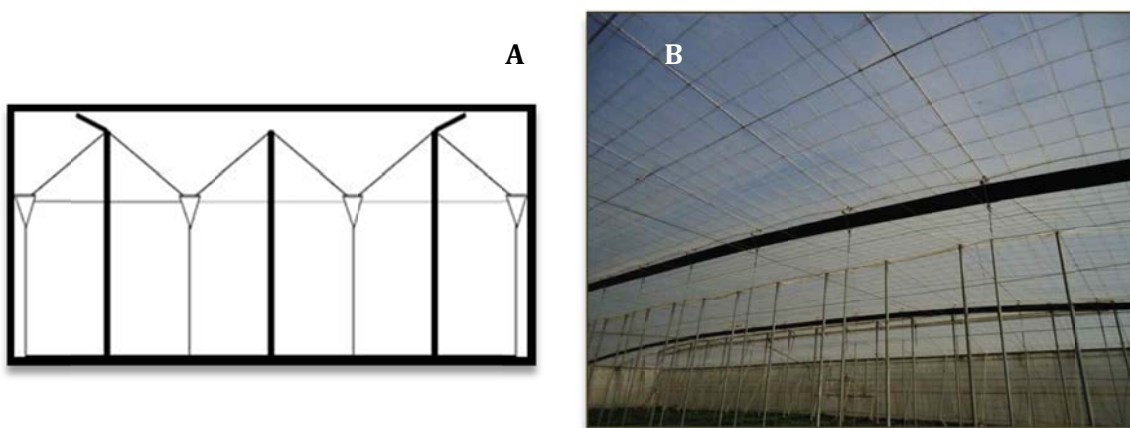
Presenta una distancia entre raspas consecutivas de 8 m., altura en la raspa o cumbre de 4,70 m. (tubo + bloque). La distancia entre tubos de la misma fila es de 2 m., así como la distancia de amagados de la misma fila.



**Figura.4:** Vista del invernadero U7.

La altura de la banda del invernadero es de 3,40 m. La distancia entre pies perimetrales consecutivos de la banda es de 2 m. y están formados por perfiles de acero laminado IPN-120, con una inclinación de 60° aproximadamente respecto al suelo.

Referente a los materiales empleados en la estructura, los postes son tubos de acero galvanizado y la cuadrícula (33 x 33 cm.) de alambre de acero triple galvanizado. El material de la cubierta es de plástico tricapa de 800 galgas, color blanco y 3 campañas de duración. Este plástico tiene efecto térmico para evitar o disminuir posibles riesgos de inversión térmica, favoreciendo en este aspecto el desarrollo del cultivo, así como un efecto de difusión de la luz que penetra en el invernadero que reduce el sombreo o falta de luz en plantas y frutos.



**Figura.5:** (A) Esquema de estructura, (B) Detalle de altura en cumbre.

El invernadero presenta una orientación Noroeste-Sureste, mientras que la orientación de las líneas de cultivo es Noreste-Suroeste.

### **3.2. Datos climáticos de la zona de estudio y del interior del invernadero.**

A continuación, las tabla 1 y 2 muestran los datos climáticos exteriores de la zona de estudio durante los ciclos de cultivo de tomate y sandía, respectivamente. Los datos muestran desde el mes de trasplante del tomate hasta el mes fin del cultivo de sandía.

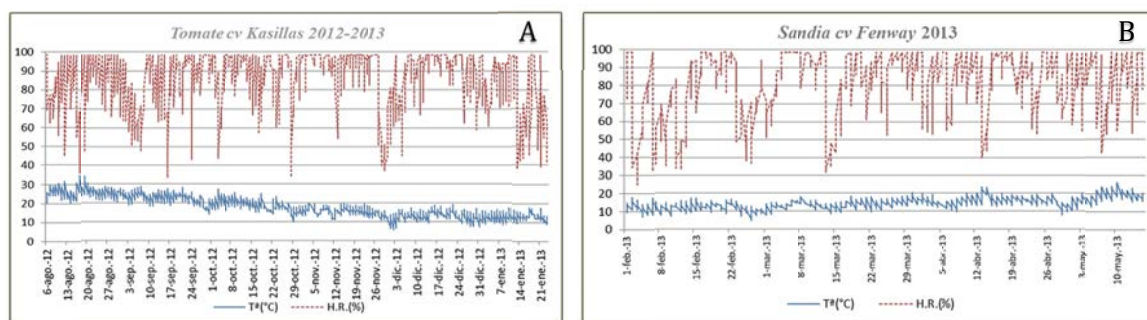
**Tabla.1:** Datos climáticos (Temperatura en °C, humedad relativa en %, radiación en W·m<sup>-2</sup> y precipitaciones en mm) durante el ciclo de cultivo de tomate. Estación meteorológica UAL-ANECOOP.

<b>AÑO 2012-13 CV. KASILLAS</b>						
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
<b>T<sub>max</sub> (°C)</b>	31,0	27,7	23,6	19,4	17,3	17,8
<b>T<sub>min</sub> (°C)</b>	22,6	19,4	15,6	11,5	7,6	7,8
<b>HR<sub>med</sub> (%)</b>	75,4	69,5	76,8	78,4	75,0	62,4
<b>HR<sub>max</sub> (%)</b>	91,3	86,5	93,1	94,7	92,8	85,8
<b>HR<sub>min</sub> (%)</b>	50,8	49,0	54,5	56,3	49,2	36,2
<b>Rad (W·m<sup>-2</sup>)</b>	23,7	18,6	14,3	9,2	9,3	10,6
<b>Precip (mm)</b>	0,0	10,0	23,8	71,6	0,2	2,6

**Tabla.2:** Datos climáticos (Temperatura en °C, humedad relativa en %, radiación en W·m<sup>-2</sup> y precipitaciones en mm) durante el ciclo de cultivo de sandía. Estación meteorológica UAL-ANECOOP.

<b>AÑO 2013 CV. FENWAY</b>				
	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
<b>T<sub>med</sub> (°C)</b>	12,5	14,0	16,2	17,8
<b>T<sub>max</sub> (°C)</b>	16,9	18,2	20,2	21,8
<b>T<sub>min</sub> (°C)</b>	7,6	9,9	12,0	13,8
<b>HR<sub>med</sub> (%)</b>	58,0	75,5	69,4	72,1
<b>HR<sub>max</sub> (%)</b>	80,5	93,1	89,1	89,1
<b>HR<sub>min</sub> (%)</b>	35,4	53,7	47,4	49,7
<b>Rad (W·m<sup>-2</sup>)</b>	14,2	16,6	21,3	25,6
<b>Precip (mm)</b>	22,2	28,8	9,4	16,0

La figura 6 muestra los datos de temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero durante los ciclos de tomate (Figura 6A) y de sandía (figura 6B).



**Figura.6:** Registro de temperatura y humedad en el interior del invernadero durante los ciclos de tomate (A) y sandía (B).



### 3.3. Solución nutritiva

En éste apartado se incluyen los planes de fertirrigación detallados con datos mensuales de cada uno de los ciclos de cultivo desarrollados en el presente estudio. La Tabla 3 muestra los correspondientes al ciclo de tomate, y la Tabla 4 los correspondientes al ciclo de sandía.

**Tabla.3:** Fertirrigación aplicada durante el cultivo de tomate. El inicio de la fertirrigación fue 12 y 9 días después del trasplante (DDT).

<b>AÑO 2012-13 CV. KASILLAS</b>						
<b>Fertilizante (Kg)</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Enero</b>
<b>Nitrato Cálcico</b>	5,13	18,28	25,13	12,43	6,96	-
<b>Nitrato Potásico</b>	10,91	33,67	25,56	12,43	7,87	-
<b>Sulfato Potásico</b>	8,96	34,80	31,02	14,91	18,25	12,07
<b>Sulfato Magnésico</b>	1,49	5,81	5,18	2,49	3,05	2,01
<b>Ácido Fosfórico (72%)</b>	4,67	24,52	15,28	7,46	4,76	1,56
<b>Ácido Nítrico (54%)</b>	33,20	11,20	-	-	-	0,70
<b>Agua (m<sup>3</sup>)</b>	55,5	140,0	107,7	51,8	42,6	17,4

**Tabla.4:** Fertirrigación aplicada en cultivo de sandía. El inicio de la fertirrigación corresponde con el día del trasplante.

<b>AÑO 2013 CV. FEN + CV. CRISBY</b>				
<b>Fertilizante (Kg)</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>
<b>Nitrato Cálcico</b>	1,38	3,27	19,21	6,10
<b>Nitrato Potásico</b>	2,29	10,36	41,01	15,91
<b>Sulfato Potásico</b>	3,15	22,16	41,06	18,97
<b>Sulfato Magnésico</b>	0,52	3,70	6,85	3,16
<b>Ácido Fosfórico (72%)</b>	1,83	10,36	15,86	4,90
<b>Ácido Nítrico (54%)</b>	2,90	3,80	26,00	-
<b>Agua (m<sup>3</sup>)</b>	61,4	94,9	182,0	91,3

### 3.4. Suelo

Presenta un enarenado típico almeriense, donde, sobre el suelo original previamente nivelado y enmendado con gravilla, se aportó una capa de estiércol con un espesor de unos 8 mm y sobre ésta capa, finalizando con arena de granulometría gruesa de unos 10 cm de espesor.

Las propiedades físico-químicas se detallan en la Tabla 5 donde se reflejan los datos del análisis del extracto saturado realizado al suelo de la finca el 19 de septiembre de 2005 en los “Laboratorios EYCOM S.L.” de Almería.

**Tabla.5:** Análisis del extracto saturado.

PARAMETRO	RESULTADOS		
Materia Orgánica (%)	1,91		
Carbono orgánico (C9 (%))	1,11		
Carbonatos totales (CaCO <sub>3</sub> ) (%)	35,8		
Caliza activa (CaCO <sub>3</sub> ) (‰)	6,0		
Potasio asimilable (ppm)	471		
Fósforo asimilable (Olsen) (ppm)	86		
Nitrógeno nítrico (ppm)	97		
<b>ANÁLISIS TEXTURAL</b>	Textura Franco-Arenosa Arena: 60%. Limo: 25%. Arcilla: 15%		
<b>CATIONES DE CAMBIO</b>	<b>ppm</b>	<b>meq 100 g<sup>-1</sup></b>	<b>% meq</b>
Sodio	293	1,27	1,49
Potasio	471	1,20	4,41
Calcio	16159	80,63	94,28
Magnesio	294	2,42	2,83
Cationes totales	17215	85,52	
<b>EXTRACTO SATURADO</b>			
pH		7,7	
CE (μS/cm)		3350	
<b>Relaciones Iónicas</b>			
Ca <sup>++</sup> /Mg <sup>++</sup>		33,35	
Ca <sup>++</sup> /Na <sup>+</sup>		63,33	
K <sup>+</sup> /Mg <sup>++</sup>		0,50	

### 3.5. Material Vegetal

Durante la experimentación que abarcó éste Trabajo Fin de grado, se llevaron a cabo un ciclo de cultivo de tomate y otro de sandía.

- Tomate (*Solanum lycopersicum* L.). La variedad empleada fue “Kasillas” (CapGen seeds) en la campaña 2012-2013. Pasadas 4 semanas desde la germinación, el trasplante de las plántulas se el 6 de Agosto de 2012. El espacio entre filas de cultivo fue de 1,0 m y de 0,5 entre plantas dentro de una misma fila, resultando una densidad de 2 plantas/m<sup>2</sup>. Para una correcta polinización se introdujeron abejorros (*Bombus terrestris*). Las plantas fueron “entutoradas” con hilo de rafia y manejadas de acuerdo a las prácticas locales establecidas (Cadenas et al., 2003).

- Sandía (*Citrullus lanatus*, Thumb.). La variedad comercial (tetraploide) empleada fue “Fenway” (Monsanto Company) y la variedad superpolinizadora (diploide) fue “Crisby” (Nunhems) en una proporción 2:1. Ambas variedades injertadas en el portainjertos “RS841” (*Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata*) (Akira Seeds S.L.). Pasadas 4 semanas desde la germinación, el trasplante de las plántulas se realizó el 5 de Febrero. El espacio entre filas de cultivo fue de 4,0 m y de 1,0 entre plantas dentro de

una misma fila, resultando una densidad de 0,25 plantas/m<sup>2</sup>. Para una correcta polinización se introdujeron abejas (*Apis mellifera*). Las plantas fueron manejadas de acuerdo a las prácticas locales establecidas (Camacho, 2003).

En la tabla 6 se resumen las especies vegetales empleadas en el estudio, los ciclos de cultivo junto con las fechas de inicio y final, y el número de cosechas realizadas.

**Tabla.6:** Especies vegetales empleadas en el estudio, ciclos de cultivo y número de cosechas realizadas.

Cultivo y variedad	Ciclo de cultivo	Fecha cultivo		nº cosechas
		Inicio	Final	
Tomate cv. Kasillas ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.)	Otoño 2012-13	6Ago2012	23Ene2013	15
Sandía cv. Fenway + cv. Crisby ( <i>Citrullus lanatus</i> , Thumb.)	Primavera 2013	5Feb2013	15May2013	2

### 3.6. Diseño experimental, enmiendas orgánicas y tratamientos de biodesinfección.

El diseño experimental corresponde a un diseño factorial por bloques con cuatro repeticiones (n=4). Los factores fueron: 1) técnica de biodesinfección (2 niveles: “biofumigación” y “biosolarización”) y 2). enmienda orgánica (5 niveles: “Testigo” (T0): Tratamiento control, sin aportar materia orgánica al suelo; “Biofence” (T1): 0,3 kg·m<sup>-2</sup> Biofence®; “Biofence+” (T4): 0,3 kg·m<sup>-2</sup> Biofence® + 0,16 l·m<sup>-2</sup> de Biolimp®; “Brassicas” (T2): 0,8 kg·m<sup>-2</sup> *Brassica oleracea* var. italiana deshidratadas y empacadas; “Brassicas+” (T3): 0,8 kg·m<sup>-2</sup> *Brassica oleracea* var. italiana deshidratadas y empacadas + 0,15 kg·m<sup>-2</sup> Orgevit®). De ésta manera, el invernadero fue dividido en 40 parcelas experimentales de 40 m<sup>2</sup>.

#### 3.6.1. Enmiendas orgánicas empleadas en los tratamientos de biodesinfección.

Biofence® (Triumph Italia of Cerealtoscana Group, Livorno, Italia): pellets deshidratados de harina de semilla de *Brassica carinata*. La información del envase comercial refleja un contenido del 84.2% de materia orgánica con 6% N, 7% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 2,6% K<sub>2</sub>O, 4,4% SO<sub>3</sub>, 0,9% MgO, más elementos traza. La tabla 7 muestra el contenido en C y N del material empleado en el estudio (análisis realizado por el laboratorio de Edafología de la Universidad de Almería).

Brassicas deshidratadas y empacadas: restos vegetales del cultivo de *Brassica oleracea* o brócoli, con origen en el Campo de Cartagena (Murcia). La tabla 7 muestra el

contenido en C y N del material empleado en el estudio (análisis realizado por el laboratorio de Edafología de la Universidad de Almería).

Orgevit® (MeMon BV, Arnhem, Países Bajos): pellets de gallinaza deshidratada. La información del envase comercial refleja un contenido del 65,0% de materia orgánica con 4,0% N, 3,0% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 2,5% K<sub>2</sub>O, 1,0% S, 1,0% MgO, 9,0% CaO, pH y 9 C/N.

Biolimp®: Activador microbiológico del suelo (también denominado en el texto “Cóctel microbiológico”) con un mínimo de 105 Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por ml de *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum* y *Bacillus megaterium*.

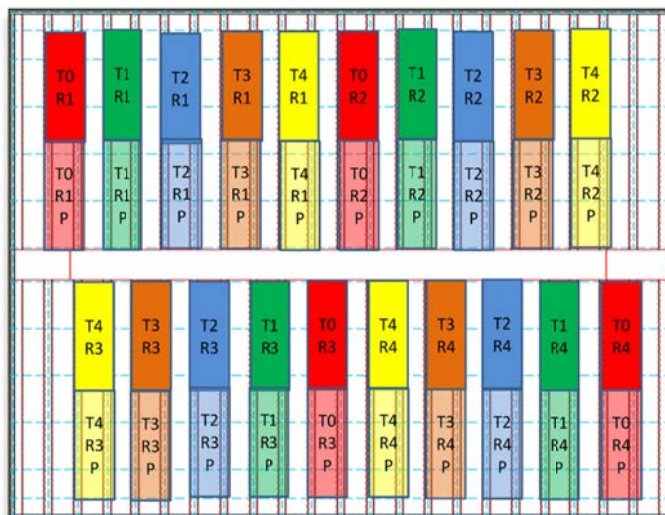
**Tabla.7:** Contenido en carbono y nitrógeno de las enmiendas empleadas.

MUESTRA	% C	% N	C/N
Biofence® <sup>†</sup>	65,5	4,2	15,6
Brassicas <sup>†</sup>	39,7	2,1	18,6
Orgevit® <sup>‡</sup>	32,0	4,0	9,0

<sup>†</sup>Resultados de los análisis realizados por el laboratorio de edafología de la Universidad de Almería. <sup>‡</sup>Información incluida en el envase

### **3.6.2. Realización de los tratamientos de biodesinfección.**

Los tratamientos de biodesinfección (biofumigación y biosolarización) se realizaron en el mes de Julio de 2011. Las enmiendas orgánicas se aplicaron en “carillas” (i.e. en las líneas de cultivo). Para ello, tras apartar la capa de arena se realizó la apertura de los surcos en las que se introducían las enmiendas del tratamiento. A continuación, un tractor apisonó el material y cubrió con la arena apartada las materias incorporadas. Puesto que los restos de brasicas deshidratadas no quedaron cubiertos en su totalidad por la arena, éstos fueron apisonados y cubiertos en su totalidad con la arena mediante trabajo manual con la ayuda de azadas. Seguidamente, se realizó la distribución de las líneas portagotos con el fin de aplicar riego para facilitar la descomposición de las enmiendas incorporadas. En los tratamientos de biofumigación, para mantener el sellado y evitar la pérdida de compuestos volátiles, después de enterrar las enmiendas orgánicas bajo la arena y tras un primer.



**Figura.7:** Diseño experimental del ensayo.

### 3.7. Toma de datos.

En la campaña 2012-2013, se determinó el contenido de nitratos en la solución del suelo mediante test rápido, empleando un cardímetro con un electrodo específico de nitratos. Para obtener la solución del suelo, se utilizó un muestreador tipo Rhizon SMS Rhizosphere, y para la medida del contenido de nitratos el medidor Cardy Twin Horiba, debido a su fiabilidad, coste, rapidez y robustez para ser utilizados a escala de finca (Cánovas et al., 2013; Fernández et al., 2012; 2013). A continuación, se detalla el procedimiento y los parámetros evaluados.

### 3.8. Diseño de muestreo

Se realizaron muestreos (M) de solución del suelo en distintos momentos del ensayo:

- M1-M14: Durante el ciclo de cultivo de tomate:  
(70, 77, 84, 91, 98, 105, 112, 119, 126, 133, 140, 149, 155, 161 DDT)
- M15: Tras finalizar el ciclo de cultivo de tomate (179 DDT)
- M16-M24: Durante el ciclo de cultivo de sandía:  
(25, 32, 39, 46, 53, 67, 81, 88, 95 DDT)
- M25: Tras finalizar el ciclo de cultivo de sandía (152 DDT)

### **3.9. Extracción de solución del suelo.**

La solución del suelo era obtenida mediante sondas de extracción de humedad de suelo tipo Rhizon SMS (Rizosphere research products) (Figura 8). Estas sondas son de pequeño tamaño y recogen la muestra a través de un polímero hidrófilo poroso por lo que apenas alteran el perfil del suelo. Presentan en su interior una guía de acero, para mantener la rigidez y facilitar su instalación. Estos “pelos radicales” constan de un tubo de polímero poroso de 10 cm de longitud y 2,5 mm de diámetro conectado a un tubo de PVC flexible del mismo diámetro y con una longitud de 20 cm. En el extremo tiene un conector macho con un tapón protector, donde se conecta una aguja de 40 mm y 0,8 mm de diámetro. Las sondas fueron colocadas entre la planta y el gotero, a una distancia de 15 cm de cada uno (Figura 9), y a una profundidad de 20-30 cm (polímero poroso de 10 cm de longitud). Las sondas se situaron en el centro de la unidad experimental para evitar el “efecto borde”.



**Figura.8:** Sonda tipo Rhizon SMS (Rizosphere research products).

Para extraer la solución del suelo se emplearon tubos provistos de vacío de plástico PET de 9 ml sin aditivos (Figura 10), que eran conectados a la aguja en cada muestreo. Los tubos eran de un solo uso dado que perdían el vacío una vez conectados. Las muestras se tomaron siempre 5 horas después de finalizar el riego. En los muestreos realizados se cogía una muestra de cada parcela elemental.



**Figura.9:** Instalación de sondas: Perforación con alambre con  $\emptyset$  de sonda (A), inserción de la sonda (B), nivelado de capa de arena (C) y Resultado final (D).



**Figura.10:** Tubo de vacío en succión con la sonda Rhizon SMS.

### 3.10. Determinación de nitratos en la solución de suelo.

Los nitratos en la solución del suelo se determinó mediante cardímetro Cardy Twin Nitrate Meter B-343 (Horiba, Kyoto, Japón) (Figura 11). Este medidor se basa en la determinación de nitratos mediante electrodo ión selectivo, realizando medición el contenido de nitrato mediante la actividad de los iones de la solución de suelo obtenida a través de las sondas. Su rango de medida es de 1-100 mmol  $\text{NO}_3^- \text{ l}^{-1}$  y presenta una reproducibilidad de  $\pm 10\%$ . Previamente, se realizó un estudio de precisión del medidor de nitratos Cardy Twin Nitrate Meter B-343 para un rango determinado de valores representativos de solución de suelo, correlacionándolos con la medida obtenida a través del método por ultravioleta (empleado en la campaña 2011-2012), basado en la absorción de la radiación ultravioleta por el ión nitrato (MAPA, 1994), obteniendo resultados altamente satisfactorios ( $R^2=0,90$ ).



**Figura.11:** Medidor de nitratos cardímetro Cardy Twin Nitrate Meter B-343 (Horiba, Kyoto, Japón).

### 3.11. Análisis estadístico

Para determinar la significancia de los tratamientos en el parámetro de suelo analizado, se realizó un análisis global mediante un análisis de la varianza de medidas repetidas en el tiempo (RM ANOVA). Para la evaluación de las distintas técnicas y de las distintas enmiendas orgánicas en cada uno de los muestreos se aplicó ANOVA factorial (two-way ANOVA) con la técnica de biodesinfección (dos niveles: biofumigación y biosolarización) y las enmiendas orgánicas (5 niveles: Testigo (T0), Biofence (T1), Biofence+ (T4), Brassicas (T2) y Brassicas+ (T3)) como factores. Previamente, al tratarse de ANOVA paramétrico se comprobaron las asunciones de Normalidad, Homocedasticidad y Esfericidad. En los casos en los que se identificaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) el método empleado para la comparación de las medias fue el procedimiento de las diferencias honestamente significativas de Tukey (HSD). Se usó el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI para Windows (Manugistic, Rockville, MD).



# **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

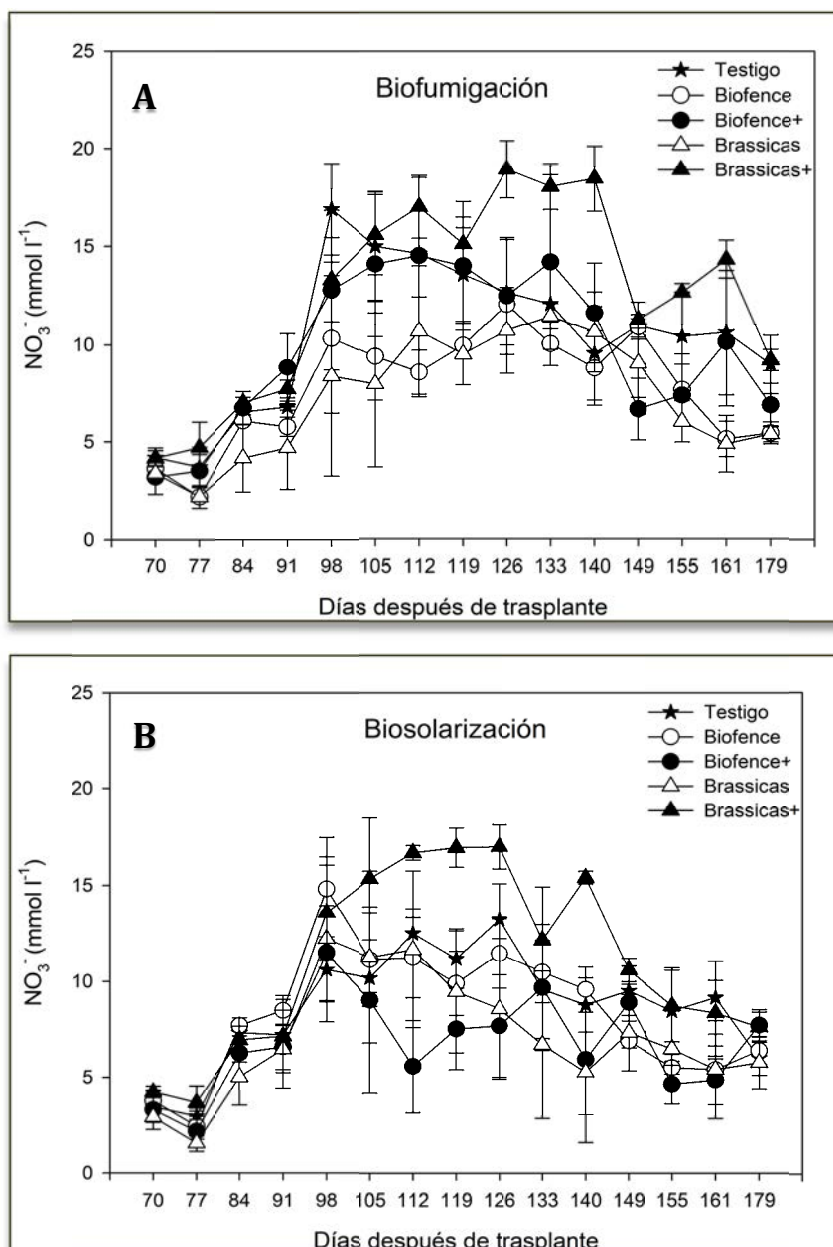
## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Concentración de nitratos en el suelo durante los ciclos de cultivo de tomate y sandía. Evaluación del efecto residual de los tratamientos de biodesinfección.

Considerando el ciclo de cultivo de tomate, el análisis global de los resultados muestra que el factor tratamiento (*i.e.* tipo de enmienda orgánica) tuvo un efecto significativo en el contenido de nitratos del suelo (Tabla 8). Sin embargo, esta significancia es baja y en ninguno de los muestreos realizados a lo largo del cultivo de tomate el contenido de nitratos de las parcelas testigo mostró diferencias significativas con el resto de parcelas, solarizadas o no. Por lo tanto, este efecto del factor tratamiento se debe a las diferencias que se encuentran en ciertos muestreos entre distintas materias orgánicas pero en ningún caso con el testigo. En concreto, en el muestreo correspondiente a 140 DDT el tratamiento Brassicas+ (T4) presentó valores significativamente superiores en comparación con el tratamiento Brassicas (ANOVA factorial,  $p \leq 0,05$ ), sin embargo éstas diferencias no resultaron significativas con el tratamiento Testigo. Los efectos del tiempo de cultivo en el contenido de nitratos es altamente significativo ( $p \leq 0,001$ ; Tabla 9). Estas variaciones observadas en el tiempo, responden principalmente al plan de fertirrigación aplicado durante el cultivo, de manera que, durante los periodos de mayor aporte de fertilizantes se obtuvieron las mayores concentraciones en todos los tratamientos. Así, se observó un incremento generalizado en las parcelas de todos los tratamientos (Figura 12) coincidente en el tiempo con el incremento en la cantidad de abono aportada.

**Tabla.8:** Resumen del ANOVA de dos vías de medidas repetidas en el tiempo (2-way RM ANOVA) realizado para evaluar la significancia del efecto residual de la aplicación de distintas técnicas de biodesinfección (biofumigación y biosolarización) y tratamientos (testigo=T0, biofence=T1, biofence+=T4, brassicas=T2 y brassicas+=T3) en el contenido de nitratos del suelo a lo largo del ciclo de tomate (Campaña 2012-2013). g.l.: grados de libertad. % var: porcentaje de la varianza. \* =  $p \leq 0,05$ ; \*\*\* =  $p \leq 0,001$ .

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> de tomate 2012-2013					
Efecto	g.l.	MS	% var	F	p-valor
Técnica (Tc)	1	210,17	27,8	1,9795	n.s.
Tratamiento (Tr)	4	377,56	50,0	3,5562	*
Tc * Tr	4	61,28	8,1	0,5772	n.s.
Error 1	30	106,17	14,1		
Tiempo (T)	14	406,55	89,3	40,043	***
T * Tc	14	14,15	3,1	1,3939	n.s.
T * Tr	56	13,66	3,0	1,3452	n.s.
T * Tc * Tr	56	10,95	2,4	1,0783	n.s.
Error 2	420	10,15	2,2		



**Figura.12:** Concentración de nitratos en las parcelas experimentales biofumigadas (A) y biosolarizadas (B), a lo largo del ciclo de tomate (Campaña 2012-2013), un año después de los tratamientos. (Testigo=T0=--; Biofence=T1=0,3 kg m-2 Biofence®; Biofence+=T4=Biofence + 0,16 l Biolimp®; Brassicas=T2=0,8 kg m-2 Brassica oleracea; Brassicas+=T3=Brassicas + 0,15kg m-2 Orgevit®).

**Tabla.9:** Efecto de diferentes enmiendas orgánicas adicionadas mediante biofumigación y biosolarización en la concentración de nitratos del suelo ( $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Valores (media $\pm$ desviación típica) expresados durante el ciclo de tomate cv. Kasillas en 2012-2013 (70, 77, 84, 91, 98, 105, 112, 119, 126, 133, 140, 149, 155, 161 DDT) y al finalizar el cultivo (179 DDT).  $T_0$ ---;  $T_1$ =0,3 kg Biofence®;  $T_2$ =0,8 kg Brassicas deshidratada;  $T_3$ = $T_2$  + 0,15kg Gallinaza deshidratada;  $T_4$ = $T_1$  + 0,16 l Activador microbiológico. Diferentes letras en el mismo muestreo, muestran diferencias significativas ( $P\leq 0.05$ ) mediante el test de Tukey (HSD):.

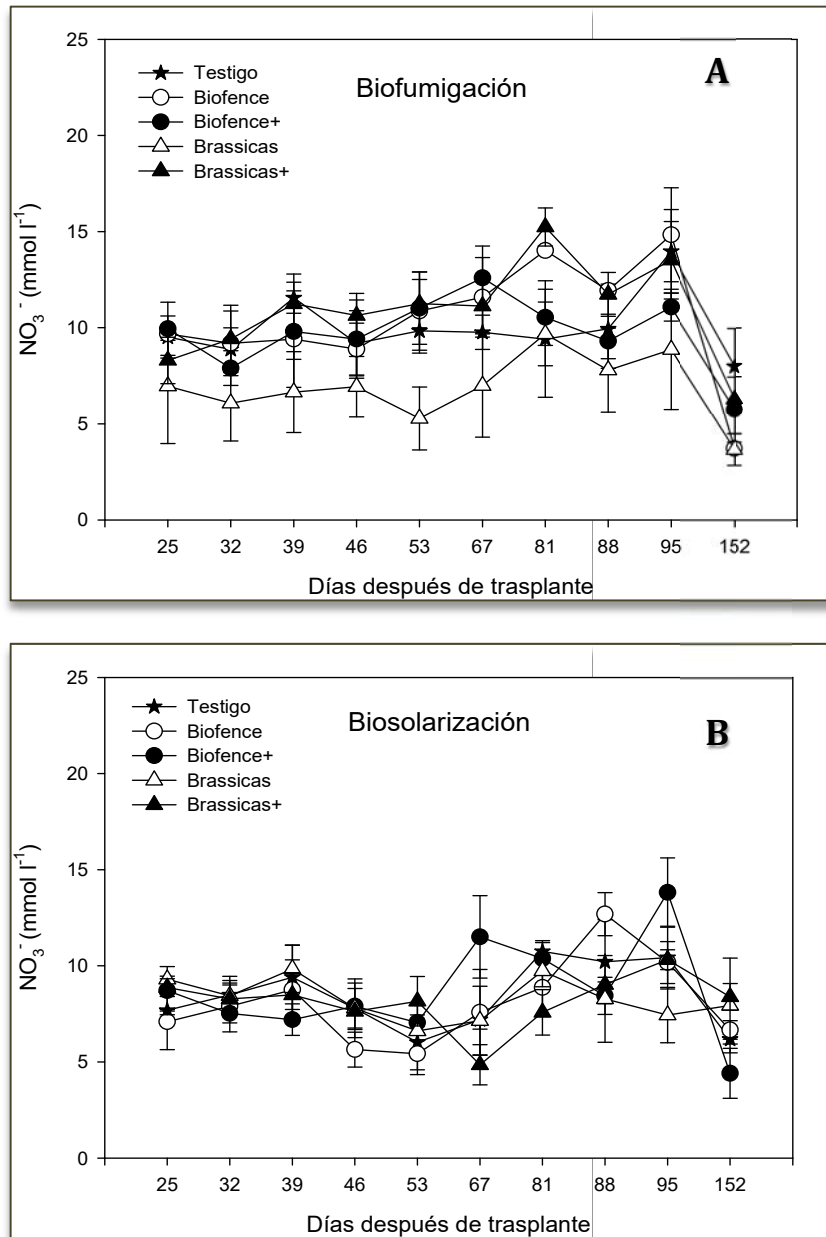
	$\text{NO}_3^-$ ( $\text{mmol l}^{-1}$ )														
	70DDT	77DDT	84DDT	91DDT	98DDT	105DDT	112DDT	119DDT	126DDT	133DDT	140DDT	149DDT	155DDT	161DDT	179DDT
<b>Biodesinfección</b>															
Biofumigación	3,71 $\pm$ 1,00	3,26 $\pm$ 1,84	6,08 $\pm$ 1,87	6,74 $\pm$ 2,69	12,32 $\pm$ 7,19	12,39 $\pm$ 6,41	13,07 $\pm$ 5,70	12,41 $\pm$ 4,33	13,35 $\pm$ 4,84	13,14 $\pm$ 5,05	11,79 $\pm$ 5,22	9,74 $\pm$ 2,74	8,82 $\pm$ 3,88	9,02 $\pm$ 5,41	7,16 $\pm$ 2,35
Biosolarización	3,54 $\pm$ 1,19	2,56 $\pm$ 1,43	6,64 $\pm$ 2,09	7,17 $\pm$ 2,62	12,52 $\pm$ 5,30	11,37 $\pm$ 6,53	11,52 $\pm$ 5,59	10,99 $\pm$ 4,90	11,58 $\pm$ 5,48	9,71 $\pm$ 5,48	8,97 $\pm$ 5,43	8,63 $\pm$ 2,55	6,74 $\pm$ 3,36	6,61 $\pm$ 3,57	6,68 $\pm$ 1,88
<i>p</i> -valor	0,5033	0,1446	0,4291	0,6654	0,9432	0,7392	0,4883	0,3340	0,3323	0,1131	0,1340	0,1470	0,0787	0,1466	0,4352
<b>Material</b>															
$T_0$	3,82 $\pm$ 1,31	3,33 $\pm$ 1,49	6,91 $\pm$ 0,51	6,99 $\pm$ 0,77	13,74 $\pm$ 5,05	12,58 $\pm$ 4,56	13,56 $\pm$ 3,53	12,37 $\pm$ 3,95	12,93 $\pm$ 4,29	10,81 $\pm$ 4,48	9,14 $\pm$ 3,68ba	10,22 $\pm$ 1,92	9,41 $\pm$ 4,76	9,86 $\pm$ 4,94	7,47 $\pm$ 2,79
$T_1$	3,70 $\pm$ 0,28	2,31 $\pm$ 0,69	6,87 $\pm$ 0,89	7,11 $\pm$ 1,89	12,56 $\pm$ 6,60	10,24 $\pm$ 4,44	9,90 $\pm$ 3,44	9,91 $\pm$ 2,20	11,73 $\pm$ 2,39	10,24 $\pm$ 2,57	9,17 $\pm$ 2,97ba	8,87 $\pm$ 2,33	6,57 $\pm$ 2,68	5,26 $\pm$ 1,40	5,91 $\pm$ 1,29
$T_2$	3,15 $\pm$ 0,63	1,87 $\pm$ 0,88	4,58 $\pm$ 2,01	5,56 $\pm$ 3,95	10,27 $\pm$ 9,00	9,59 $\pm$ 8,25	11,15 $\pm$ 6,92	9,46 $\pm$ 4,66	9,62 $\pm$ 5,71	9,05 $\pm$ 5,70	7,92 $\pm$ 6,18b	8,17 $\pm$ 3,61	6,25 $\pm$ 2,94	5,14 $\pm$ 3,85	5,57 $\pm$ 1,88
$T_3$	4,20 $\pm$ 0,64	4,19 $\pm$ 1,14	6,96 $\pm$ 1,55	7,41 $\pm$ 2,58	13,41 $\pm$ 4,30	15,46 $\pm$ 4,94	16,84 $\pm$ 2,18	16,03 $\pm$ 2,44	17,97 $\pm$ 2,67	15,11 $\pm$ 5,03	16,92 $\pm$ 2,78a	10,92 $\pm$ 1,46	10,69 $\pm$ 3,24	11,35 $\pm$ 4,12	8,39 $\pm$ 1,51
$T_4$	3,25 $\pm$ 1,77	2,84 $\pm$ 1,90	6,49 $\pm$ 2,15	7,69 $\pm$ 3,01	12,10 $\pm$ 6,28	11,55 $\pm$ 8,44	10,04 $\pm$ 7,76	10,75 $\pm$ 6,21	10,06 $\pm$ 5,84	11,94 $\pm$ 7,66	9,75 $\pm$ 5,88ba	7,77 $\pm$ 2,69	6,00 $\pm$ 2,85	7,47 $\pm$ 5,40	7,29 $\pm$ 1,87
<i>p</i> -valor	0,1271	0,0492	0,1986	0,6737	0,9330	0,7532	0,2716	0,0711	0,0666	0,4194	0,0389	0,0739	0,0571	0,0936	0,0567
Interacción	0,7500	0,8316	0,8742	0,5324	0,7319	0,8565	0,5114	0,4297	0,8946	0,8632	0,7208	0,1665	0,7776	0,5569	0,2192

DDT= Días después de trasplante.

En el caso del ciclo de cultivo de sandía que siguió al ciclo de tomate, el análisis global de los resultados muestra que el factor técnica (*i.e.* tipo de biodesinfección) tuvo un efecto significativo en el contenido de nitratos del suelo. Sin embargo, esta significancia es baja y se debe a diferencias en los muestreos correspondientes a 53 y 67 DDT en los que las parcelas biofumigadas presentaron concentraciones de nitratos significativamente mayores en comparación con las parcelas biosolarizadas (ANOVA factorial,  $p \leq 0,05$  Tabla 11). En el resto de muestreos, en los que se incluyen muestreos anteriores y posteriores a dichas fechas, los niveles de nitratos no presentaron diferencias en función de la técnica de biodesinfección. Los efectos del tiempo de cultivo en el contenido de nitratos fue altamente significativo ( $p \leq 0,001$ ; Tabla 10) al igual que su interacción con la técnica de biodesinfección ( $p \leq 0,01$ ; Tabla 10). Estas variaciones observadas en el tiempo, responden principalmente al plan de fertirrigación aplicado durante el cultivo, de manera que, durante los periodos de mayor aporte de fertilizantes se obtuvieron los mayores niveles de nitratos en todos los tratamientos, que a su vez presentaron las menores concentraciones al finalizar el cultivo (Figura 13).

**Tabla.10:** Resumen del ANOVA de dos vías de medidas repetidas en el tiempo (2-way RM ANOVA) realizado para evaluar la significancia del efecto residual de la aplicación de distintas técnicas de biodesinfección (biofumigación y biosolarización) y tratamientos (testigo=T0, biofence=T1, biofence+=T4, brassicas=T2 y brassicas+=T3) en el contenido de nitratos del suelo a lo largo del ciclo de sandía. g.l.: grados de libertad. % var: porcentaje de la varianza \* =  $p \leq 0,05$ ; \*\* =  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* =  $p \leq 0,001$ .

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - 2ª campaña de sandía					
Efecto	g.l.	MS	% var	F	p-valor
Técnica (Tc)	1	164,43	54,7	4,8567	*
Tratamiento (Tr)	4	49,69	16,5	1,4678	n.s.
Tc * Tr	4	52,67	17,5	1,5558	n.s.
Error 1	30	33,86	11,3		
Tiempo (T)	9	86,74	69,3	14,0413	***
T * Tc	9	16,49	13,2	2,6690	**
T * Tr	36	8,33	6,6	1,3478	n.s.
T * Tc * Tr	36	7,48	6,0	1,2102	n.s.
Error 2	270	6,18	4,9		



**Figura.13:** Concentración de nitratos en las parcelas experimentales biofumigadas (A) y biosolarizadas (B), a lo largo del ciclo de sandía, un año y medio después de los tratamientos. (Testigo=T0=--; Biofence=T1=0,3 kg m<sup>-2</sup> Biofence®; Biofence+=T4=Biofence + 0,16 l Biolimp®; Brassicas=T2=0,8 kg m<sup>-2</sup> Brassica oleracea; Brassicas+=T3=Brassicas + 0,15kg m<sup>-2</sup> Orgevit®).

**Tabla.11:** Efecto de diferentes enmiendas orgánicas adicionadas mediante biofumigación y biosolarización en la concentración de nitratos del suelo ( $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Valores (media $\pm$ desviación típica) expresados durante el ciclo de cultivo de sandía en 2013 (25, 32, 39, 46, 53, 67, 81, 88, 95 DDT) y al finalizar el cultivo (152 DDT).  $T_0$ =--;  $T_1$ =0,3 kg Biofence®;  $T_2$ =0,8 kg Brassicas deshidratada;  $T_3$ = $T_2$  + 0,15kg Gallinaza deshidratada;  $T_4$ = $T_1$  + 0,16 l Activador microbiológico. Diferentes letras en el mismo muestreo, muestran diferencias significativas ( $P\leq 0.05$ ) mediante el test de Tukey (HSD):

	$\text{NO}_3^-$ ( $\text{mmol l}^{-1}$ )									
	25DDT	32DDT	39DDT	46DDT	53DDT	67DDT	81DDT	88DDT	95DDT	152DDT
<b>Biodesinfección</b>										
Biofumigación	8,88 $\pm$ 3,14	8,29 $\pm$ 3,00	9,73 $\pm$ 3,64	9,01 $\pm$ 3,08	9,65 $\pm$ 3,70	10,41 $\pm$ 3,83	11,78 $\pm$ 3,94	10,14 $\pm$ 3,03	12,46 $\pm$ 4,57	5,80 $\pm$ 3,30
Biosolarización	8,33 $\pm$ 1,78	8,13 $\pm$ 1,62	8,74 $\pm$ 2,53	7,36 $\pm$ 2,09	6,65 $\pm$ 2,16	7,66 $\pm$ 3,71	9,46 $\pm$ 2,18	9,73 $\pm$ 3,23	10,44 $\pm$ 3,21	6,72 $\pm$ 2,74
<i>p</i> -valor	0,5543	0,8453	0,4369	0,1419	0,0057	0,0171	0,0518	0,6210	0,0534	0,1938
<b>Material</b>										
$T_0$	8,60 $\pm$ 1,74	8,68 $\pm$ 1,95	10,48 $\pm$ 2,70	8,49 $\pm$ 3,08	7,93 $\pm$ 3,16	8,48 $\pm$ 1,91	10,08 $\pm$ 4,10	10,08 $\pm$ 3,52	12,20 $\pm$ 4,03	7,10 $\pm$ 2,79
$T_1$	8,39 $\pm$ 2,39	8,55 $\pm$ 2,89	9,09 $\pm$ 3,88	7,27 $\pm$ 2,75	8,15 $\pm$ 4,19	9,58 $\pm$ 4,52	11,44 $\pm$ 3,40	12,31 $\pm$ 1,58	12,51 $\pm$ 4,30	6,08 $\pm$ 1,57
$T_2$	8,13 $\pm$ 4,11	7,25 $\pm$ 2,99	8,25 $\pm$ 3,62	7,37 $\pm$ 2,50	5,95 $\pm$ 2,35	7,07 $\pm$ 4,22	9,71 $\pm$ 2,42	8,04 $\pm$ 4,12	8,15 $\pm$ 4,58	5,80 $\pm$ 4,10
$T_3$	8,58 $\pm$ 1,72	8,85 $\pm$ 2,55	9,87 $\pm$ 2,93	9,14 $\pm$ 2,21	9,71 $\pm$ 2,87	7,99 $\pm$ 4,06	11,41 $\pm$ 4,57	10,38 $\pm$ 2,08	11,92 $\pm$ 3,21	7,35 $\pm$ 2,79
$T_4$	9,33 $\pm$ 2,54	7,72 $\pm$ 1,37	8,50 $\pm$ 2,59	8,66 $\pm$ 3,20	9,03 $\pm$ 3,46	12,05 $\pm$ 3,59	10,46 $\pm$ 2,20	8,87 $\pm$ 2,28	12,45 $\pm$ 2,94	5,08 $\pm$ 2,90
<i>p</i> -valor	0,9350	0,6848	0,7639	0,7425	0,1532	0,0649	0,7864	0,0518	0,0572	0,4446
Interacción	0,4537	0,6298	0,5433	0,7474	0,2247	0,3333	0,0877	0,6621	0,1755	0,2511

DDT= Días después de trasplante.

La legislación vigente, Directiva 91/676/CEE y su transposición al ordenamiento jurídico español efectuada por el Real Decreto 261/1996, y en consecuencia, el actual Programa de Actuación andaluz aprobado en la Orden de 18 de Noviembre de 2008, únicamente limita la cantidad máxima de 170 kg de nitrógeno por hectárea y año para la aplicación de abonos orgánicos, a la vez que considera el umbral de calidad de las aguas subterráneas en concentraciones de nitratos de 50 mg por litro. En consecuencia, y relativo a las enmiendas orgánicas aplicadas en el estudio, debe considerarse que en el caso de los tratamientos realizados con pellets de Brassica carinata Biofence® a la dosis recomendada por el fabricante (3000 Kg/ha), y considerando que el envase comercial indica un contenido del 6,0%, estaríamos aportando una cantidad superior al límite permitido (180 Kg N/ ha). Sin embargo, los análisis realizados por el laboratorio de Edafología de la Universidad de Almería concluyeron un contenido en nitrógeno de 4,2% de N, lo que supone que con este tratamiento aportamos al suelo la cantidad de 126 Kg N/ ha. Se deduce, por tanto, que la cantidad real aplicada al suelo no rebasó la normativa actual. En el caso de los tratamientos con restos vegetales de Brassica oleracea (8000 Kg/ha), los análisis previos en laboratorio indicaron un contenido en nitrógeno de este producto de 2,1% de N, lo que supone que aportamos al suelo la cantidad de 168 Kg N/ha, por lo que tampoco rebasó la normativa actual. Al respecto, debe considerarse que en el tratamiento Brassicas+, junto con los restos vegetales de Brassica oleracea (8000 Kg/ha) se incorporó pellets de gallinaza deshidratada Orgevit® (1500 Kg/ha) con un contenido del 4,0% de este elemento, de acuerdo con las indicaciones del fabricante. En éste caso, el aporte de gallinaza deshidratada supuso un aporte adicional de 60 Kg N/ha, por lo que en total aportamos 228 Kg N/ha, rebasando así los límites establecidos en la normativa.

La cuestión a resaltar es la siguiente: ¿está realmente justificada la restricción en el aporte de abonos orgánicos por su contenido en N, a valores de 170 kg de nitrógeno por hectárea? ¿Se supone con ello que, aplicaciones superiores provocarán lixiviado de nitratos? En base a nuestra experiencia, podemos afirmar que la adición de las cantidades de N arriba indicadas en función del tratamiento o enmienda orgánica empleada (en algunos casos superior a 170 kg de nitrógeno por hectárea) mediante biodesinfección, no produjeron lixiviado de nitratos. Además, debe considerarse que el Programa de actuación aplicable en las zonas vulnerables (Orden de 1 de junio de 2015) limita los aportes de nitrógeno, para el caso de fertilizantes inorgánicos, en función de las toneladas de producción “esperadas”. Así,



para el caso del cultivo de tomate, se permite la adición de 6 kg de nitrógeno por hectárea, por cada tonelada de tomate. Como ejemplo, si consideramos un ciclo largo con una producción de 150 Tn/ha, los aportes de N no deberán superar en ningún caso los 900 kg N/ha cuando la producción se lleve a cabo en una zona vulnerable por contaminación de nitratos de origen agrícola. Sin embargo, la normativa no pone límite a los aportes nitrogenados aplicados mediante fertilizantes inorgánicos en áreas agrícolas no declaradas vulnerables por contaminación de nitratos de origen agrícola. Esto nos induce a plantearnos, aún más, las justificaciones de dichas limitaciones, principalmente para el caso de los abonados orgánicos, y por ello, sugerimos la revisión de las normativas.

Así mismo, en base a los resultados obtenidos, se plantea la posibilidad de que un año después de los tratamientos no continúe la descomposición de las enmiendas orgánicas adicionadas, y por ello, no se aprecian diferencias en los contenidos de nitratos de las parcelas experimentales. Otra hipótesis planteada consistiría en que los aportes derivados del fertirriego enmascaran los posibles efectos de los tratamientos en el contenido de nitratos del suelo durante los cultivos, puesto que su concentración se ha mantenido sin diferencias desde el segundo mes del primer cultivo de tomate consecutivo a los tratamientos. Esta sería, sin duda, una muestra evidente de un exceso en la fertirrigación, que produjo el lavado de los nitratos derivados de la descomposición de las enmiendas adicionadas, diluyendo así las posibles diferencias existentes entre los tratamientos. En éste sentido, diversos autores (Vázquez et al., 2006; Thompson et al., 2007) concluyen que es durante los riegos pretrasplante y las tres primeras semanas de cultivo, cuando se producen también elevadas pérdidas de nitratos por lixiviado. Es por ello que, un manejo adecuado del riego y de la fertilización nitrogenada ayudaría a reducir el posible lixiviado de nitratos durante el cultivo. En consecuencia, para evitar posibles pérdidas por lixiviación y aprovechar los elevados niveles de nitratos en el suelo tras los tratamientos, es importante que los riegos se ajusten a los requerimientos del cultivo, principalmente después de realizar tratamientos de biosolarización. Esto ayudaría a reducir las cantidades de agua y de fertilizantes nitrogenados aportadas, minimizando así la contaminación de las aguas subterráneas. Para tal fin, investigaciones recientes se han enfocado en el desarrollo de un manejo mejorado del nitrógeno y del agua de riego durante los ciclos de cultivo (Granados et al., 2013; Soto et al., 2014).

# **CONCLUSIONES**

## **5. CONCLUSIÓN.**

La adición de enmiendas orgánicas mediante biodesinfección no tuvo efectos en el contenido de nitratos del suelo un año después de su aplicación. Los resultados muestran ausencia de lixiviado de nitratos a lo largo de la secuencia de cultivos tomate-sandía, un año después de realizar los tratamientos de biodesinfección con las distintas materias orgánicas.

# **BIBLIOGRAFÍA**

## **6. BIBLIOGRAFÍA.**

Alabouvette, C., Olivian, C.H., & Steinberg, C.H. (2005). Maîtrise des Communautés Microbiennes pour Lutter Contre les Maladies D'origine Tellurique. En: *Enjeux Phytosanitaires pour L'agriculture et L'environnement*, TEC&DEC, New York, 571-588.

Babiker, I. S., Mohamed, M. A., Terao, H., Kato, K., & Ohta, K. (2004). Assessment of groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system. *Environment International*, 29(8), 1009-1017.

Bakker, C. J., Swanton, C. J., & McKeown, A. W. (2009). Broccoli growth in response to increasing rates of pre-plant nitrogen. II. Dry matter and nitrogen accumulation. *Canadian Journal of Plant Science* 89, 539-548.

Barrés, M.T., Bello, A., Jordá, C., & Tello, J.C. (2006). La eliminación del bromuro de metilo en protección de cultivos como modelo mundial para la conservación del medio ambiente. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). Madrid, Spain, 515 pp.

BOE, (1996). Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre medidas para la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias. Boletín Oficial del Estado nº61 de 11/03/1996, 9734-9737.

Boletín BOJA, (1999). Decreto 261/1998, de 15 de diciembre, por el que se designan las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias en la Comunidad Autónoma de Andalucía. Boletín Oficial de la Comunidad Autónoma de Andalucía nº5 de 12/01/1999, 405-407.

BOE, (2001). Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la ley de aguas. Boletín oficial del estado nº: 176 de 24/07/2001, 26791-26817.

BOE, (2007). Real Decreto-Ley 4/2007, de 13 de abril, por el que se modifica el texto refundido de la Ley de Aguas aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio. Boletín Oficial del Estado nº90 de 14/04/2007, 16450-16451.

BOJA, (2001). Orden de 27 de junio de 2001, por la que se aprueba el Programa de Actuación aplicable en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en Andalucía. Boletín Oficial de la Comunidad Autónoma de Andalucía nº75 de 03/07/2001, 11513-11319.

BOJA, (2008a). 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. Boletín Oficial de la Comunidad Autónoma de Andalucía nº36 de 20/02/2008, 5-15.

BOJA, (2008b). Orden de 18 de noviembre de 2008, de la Consejería de Agricultura y Pesca, por la que se aprueba el Programa de Actuación aplicable en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en Andalucía. Boletín Oficial de la Comunidad Autónoma de Andalucía nº4 de 08/01/2009, 39-45.

BOJA, (2008c). Orden de 16 de mayo de 2008, de la Consejería de Agricultura y Pesca, por la que se modifica la Orden de 5 de junio de 2007, por la que se desarrollan los requisitos de aplicación de la condicionalidad en relación con las ayudas directas en el marco de la política agrícola común. Boletín Oficial de la Comunidad Autónoma de Andalucía nº104 de 27/05/2008, 41-53.

BOJA, (2009). Orden de 7 de julio de 2009, conjunta de las Consejerías de Agricultura y Pesca y Medio Ambiente, por la que se aprueba la modificación de las zonas vulnerables designadas mediante Decreto 36/2008, de 5 de febrero, por el que se designa las zonas vulnerables y se establecen medidas contra la contaminación por nitratos de origen agrario. Boletín Oficial de la Comunidad Autónoma de Andalucía nº157 de 07/07/2009, 48-51.

BOJA, (2015). Orden de 1 de junio de 2015, por la que se aprueba el programa de actuación aplicable en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en Andalucía. nº111 de 01/06/2015: 8-19. Oficial del Estado nº296 de 06/12/2017, 119396-119450.

Bonanomi, G., Antignani, V., Capodilupo, M., & Scala, F. (2010). Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases. *Soil Biology and Biochemistry* 42, 2-13.

Bonanomi, G., Antignani, V., Pane, C., & Scala, F. (2007). Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. *Journal of Plant Pathology*, 311-324.

Bretones, F. (2003). El enarenado. En: Técnicas de producción en cultivos protegidos (Coord.: F. Camacho Ferre), Vol I, 109-118. Edita Caja Rural Intermediterránea, Cajamar, Instituto de estudios Cajamar.

Bruselas, 9.2.2010. Informe de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo sobre la aplicación de la Directiva 91/676/CEE del Consejo relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos.

Burkart, M. R. & Stoner, J. D. (2001). Nitrogen in Groundwater Associated with Agricultural Systems. En: R.F. Follet y J.L. Hatfield (Eds). Nitrogen in the Environment: Sources, Problems and Management. *Elsevier Science*, Amsterdam, The Netherlands. 123- 145.

Burkart, M.R., & Stoner, J.D. (2002). Nitrate in aquifers beneath agricultural systems. *Water Science and Technology* 45 (9), 19-29.

Cadenas F, Gonzalez J, y Hernández M. (2003). El cultivo protegido del tomate. En técnicas de producción en cultivos protegidos (Coord.: F. Camacho Ferre), Vol II, 483-536. Edita Caja Rural Intermediterránea, Cajamar, Instituto de estudios Cajamar.

Cajamar. (2016). Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2015/2016. Cajamar Caja Rural. 46 pp.

Camacho, F., (Coord.) et al. (2003). Técnicas de producción en cultivos protegidos. Tomo1. (Ed) Ediciones Agrotécnicas S.L. Cajamar, Almería. 111pp.

Cameron, K. C., & Haynes, R. J. (1986). Retention and movement of nitrogen in soils. . En: R.J Haynes (Ed). Mineral nitrogen in the plant-soil-system. *Academic Press, INC.*, Canterbury, United Kingdom.166-241.

Candela, I. & Ramos, C. (1992). Nutrient losses from agricultura in Spain. En: P. Costigan (Ed). Nutrient losses from agricultura. *EURAGRI, The Hauge*, The Netherlands. 111-123.

Cánovas, G., Martín, E., Fernández, M., & Baeza, R. (2013). Seguimiento de los niveles de nitratos en solución de suelo en fincas comerciales de tomate. *Vida Rural* 360, 44-48.

Casas Castro, A., & Casas Barba, E. (1999). Análisis agua-suelo-planta y su aplicación en la nutrición de cultivos hortícolas en la zona peninsular. Ed Caja Rural de Almería.

Castilla, N., & Hernández, J. (2005). The plastic greenhouse industry of Spain. *Chronica Horticulturae* 45 (3), 15-20.

CE. (2000). Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de la Comunidad Europea nº327 de 22/12/2000, 275-346.

CEE, (1991). Directiva 91/676/CEE del Consejo, de 12 de diciembre, relativa a la protección de aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. Diario Oficial de la Comunidad Europea nº L375 de 31/12/1991, 1-8.

Dahan, O., Babad, A., Lazarovitch, N., Russak, E. E., & Kurtzman, D. (2013). Nitrate leaching from intensive organic farms to groundwater.

Fernández, M., Martín, E., & Cánovas, G. (2013). Manejo de sondas de succión y sistemas de análisis rápidos para mejorar el manejo de la fertilización nitrogenada. *Tierras de Castilla y León: Agricultura* 200, 50-58.

Fernández, M., Martín, E., Cánovas, G., & Baeza, R. (2012). Manejo controlado de la aplicación de nitratos en cultivos de tomate y pimiento en invernadero. *Vida Rural* 343, 38-44.

FIAPA. (2006). Contaminación por nitratos de origen agrario. Revisión legislativa.

Fletcher, D. A. (1991). A National Perspective, 9-17. En: Follet, R. F., Keeney, D.R., & Cruse, R.M., (Eds). *Managing Nitrogen for Grounwater Quality and Farm Profitability. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.*

Follet, J. R., & Follet, R. F. (2001). Utilization and Metabolism of Nitrogen by Humans, 65-92. En: R.F Follet y J.L Hatfield (Eds). *Nitrogen in the Environment: Sources, Problems and Management. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.*

Gamliel, A., Austerweil, M., & Kritzman, G. (2000). Non-chemical approach to soilborne pest management - Organic amendments. *Crop Protection* 19(8-10), 843-853.

Granados, MR. (2011). Lixiviación de nitratos desde cultivo de invernadero en suelo en las condiciones de Almería: magnitud, factores determinantes y desarrollo de un sistema de manejo optimizado. Tesis doctoral. Universidad de Almería. 311 pp.

Granados, M.R., Thompson, R.B., Fernández, M.D., Martínez-Gaitán, C., & Gallardo, M. (2013). Prescriptive–corrective nitrogen and irrigation management of fertigated and drip-irrigated vegetable crops using modeling and monitoring approaches. *Agricultural Water Management* 119, 121–134.



Granados, M.R., Thompson, R.B., Fernández. M.D., Gázquez. J.C., Gallardo. M.L., & Martínez-Gaitán, C. (2007). Reducción de la lixiviación de nitratos y manejo mejorado de nitrógeno con sondas de succión en cultivos hortícolas. Ed. Fundación Cajamar. Almería.

Guerrero, M.M., A. Lacasa, C. Ros, A. Bello, M. C. Martínez, J. Torres, & P. Fenández. (2004). Efecto de la biofumigación con solarización sobre los hongos del suelo y la producción: fechas de desinfección y enmiendas. En: Lacasa, A., Guerrero, MM., Oncina, M., y Mora, JA., (2004) Eds. *Desinfección de suelos en invernaderos de pimiento*. Publicaciones de la Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Región de Murcia. Jornadas 16, 209-238.

Jiménez-Espinosa, R., Molina, L., Pulido, A., y Navarrete, F. (1996). Influencia de la agricultura intensiva en el contenido de nitratos de las aguas del Campo de Dalías: evolución temporal y espacial. *Geogaceta* 20, 1281-1284.

Jiménez-Espinosa, R., Molina-Sánchez, L., Pulido-Bosch, A., & Navarrete, F. (1997). Geostatistical study of nitrate contents in the aquifers of Campo de Dalías (SE Spain). En: Soarces, A. (Ed.), *GeoENV I—Geostatistics for Environmental Applications*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 139-155.

Katan, J. (1981). Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. *Annual Review of Phytopathology*, 19(1), 211-236.

Katan, J. (1996). Soil solarization: integrated control aspects. In: Hall R., (Ed.), *Principle and Practice of Managing Soilborne Plant Pathogens*, APS, St Paul, Minnesota, 250-278.

Katan, J., & Vanachter, A. (2009, September). Soil and crop health following soil disinfestation. In *“VII International Symposium on Chemical and Non-Chemical Soil and Substrate Disinfestation”* 883, 25-36.

Keeney, D., & Olson, R. A. (1986). Sources of nitrate to ground water. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 16(3), 257-304.

Kelly, J. R., (2001). Nitrogen Effects on Coastal Marine Ecosystem. En R.F. Follet y J.L Hatfield (Eds). *Nitrogen in the Enviroment: Sources, Problems and Management*. Elsevir Science, Amsterdam, The Netherlands, 207-251.

Knox, E., & Moody, D. W. (1991). Influence of hydrology, soil properties, and agricultural land use on nitrogen in groundwater. *Managing nitrogen for groundwater quality and farm profitability, (managingnitroge)*, 19-63.

López-Cepero, J., Piedra-Buena, A., Díez-Rojo, M.A., Regalado, R., Brito, E., Hernández, Z., Figueredo, M., Almendros, G., & Bello, A. (2007). Evaluation of soil biodesinfestation with crop and garden residues in roots-knot nematodes populatuions. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*. 72, 703-712.

Marín Guirao, J. I., Ruiz Olmos, C., Boix Ruiz, A., Sánchez Lucas, C., Torrecillas Molina, V., Díaz Pérez, M, Tello Marquina JC, y Sánchez Garrido, J. A. (2012). Concentración de nitratos en un suelo arenado al aplicar materia orgánica mediante biodesinfección., 11pp.

Messiaen, C. M., Blancard, D., & Rouxel, F. (1991). Les maladies des plantes maraîchères, 3e éd. Editions Quae.

Messiaen, C.M., y Lafon, R. (1967). Enfermedades de las hortalizas. Oikos-tau S.A. Barcelona, España.

Neeteson, J. J., & Whitmore, A. P. (1998). Sustainable nitrogen management in field vegetable production systems. En: Alt, Ch., Kage, H. y Stützel, H. (Eds.), Proceedings of the workshop Nitrogen Use Efficiency in Intensive Cropping Systems, University of Hannover, Hannover, 64-69.

Neeteson, J.J., Booij, R., Whitmore, A.P. 1999. A review on sustainable nitrogen management in intensive production systems. *Acta Horticulturae* 506, 17-26.

Núñez-Zofío, M., Larregla, S., Garbisu, C. (2011). Application of organic amendments followed by soil plastic mulching reduces the incidence of *Phytophthora capsici* in pepper crops under temperate climate. *Crop Protection* 30(12), 1563-1572.

Oka, Y., Shapira, N., Fine, P. (2007). Control of root-knot nematodes in organic farming systems by organic amendments and soil solarization. *Crop Protection* 26, 1556-1565.

Ozores-Hampton, M., Stansly, P.A., McSorley, R., Obreza, T.A. (2005). Effects of long-term organic amendments and soil solarization on pepper and watermelon growth, yield, and soil fertility. *Hortscience* 40, 80-84.

- Palmero, D., de Cara, M., Santos, M., & Tello, J.C. (2011). Control of diseases from forma especiales of *Fusarium oxysporum* causing wilt in intensive horticultural crops. En: Alves-Santos, F.M. y Díez, J.J. (Eds.), *Control of Fusarium Diseases*. Research Signpost, Kerala, India, 209-228.
- Pérez-Piqueres, A., Edel-Hermann, V., Alabouvette, C., & Steinberg C. (2006). Response of soil microbial communities to compost amendments. *Soil Biology and Biochemistry* 38, 460-470.
- Piedra-Buena, A., García-Álvarez, Díez-Rojo, M.A., Ros, C., Fernández, P., Lacasa, A., & Bello, A. (2007). Use of pepper crop residues for the control of root-knot nematodes. *Bioresource Technology* 98, 2846-2851.
- Pomares, F., y Canet, R. (2001). Los residuos orgánicos utilizables en agricultura: origen, composición y características. En: Boixadera, J. y Teira, M.R. (Eds), *Aplicación agrícola de residuos orgánicos*. Ediciones de la Universidad de Lleida, 1-15.
- Pratt, P.F. (1984). Nitrogen use and nitrate leaching in irrigated agriculture. En: Hauck R.D. (Ed), *Nitrogen in crop production*. American Society of Agronomy. Madison WI, USA, 319-333.
- Pulido-Bosch, A. (2005). Recarga en la Sierra de Gádor e Hidrogeoquímica de los acuíferos del Campo de Dalías. Escobar Impresores S.L. El Ejido, Almería.
- Pulido-Bosch, A., Bensi, S., Molina, L., Vallejos, A., Calaforra, J.M., & Pulido-Leboeuf, P. (2000). Nitrates as indicator of aquifer inter-connection. Application to the Campo de Dalías (SESpain). *Environmental Geology* 39, 791-799.
- Pulido-Bosch, A., Navarrete, F., Martínez, J.F., Molina, L., Sánchez, F., Vallejos, A., & Martín, W. (1997). La contaminación en los acuíferos del Campo de Dalías y Delta del Andarax (Almería). En: *Recursos Naturales y Medio Ambiente en el Sureste Peninsular*, Instituto de Estudios Almerienses, Almería, 363-381.
- Ramos, C., Agut, A., & Lidon, A. L. (2002). Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region (Spain). *Environmental Pollution*, v118(2), 215-223.

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, 37-44.

Sanchez, C. (2012). Variación De Los Nitratos En Un Suelo Enarenado Con Aplicación De Dos Materias Orgánicas. En Solarización Y Biofumigación. Proyecto Fin de Carrera, 95pp.

Smith, V. H. (2003). Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems a global problem. *Environmental Science and Pollution Research*, 10(2), 126-139.

Soto, F., Gallardo, M., Giménez, C., Peña-Fleitas, T., & Thompson, R.B. (2014). Simulation of tomato growth, water and N dynamics using the EU-Rotate\_N model in Mediterranean greenhouses with drip irrigation and fertigation. *Agricultural Water Management* 132, 46-59.

Thompson, R.B., Gallardo, M., & Gimenez, C., (2002). Assessing Risk of Nitrate Leaching from the Horticultural Industry of Almería. *Acta Horticulturae* 571, 243-245.

Thompson, R.B., Martínez, C., López-Toral, J., Fernández, M<sup>a</sup>.D., Gallardo, M., & Gimenez, C. (2004). Management factors contributing to nitrate leaching loss from a greenhouse-based intensive vegetable production system. Proceedings of International Society of Horticultural Science Symposium "Towards Ecologically Sound Fertilisation Strategies for Field Vegetable Production" Perugia, Italia, Junio 2004. *Acta Horticulturae* (en prensa).

Thompson, R.B., Martínez-Gaitán, C., Gallardo, M., Jiménez, C., & Fernández, M.D. (2007). Identification of irrigation and management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of comprehensive survey. *Agric. Water Manage.* 89(3), 261-274.

Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., Schindler, D., Schlesinger, W.H., Simberloff, D., & Swackhamer, D. (2001). Forecasting agriculturally-driven global environmental change. *Science* 292, 281-284.

Van Bruggen, A. H., & Semenov, A. M. (2000). In search of biological indicators for soil health and disease suppression. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 13-24.

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(4), 313-323.

En el modelo de producción hortícola intensiva bajo abrigo se produce el lixiviado de nitratos potencialmente contaminantes de los acuíferos, principalmente cuando se aplican grandes volúmenes de agua en los tratamientos de desinfección del suelo, riegos pre-trasplante y durante las tres primeras semanas de cultivo. Como consecuencia, grandes áreas de acuíferos poco profundos, situados bajo las principales áreas invernadas de la provincia de Almería, presentan concentraciones que superan ampliamente el umbral fijado por la legislación. En base a esta importante problemática ambiental, la Directiva 91/676/CEE (y su transposición al ordenamiento jurídico español efectuada por el Real Decreto 261/1996), obliga a las regiones declaradas vulnerables por contaminación de nitratos de origen agrario a implementar prácticas de manejo que reduzcan dicha contaminación.

El estudio experimental presentado en este Trabajo Fin de Grado, se incluye en un proyecto más amplio, que fue planteado con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de técnicas de biodesinfección de suelos agrícolas en la retención de nitratos en un suelo arenado bajo abrigo. Tras comprobar que el contenido de nitratos del suelo a la profundidad estudiada se incrementaba después de realizar los tratamientos de biodesinfección de manera global para todas las materias orgánicas estudiadas (Marín-Guirao et al., 2012; Sánchez, 2012), siendo significativamente mayor en biosolarización frente a biofumigación. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto residual de la aplicación de dichas técnicas de biodesinfección durante la secuencia de cultivos tomate-sandía un año después de haber realizado los tratamientos. La adición de enmiendas orgánicas mediante biodesinfección no tuvo efectos en el contenido de nitratos del suelo un año después de su aplicación. Los resultados muestran ausencia de lixiviado de nitratos a lo largo de la secuencia de cultivos tomate-sandía, un año después de realizar los tratamientos de biodesinfección.

Intensive horticultural practices in the greenhouse can cause pollution of groundwater from nitrate leaching. In this case, higher drainage volume and amount of leaching nitrates are linked with soil disinfection, as well as, during pre-planting irrigations and the first 3 weeks of cropping. As a consequence, large areas of shallow aquifers, located under the main greenhouse areas of the province of Almeria, have nitrate concentrations that far exceed the threshold set by legislation. Regarding this highly important environmental impact, the Nitrates Directive (Directiva 91/676/CEE and Real Decreto 261/1996) places emphasis on the establishment of good farming practice in all areas and on action programmes in nitrate vulnerable zones, in order to reduce nitrate leaching.

This greenhouse experimental assessment is included in a wider project which was conducted with the aim of evaluating the effect of soil bio-disinfection on soil nitrate content, in a soil covered with sand. Previous assessments (Marín-Guirao et al., 2012; Sánchez, 2012) concluded that the addition of organic amendments through bio-disinfection increased soil nitrate concentration, more so with biosolarisation. The main aim of this research was to assess the residual effect of bio-disinfection treatments on soil nitrate content during tomato-watermelon crops, a year after the treatments. The addition of organic amendments through bio-disinfection had no effect on soil nitrate content one year after its application. The results show absence of nitrate leaching throughout the sequence of tomato-watermelon crops, one year after the bio-disinfection treatments.

