

UNIVERSIDAD DE ALMERIA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

Cálculo del balance de nitrógeno en
cultivos hortícolas en invernadero en el
Campo de Dalías (Almería)

Doble Mención:
Hortofruticultura y Jardinería
Mecanización y Construcciones Rurales

Curso 2017/2018

Alumno:

Rubén Darío Contreras López

Directores:

Luisa Gallardo Pino
Rodney B. Thompson

0. ÍNDICE	
1. INTERESES Y OBJETIVOS	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
Introducción	2
Caracterización del sistema de producción hortícola en la provincia de Almería	2
Importancia económica del sector agrícola	2
Superficie invernada en la provincia de Almería	3
Caracterización de la comarca del Campo de Dalías	3
Caracterización del sistema de producción	4
Importancia del N en la agricultura	6
Problemática de la contaminación por nitratos	6
Problemas para la salud	6
Riesgos medioambientales	8
Lixiviación de nitratos	8
Contaminación por nitratos en España	9
Contaminación por nitratos en la provincia de Almería	10
Contaminación del acuífero del Campo de Dalías	11
Estimación del contenido de N en planta	12
3. MATERIAL Y MÉTODOS	13
Descripción general del cálculo	13
Cálculo de superficies	14
Cultivos	14
Época de implantación de los cultivos	15
Ciclos de cultivo	16
Medio de Cultivo	18
Cálculo del aporte de nitrógeno mineral	18
Riego	18
Concentración de N mineral aplicada	19
Cálculo del aporte del N orgánico	20
N extraído por la planta	22
Balance de N	25
4. RESULTADOS	26
Agua aplicada	26
Riego total	26
Agua aplicada: riego para ciclo de otoño en suelo	28
Agua aplicada: riego para ciclo de primavera en suelo	28
Agua aplicada: riego para ciclo de otoño en sustrato	29
Agua aplicada: riego para ciclo de primavera en sustrato	30

Aporte de N	30
Aporte total	30
Aporte de N mineral	31
Aporte de N mineral: aportes para ciclo de otoño en suelo	32
N mineral: aportes para ciclo de primavera en suelo	33
N mineral: aportes para ciclo de otoño en sustrato	33
N mineral: aportes para ciclo de primavera en sustrato	34
Aporte N orgánico	35
Aporte N orgánico: invernaderos nuevos	35
Aporte N orgánico: incorporaciones posteriores	36
N extraído	36
N extraído total	36
N extraído total para cultivos	37
Balance de N	38
Balance total	38
Balance de cultivos en suelo	38
Balance de cultivos en sustrato	39
5. DISCUSIÓN	41
Superficie	41
Agua aplicada	42
Aporte de N mineral	43
Aporte de N orgánico	43
N extraído por los cultivos	43
Balance de nitrógeno	43
Medidas para la disminución del exceso de N	44
6. CONCLUSIONES	46
7. BIBLIOGRAFÍA	47

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a Rodney Thompson y Marisa Gallardo por ayudarme en todo momento en la realización de este proyecto, incluso cuando su tiempo era muy limitado.

También agradecer a Teresa Peña por la gran ayuda prestada en todo momento, incluso estando de vacaciones siempre tenía un momento para ayudarme.

A mis padres por su confianza en mí y su paciencia.

A mi novia por ayudarme en todo momento en los momentos de estrés.

1. INTERESES Y OBJETIVOS

La provincia con mayor superficie invernada de España es Almería. Alrededor del 40% del área invernada de España se encuentra en región almeriense. (MAGRAMA, 2012). Dentro de la provincia de Almería, por encima del 70% del área invernada se encuentra en la comarca del Campo de (DAPDR, 2017)

Desde los últimos 30 años, la provincia de Almería ha abastecido de hortalizas al resto de España y Europa. Para ello ha sido necesario contar con una gran cantidad de insumos para poder elevar la producción, entre ellos el nitrógeno (N). Con el manejo de la nutrición de los cultivos, basado en recetas estándares (Thompson et al., 2007), se aplican cantidades apreciables en exceso de las necesidades de los cultivos (Thompson et al., 2007).

Una de las consecuencias del exceso en la aplicación de N es la contaminación de los acuíferos con nitrato (NO_3^-). La concentración de NO_3^- en los acuíferos subyacentes a las principales zonas de invernaderos en Almería está muy por encima del máximo permitido por la Unión Europea (Pulido-Bosch, 2005), y desde las administraciones públicas locales se implementa el requisito de reducir dicha contaminación (BOJA, 2015).

Para evitar posibles efectos medioambientales adversos por el uso excesivo de N en los cultivos, es necesario cuantificar la cantidad de nitrógeno aportada en todas sus formas así como la extracción de los cultivos para conocer el exceso del N aplicado.

Con este proyecto se realiza para conocer el balance de nitrógeno para el Campo de Dalías. El objetivo principal es la obtención del balance de Nitrógeno en la comarca del Campo de Dalías para la campaña 2015/2016, pero además se deberán tener diferentes objetivos secundarios que se necesitarán para el cálculo del objetivo principal. Esos objetivos secundarios serán:

- Cálculo de la extracción de Nitrógeno en los diferentes cultivos.
- Abono mineral aplicado por fertirriego.
- Abono mineralizado aplicado al suelo en forma de estiércol.
- Extracción de Nitrógeno por parte de la planta por cada cultivo y ciclo de plantación.

El proyecto de balance de Nitrógeno para la comarca del Campo de Dalías, tiene como base el estudio de del balance de Nitrógeno realizado por Jadoski (2011) en el que se calcula el balance de nitrógeno en la comarca del Campo de Dalías en las campañas 2005/2006, 1995/1996 y 1985/1986.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. INTRODUCCIÓN

La economía de la provincia de Almería tiene como principal sustento desde hace décadas, a la agricultura intensiva. El Campo de Dalías, es la comarca con mayor peso de superficie de invernaderos dentro de la provincia de Almería. (DAPDR, 2017)).

Uno de los motivos por el cual el campo de Dalías ha sufrido una gran transformación, es debido a la obtención de agua de calidad y cantidad suficiente para el abastecimiento de los diferentes invernaderos de la región. El pilar fundamental para el abastecimiento de agua son los acuíferos que existen en el subsuelo de la comarca del Campo de Dalías. De esos acuíferos, se están extrayendo volúmenes de agua muy superiores a la capacidad de recarga de los mismo, y esto viene pasando durante las últimas décadas. Esta sobreexplotación de los acuíferos es preocupante, ya que la calidad de las aguas de los acuíferos, como la cantidad, ponen en riesgo la actividad agrícola en la comarca del Campo de Dalías (Zapata, 2001).

Para el riego de invernaderos se aplica agua con abono que es rico en N. El nitrógeno sobrante, que la planta no es capaz de captar del suelo, se filtra hacia capas del subsuelo, llegando a las aguas subterráneas que abastecen a los pozos subterráneos, con lo cual es importante realizar un balance de N en la comarca del Campo de Dalías para saber cuál es la cantidad de N aplicado en exceso termina en los acuíferos del Campo de Dalías (Granados, 2007).

2.2. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN HORTÍCOLA EN LA PROVINCIA DE ALMERÍA

2.2.1. Importancia económica del sector agrícola

En la provincia de Almería, la agricultura, tiene una gran repercusión sobre la economía de la provincia. A partir de finales del siglo XX, toma gran importancia en la economía de la provincia, en la renta y en el empleo de Almería. (Molina, 2004).

El PIB de la provincia de Almería en el año 2017 es de 14.124 millones de € (Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, 2017). La agricultura y el sector servicios aportan más de un 60% del total de PIB. La agricultura, aporta 2.113 millones de €, siendo el segundo sector que más aporta al PIB, por detrás del sector servicios que aportan 3.000 millones de € al PIB de la provincia de Almería (Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, 2017).

2.2.2. Superficie invernada en la provincia de Almería

La superficie invernada en la provincia de Almería, según la Delegación de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía para la campaña 2015/2016 asciende a 30.000 ha, con una tasa de crecimiento anual igual o inferior al 5%. La comarca del Campo de Dalías representa un 68,6% de la superficie invernada de la provincia (DAPDR, 2017).

2.2.3. Caracterización de la comarca del Campo de Dalías

Es en la comarca del Campo de Dalías donde se inicia el desarrollo del sistema de producción hortícola intensivo característico de la provincia de Almería y aún continúa contribuyendo a éste de forma notable.

En el contexto geográfico se puede definir como una llanura costera de unos 330 km superficie al oeste de la bahía de Almería y al abrigo de la sierra de Gádor, donde se ubica la mayor concentración de cultivos protegidos de Europa (Maeso Fuentes, 2012).

Según la Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía (BOJA, 2003), los municipios que la constituyen son Adra, Berja, Dalías, Enix, El Ejido, Félix, La Mojonera, Roquetas de Mar y Vícar (Figura 2.1).

Figura 2.1. Municipios que constituyen la comarca del Campo de Dalías.



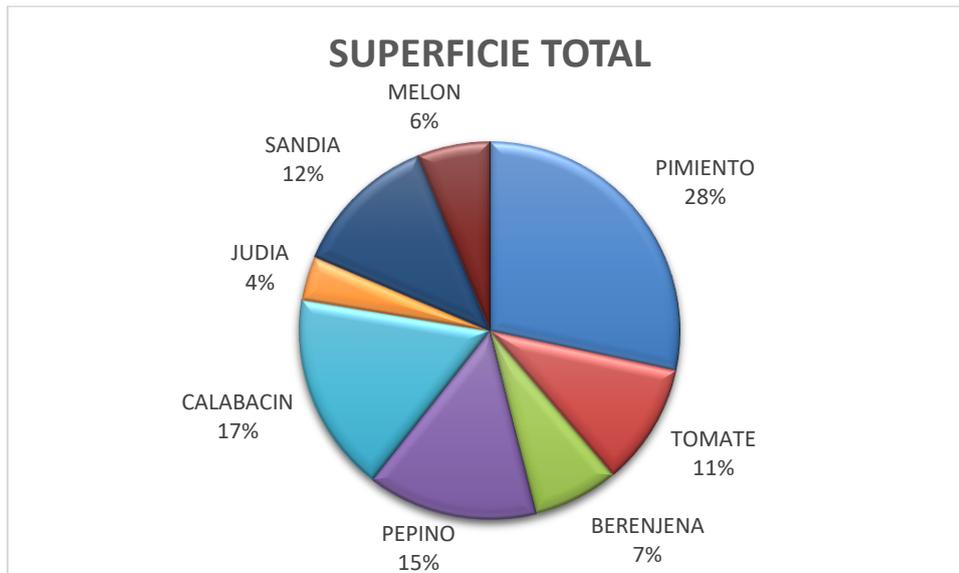
2.2.4. Caracterización del sistema de producción

El sistema de producción agrícola de la provincia de Almería está caracterizado por estar constituido por explotaciones, en su mayoría, propiedad de los agricultores. La superficie media que tienen estos invernaderos es de 2.5 Ha, que se distribuyen normalmente en 1 ó 2 fincas, con superficies de 21.000 m² (García García, 2016). La superficie de invernaderos almeriense, se caracterizaba hace 50 años por los invernaderos tipo parral plano con pilares de madera, de 2.5 metros de altura cubiertos por plástico. A día de hoy, todavía hay gran cantidad de invernaderos que conservan estas características de hace 50 años. Actualmente un 29% de la superficie invernada de la provincia de Almería, tiene invernaderos tipo parral plano (García García, 2016). Un 64% de la superficie de invernaderos en la provincia de Almería, se caracteriza por tener invernaderos de multicapilla simétricos, conocidos como raspa y amagado. Estos invernaderos se caracterizan por tener altura de 3.5 metros, y por estar cubiertos de plástico, normalmente polietileno de 200 micras de grosor (García García, 2016). Un 5% por de los invernaderos de la provincia de Almería son de tipo multicapilla asimétrico, en el cual la cubierta presenta asimetría con respecto al eje de la cumbrera. Un 2% de los invernaderos de la provincia de Almería son de tipo multitunel. Son invernaderos con una cubierta curva y una estructura metálica. Aunque el porcentaje del invernadero multitunel en la provincia de Almería sigue siendo minoritario, presenta un aumento del 92% con respecto a la campaña 2005/2006 (García-García, 2016).

La media de superficie de ventilación de los invernaderos de la provincia de Almería es del 12%. Se encuentra muy por debajo de su rango óptimo de ventilación, ya que se recomienda una superficie de ventilación entre el 20-30% (Pérez Parra et al., 2001). La ventilación suele ser pasiva, mediante ventanas laterales y cenitales. Es poco frecuente disponer de sistema automatizado o motorizado. Para disminuir la temperatura y refrigerar el invernadero, lo más frecuente es la técnica del encalado (García García, 2016).

En el Campo de Dalías, los cultivos más importantes son: berenjena, calabacín, judía, melón, pepino, pimiento, tomate y sandía. Estos ocho cultivos suponen el 99.7% del total de cultivos bajo invernadero en el Campo de Dalías.

Grafico 2.2. Distribución de la superficie del Campo de Dalías (Delegación Provincial de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural).



Una de las características principales y diferenciadoras con respecto a otros modelos de otros lugares, del sistema hortícola de la provincia de Almería, es el enarenado. El enarenado es un tipo de suelo que está formado por tres horizontes. La parte más profunda del suelo está compuesta por el suelo natural, con una profundidad de 20 a 30 centímetros, en el que se le incorpora 50 ha^{-1} de estiércol mediante laboreo. La capa intermedia del suelo tiene un espesor de 3 centímetros, y está compuesta por estiércol exclusivamente. Y la capa superior del suelo está formada por arena de 3-5 centímetros de grosor (Bretones, 2003). El enarenado tiene ventajas como son:

- Reduce la evaporación de agua del terreno
- Reduce la ascensión de sales
- Mejora la retención de agua
- Mejora el intercambio catiónico
- La temperatura en el suelo se mantiene más estable

Todas estas ventajas hacen que se pueda regar con aguas de peor calidad. En cuanto al cultivo sin suelo se estima que está por debajo del 5% en la comarca del Campo de Dalías.

El riego se realiza localizado en prácticamente la totalidad de los invernaderos, incluso aumentando campaña a campaña el uso de goteros autocompensantes (Pérez-Parra et al., 2001). Para determinar la frecuencia de riego y la dosis, los agricultores recurren a su experiencia propia y a la experiencia de ingenieros agrícolas. A parte, se ayudan para

tomar decisiones del tiempo y la frecuencia de riego de tensiómetros, que utilizan tensiómetros manuales (Thompson et al., 2007).

2.3. IMPORTANCIA DEL N EN LA AGRICULTURA

El N es un elemento esencial para las plantas, junto con el fósforo y el potasio. La aplicación de N en los suelos afecta a la productividad de los invernaderos y afecta al rendimiento económico de los mismos. El N, facilita el crecimiento de las plantas, y aporta el color verde oscuro. Las plantas precisan de gran cantidad de N ya que está presente en partes importantes de la planta, como la clorofila y las proteínas (Plaster, 1997).

El N está presente en los suelos de diferentes formas:

- Estiércol
- Resto de cultivos
- Abono

El N se clasifica en, N orgánico y N inorgánico, siendo el N orgánico el que predomina. El N inorgánico en el suelo está presente en forma de NH_4^+ , NO_3^- , N_2O , NO_2^- y NO . La forma más habitual del N en los suelos agrarios, es en forma de nitrato (NO_3^-) (FIAPA, 2006).

El nitrógeno orgánico, está en proteínas, azúcares, aminoácidos y otras sustancias complejas. El 95% del N almacenado en el suelo está en forma orgánica (Allison, 1973; Batjes, 1996), con lo cual, la mayor parte del N orgánico que está en el suelo, está unido al carbono (Allison, 1973). Por tanto, el N almacenado en el suelo depende de la cantidad de carbono orgánico presente en el suelo, para así, poder enlazarse químicamente y que se acumule en el suelo.

Si el N en planta es deficitario, las plantas tienen un mal desarrollo, con troncos delgados y raquíticos. Además, el crecimiento es lento y hay una clorosis generalizada. La falta de color se presenta en hojas viejas, mientras que las hojas apicales se presentan de color verde. Este proceso es debido a que el N es un elemento móvil en la planta. Si la deficiencia de N en planta es grave, las hojas toman un color pardo y se necrosan (Kass, 2003)

2.4. PROBLEMÁTICA DE LA CONTAMINACIÓN POR NITRATOS

2.4.1. Problemas para la salud

Los problemas de salud originados por los nitratos, principalmente, son por la ingesta de aguas contaminadas por nitratos, y son producidos por la actividad ganadera y agrícola (Follet y Follet, 2001).

En los tejidos de las plantas se encuentran los nitratos acumulados por la ingesta de nitratos. En nuestra dieta, gran número de plantas son esenciales para nuestra alimentación, y las incorporamos en nuestra dieta para satisfacer nuestras necesidades.

Los nitratos se absorben por el intestino, son metabolizados y excretados. No son un riesgo para la salud, pero si el NO_3^- , se reduce a nitrito (NO_2^-), se convierte en un elemento peligroso (Follet y Follet, 2001). Sin embargo, es común que los nitratos sean contaminantes del agua potable y no potable, además se transforma de forma natural en nitritos, por medio de la saliva (Fletcher, 1991).

Para la salud humana, la ingesta de nitratos, provoca como gran riesgo la contracción de enfermedades como la metahemoglobinemia, que produce que el ion ferroso sea oxidado a ion férrico. El ion ferroso está presente en la hemoglobina, más concretamente en la estructura de la hemoglobina, y produce que no se pueda transportar el oxígeno por la sangre. Por lo tanto, la hemoglobina de la sangre se convierte en metahemoglobina, y no transporta el suficiente oxígeno a las células como para satisfacer su demanda (Fletcher, 1991; Follet y Follet, 2001).

Los bebés y niños, son el grupo más sensible para esta enfermedad, ya que incorporan mayor tanto por ciento de agua, en relación con su peso, que una persona de mediana edad. La metahemoglobinemia, produce un síntoma visual conocido como cianosis, por la cual la piel toma tonalidades azules por el decremento de oxígeno en sangre. Vulgarmente, en niños se conoce como “el síndrome del bebé azul” (Fletcher, 1991; Follet y Follet, 2001). Además de la cianosis, esta enfermedad causa problemas respiratorios, digestivos, e incluso, casos más agudos, causa daños cerebrales que pueden provocar la muerte del individuo (Fletcher, 1991).

Durante los seis primeros meses de vida de un niño, el PH de su estómago es superior a 4, eso quiere decir que es más vulnerable al desarrollo de bacterias del tipo nitrato-reductoras (Follet y Follet, 2001). Además, en aguas con concentración elevada de nitratos, lo normal es que existan bacterias reductoras de nitratos a nitritos, con lo cual el agua es aún más tóxica (Fletcher, 1991; Follet y Follet, 2001). En embarazadas, el consumo de agua contaminada puede producir enfermedades prenatales, ya que afectan al feto los nitratos por su capacidad de poder ingresar dentro de la placenta (Follet y Follet, 2001).

La ingesta de nitratos puede producir otra serie de enfermedades secundarias, como el incremento de enfermedades respiratorias, la hipoxia y el funcionamiento anómalo del tiroides. La hipoxia provoca mayor riesgo de infecciones del tracto respiratorio. La glándula tiroidea, tiene un funcionamiento anómalo por el exceso de yodo (Follet y Follet, 2001).

Además de todas las enfermedades descritas con anterioridad, estudios realizados entre la relación de la ingesta de nitratos y el riesgo de cáncer, indican que existen indicios de que la ingesta de nitratos puede producir cáncer, pero hasta el momento, los estudios realizados no han sido concluyentes hasta el momento (Follet y Follet, 2001). En laboratorio, los estudios realizados en animales presentan indicios de la formación de cáncer en los animales experimentación. Los nitritos reaccionan con amidas y aminos y forman nitrosaminas, que se relacionan con cánceres de esófago, laringe y estomago

(Follet y Follet, 2001).

Como se ha podido observar existen factores de riesgo para la salud que han provocado que las autoridades competentes actúen para reducir los niveles de nitratos en agua. En Estados Unidos, establece el nivel máximo para nitratos en agua potable de $45 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$. En el caso de la Unión Europea, los niveles máximos de nitratos en agua potable, son de $50 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$ (Fletcher, 1991).

En el caso de ganado, si superan el umbral máximo de concentración de nitratos, pueden sufrir envenenamiento de los mismos, y posteriormente pueden ser sumados a la cadena alimentaria e introducirlos en nuestra dieta, con lo que se aumentaría el riesgo de enfermedades derivadas del exceso de nitrógeno para la salud humana. Para el caso de agua para el consumo animal, el umbral máximo por el cual se consideran sensibles para el consumo animal, serían $40 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$. Se clasifican como aguas no aptas para consumo animal, aguas con valores por encima de $100 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$ (Fletcher, 1991).

2.4.2. Riesgos medioambientales

La consecuencia de la persistente nitrificación de acuíferos, a nivel medioambiental, es la eutrofización de ecosistemas en los cuales se encuentran las aguas superficiales que posteriormente vierten sus aguas a los acuíferos contaminados (Kronvang et al, 2001; Kelly, 2001). La concentración excesiva de nitratos provoca que las algas proliferen hasta que existe una ausencia total de nutrientes para el desarrollo de las mismas. El desarrollo de las algas provoca que la luz no penetre e impide el intercambio de oxígeno entre el agua y la atmósfera, produciéndose un nivel muy bajo de oxígeno, lo que provoca produce la asfixia de los peces, y su asfixia. En el último paso de la eutrofización de los ecosistemas, se produce una atmósfera anaeróbica y se produce amoníaco y ácido sulfhídrico (Kelly, 2001).

2.4.3. Lixiviación de nitratos

La lixiviación es el proceso por el cual las sustancias que están en el suelo, son transportadas desde la zona de radicular hasta la zona no saturada del suelo (Cameron y Haynes, 1986). La incorporación hacia las aguas subterráneas se produce por el drenaje desde la zona no saturada. Los nitratos son iones móviles que no son retenidos por el suelo y son susceptibles de lixiviación (Cameron y Haynes, 1986).

El movimiento de nitratos en el suelo, se considera un flujo de masas, eliminando otros procesos que ocurren en el suelo como son la difusión y la dispersión (Cameron y Haynes, 1986). La cantidad de nitratos lixiviados es función de la concentración del suelo y del volumen de drenaje (Cameron y Haynes, 1986). La concentración en la solución del suelo de nitratos es la diferencia entre las aplicaciones como fertilizante y la extracción que realiza el cultivo.

Hay diferentes formas de aportar nitrato a la solución del suelo. Pueden ser:

- En forma de nitrato, por medio de fertilizantes nitrogenados minerales.
- En forma amoniacal, mediante el uso de fertilizantes minerales.
- En forma de nitrógeno orgánico, por procesos de nitrificación y mineralización, usando estiércol.

La extracción de nitrato en el suelo se realiza por:

- Desnitrificación.
- Extracción de las plantas.

2.5. CONTAMINACIÓN POR NITRATOS EN ESPAÑA

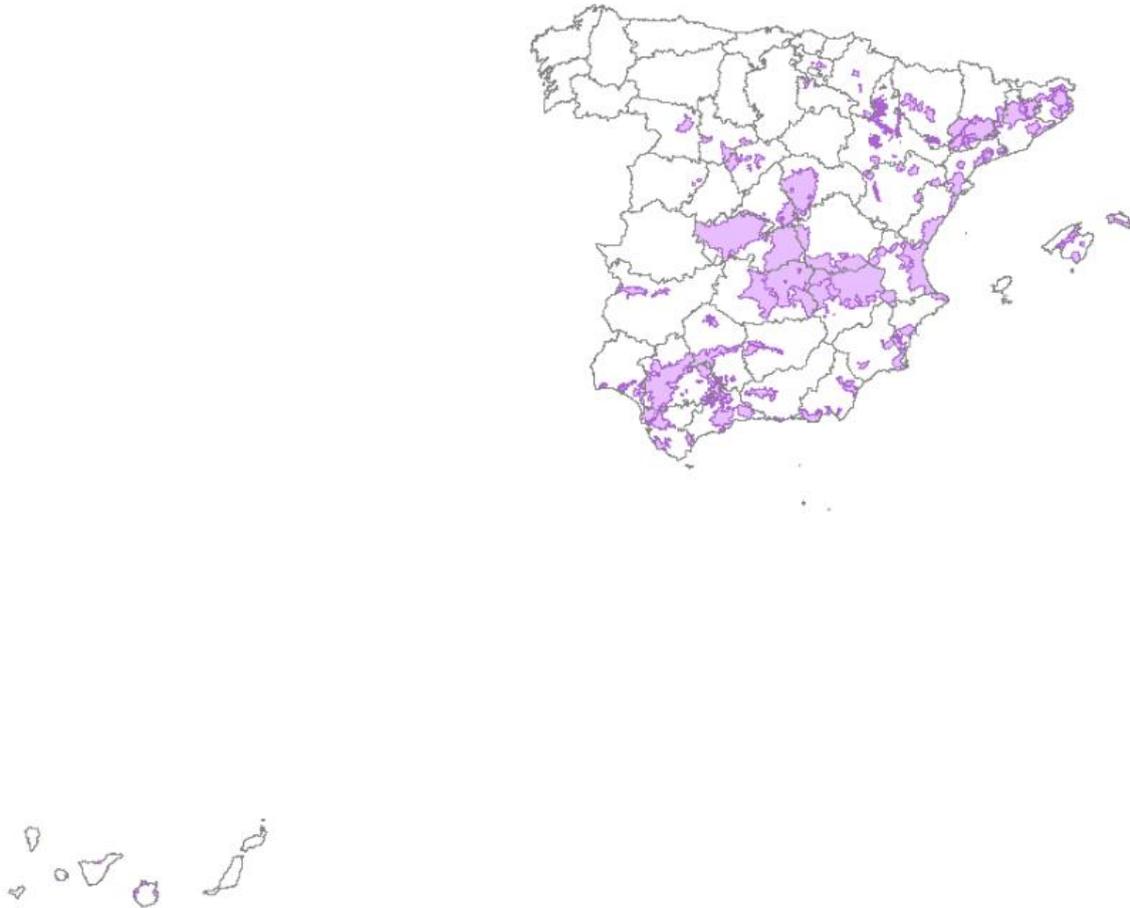
La contaminación por nitratos es un fenómeno que afecta a la calidad de las aguas de España. Es un fenómeno continuado en el tiempo y el de mayor importancia para la calidad de aguas naturales de España.

La contaminación por nitratos consiste en la concentración elevada de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas. El origen de la alta concentración de nitratos puede ser por varias causas, clasificándose en dos grupos: fuentes difusas y fuentes puntuales. En la clasificación de fuentes de contaminación difusa de las aguas, se engloban la contaminación de las aguas que no tiene una localización precisa. Entre las fuentes de contaminación difusa destacan la excesiva fertilización de la agricultura. La clasificación de fuentes puntuales de contaminación por nitratos, es la contaminación por nitratos en la cual el foco de contaminación está localizado. Como principales ejemplos de contaminación por nitratos por fuentes difusas están los vertidos de aguas residuales urbanas y los vertidos de purines de explotaciones ganaderas.

En la década de los 80, el deterioro de las aguas por la concentración de nitratos fue constatado por la Unión Europea. La Unión Europea aprobó la directiva 91/676/CEE, en la cual se protege las aguas contra la contaminación producida por los nitratos utilizados en la agricultura. Esta directiva plantea como objetivos reducir la contaminación por nitratos y prevenir de la contaminación por nitratos, en ambos casos de origen agrario. Para conseguir los objetivos, la Unión Europea obliga a los estados miembros a determinar las aguas afectadas por nitratos y a determinar las aguas que podrían verse afectadas en un futuro por alta concentración de nitratos. Además, la Unión Europea obliga a designar como zonas vulnerables por nitratos, toda superficie del territorio cuya escorrentía contribuya a la contaminación por nitratos.

En España, las zonas vulnerables de contaminación por nitratos se presentan en la imagen 2.3

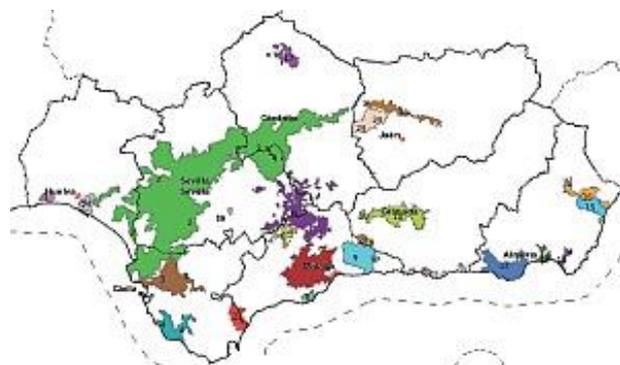
Imagen 2.3. Mapa de zonas vulnerables por nitratos en España



2.6. CONTAMINACION POR NITRATOS EN LA PROVINCIA DE ALMERÍA

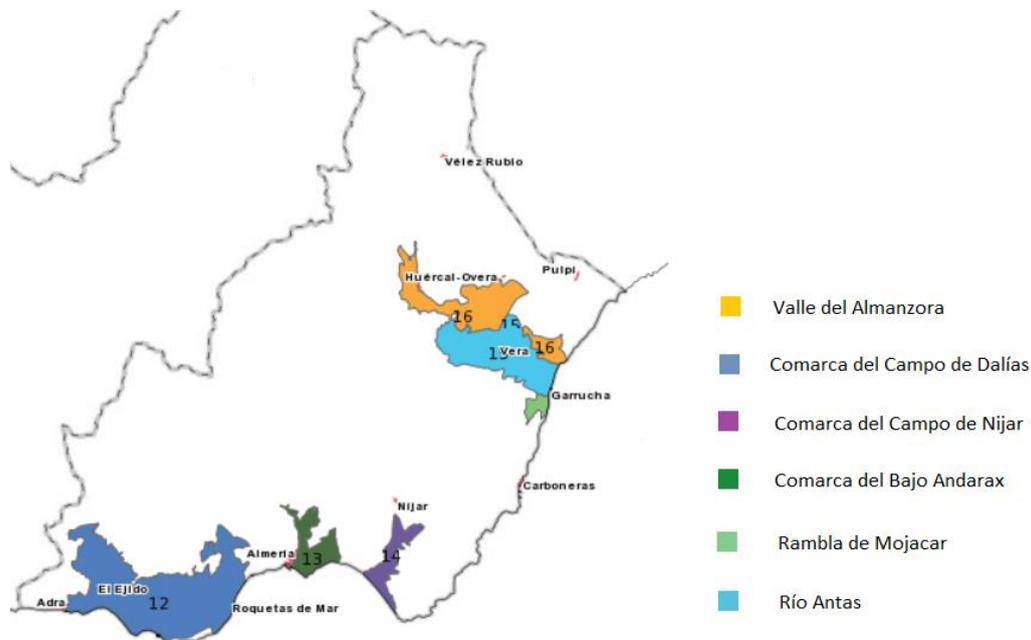
Dentro de la Comunidad Autónoma de Andalucía, las zonas vulnerables de contaminación por nitratos se observan en la imagen 2.4, siendo la zona geográfica mayor la cuenca del río Guadalquivir.

Imagen 2.4. Zonas vulnerables por nitratos en Andalucía (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, 2013)



Dentro de la provincia de Almería las zonas vulnerables de contaminación por nitratos se observan en la imagen 2.5. La zona con mayor superficie es la comarca del Campo de Dalías, seguida del río Antas y el valle del Almanzora. La zona vulnerable de contaminación por nitratos de la comarca del Campo de Dalías abarca prácticamente la totalidad de los municipios que la conforman.

Imagen 2.5. Zonas vulnerables de contaminación por nitratos en la provincia de Almería (CMAOT, 2013)



2.7. CONTAMINACIÓN DEL ACUIFERO DEL CAMPO DE DALÍAS

El campo de Dalías se compone de un sistema de acuíferos formado por un acuífero superficial y dos acuíferos subterráneos. El acuífero superficial se sitúa encima de los acuíferos subterráneos, siendo los acuíferos subterráneos los abastecen el agua de riego de los invernaderos del Campo de Dalías (Pulido, 2000).

El paulatino crecimiento de los invernaderos de la comarca del Campo de Dalías desde la década de los 80, ha producido la contaminación por nitratos del acuífero superficial del Campo de Dalías. En la comarca del Campo de Dalías existe una concentración muy superior al límite máximo de $50 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$ que establece la Unión Europea (Granados et al., 2007).

2.8. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE N EN PLANTA

Para determinar el contenido de N en planta, se utiliza el método de determinación del nitrógeno Kjeldahl.

El primer paso para determinación del N en planta, consiste en el secado de las plantas con una temperatura constante de 70 °C. Una vez secadas las plantas, se obtiene la materia seca vegetativa. Posteriormente, la muestra obtenida, se descompone en un medio sulfúrico, en presencia de un agente reductor catalizador. El tratamiento transforma el N, en NH_4^+ . Se añade una base, que libera el NH_3 , y que es arrastrado hasta un frasco colector por destilación en corriente de vapor. El frasco colector contiene un volumen medido de una disolución de ácido, que es neutralizado por el NH_3 . Una vez finalizada la destilación, se procede a valorar el ácido no consumido. El volumen de disolución consumido hasta llegar al punto de equivalencia, permite conocer la cantidad de NH_3 , y por tanto, la cantidad de N en la muestra (Contreras, 2014)

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CÁLCULO

Para el cálculo del balance de N en la comarca del Campo de Dalías, se tiene en cuenta: (1) los aportes de N y (2) La extracción de N por los cultivos.

El aporte de N se compone de: (1) N aportado en forma mineral en el fertirriego para todos los cultivos y (2) N mineralizado desde el estiércol aportado en cultivos en suelo.

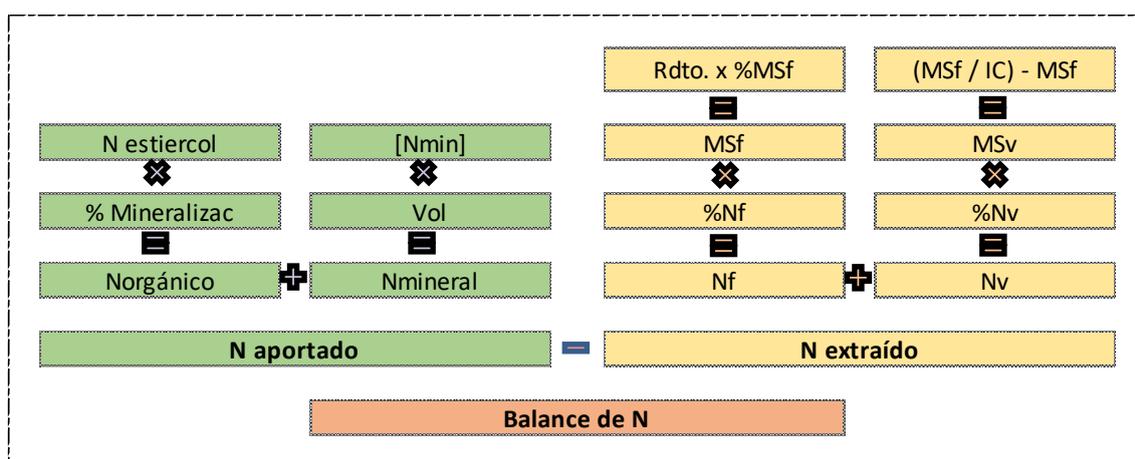
En el aporte de N en forma mineral se calcula la cantidad de N aplicado en el fertirriego a todas las fincas de la comarca del Campo de Dalías. Para ello se necesita conocer la superficie cultivada, la duración de los ciclos de cultivo, el agua aplicada a los mismos y la concentración de N incorporada.

El aporte de N en forma de estiércol se realiza en la construcción del invernadero o en incorporaciones posteriores. Una vez conocida la cantidad de N aplicada se calcula la tasa de mineralización para poder contabilizar el N aportado con esta práctica cultural.

La extracción de N por la planta se calcula a partir del rendimiento y del porcentaje de materia seca en fruto, y mediante el índice de cosecha se obtiene el porcentaje de materia seca total.

A partir de datos de contenido de N (%N) en planta es posible calcular el N extraído por los cultivos a lo largo de una campaña agrícola.

Figura 3.1. Esquema de cálculo del balance de nitrógeno (Elaboración propia).



3.2. CÁLCULO DE SUPERFICIES

La comarca del Campo de Dalías se compone de los municipios de Adra, Berja, Dalías, Enix, El Ejido, Felix, la Mojónera y Vícar (BOJA, 2003). Se descartan los municipios de Enix y Felix ya que la superficie invernada en los mismos es testimonial.

La superficie invernada de la Comarca del Campo de Dalías, se obtiene de los datos facilitados por la Delegación de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía para la campaña 2015/2016. La superficie cultivada se obtiene como la suma del área de los diferentes cultivos durante una campaña agrícola. La superficie cultivada y la superficie invernada, están relacionadas mediante el índice de aprovechamiento. Para el caso del Campo de Dalías es de 1.48 (Tabla 3.1)

Tabla 3.1. Superficie invernada y cultivada en el Campo de Dalías (DAPDR, 2018).

	Superficie (Ha)
Superficie invernada	20.657
Superficie cultivada	30.618
Índice de aprovechamiento	1,48

3.3. CULTIVOS

En el Campo de Dalías, los ocho cultivos que ocupan prácticamente la totalidad de la superficie cultivada son pimiento, tomate, berenjena, pepino, calabacín, judía, sandía, y melón. (DAPDR, 2018). La distribución de cada uno de los cultivos se detalla en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Distribución de superficie de los cultivos del Campo de Dalías (DAPDR, 2018).

Cultivo	Superficie cultivada (Ha)	Distribución (%)
Pimiento	8.689	28%
Tomate	3.200	10%
Berenjena	2.229	7%
Pepino	4.435	14%
Calabacín	5.216	17%
Judía	1.160	4%
Sandía	3.800	12%
Melón	1.889	6%

3.4. ÉPOCA DE IMPLANTACIÓN DE LOS CULTIVOS

Los diferentes ciclos productivos se clasifican según su fecha de implantación, en cultivos de ciclos de otoño o cultivos de ciclo de primavera.

Si un cultivo implantado en otoño se prolonga después de marzo se considera que es un ciclo largo, ya que sólo se realizará un cultivo por campaña. Sin embargo, si el cultivo de otoño se finaliza en diciembre o enero, es posible hacer un segundo cultivo en ciclo de primavera.

Los datos de superficie de los diferentes cultivos de la comarca del Campo de Dalías se presentan en la tabla 3.3 (DAPDR, 2018)

Tabla 3.3. Distribución de cultivos por época de plantación en el Campo de Dalías (DAPDR, 2018).

Cultivo	Ciclo Otoño	Primavera
Pimiento	6.684	2.005
Tomate	3.024	176
Berenjena	2.032	197
Pepino	3.531	904
Calabacín	4.332	884
Judía	1.054	106
Melón		3.800
Sandía		1.889
Total	20.657	9.961

3.5. CICLOS DE CULTIVO

Los datos de los ciclos de cultivo de cada uno de los diferentes cultivos estudiados, se obtienen de García-García et al. (2016). En la tabla 3.4 se detallan los diferentes ciclos productivos de cada uno de los cultivos.

Tabla 3.4. Distribución de ciclos de cultivo característicos en el Campo de Dalías (García-García et al., 2016).

Cultivo	Ciclos Otoño	Distribución (%)	Ciclo Primavera	Distribución (%)
Pimiento	Jul-Feb	40	Ene-Jun	100
	Jul-Abr	20		
	Ago-Abr	40		
Tomate	Ago-Ene	16	Ene-Jun	100
	Ago-May	70		
	Sep-May	14		
Berenjena	Jul-Ene	11	Ene-Jun	100
	Ago-May	78		
	Sep-May	11		
Pepino	Ago-Ene	36	Feb-Jun	100
	Sep-Ene	36		
	Oct-Mar	28		
Calabacín	Sep-Ene	58	Dic-May	100
	Oct-Mar	42		
Judía	Sep-Ene	73	Ene-Jun	100
	Nov-Abr	27		
Sandía			Ene-May	62
			Feb-Jun	38
Melón			Ene-May	61
			Feb-Jun	39

3.6. MEDIO DE CULTIVO

Se distingue entre dos medios de cultivo: suelo y sustrato. Los datos relativos a la distribución entre los cultivos realizados en suelo y sustrato, son extraídos de García-García et al. (2016). Tabla 3.5. Distribución de superficie en función del medio de cultivo (suelo-sustrato) en el Campo de Dalías (García-García et al., 2016).

Cultivo	Superficie suelo (%)	Superficie sustrato (%)
Pimiento	96	4
Tomate	83	17
Berenjena	93	7
Pepino	96	14
Calabacín	98	2
Judía	100	0
Sandía	93	7
Melón	96	4

3.7. CÁLCULO DEL APORTE DE N MINERAL

3.7.1. Riego

El N mineral se incorpora al medio de cultivo en el fertirriego. Por ello es necesario conocer el volumen de riego aplicado para cada ciclo productivo de cada cultivo.

El primer paso es calcular la evapotranspiración del cultivo (ETc). La ETc se calcula con el programa PrHo (Fernández et al., 2001; 2009). A los valores de ETc calculados se les aplica unos coeficientes RIS (Relative Irrigation Supply) presentados por Fernández et al. (2007). Una explicación más detallada del cálculo de las necesidades de agua se describe en el trabajo de Maeso Fuentes (2012).

3.7.2. Concentración de N mineral aplicada

La cantidad de N aportado en el fertirriego se obtiene de la relación entre el volumen de agua aplicado (mm) y la concentración del N mineral en la solución de fertirriego. Los datos de concentración promedio para cada cultivo se obtienen de Fernández y Camacho (2008) y fueron revisados después de una conversación con Juan José Magán, experto en fertirriego, de la Fundación Cajamar.

Para cultivos en suelo se determina una fase de establecimiento de 7 días en los que únicamente se aplica agua. Para el resto del ciclo productivo se aplica el valor presentado en la tabla 3.6. Para los cultivos en sustrato el valor de concentración se aplica para todo el ciclo productivo (Tabla 3.7).

Tabla 3.6. Concentración promedio de aplicación en los cultivos en suelo (Fernández y Camacho, 2008; J. Magán, com. personal).

Cultivo	[NO ₃ ⁻] (mmol L ⁻¹)	[NH ₄ ⁺] (mmol L ⁻¹)	[Ntotal] (mmol L ⁻¹)
Pimiento	11,00	0,50	11,50
Tomate	10,00	0,45	10,45
Berenjena	11,00	0,50	11,50
Pepino	12,00	0,55	12,55
Calabacín	11,00	0,50	11,50
Judía	12,00	0,55	12,55
Sandía	9,00	0,41	9,41
Melón	9,00	0,41	9,41

Tabla 3.7 Concentración promedio de aplicación en los cultivos en sustrato (Fernández y Camacho, 2008; J. Magán, com. personal).

Cultivo	[NO ₃ ⁻] (mmol L ⁻¹)	[NH ₄ ⁺] (mmol L ⁻¹)	[Ntotal] (mmol L ⁻¹)
Pimiento	12,00	0,50	12,55
Tomate	11,00	0,50	11,50
Berenjena	12,00	0,55	12,55
Pepino	13,00	0,59	13,59
Calabacín	12,00	0,55	12,55
Judía	13,00	0,59	13,59
Sandía	10,00	0,45	10,45
Melón	10,00	0,45	10,45

3.8. CÁLCULO DEL APORTE DEL N ORGÁNICO

El aporte de estiércol al suelo es una práctica habitual realizada por los agricultores del Campo de Dalías. Los volúmenes de estiércol aplicados al inicio de la campaña 2015/2016, fueron facilitados por la empresa agrícola Horticampo, principal distribuidora de estiércol de la comarca del Campo de Dalías.

El aporte de estiércol se realiza: (1) en la construcción de un invernadero, aplicando una capa de unos 3 cm (18 kg ha⁻¹) sobre la totalidad de la superficie del mismo, o (2) de forma periódica en posteriores incorporaciones.

Estas incorporaciones posteriores pueden ser (García-García et al., 2006):

- Retranqueo completo: conlleva el aporte de estiércol en toda la parcela de invernadero (1% de los invernaderos que hacen retranqueo).
- Retranqueo en carilla: el aporte de estiércol se realiza únicamente a lo largo de la línea de cultivo. Es el método más empleado en el Campo de Dalías (97%), ya que reduce el coste de mano de obra y el coste de estiércol aplicado.

- Retranqueo por golpes: Se hace el aporte de estiércol solamente en la zona donde se instala la planta en el suelo. Se reduce la mano de obra y el aporte de estiércol. Es el método menos costoso de los tres (1% de los invernaderos que hacen retranqueo).

Se opta por considerar únicamente el retranqueo en carillas como método de incorporación posterior.

Para determinar la fracción de superficie a la que se incorpora el estiércol se tiene en cuenta los marcos de plantación característicos para cada cultivo de otoño (Reche, 2012), considerando un ancho de carilla de 0,35 m.

De los valores obtenidos para cada cultivo se calcula la media ponderada para determinar la fracción promedio de superficie afectada por el retranqueo.

Tabla 3.8. Marcos de Plantación (Reche, 2012).

Cultivo	Distancia entre líneas (m)	Distancia entre goteros (m)
Pimiento	1,00	0,50
Tomate	1,00	0,40
Berenjena	1,50	0,75
Pepino	1,50	0,40
Calabacín	1,00	1,00
Judía	2,00	0,25

Con el volumen de estiércol aplicado y los datos característicos del mismo (% materia seca, densidad y %N) se puede establecer el N aportado en forma orgánica. De este N aportado en el suelo se tiene en cuenta la tasa de mineralización a lo largo del tiempo, según Schepers y Moiser (1991) como se muestra en la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Factores de mineralización a lo largo del tiempo (Schepers y Moisiej, 1991).

Año	Factor de mineralización
1	0,39
2	0,24
3	0,10
4	0,05

Para conocer el N mineralizado del estiércol para la campaña 2015/2016 ha de tenerse en cuenta en estiércol incorporado las campañas anteriores.

Se considera que la superficie de invernaderos nuevos en la campaña 2015/2016, respecto a la que había en la campaña anterior, realizan retranqueo, es decir, incorporan estiércol en la totalidad de la superficie de cultivo (DAPDR, 2018).

La proporción de invernaderos en suelo (sin contabilizar los invernaderos nuevos) que realiza incorporaciones posteriores de estiércol es del 75% (García-García et al., 2016).

Otro factor a tener en cuenta es la frecuencia de realización de incorporaciones posteriores. Según García-García et al. (2016) un 30% de la superficie en suelo que realiza incorporaciones posteriores lo hace cada dos años; un 40% cada tres años y un 30% cada cuatro años.

Considerando todo esto, resulta un valor de 27% a aplicar a los invernaderos en suelo para las incorporaciones posteriores de estiércol.

3.9. N EXTRAIDO POR LA PLANTA

La segunda parte del balance de N en la comarca del Campo de Dalías, es el cálculo de la extracción de nitrógeno en planta.

Para estimar la extracción de N fue necesario tener datos de rendimiento de los cultivos presentados en la tabla 3.10 (DAPDR, 2018) y del porcentaje de materia seca de fruto presentados en la tabla 3.11 (Varios Autores). La cantidad de materia seca de fruto (MSf) producida se obtiene de la relación entre el rendimiento y el porcentaje de materia seca de fruto (Varios Autores).

Tabla 3.10. Rendimiento de los cultivos del Campo de Dalías (DAPDR, 2018).

Cultivo	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
Pimiento	68.000
Tomate	97.000
Berenjena	77.000
Pepino	85.550
Calabacín	56.000
Judía	23.250
Sandía	65.000
Melón	41.000

Tabla 3.11. Porcentaje de materia seca de fruto e índice de cosecha de cultivos (Varios Autores).

Cultivo	MSf (%)	IC
Pimiento	8,12	0,54
Tomate	5,84	0,57
Berenjena	7,20	0,58
Pepino	4,44	0,59
Calabacín	6,20	0,49
Judía	8,10	0,44
Sandía	5,90	0,70
Melón	6,59	0,52

Con el dato de materia seca de fruto se obtiene la cantidad de materia seca total mediante el índice de cosecha (IC) de los cultivos (Varios Autores) según la relación $IC = MS_t / MS_f$.

Por último, la diferencia entre la cantidad de materia seca total y la materia seca de fruto da como resultado la materia seca vegetativa.

Por su parte la cantidad de N extraído por los cultivos se obtiene como la relación entre la materia seca de fruto y vegetativa con el porcentaje de N de fruto (%Nf) y vegetativo (%Nv), respectivamente (Tabla 3.12). Y la suma de estos dos valores es la cantidad de N extraído en planta.

Tabla 3.12. %N vegetativa y %N fruto de cultivos (Varios Autores)

Cultivo	N vegetativa (%)	N fruto (%)
Pimiento	3,30	2,63
Tomate	2,42	1,99
Berenjena	2,73	2,19
Pepino	2,55	2,89
Calabacín	3,20	3,50
Judía	2,55	3,55
Sandía	3,10	3,65
Melón	4,05	3,02

Los datos de índice de cosecha y porcentaje de materia seca e en biomasa y de frutos se obtienen de 134 estudios:

- 63 estudios del Grupo de Investigación en manejo de Cultivos Hortícolas Intensivos (Departamento de producción vegetal, UAL).
- 45 del banco de datos de investigaciones de la Fundación Cajamar.
- 8 estudios de Callejón-Ferre (Callejón-Ferre et al., 2011).

- 8 estudios de González Céspedes (González Céspedes, 2003).
- 6 estudios de Sánchez Cantó (Sánchez Cantó, 1999).
- 2 estudios de Alonso Ramírez (Alonso Ramírez, 2011).
- 1 estudio de García Balaguer (García Balaguer, 2007).
- 1 estudio de Contreras (Contreras et al., 2007).

De estos 134 estudios, 34 se realizaron en pimiento, 8 en berenjena, 9 en calabacín, 8 en sandía, 28 en tomate, 16 en pepión, 13 en judía y 18 en melón.

Los datos de %N en fruto y vegetativo se obtuvieron de 46 estudios:

- 34 del banco de datos de investigaciones de la Fundación Cajamar.
- 8 estudios de Callejón-Ferre (Callejón-Ferre et al., 2011).
- 2 estudios de Segura (Segura et al., 2009).
- 1 estudios de Alonso Ramírez (Alonso Ramírez, 2011).
- 1 estudio de Contreras (Contreras et al., 2007).

Los estudios se realizaron en todos los cultivos estudiados, siendo, 9 en pimiento, 3 berenjena, 3 en calabacín, 3 en sandía, 10 en tomate, 3 en pepino, 4 en judía y 11 en melón.

3.10. BALANCE DE N

Con los datos de N extraído por los cultivos, por un lado, y el N aportado tanto en forma mineral como orgánicas por otro, se calcula el balance de N para la comarca del Campo de Dalías para la campaña 2015/2016.

4. RESULTADOS

4.1. AGUA APLICADA

4.1.1. RIEGO TOTAL

Se presenta el resultado de los cálculos del volumen total de agua aplicada a los cultivos desarrollados en la comarca del Campo de Dalías a lo largo de la campaña agrícola 2015/2016. Además, se presentan los resultados desglosados para cada medio de cultivo y para cada época de implantación (otoño-primavera).

También se presentan los resultados totales en función de la superficie total invernada, así como de la superficie cultivada.

El volumen total de agua aplicada a los cultivos en el Campo de Dalías durante la campaña 2015/2016 fue de 80,6 hm³, con un 91% (73,4 hm³) del volumen aplicado destinado a los cultivos en suelo, y un 9% (7,2 hm³) destinado a los cultivos en sustrato, como se muestra en la tabla 4.1.

También se muestran los valores de ET_c promediados para cada época de implantación y medio de cultivo, alcanzando un valor de 326 mm si se toma como referencia la superficie invernada (Tabla 4.1) y de 204 mm si la referencia es la superficie cultivada (tabla 4.2)

Del mismo modo, el cálculo del riego promediado para cada época de implantación y medio de cultivo muestra un valor de 390 mm si se toma como referencia la superficie invernada (Tabla 4.1) y de 263 mm si la referencia es la superficie cultivada (tabla 4.2).

Con los valores totales de volumen de agua aplicada y superficie se calcula el RIS promediado para cada época de implantación y medio de cultivo, resultando un valor de 1,20 si se toma como referencia la superficie invernada (Tabla 4.1) y de 1,29 si la referencia es la superficie cultivada (tabla 4.2).

Tabla 4.1. Resumen de volúmenes de agua aplicada total y por superficie invernada en suelo y sustrato y en otoño y primavera.

	Superficie (ha)	Riego (m ³)	ETc (mm)	Riego (mm)	RIS
Total suelo en superficie invernada	19.173	73.411.146	326	283	1,18
Total sustrato en superficie invernada	1.484	7.163.475	333	483	1,45
Total	20.657	80.574.621	326	390	1,20

Tabla 4.2. Resumen de volúmenes de agua aplicada total y por superficie cultivada en suelo y sustrato y en otoño y primavera.

	Superficie (ha)	Riego (m ³)	ETc (mm)	Riego (mm)	RIS
Suelo otoño	19.173	53.204.569	234	277	1,18
Suelo primavera	9.363	20.206.577	187	216	1,15
Total suelo superficie cultivada	28.536	73.411.146	219	257	1,18
Sustrato otoño	1.484	5.558.202	258	375	1,45
Sustrato primavera	598	1.605.273	185	269	1,45
Total sustrato superficie cultivada	2.082	7.163.475	237	344	1,45
Total superficie cultivada	30.618	80.574.621	204	263	1,29

4.1.2. AGUA APLICADA: RIEGO PARA CICLO DE OTOÑO EN SUELO

El volumen de agua consumido en los cultivos de otoño en suelo asciende a 53,2 hm³ (Tabla 4.1), siendo el cultivo de pimiento el que mayor volumen consume, un 43% (22,9 hm³) como se muestra en la tabla 4.3. Cabe destacar que este cultivo ocupa un 33% de la superficie cultivada en otoño en suelo.

Tabla 4.3. Volúmenes de agua aplicada total y por superficie para cultivos de otoño en suelo.

	Superficie (ha)	Riego (m ³)	ETc (mm)	Riego (mm)	RIS
Pimiento	6.410	22.960.920	308	358	1,16
Tomate	2.513	9.487.386	335	378	1,13
Berenjena	1.898	6.971.734	313	367	1,17
Pepino	3.040	5.760.897	149	189	1,27
Calabacín	4.258	6.598.256	121	155	1,28
Judía	1.054	1.425.376	113	135	1,20

4.1.3. AGUA APLICADA: RIEGO PARA CICLO DE PRIMAVERA EN SUELO

Por su parte, los cultivos de primavera en suelo consumen 20,2 hm³ (Tabla 4.1), siendo el cultivo del melón el que mayor volumen se aplica, un 32% (6,4 hm³) como se muestra en la tabla 4.4. Cabe destacar que este cultivo ocupa un 19% de la superficie cultivada en suelo en primavera.

Tabla 4.4. Volúmenes de agua aplicada total y por superficie para cultivos de primavera en suelo.

Cultivo	Superficie (ha)	Riego (m ³)	ETc (mm)	Riego (mm)	RIS
Pimiento	1.923	5.038.318	194	262	1,35
Tomate	146	416.820	211	285	1,35
Berenjena	184	457.303	173	249	1,44
Pepino	778	1.820.167	140	234	1,67
Calabacín	869	2.272.747	186	262	1,40
Judía	106	261.333	194	247	1,27
Melón	3.542	6.373.898	190	180	0,95
Sandía	1.815	3.565.992	195	196	1,01

4.1.4. AGUA APLICADA: RIEGO PARA CICLO DE OTOÑO EN SUSTRATO

El volumen de agua consumida en los cultivos de otoño en sustrato asciende a 5,5 hm³ (Tabla 4.1), siendo el cultivo de tomate el que mayor volumen consume, un 45% (2,48 hm³) como se muestra en la tabla 4.5. Este cultivo ocupa un 7% de la superficie cultivada en otoño en sustrato.

Tabla 4.5. Volúmenes de agua aplicada total y por superficie para cultivos de otoño en sustrato.

Cultivo	Superficie (ha)	Riego (m ³)	ETc (mm)	Riego (mm)	RIS
Pimiento	274	1.221.386	308	446	1,45
Tomate	511	2.481.270	335	486	1,45
Berenjena	134	608.595	313	454	1,45
Pepino	491	1.014.347	155	225	1,45
Calabacín	74	142.604	134	194	1,45

4.1.5. AGUA APLICADA: RIEGO PARA CICLO DE PRIMAVERA EN SUSTRATO

El volumen de agua consumido en los cultivos de primavera en sustrato asciende a 1,6 hm³ (Tabla 4.1), siendo el cultivo de melón el que mayor volumen consume, un 44% (0,71 hm³) como se muestra en la tabla 4.6. Cabe destacar que este cultivo ocupa un 33% de la superficie cultivada en primavera en sustrato.

Tabla 4.6. Volúmenes de agua aplicada total y por superficie para cultivos de primavera en sustrato.

Cultivo	Superficie (ha)	Riego (m ³)	ETc (mm)	Riego (mm)	RIS
Pimiento	82	231.329	194	281	1,45
Tomate	30	83.085	193	279	1,45
Berenjena	13	32.602	173	251	1,45
Pepino	126	292.236	160	233	1,45
Calabacín	15	46.579	214	310	1,45
Melón	258	711.234	190	275	1,45
Sandía	74	208.209	195	283	1,45

4.2. APOORTE DE N

4.2.1. APOORTE TOTAL

Se presenta el resultado de los cálculos del aporte total de N en la comarca del Campo de Dalías a lo largo de la campaña agrícola 2015/2016. Los datos mostrados en la tabla 4.7 muestran las cantidades incorporadas como N_{mineral} y N_{orgánico}.

La cantidad total de N incorporado en el Campo de Dalías durante la campaña 2015/2016 fue de 16.689 t, con un 73% (12.248 t) de la cantidad aplicada en forma de N_{mineral} y un 23% (4.442 t) de la cantidad aplicada en forma de N_{orgánico}, como se muestra en la tabla 4.7.

Tabla 4.7. Resumen de cantidades de N aplicadas.

	N mineral (kg)	N orgánico (kg)
Suelo	11.032.983	4.441.739
Sustrato	1.214.743	-
Total	12.247.730	4.441.739

4.2.2. APORTE N_{mineral}

La cantidad total de N_{mineral} aplicado en el Campo de Dalías durante la campaña 2015/2016 fue de 12.248 t, con un 90% (11.033 t) de la cantidad aplicada a los cultivos en suelo, y un 10% (1.215 t) a los cultivos en sustrato, como se muestra en la tabla 4.8.

También se muestran los valores promediados totales, alcanzando un valor de 593 kg ha⁻¹ si se toma como referencia la superficie invernada (Tabla 4.8) y de 400 kg ha⁻¹ si la referencia es la superficie cultivada (tabla 4.9).

Tabla 4.8. Resumen de cantidades de N_{mineral} aplicado y por superficie invernada en suelo y sustrato, y en otoño y primavera.

	Superficie (ha)	N aplicado (kg)	N aplicado por hectárea (kg ha ⁻¹)
Suelo otoño	19.173	8.104.119	423
Suelo primavera	9.363	2.928.864	313
Total suelo	19.173	11.032.983	575
Sustrato otoño	1.484	956.527	645
Sustrato primavera	598	258.220	432
Total sustrato	1.484	1.214.746	819
Total	20.657	12.247.730	593

Tabla 4.9. Resumen de cantidades de N_{mineral} aplicado y por superficie cultivada en suelo y sustrato y en otoño y primavera

	Superficie (ha)	N aplicado (kg)	N aplicado por hectárea (kg ha ⁻¹)
Suelo otoño	19.173	8.104.119	423
Suelo primavera	9.363	2.928.864	313
Total suelo	28.537	11.032.983	387
Sustrato otoño	1.484	956.527	645
Sustrato primavera	598	258.220	432
Total sustrato	2.081	1.214.746	584
Total	30.618	12.247.730	400

4.2.3. N_{mineral}: APORTES PARA CICLO DE OTOÑO EN SUELO

La cantidad de N_{mineral} aplicado en los cultivos de otoño en suelo asciende a 8.104 t (Tabla 4.9), siendo el cultivo de pimiento el que mayor cantidad recibe, un 44% (3.549 t) como se muestra en la tabla 4.10.

Tabla 4.10. N_{mineral} aplicado en fertirriego total y por superficie para cultivos de otoño en suelo.

Cultivo	Superficie (ha)	N aplicado (kg)	N aplicado por hectárea (kg ha ⁻¹)
Pimiento	6.410	3.549.304	554
Tomate	2.513	1.340.434	533
Berenjena	1.898	1.078.176	568
Pepino	3.040	936.922	308
Calabacín	4.258	973.122	229
Judía	1.054	226.162	215

4.2.4. N_{mineral} : APORTES PARA CICLO DE PRIMAVERA EN SUELO

La cantidad de N_{mineral} aplicado en los cultivos de otoño en sustrato asciende a 2.929 t (Tabla 4.9), siendo el cultivo de melón el que mayor cantidad recibe, un 28% (3.549 t) como se muestra en la tabla 4.11.

Tabla 4.11. N_{mineral} aplicado en fertirriego total y por superficie para cultivos de primavera en suelo.

Cultivo	Superficie (ha)	N aplicado (kg)	N aplicado por hectárea (kg ha ⁻¹)
Pimiento	1.923	799.288	416
Tomate	146	60.186	412
Berenjena	184	72.573	394
Pepino	778	310.841	399
Calabacín	869	360.452	415
Judía	106	45.027	425
Melón	3.542	824.187	233
Sandía	1.815	456.309	251

4.2.5. N_{mineral} : APORTES PARA CICLO DE OTOÑO EN SUSTRATO

La cantidad de N_{mineral} aplicado en los cultivos de otoño en sustrato asciende a 956 t (Tabla 4.9), siendo el cultivo de tomate el que mayor cantidad recibe, un 42% (400 t) como se muestra en la tabla 4.12.

Tabla 4.12. N_{mineral} aplicado en fertirriego total y por superficie para cultivos de otoño en sustrato.

Cultivo	Superficie (ha)	N aplicado (kg)	N aplicado por hectárea (kg ha^{-1})
Pimiento	274	214.623	783
Tomate	511	399.676	782
Berenjena	134	106.943	797
Pepino	491	210.228	428
Calabacín	74	25.058	340

4.2.6. N_{mineral} : APORTES PARA CICLO DE PRIMAVERA EN SUSTRATO

La cantidad de N_{mineral} aplicado en los cultivos de primavera en sustrato asciende a 258 t (Tabla 4.9), siendo el cultivo de melón el que mayor cantidad recibe, un 40% (104 t) como se muestra en la tabla 4.13.

Tabla 4.13. N_{mineral} aplicado en fertirriego total y por superficie en sustrato en primavera.

Cultivo	Superficie (ha)	N aplicado (kg)	N aplicado por hectárea (kg ha^{-1})
Pimiento	82	40.649	494
Tomate	30	13.383	450
Berenjena	13	5.734	441
Pepino	126	55.631	443
Calabacín	15	8.185	545
Melón	258	104.149	403
Sandía	74	30.489	414

4.2.7. APORTE N_{orgánico}

La cantidad total de N_{orgánico} suministrado en forma de estiércol en el Campo de Dalías durante la campaña 2015/2016 fue de 4.442 t, con un 48% (2.124 t) de la cantidad aplicada a los invernaderos nuevos, y un 52% (2.317 t) a las aplicaciones posteriores, como se muestra en la tabla 4.14.

Tabla 4.14. N_{orgánico} aplicado.

	N orgánico (kg)
Invernaderos nuevos	2.124.424
Incorporaciones posteriores	2.317.316
Total	4.441.739

4.2.8. APORTE N_{orgánico}: INVERNADEROS NUEVOS

La cantidad de N_{orgánico} mineralizada desde el estiércol aportado en los invernaderos construidos, desde la campaña 2012/2013 hasta la campaña 2015/2016, asciende a 2.124 t (Tabla 4.14), repercutiendo un 86% (1.826 t) la mineralización del estiércol incorporado en campaña 2015/2016 y un 14% (295 t) la mineralización del estiércol incorporado en la campaña 2014/2015, como se muestra en la tabla 4.16.

Tabla 4.15. Nitrógeno mineralizado desde el estiércol aportado en los invernaderos nuevos.

Campaña	Superficie (ha)	N aportado (kg)	N mineralizado			
			2012/2013 (kg)	2013/2014 (kg)	2014/2015 (kg)	2015/2016 (kg)
2012/2013	0	-	-	-	-	-
2013/2014	27	72.025		28.090	10.544	3.339
2014/2015	756	2.016.706			789.515	295.246
2015/2016	1.755	4.681.638				1.825.839

4.2.9. APORTE N_{orgánico}: INCORPORACIONES POSTERIORES

La cantidad de N_{orgánico} mineralizada desde el estiércol aportado en incorporaciones posteriores (retranqueos), desde la campaña 2012/2013 hasta la campaña 2015/2016, asciende a 2.317 t (Tabla 4.14), repercutiendo un 66% (1.519 t) la mineralización del estiércol incorporado en campaña 2015/2016, un 24% (547 t) la mineralización del estiércol incorporado en la campaña 2014/2015 y un 10% (251 t) la mineralización del estiércol incorporado en las campañas 2012/2013 y 2013/2014, como se muestra en la tabla 4.17.

Tabla 4.16. Nitrógeno mineralizado desde el estiércol aportado en las incorporaciones posteriores.

Campaña	Superficie (ha)	N aportado (kg)	N mineralizado			
			2012/2013 (kg)	2013/2014 (kg)	2014/2015 (kg)	2015/2016 (kg)
2012/2013	4.520	3.733.429	1.456.037	546.574	173.082	77.887
2013/2014	4.520	3.733.429		1.456.037	546.574	173.082
2014/2015	4.526	3.738.992			1.458.207	547.388
2015/2016	4.715	3.894.766				1.518.959

4.3. N EXTRAIDO

4.3.1. N EXTRAÍDO TOTAL

La cantidad de N extraído por los cultivos para los cultivos desarrollados en la comarca del Campo de Dalías a lo largo de la campaña agrícola 2015/2016 asciende a 7.060 t (Tabla 4.17), contribuyendo un 94% (6.608 t) la extracción de cultivos en suelo y un 6% (452 t) la de cultivos en sustrato.

Tabla 4.17. Resumen de cantidades de N extraídas por los cultivos.

	N extraído (kg)
Suelo	6.608.502
Sustrato	451.545
Total	7.060.047

4.3.2. N EXTRAÍDO TOTAL POR LOS CULTIVOS

La cantidad de N extraído por los cultivos desarrollados en la comarca del Campo de Dalías a lo largo de la campaña agrícola 2015/2016 asciende a 7.060 t (Tabla 4.17), siendo el cultivo de pimiento el que mayor cantidad extrae, un 37% (2.605 t), seguido del calabacín, con un 18% (1,241 t) como se muestra en la tabla 4.18.

Tabla 4.18. Nitrógeno extraído por los cultivos.

Cultivo	N ext. Suelo (kg)	N ext. Sustrato (kg)	N ext. Total (kg)	N ext. por hectárea (kg ha ⁻¹)
Pimiento	2.498.649	106.824	2.605.473	300
Tomate	580.339	118.023	698.362	218
Berenjena	479.303	33.869	513.172	230
Pepino	676.229	109.171	785.400	177
Calabacín	1.220.430	21.106	1.241.536	238
Judía	148.511	-	148.511	128
Sandía	672.190	49.044	721.233	190
Melón	332.852	13.508	346.360	183

4.4. BALANCE DE N

4.4.1. BALANCE TOTAL

El exceso de N para la comarca del Campo de Dalías a lo largo de la campaña agrícola 2015/2016 asciende a un total de 9.629 t (Tabla 4. 19). La extracción total de N fue del 42% de N suministrado; por lo tanto, el 58% del N suministrado fue en exceso para los cultivos. El 92% (8.866 t) del exceso total fue de los cultivos en suelo y un 8% (7.632 t) de los cultivos en sustrato.

El exceso de N para la comarca del Campo de Dalías a lo largo de la campaña agrícola 2015/2016 ascienden a 9.629 t (Tabla 4.19).

El exceso de N fue 57% en los cultivos en suelo y 63% para los cultivos en sustrato.

Por su parte, la NUE total alcanza un 0,42, mientras que la relación para cultivos en sustrato se reduce a 0,37.

Tabla 4.19. Balance de N.

	N mineral (kg)	N orgánico (kg)	N total suministrado (kg)	Extracción de N (kg)	Exceso de N (kg)	NUE
Suelo	11.032.983	4.441.739	15.474.722	6.608.502	8.866.221	0,43
Sustrato	1.214.746	-	1.214.746	451.545	763.201	0,37
Total	12.247.730	4.441.739	16.689.469	7.060.047	9.629.422	0,42

4.5.2. BALANCE DE CULTIVOS EN SUELO

El balance de N para cultivos en suelo resulta un valor positivo de 8.866 t (Tabla 4.19), en el que el aporte mineral contribuye en un 71% (11.033 t) al total del N aportado.

El cultivo que mayor NUE revela es el calabacín con un valor de 0,57, mientras que tomate y berenjena son los cultivos que menor NUE presentan como se muestra en la tabla 4.20.

Tabla 4.20. Balance de N. Cultivos en suelo.

Cultivo	N mineral (kg)	N orgánico (kg)	N total suministrado (kg)	N extraído (kg)	Exceso de N (kg)	NUE
Pimiento	4.348.592	1.296.996	5.645.588	2.498.649	3.146.939	0,44
Tomate	1.400.620	413.906	1.814.526	580.339	1.234.187	0,32
Berenjena	1.150.750	324.047	1.474.797	479.303	995.494	0,32
Pepino	1.247.763	594.357	1.842.120	676.229	1.165.891	0,37
Calabacín	1.333.574	798.071	2.131.645	1.220.430	911.215	0,57
Judía	271.189	180.555	451.744	148.511	303.233	0,33
Sandía	824.187	551.252	1.375.439	672.190	703.249	0,49
Melón	456.309	282.557	738.866	332.852	406.014	0,45

4.5.3. BALANCE DE CULTIVOS EN SUSTRATO

El balance de N para cultivos en sustrato resulta un valor positivo de 763 t (Tabla 4.19). El cultivo que mayor NUE revela es el calabacín con un valor de 0,63, mientras que tomate y berenjena son los cultivos que menor NUE presentan como se muestra en la tabla 4.21.

Tabla 4.21. Balance de N. Cultivos en sustrato.

Cultivo	N mineral (kg)	N extraído (kg)	NUE
Pimiento	255.272	106.824	0,42
Tomate	413.059	118.023	0,29
Berenjena	112.677	33.869	0,30
Pepino	265.859	109.171	0,41
Calabacín	33.243	21.106	0,63
Sandía	104.149	49.044	0,47
Melón	30.489	13.508	0,44
Total	1.214.746	451.545	0,37

5. DISCUSIÓN

5.1. SUPERFICIE

Durante los últimos 30 años, la superficie invernada en la comarca del Campo de Dalías ha aumentado paulatinamente hasta llegar a las 20.658 ha que hay en la campaña 2015/2016. Comparando la superficie invernada actual con la superficie invernada en la campaña 1985/1986, se observa que se ha duplicado la superficie invernada, siendo el cultivo de pimiento el que mayor superficie ocupa en la comarca del campo de Dalías. El índice de ocupación se ha reducido ligeramente, situándose en 1,48 para la campaña 2015/2016.

En la campaña 2015/2016 la superficie de invernada en suelo es de un 93%, y la superficie invernada en sustrato de un 7%. Durante las diferentes campañas agrícolas el cultivo en suelo ha ido aumentando, hasta llegar a un pico de porcentaje de superficie invernada en sustrato en la campaña 2005/2006, en la que un 31% de la superficie invernada en la comarca del Campo de Dalías se establecía en sustrato (Jadoski, 2011). El incremento de la superficie invernada en sustrato hasta la campaña 2005/2006, fue el creciente aumento de las enfermedades fúngicas y de nematodos. Para evitar problemas del suelo, muchos agricultores optaban por establecer los cultivos en sustrato. En las campañas posteriores se reduce paulatinamente la superficie invernada en sustrato, ya que surgen patrones de suelo para diferentes cultivos hortícolas que presentan tolerancia a ciertas enfermedades del suelo. Actualmente solo el 7% de los agricultores optan por el cultivo en sustrato.

Tabla 5.1. Superficie invernada, índice de ocupación, superficie cultivada desde la campaña 1985/1986 hasta la campaña 2015/2016. Distribución de cultivos por suelo y sustrato desde la campaña 1985/1986 hasta la campaña 2015/2016.

Campaña agrícola	2015/2016		2005/2006		1995/1996		1985/1986	
Superficie invernada (Ha)	20.658		18.320		14.790		10.480	
Índice de ocupación	1,48		1,50		1,60		1,65	
Superficie cultivada (Ha)	30.619		27.563		23.664		17.292	
Cultivo	Suelo (Ha)	Sustrato (Ha)						
Pimiento	8.403	286	6.289	850	3.956	566	3.918	-
Tomate	2.816	384	2.008	1.801	2.391	2.366	3.305	-
Berenjena	2.059	169	1.103	119	576	66	412	-
Pepino	4.160	275	2.394	1.095	1.219	601	997	-
Calabacín	5.132	83	3.388	177	1.670	92	687	-
Judía	1.160	-	1.375	81	2.819	176	3.024	-
Sandía	3.800	-	1.961	949	2.469	1.290	3.437	-
Melón	1.639	249	3.306	667	2.804	602	1.512	-

5.2. AGUA APLICADA

En la campaña 2015/2016, con los cálculos realizados, se obtiene que se ha aplicado un total de 80,6 hm³ de agua a la superficie del Campo de Dalías. Para el cultivo en suelo se han destinado un total de 73,4 hm³ de agua, y para el caso del cultivo en sustrato un total del 7,2 hm³ de agua.

5.3. APORTE DE N_{mineral}

La cantidad de N mineral aplicado en la comarca del Campo de Dalías durante la campaña 2015/2016 fue de un total de 12.248 t aplicadas a superficie invernada del Campo de Dalías. Con respecto a campañas anteriores, el N mineral aplicado en las campañas 2005/2006, 1995/1996 y 1985/1986, fue de 12.971 t, 11.535 t y 9007 t respectivamente (Jadoski, 2011). Se observa un paulatino aumento de N mineral aplicado a la superficie invernada hasta la campaña 1995/1996 provocado porque se ha aumentado la superficie invernada, y ello produce una mayor cantidad de N mineral en la superficie total del Campo de Dalías. En la campaña 2015/2016, se observa una ligera disminución del N mineral aplicado, aunque si tenemos en cuenta que la superficie invernada se ha seguido incrementando, llegamos a la conclusión que se ha reducido las cantidades aplicadas de N mineral por hectárea. En la campaña 2015/2015 existe un aporte de 0,59 t ha⁻¹, mientras que en la campaña 2005/2006 se produce un aporte de 0,71 t ha⁻¹.

Aunque se ha reducido la incorporación de N mineral, se debe de seguir reduciendo esa cantidad ya sigue siendo excedentario.

5.4. APORTE DE N_{orgánico}

El aporte de N orgánico al Campo de Dalías para la campaña 2015/2016 es de 4.442 t. De esta cantidad un 52% es aportado por aportaciones por medio de retranqueo, y un 48% es aportado a invernaderos nuevos. En las campañas 2005/2006, 1995/1996 y 1985/1986, el aporte de N orgánico al Campo de Dalías es de 2.251 t, 3.009 t y 5.449 t respectivamente (Jadoski, 2011). Se ha reducido paulatinamente la incorporación de N orgánico a los cultivos hasta la campaña 2005/2006, en la que se mantiene la cantidad de estiércol que incorporan los agricultores por medio de retranqueo, pero al aumentar la superficie invernada, produce que el total de N orgánico incorporado a la comarca del Campo de Dalías sea superior a las anteriores campañas.

5.5. N EXTRAIDO POR LOS CULTIVOS

La extracción de N por los cultivos de la comarca del Campo de Dalías para la campaña 2015/2016 se establece en 7.060 t. Durante las campañas 2005/2006, 1995/1996 y 1985/1986, la extracción de N por los cultivos fue de 5.748 t, 4.629 t y 3.364 t respectivamente (Jadoski, 2011). Se observa un aumento de la extracción de N por parte de cultivos, pero es simplemente por el aumento de la superficie invernada en la comarca del campo de Dalías.

5.6. BALANCE DE NITRÓGENO

El balance de nitrógeno de la comarca del Campo de Dalías, ha incrementado en los últimos diez años la incorporación de nitrógeno a los invernaderos de la comarca del Campo de Dalías. El exceso de N en la comarca del Campo de Dalías es provocado

principalmente por el aumento de la superficie invernada en la comarca del Campo de Dalías. Si tenemos en cuenta que la superficie invernada se ha duplicado en los últimos 30 años, el exceso de N por hectárea, no ha hecho más que disminuirse años tras año. El exceso de N por hectárea para las campañas 2015/2016, 2005/2006, 1995/1996 y 1985/1986, es de 0,47 t ha⁻¹, 0,52 t ha⁻¹, 0,67 t ha⁻¹ y 1,07 t ha⁻¹, respectivamente. Teniendo en cuenta estos datos, se observa que se ha reducido el exceso de N por hectárea, pero al aumentar la superficie invernada, hace que los esfuerzos por llegar a los límites de N que establece la Unión Europea sean en vano.

Tabla 5.2. Aporte de N mineral y orgánico, aporte total de N, extracción de N y Balance de N para el Campo de Dalías en las Campañas agrícolas 2015/2016, 2005/2006, 1995/1996 y 1985/1986.

	Campaña 2015/2016	Campaña 2005/2006	Campaña 1995/1996	Campaña 1985/1986
Aporte de N mineral (Tn)	12.247	12.971	11.535	9.007
Aporte de N orgánico (Tn)	4.442	2.251	3.009	5.443
Aporte total de N (Tn)	16.689	15.222	14.544	14.450
Extracción de N (Tn)	7.060	5.748	4.629	3.364
Balance de N (Tn)	9.629	9.474	9.915	11.086

5.7. MEDIDAS PARA LA DISMINUCIÓN DEL EXCESO DE N

Una medida a tener en cuenta para reducir el exceso de N en las próximas campañas, es establecer un límite de construcción de nuevos invernaderos, medida que deben tomar las autoridades competentes.

Con respecto a la incorporación de N mineral, se debe de controlar periódicamente la concentración de NO₃⁻, en la solución nutritiva para que el agricultor aplique la concentración de NO₃⁻ deseada. El control de la concentración de NO₃⁻ en los invernaderos, se puede realizar mediante sondas de succión. Las sondas de succión consisten en tubo con una capsula cerámica en el fondo y un tapón en la parte de arriba, del cual se extrae la solución. Existen otras sondas de succión de pequeño tamaño, conocidas como “pelos radicales”, que disponen de un polímero poroso de 2,5 mm de diámetro conectado a un tubo con vacío. Estas últimas sondas son más baratas y más

fáciles de usar (Granados et al., 2018).

Con cualquiera de las sondas de succión disponibles en el mercado se puede medir la concentración de NO_3^- , y recientes estudios del IFAPA y la estación experimental de Cajamar han demostrado que el control de la concentración de NO_3^- , reduce la cantidad de N aplicado, y por tanto la pérdida de N por lixiviación, manteniendo la producción (Granados et al., 2018).

Por otra parte, disponemos de software específico para el cálculo de la dosis de riego y necesidades de N de los cultivos. Uno de los programas disponibles para el control de riego es Software VegSyst-DSS, con el cual se establece una serie de parámetros de la finca como son el blanqueo, distancia entre goteros, cultivo, fecha de plantación, etc. Introduciendo los parámetros, el programa calcula la dosis bruta de riego y la cantidad de fertilización diaria (Gallardo et al., 2015).

Tenemos a nuestra disposición gran cantidad de maneras de reducir el exceso de N en la comarca del Campo de Dalías, y así, conseguir que las aguas subterráneas del Campo de Dalías estén por debajo del límite de $50 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$ de N, como marca la directiva de la Unión Europea (Fletcher, 1991).

6. CONCLUSIONES

La superficie invernada para la comarca del Campo de Dalías se ha incrementado hasta las 20.658 ha, un 11% más que la campaña 2005/2006.

El aporte de N mineral en el Campo de Dalías durante la campaña 2015/2016, ha disminuido un 6% con respecto a la campaña 2005/2006, siendo de 12.247 t

El aporte de N orgánico en la comarca del Campo de Dalías para la campaña 2015/2016 se establece en 4.442 t.

El aporte de N total se incrementa hasta las 16.689 t para la campaña 2015/2016, incrementándose con respecto a la campaña 2005/2006 un 9%.

La extracción de N por los cultivos de la comarca del Campo de Dalías para la campaña 2015/2016 aumenta un 19% con respecto a la campaña agrícola 2005/2006, situándose en 7.060 t.

El balance de N durante la campaña 2015/2015 es excedentario, produciéndose un exceso de 9.629 t de N, produciéndose un aumento del 2% del N suministrado a los cultivos con respecto a la campaña 2005/2006

7. BIBLIOGRAFÍA

- Allison, F. E.; Lawrence, J.; Yakovchenco, V. Cambardella, C.; Doran, J. Soil organic matter and its role in crop production. 1973.
- Batjes, N. H. Total carbon and nitrogen in soils of the world. European journal of soil science. 1996
- BOJA, 2015. Orden del 1 de julio 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.
- BOJA, 2003. Orden de 14 de marzo de 2003, por la que aprueba el mapa de comarcas de Andalucía a efectos de la planificación de oferta turística y deportiva. Boletín Oficial de la Comunidad Autónoma de Andalucía nº 59 de 27/03/2003: 6428-6435.
- Bretones, F., 2003. El Enarenado: 111-118. En: F. Camacho (Coord.). Técnicas de producción en cultivos protegidos. Caja Rural Intermediterránea, Cajamar. Almería, España.
- Cabrera, A., Marzo, B., Uclés, D., Molina, J., Gázquez, J.C., García, R. 2010. Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2009/ 2010. Informes y monografías. Fundación Cajamar: 9-15.
- Camacho Ferre, F.; y Fernández Rodríguez, E. J. Manual práctico de fertirrigación en riego por goteo. 2007
- Camacho-Ferre, F. Técnicas de producción de cultivos protegidos. Tomos I e II. Editora Fundación Cajamar, 2003.
- Cameron, K. C. y Haynes, R. J. Retention and movement of nitrogen in soils. 1986
- Céspedes, A. J., García, M.C., Pérez-Parra, J.J., Cuadrado, I.M., 2009. Caracterización de la explotación hortícola protegida Almeriense. Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería. Almería.

- CMAOT. Consejería de medio ambiente y ordenación territorial de la Junta de Andalucía, 2013
- Contreras, J. I. Optimización de las estrategias de Fertirrigación de cultivos hortícolas en invernadero utilizando aguas de baja calidad en condiciones de litoral de Andalucía. 2014.
- Contreras, J. I.; Segura, M. L.; Galindo, P.; López-Segura, J. G.; Catalá, J. J. Efecto de la Fertirrigación NK y la calidad del agua de riego sobre la producción y extracciones nutricionales de melón en invernadero. 2007
- Contreras, J. I.; Segura, M. L.; Galindo, P. Response of greenhouse tomato crops to NPK fertilization and quality of irrigation water. 2007
- Delegación de Agricultura y Pesca de Andalucía-DAP. Estadísticas de superficie cultivada en el Campo de Dalías para la campaña 2016/2017. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Delegación Provincial de Almería. 2017.
- Fernández, M.D., Céspedes, A., López, J.C., Pérez, J. y González, A., 2001a. PrHo: Programa de riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sureste español. En: Actas de XIX Congreso Nacional de Riegos, Zaragoza, España. 29 pp. y CD ROM.
- Fletcher, D. A.; Follet, J. R.; Keeney, D. R.; Cruse, R. M. Managing nitrogen for groundwater quality and farm profitability. 1991.
- Follet, J. R. y Follet, R. F. Utilization and metabolism of nitrogen by humans. Nitrogen in the environment: sources, problems and management. 2001.
- García García, M. D.; Céspedes López, A. J.; Pérez Parra, J. J.; Lorenzo Mínguez, P. El sistema de producción hortícola protegido de la provincia de Almería. IFAPA. 2016.

- Granados, M. R.; Thompson, R. B.; Fernández, M. R.; Gázquez, J. C.; Gallardo, M. L.; Martínez-Gaitán, C. Reducción de la lixiviación de nitratos y manejo mejorado de nitrógeno con sondas de succión en cultivos hortícolas. 2007
- Instituto de estadística y cartografía de Andalucía, 2017
- Instituto de estudios Cajamar, 2010. El modelo económico almeriense basado en la agricultura intensiva. Informes y Monografías.
- Jadoski, S. Thompson, R., Peña-Fleitas, M.T., Gallardo, M. (2013). Regional N balance for intensive vegetable production system in South-Eastern Spain. Paper presented at: International Workshop on Nitrogen, Environment and Vegetables (NEV2013), 15-17 abril 2013, Turín, Italia, NEV2013). P50-51.
- Kelly, J. R.; Follet, R. F.; Hatfield, J. L. Nitrogen effects on coastal marine ecosystems. 2001
- Kronvarg, B.; Jensen, J. P.; Hoffmann, C. C.; Boers, P. Nitrogen transport and fate in european streams, rivers, lakes and wetlands. 2001.
- López-Fernández, A., Thompson, R. B., Gallardo, M., Plaza, B. y Fernández, M. D. 2009. Nitrate leaching from comercial vegetable production in greenhouses in south-eastern Spain (Almería). En: Proceedings of 16th International Nitrogen Workshop, 28 junio – 1 julio. Turín, Italia.
- MAGRAMA, 2016. Encuestas sobre superficies y rendimientos de cultivos.
- Maeso Fuentes, L. Ajuste y validación del modelo de estimación a escala regional de los flujos de agua para el Campo de Dalías (Almería). 2012
- Molina, J., 2003. El papel de la agricultura intensiva en la economía de la provincia de Almería. En F. Camacho (Coord.) Técnicas de producción en cultivos protegidos: 29-50. Caja Rural Intermediterránea, Cajamar. Almería, España
- Peña, M.T., 2009. Estimación a escala regional de los flujos de agua y la lixiviación de nitratos en el Campo de Dalías (Almería). Proyecto Fin de Carrera. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.

- Pérez-Parra, J. y Céspedes, A. 2001. Análisis de la demanda de inputs para la producción en el sector de cultivos protegidos de Almería. En: I. M. Cuadrado (Ed.) Estudio de la demanda de inputs auxiliares: Producción y manipulación en el sistema productivo agrícola almeriense: 1-102. Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería. Almería, España.
- Pérez-Parra J., López, J. C., Fernández, M. D., 2002. La agricultura del sudeste: Situación actual y tendencias de las estructuras de producción en la horticultura almeriense: 262-282. En J. M. García (Coord.) Mediterráneo Económico: La Agricultura Mediterránea en el siglo XXI, Caja Rural Intermediterránea, Cajamar. Almería, España.
- Pérez, J.; López, C. Juan; Fernández, M. D. La agricultura del sureste: situación actual y tendencias de las estructuras de producción en la horticultura almeriense. In: Colección Mediterráneo económico, n.2: La agricultura Mediterránea en el siglo XXI. Ed. Fundación Cajamar. 2002, p.262-282.
- Plaster, E. J. La ciencia del suelo y su manejo. 1997
- Pulido-Bosch, A., 1989. Caracterización Hidrogeoquímica del Campo de Dalías. Instituto Andaluz de Reforma Agraria-Universidad de Granada. Granada, España. 256 pp.
- Reche Mármol, J. Agua, Suelo y Fertirrigación de Cultivos Hortícolas en Invernadero. Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008, 377p.
- Schepers, J. S; Mosier, A. R. Accounting for nitrogen in non-equilibrium soil-crop systems. P.125-138 In: managing nitrogen for groundwater cropping and farm profitability. Edited by R.F. Follett et al, Madison, soil Science Society of America. 1991.
- Thompson, R. B., Martínez-Gaitán, C., Gallardo, M., Giménez, C., Fernández, M. D., 2007. Identification of irrigation and N Management practices that contribute to nitrate leaching loss from a intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey. Agricultural Water Management, 89: 261-274.

- Zapata, A., 2001. El problema del agua para los cultivos hortícolas de Almería. V Simposio sobre el agua en Andalucía.