



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Y FACULTAD DE
CIENCIAS EXPERIMENTALES**

**TITULACIÓN DE INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA
HORTOFRUTICULTURA Y JARDINERÍA**

**Evaluación de nitratos y fostatos en cultivo ecológico
invernado de tomate
(*Lycopersicon esculentum* Mill), variedad racymo RZ, en un
suelo enarendo modificado por mezcla completa de arena, en
relación al contenido de humedad del suelo.**

DIRECTOR:

Dr. D. Fernando del Moral Torres.

ALUMNO:

María Fernández Pérez.

ALMERÍA, JULIO DE 2013.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTERÉS Y OBJETIVOS.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRAFÍA.....	4
2.1. LA AGRICULTURA CONVENCIONAL.....	4
2.2. LA AGRICULTURA ECOLÓGICA.....	5
2.2.1. DEFINICIÓN Y EVOLUCIÓN.....	5
2.2.2. SITUACIÓN ACTUAL.....	6
2.2.3. NORMANTIVA VIGENTE.....	9
2.2.4. CONTROL Y CERTIFICADOS.....	9
2.2.5. ¿QUE PERSIGUE LA AGRICULTURA ECOLÓGICA?.....	10
2.2.6. ¿A QUÉ PROBLEMAS SE ENFRENTA LA AGRICULTURA ECOLÓGICA?.....	12
2.3. EL SUELO.....	13
2.3.1. LA IMPORTANCIA DE UN SUELO FERTIL.....	14
2.3.2. MATERIA ORGÁNICA Y HUMUS.....	15
2.3.3. FERTILIZACIÓN ECOLÓGICA- EL ESTIÉRCOL.....	16
2.4. EL ENARENADO.....	19
2.5. MOVIMIENTO ASOCIADO AL AGUA. DISTRIBUCIÓN DE NUTRIENTES, SALES Y AGUA DE RIEGO.....	21
2.5.1. DESPLAZAMIENTO DEL AGUA.....	21
2.5.2. SANIDAD Y DRENAJE.....	21
2.5.3. RIEGO LOCALIZADO (RIEGO POR GOTEO).....	22
2.5.4. INFLUENCIA DEL CONTENIDO EN MO.....	22
2.5.5. IMPORTANCIA DEL MOVIMIENTO DE LAS SALES.....	24
2.6. LA AGRICULTURA ECOLÓGICA EN INVERNADERO.....	24
2.7. CULTIVO DEL TOMATE.....	26
2.8. EL NITRÓGENO.....	28
2.8.1. EL NITRÓGENO EN SUELO.....	28
2.8.1.1. Lixiviación y movimiento de nitratos.....	30
2.8.2. EL NITRÓGENO EN TOMATE.....	31

2.9. EL FÓSFORO.....	32
2.9.1. EL FÓSFORO EN SUELO.....	33
2.9.2. EL FÓSFORO EN TOMATE.....	35
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS MEDIOS.....	37
3.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL INVERNADERO.....	37
3.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO NATURAL.....	38
3.1.3. MATERIAL VEGETAL.....	39
3.1.4. RIEGO Y NUTRICIÓN.....	40
a) Riego.....	40
b) Nutrición.....	41
3.1.5. PREVENCIÓN DE PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	42
3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	43
3.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DE SUELO MODIFICADO.....	43
3.2.2. DURACIÓN Y PATRÓN EXPERIMENTAL DE RIEGO.....	47
3.3. MUESTREO.....	50
3.3.1. SUELO.....	50
a) Medida del contenido volumétrico de humedad en suelo (Sonda PR1).....	50
b) Toma de muestras de suelo.....	51
3.3.2. HOJA.....	52
3.3.3. FRUTO.....	53
3.4. ANÁLISIS EN LABORATORIO.....	53
3.4.1. SUELO.....	53
3.4.2. HOJA.....	54
3.4.3. FRUTO.....	54
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4.1. CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HÍDRICO DE LOS SUELOS DEL INVERNADERO.....	56
4.1.1. ANTES DE ESTABLECER EL CULTIVO.....	56
a) Estado hídrico del suelo antes de iniciar los riegos.....	56
b) Evaluación de la dinámica hídrica del suelo, partiendo de un suelo seco, con la aplicación de un primer riego de 20 minutos.....	57
4.1.2. UNA VEZ ESTABLECIDO EL CULTIVO.....	60
a) Evaluación de la dinámica hídrica del suelo, tras haber recibido varios riegos.....	60
b) Evolución del contenido hídrico a lo largo del ciclo de cultivo.....	67

4.2. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN SUELO Y HOJA.....	70
4.2.1. EVALUACIÓN EN SUELO.....	70
4.2.2. EVALUACIÓN EN HOJA.....	72
4.3 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE LOS FRUTOS Y PRODUCCIÓN DEL CULTIVO.....	73
4.3.1 PARÁMETROS DE CALIDAD.....	73
4.3.2 PRODUCCIÓN.....	78
5. CONCLUSIONES.....	79
BIBLIOGRAFÍA.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura R1: Evolución de la Producción Agrícola Ecológica en España (1991-2009).Superficie.....	7
Figura R2: Evolución de la Producción Agrícola Ecológica en España (1991-2009). Número de operadores.....	7
Figura R3: Productores en Agricultura Ecológica. Distribución por Comunidades autónomas. Año2009.....	8
Figura R4: Logotipo de la UE.....	10
Figura R5: Logotipo del CAAE.....	10
Figura R6: Descomposición de la materia orgánica en elementos minerales.....	16
Figura R7: Estructura de un suelo enarenado.....	19
Figura M1: Pasillo central del invernadero.....	37
Figura M2: Curva característica de humedad del sustrato sobre el que se construyó el invernadero.....	39
Figura M3: Imágenes de los perfiles correspondientes a los cuatro sectores en los que está dividido el invernadero experimental.....	44
Figura M4: Profundidad de los diferentes horizontes en cada uno de los sectores del invernadero.....	45
Figura M5: Curva acumulada de riego para cada uno de los sectores de estudio.....	47
Figura M6: Horas acumuladas de riego para un gotero tipo de cada sector.....	48
Figura M7: Volumen acumulado de agua por planta para cada uno de los cuatro sectores del invernadero.....	49
Figura M8: Estadillo para la toma de datos de humedad en el suelo.....	51
Figura M9: Marcaje de las plantas muestra.....	52
Figura M10: Soluciones de cada muestra.....	54

Figura RD1: Distribución de la humedad en los cuatro sectores experimentales antes de comenzar los primeros riegos en el invernadero.....	56
Figura RD2: Patrón de distribución de la humedad gravimétrica en profundidad para cada uno de los distintos sectores en que está dividido el invernadero tras el primer riego de 20 minutos.....	57
Figura RD3: Patrón de distribución de la humedad en profundidad en el perfil de suelo del sector 1, entre dos riegos de 30 minutos realizados en días consecutivos.....	61
Figura RD4: Patrón de distribución de la humedad en profundidad en el perfil de suelo del sector 2, entre dos riegos de 30 minutos realizados en días consecutivos.....	62
Figura RD5: Patrón de distribución de la humedad en profundidad en el perfil de suelo del sector 3, entre dos riegos de 45 minutos realizados en días consecutivos.....	65
Figura RD6: Patrón de distribución de la humedad en profundidad en el perfil de suelo del sector 4, entre dos riegos de 45 minutos realizados en días consecutivos.....	66
Figura RD7: Curvas de distribución promedio de humedad en el perfil de los sectores indicados, en sondas situadas bajo el gotero, para diferentes períodos del ciclo de cultivo.....	68
Figura RD8: Curvas de distribución promedio de humedad en el perfil de los sectores indicados, en sondas situadas bajo el pasillo, para diferentes períodos del ciclo de cultivo.....	69
Figura RD9: Evolución de los °Brix en los sectores 1, 2,3 y 4 a lo largo del ciclo de cultivo y del promedio total.....	75
Figura RD10: Evolución del peso del fruto en los sectores 1, 2,3 y 4 a lo largo del ciclo de cultivo y del promedio total.....	75
Figura RD11: Evolución del diámetro máximo del fruto en los sectores 1, 2,3 y 4 a lo largo del ciclo de cultivo y del promedio total.....	76
Figura RD12: Evolución del número de frutos por ramo en los sectores 1, 2,3 y 4 a lo largo del ciclo de cultivo y del promedio total.....	76
Figura RD13: Proporción de frutos para cada uno de los calibres.....	77
Figura RD14: Producción acumulada en la finca a lo largo del ciclo de cultivo.....	78

ÍNDICE TABLAS

Tabla R1: Evolución de las principales magnitudes (2004-2009) en España.....	8
Tabla R2: Comparación de magnitudes físico-químicas del suelo entre un manejo convencional y uno ecológico en invernadero.....	25
Tabla R3: Producciones medias de tomate en invernadero.....	26
Tabla R4: Datos medios para riego con agua de buena calidad, por goteo, cuya red tenga una uniformidad de aplicación. Tomate de crecimiento indeterminado, transplantado a primeros de enero, con finales de ciclo en junio.....	27
Tabla R5: Datos de producción de tomate en Almería y Andalucía (2007-2012).....	28
Tabla R6: Contenido de nitratos en el perfil del suelo.....	30
Tabla M1: Composición química del suelo original.....	38
Tabla M2: Fracciones granulométricas de la marga utilizada como sustrato original en la construcción del invernadero.....	39
Tabla M3: Gasto aproximado de los fertilizantes a lo largo del ciclo y riqueza de los mismos.....	41
Tabla M4: Calendario de abonados por fecha de aplicación.....	42
Tabla M5: Datos analíticos del estiércol aportado en la finca.....	44
Tabla M6: Propiedades de los horizontes artificiales del suelo en los sectores 1 y 4.....	46
Tabla RD1: Promedio en suelo en cada uno de los sectores 1,2,3 y 4 de pH, conductividad eléctrica (CE), nitratos, fosfatos y sulfatos.....	70
Tabla RD2: Promedio en suelo en cada uno de los horizontes del suelo de pH, conductividad eléctrica (CE), nitratos, fosfatos y sulfatos.....	71
Tabla RD3: Promedio en suelo para cada una de las fechas de pH, conductividad eléctrica (CE), nitratos, fosfatos y sulfatos.....	71
Tabla RD4: Promedio en hoja en cada uno de los sectores 1, 2, 3 y 4 de nitrógeno y fósforo.....	72
Tabla RD5: Promedio en hoja en cada uno de los horizontes de nitrógeno y fósforo.....	72

Tabla RD6: Promedio en parámetros de calidad de los frutos según sectores.....73

Tabla RD7: Promedio en parámetros de calidad de los frutos en cada una de las fechas de recogida.....74

1. INTERÉS Y OBJETIVOS

1. INTERÉS Y OBJETIVOS

La **Agricultura Ecológica**, es un sistema de manejo, que promueve y fomenta la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica edáfica, basándose en un uso mínimo de insumos procedentes del exterior de la explotación y en prácticas agrícolas que restauran, mantienen e intensifican la armonía ecológica (Allen y Kovach, 2000).

Su origen podemos situarlo una vez finalizada la II Guerra Mundial, da comienzo la modernización agraria y con ella sus primeros efectos negativos (contaminación de recursos hídricos, erosión, pérdida de fertilidad de los suelos, etc.). Numerosos grupos sociales surgirán en protesta a este modelo, y no será hasta 1972, en el Congreso de Versalles, cuando se cree la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Ecológica (**IFOAM**) destinada a fomentar y difundir el manejo ecológico de los recursos naturales (Alonso, 2001).

La situación actual de la Agricultura Ecológica es muy prometedora, no solo por su presencia en la mayor parte de los países del mundo sino también por haber conseguido consolidarse como una alternativa a la Agricultura Convencional, donde incluimos tanto a los países industrializados, donde su mercado crece a tasas vertiginosas (especialmente en algunos países de la Unión Europea, Suiza, Japón y Estados Unidos), como a diversos países del sur. Concretamente la Unión Europea (encabezada por Italia, Alemania, Reino Unido, España y Francia por orden de importancia) recoge el 33% de las explotaciones dedicadas a la Agricultura Ecológica, pero es Oceanía cuya superficie es líder en dicho sector. La FAO está intensificando el apoyo a su extensión y, al hacerlo, está tratando de promover el vacío legal existente en la mayor parte de los países (Scialabba, 2000).

La evolución de la Agricultura Ecológica va encauzada a solventar todos aquellos problemas derivados de la Agricultura Convencional, nos referimos, a cultivos dependientes de grandes cantidades de insumos externos (abonos, plaguicidas...) cuyos efectos han creado suelos deteriorados y acuíferos contaminados (**lixiviación de nitratos**, salinización, etc.).

Un ejemplo cercano es el delta de Adra, ocupado por cultivos de invernadero. El uso intensivo de fertilizantes y el reciclaje del agua de riego han establecido nitratos en las aguas subterráneas de la zona oriental del delta. Dicho acuífero descarga en dos humedales (protegidos ambos como reservas naturales), generando altas concentraciones de nitratos con el consecuente riesgo de eutrofización (El Amrani et al., 2007).

Otras técnicas tales como el monocultivo, provocan la extracción reiterada año



tras año de los mismos elementos disminuyendo la fertilidad de los suelos y aumentando su susceptibilidad a plagas y enfermedades.

Y en el aspecto sanitario, el empleo “descontrolado” de fitosanitarios ha trascendido hasta el producto final, es decir, la obtención de productos agrícolas contaminados de plaguicidas.

De estos efectos el **nitrógeno** es el principal elemento limitante. Su carácter altamente soluble en agua y su alta movilidad en suelo hacen que la lixiviación de nitratos se convierta en uno de los problemas más frecuentes.

Otro elemento importante es el **fósforo**, sus posibles formas en suelo son: fósforo inorgánico (insoluble), fósforo en la disolución del suelo (asimilable) y fósforo orgánico. Todas forman parte de un sistema en equilibrio. De los distintos factores que puede modificar este equilibrio, el más importante es el pH.

El fósforo es un elemento poco móvil en suelo, de ahí su baja concentración como contaminante del agua, a diferencia del nitrógeno. Normalmente sólo es lavado cuando ha sido aplicado en exceso durante largo tiempo y la capacidad de fijación del suelo se encuentre saturada.

En el fenómeno de eutrofización de las aguas, tanto el nitrógeno como el fósforo contribuyen a la eutrofización, en la mayor parte de los casos, es el contenido de fósforo el factor limitante.

La Agricultura Ecológica aminorará tales efectos al prescindir de fertilizantes nitrogenados de síntesis y recurrir al empleo de abonos orgánicos que permiten mejorar las características físico-químicas del suelo, modificando el pH, mejorando la disponibilidad de fósforo, nitrógeno y otros nutrientes en suelo e intensificando la actividad biológica edáfica.

En el ámbito de los sistemas agroecológicos el **abonado de fondo** constituye, o debe constituir, la forma primordial de aporte de fertilizantes al cultivo. En el caso de los **invernaderos enarenados**, el coste de la operación de retirada de la arena para aportar la fertilización de fondo es muy elevado y justifica, en muchos casos, la mezcla de la arena con el suelo para evitar el encarecimiento de labores.

Esta práctica tiene efectos beneficiosos en general en el enraizamiento de la planta y en la fertilidad del sistema, pero modifica la dinámica hídrica del suelo y, por tanto el patrón de distribución de sales. Por otro lado, el aporte de abonados de fondo orgánicos provoca una liberación excesiva de nutrientes, entre ellos nitrógeno disponible para el cultivo, en las primeras semanas del ciclo, cuando los requerimientos de la planta son escasos. Una gestión inadecuada del agua, provoca el lavado de estos elementos tanto en profundidad como lateralmente, dependiendo de las condiciones



hidráulicas del suelo, que tienden a acumularse en el frente de humectación, salinizándolo. En las fases más adelantadas del ciclo, cuando la demanda del cultivo se incrementa, la respuesta del abonado de fondo no suele ser suficiente y los elementos lixiviados no estarán disponibles, bien por su excesiva profundidad o bien por estar combinados con otros elementos nocivos tales como el sodio o los cloruros, con una conductividad eléctrica excesiva para la planta.

Partiendo de la situación expuesta anteriormente, el objetivo de este proyecto es, aportar información sobre el comportamiento y viabilidad del cultivo ecológico de tomate variedad Razymo RZ, en ciclo de primavera bajo invernadero, en un suelo en que la arena ha sido mezclada con el suelo, centrándose concretamente en:

1. Evaluar el contenido de agua en suelo, en función de distintas dotaciones de riego y estructuras de suelo diferentes.
2. Evaluar las concentraciones de nitratos y fosfatos en extractos de saturación de suelo, y el contenido de tales nutrientes en hoja, atendiendo a las distintas dotaciones de riego y estructuras de suelo.
3. Evaluar distintos parámetros de calidad en los frutos (contenido en °Brix, pH, peso y calibre) además de la productividad del cultivo.



2. REVISIÓN BIBLIOGRAFÍA

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. LA AGRICULTURA CONVENCIONAL

Tanto los gobiernos de los países desarrollados, como en vía de desarrollo, en la búsqueda de formas más eficientes de producción, realizaron importantes inversiones en la investigación agrícola en base a la ciencia moderna, generando un gran auge en la productividad agrícola. A tal hecho o periodo se le conoce como **Revolución Verde** (1960-1990) y marco un verdadero hito en la historia de la agricultura, cuya clave se baso en fomentar el desarrollo de los fertilizantes inorgánicos, de 20 a 100 veces más concentrados en elementos esenciales (N, P, K), que los abonos orgánicos (Arens, 1983).

El uso de abonos químicos permitió “devolver” al suelo lo que el cultivo le había “arrebatado”, sin que la ganadería o el aporte de residuos orgánicos fueran indispensables. No obstante, el tiempo ha demostrado consecuencias no previstas, como la merma en materia orgánica, y en general, un daño al equilibrio natural de los suelos.

Otro avance significativo fue la **selección genética**, posibilitando la producción de variedades de alto rendimiento.

Los aspectos positivos de esta rápida transformación de agricultura tradicional a industrial, se manifestaron rápidamente, en especial en lo referente a una mayor simplicidad de las labores agrícolas, conseguidas con la mecanización, y a una mayor productividad en algunos cultivos; pero las consecuencias negativas, sujetas a este nuevo tipo agricultura, aunque tardaron más tiempo en manifestarse, son problemas de total actualidad (FAO, 2011). Nos referimos a consecuencias como:

- **Alto coste energético y económico.** El desnivel entre la energía obtenida de los alimentos y la invertida en la producción de los mismos se agudiza; se han creado cultivos cada vez más dependientes de aplicaciones externas.
- Prácticas agrícolas inadecuadas (abandono de rotaciones, fuertes laboreos, etc.) provocan un empobrecimiento en humus y un deterioro en el contenido de microorganismos en suelo, en definitiva, una **merma en la fertilidad de los suelos** favoreciendo la erosión de los mismos y creando una **mayor dependencia de las energías no renovables**, y por tanto la sustitución del humus por fertilizantes no renovables.
Además, la fertilización mineral a dosis mayores de las necesarias, puede **inhibir la capacidad fijadora de nitrógeno** atmosférico de algunos



microorganismos del suelo, así como la formación de micorrizas (Ribó, 2003).

- El limitado número de especies cultivadas (monocultivo), ha suscitado el **deterioro del patrimonio genético**. Se trata de cultivos más susceptibles a patógenos, los cuales, cobran mayor fuerza ante la presión selectiva.
- **Pérdida de la calidad natural de los alimentos**: su contenido nutritivo disminuye (proteínas, vitaminas, oligoelementos), sus características organolépticas quedan dañadas y a ello unimos la presencia de productos tóxicos.
- **Degradación del medio ambiente**. El exceso de fertilización provoca la **lixiviación de nitratos y fosfatos**, contaminando aguas subterráneas y acuíferos. El abuso de pesticidas supone cada año la pérdida de cantidades incalculables de aves insectívoras, reptiles, peces, insectos y algunas especies vegetales; la contaminación de suelos y fenómenos como la eutrofización y la salinización.

Todas estas consecuencias negativas han propiciado la aparición de nuevas formas de hacer agricultura más acordes al medio donde se desarrollan, entre ellas destacamos la **Agricultura Ecológica**.

2.2. LA AGRICULTURA ECOLÓGICA

2.2.1. DEFINICIÓN Y EVOLUCIÓN

La **Agricultura Ecológica**, biológica u orgánica es un sistema de manejo que promueve y fomenta la diversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica edáfica, basándose en un uso mínimo de insumos procedentes del exterior de la explotación y en prácticas agrícolas que restauran, mantienen e intensifican la armonía ecológica (Allen y Kovach, 2000).

En definitiva, su objetivo final es hacer empleo únicamente de aquellos métodos que respeten el medio ambiente, desde las etapas de producción hasta de manipulación y procesamiento.

En 1972, en el Congreso de Versalles, se crea la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Ecológica (**IFOAM**) destinada a fomentar y difundir el manejo ecológico de los recursos naturales (Alonso, 2001).

A destacar es la creación de las “normas básicas de IFOAM para la Agricultura Ecológica y la transformación de alimentos” sometidas a constante revisión, que



unifican las normativas generadas en las diferentes asociaciones de todo el mundo. Estas normas han servido como documento de referencia en las normativas institucionales, especialmente en las europeas.

Esta organización representa internacionalmente al movimiento de Agricultura Ecológica en los foros parlamentarios, administrativos y políticos. Un ejemplo, es su categoría consultiva en la ONU. En el plano internacional será IFOAM junto a las directivas del **Codex alimentarius** las dos fuentes principales de principios y requisitos que rigen la Agricultura Ecológica (FAO, 2012).

En el caso de **España**, será la franja formada por el País Vasco-Cataluña-Valencia, donde se inició su desarrollo a mediados de los 70, principalmente de la mano de la **Asociación Vida Sana**, asociación creada en 1980 en Cataluña. Otras asociaciones y revistas surgirán posteriormente con el fin de impulsar este nuevo modelo agrícola.

Años más tarde fue necesario el desarrollo de una normativa estatal oficial y la creación de un organismo de control independiente a las asociaciones, así nace el Consejo Regulador de la Agricultura Ecológica (**CRAE**), con competencias en todo el territorio español, luego, en 1993 las competencias en Agricultura Ecológica serán traspasadas a las **Comunidades Autónomas** (Molina y Pérez, 2004).

En **Almería** no será hasta finales de la década de los 80, cuando se despierte el interés por esta nueva forma de hacer agricultura. Tal hecho se concretará en 1993 con la creación de la asociación sin ánimo de lucro **BioIndalo**, encaminada a favorecer el desarrollo de un sistema sostenible de producción agraria. Otro paso decisivo fue la publicación del libro "**Tratado de la AE**" y ya en 1997 se crea la primera cooperativa de productores "**EcoAndalus**" (Guerrero, 2000).

2.2.2. SITUACIÓN ACTUAL

La situación actual de la Agricultura Ecológica es muy prometedora, no solo por su presencia en la mayor parte de los países del mundo sino también por haber conseguido consolidarse como una alternativa a la Agricultura Convencional, donde incluimos tanto a los países industrializados, donde su mercado crece a tasas vertiginosas (especialmente en algunos países de la Unión Europea, Suiza, Japón y Estados Unidos), como a diversos países del sur.

Concretamente la Unión Europea (encabezada por Italia, Alemania, Reino Unido, España y Francia por orden de importancia) recoge el 33% de las explotaciones dedicadas a la Agricultura Ecológica, pero es Oceanía cuya superficie es líder en dicho sector.

Las cifras alcanzadas en España desde 1991 al 2009 (figura R1 y figura R2)



siguen la misma línea creciente que el resto de países, tanto en hectáreas de superficie como en número de operadores (productores, elaboradores e importadores).

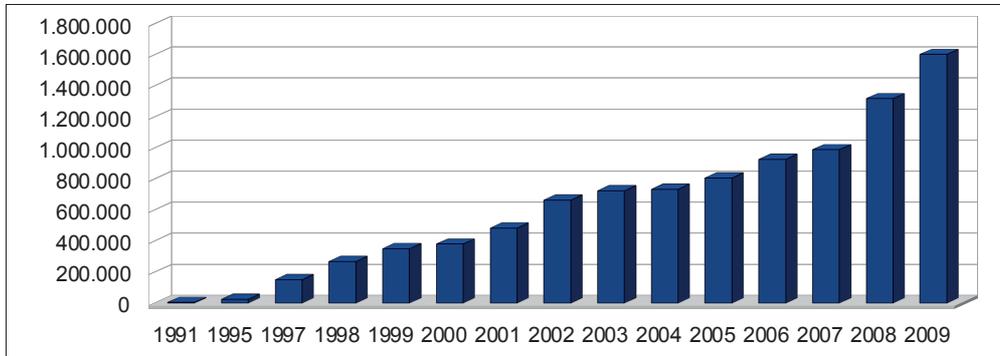


Fig.R1.- Evolución de la Producción Agrícola Ecológica en España (1991-2009). Superficie (ha)
Fuente: MARM

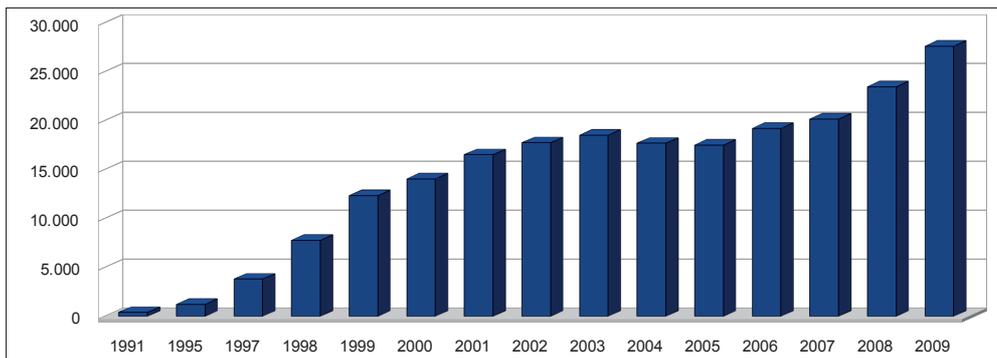


Fig.R2.- Evolución de la Producción Agrícola Ecológica en España (1991-2009). Número de operadores.
Fuente: MARM

Entre 2004 y 2009 todos los parámetros (tabla R1) han aumentado, algunos incluso más del 100%.

EVOLUCIÓN DE LAS PRINCIPALES MAGNITUDES. (2004-2009)	
Superficie	119%
Productores	58%
Elaboradores	51%
Explotaciones Ganaderas	156%
Industrias producción vegetal	55%
Industrias producción animal	112%

Tabla R1.- Evolución de las principales magnitudes (2004-2009) en España.
Fuente: MARN

En cuanto a las Comunidades Autónomas, el liderazgo de **Andalucía** es significativamente superior (figura R3) en número de productores.

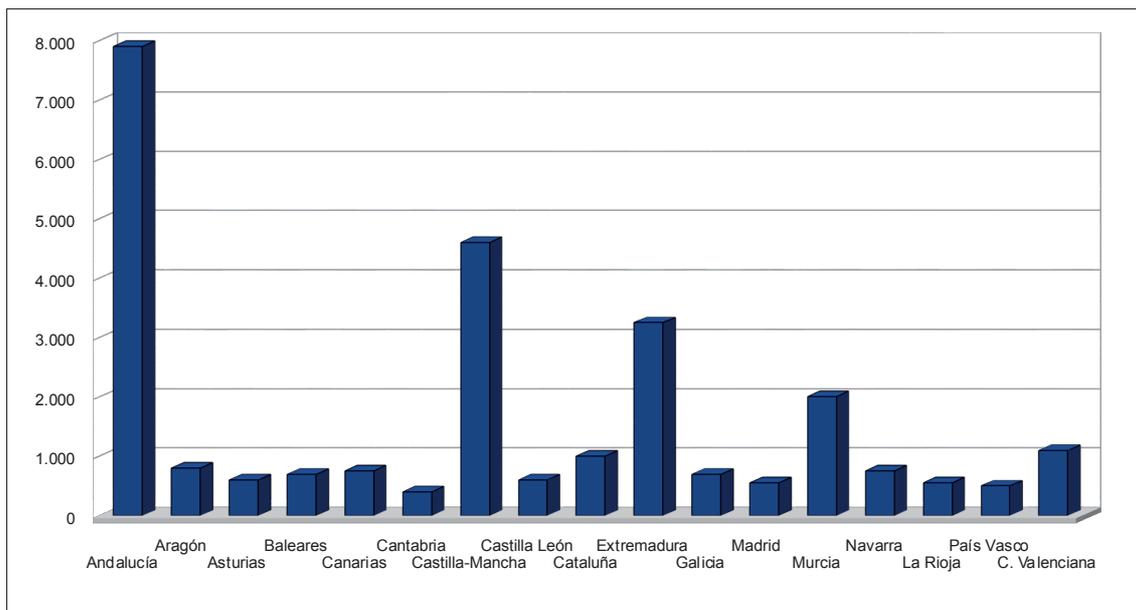


Fig.R3.- Productores en Agricultura Ecológica. Distribución por Comunidades autónomas. Año 2009.
Fuente: MARN



2.2.3. NORMANTIVA VIGENTE

La Agricultura Ecológica está regularizada en España desde 1989, con la aprobación del Reglamento de la Denominación Genérica "Agricultura Ecológica", vigente hasta la entrada en vigor del Reglamento (CEE) 2092/91 sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios.

Actualmente, desde el 1 de enero de 2009, la producción ecológica se encuentra sujeta al **Reglamento (CE) 834/2007 el Consejo sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos** y por el que se deroga en el Reglamento (CEE) 2092/91 y por los Reglamentos: R(CE) 889/2008 de la Comisión, por el que se establecen disposiciones de aplicación del R(CE) 834/2007 con respecto a la producción ecológica, su etiquetado y control y R(CE) 1235/2008 de la Comisión por el que se establecen las disposiciones de aplicación del R(CE) 834/2007, en lo que se refiere a las importaciones de productos ecológicos procedentes de terceros países.

2.2.4. CONTROL Y CERTIFICADOS

En España, el control y la certificación de la producción agraria ecológica es **competencia de las Comunidades Autónomas** y se lleva a cabo mayoritariamente por autoridades de control públicas, a través de Consejos o Comités de Agricultura Ecológica territoriales que son organismos dependientes de las correspondientes Consejerías o Departamentos de Agricultura, o directamente por Direcciones Generales adscritas a las mismas.

No obstante, las Comunidades Autónomas de Andalucía y Castilla la Mancha, han autorizado organismos privados para la realización de estas funciones y, en el caso de Aragón, las autoridades competentes han designado una autoridad de control pública y han autorizado a su vez organismos de control privados.

Como distintivo para facilitar su identificación en los mercados, todas las unidades envasadas, además de su propia marca y alguna de las menciones específicas de la Agricultura Ecológica, llevan impreso el código de la autoridad y del organismo de control o un logotipo específico, con el nombre y el código de la entidad de control.

Desde el 1 de julio de 2010 es **obligatorio el logotipo comunitario de la AE** (figura R4) en las condiciones establecidas por la normativa; su uso es obligatorio en todos los productos alimentarios ecológicos, envasados y producidos en cualquier Estado miembro.

En Andalucía entidades como la CAAE (Comité Andaluz de Agricultura Ecológica), empresa filial de la asociación Valor Ecológico (figura R5), Agrocolor, etc., son las encargadas de la certificación; cualquiera de los logotipos de las entidades



certificadoras autorizadas es válido junto con el logo de la Unión Europea.

Todo ello significa que la finca o industria donde se ha producido o elaborado el producto, está sometida a los controles e inspecciones correspondientes de la Autoridad o del Organismo establecido al efecto en la respectiva Comunidad Autónoma. Constituye, a su vez, la única garantía oficial de que el producto responde a la calidad supuesta por el consumidor y cumple las normas establecidas en el Reglamento (CE) 834/2007 y sus disposiciones de aplicación (MAGRAMA, 2012).



Fig.R4.- Logotipo de la UE
Fuente: MAGRAMA



Fig.R5.- Logotipo del CAAE
Fuente: MAGRAMA

2.2.5. ¿QUE PERSIGUE LA AGRICULTURA ECOLÓGICA?

Comenzaremos nombrando aquellos objetivos que pretenden solventar muchos de los problemas asociados a la Agricultura Convencional.

La comparación entre sistemas convencionales y orgánicos, solo es posible en base a un período intergeneracional, esto nos permitirá revelar la verdadera capacidad constante de los recursos naturales para sostener la agricultura.

- Los sistemas orgánicos dan una solución lógica y con fundamento científico, que radica en la **alimentación activa del suelo a través del aporte de materia orgánica** creando un enriquecimiento en humus, y por tanto potenciando la actividad microbiana.
- El **coste energético** en los sistemas ecológicos **se reduce** de forma patente; hablamos de un 60% menos de energía fósil invertida por unidad de alimento producido (Wild, 1992).
- Técnicas como el **laboreo mínimo**, evita periodos prolongados de exposición, riesgo de erosión, labores que puedan provocar compactación, pérdida de vida microbiana por desecación, etc.
En zonas áridas con sistemas extensivos, el laboreo mínimo junto al aporte de residuos de cosecha depositados sobre la superficie, serán factores esenciales en mantener un suelo bien nutrido de materia orgánica (Reicosky

et al., 1995).

- En el **aspecto químico**; favorece la capacidad de cambio del suelo, la acción de los nutrientes para la vida vegetal, la capacidad tampón, etc., permitiendo la actuación de los abonos minerales y facilitando la absorción a través de la membrana celular de las raicillas.
- En plano **físico**: facilita la agregación del suelo, la infiltración, disminuye la densidad aparente, etc.
- Y en el **biológico**, afecta de forma positiva en la mineralización, la reactividad, la absorción de sustancias peligrosas como los plaguicidas, o el desarrollo de cubierta vegetal (Graetz, 1997).
- Consecuencia de dicha fertilización natural y de técnicas que permiten conservar el sistema, conseguimos **evitar la contaminación de recursos naturales** y del medio ambiente como son la acumulación de nitritos y fosfatos (que conlleva la pérdida de potabilidad), la eutrofización de las aguas, desoxigenación de aguas profundas y salinización de los acuíferos por sobreexplotación de las aguas subterráneas.
Las **emisiones de CO₂** por hectárea de los sistemas de agricultura orgánica son del 48% al 66% menores que las de sistemas convencionales.
- Unas **fluctuaciones climáticas extremas** representan para la agricultura una amenaza cada vez mayor. Los **sistemas orgánicos son más estables** y resistentes frente a las alteraciones climáticas, tal como se pone de manifiesto en comparaciones con los sistemas convencionales en condiciones extremas, como por ejemplo sequías e inundaciones de gravedad.
En 1993, el arroz convencional en Japón quedó prácticamente exterminado debido a un verano inusualmente frío mientras que los agricultores orgánicos produjeron el 60-80% del promedio anual (Lotter, 2003).
La composición estable en la humedad de los agregados de los suelos orgánicos y una compactación reducida del suelo, generan una mejor respuesta en condiciones de inundación y sequía (FAO, 2011).
- Obtención de **alimentos más saludables** y libres de restos de plaguicidas y pesticidas. Recuperación de las **cualidades organolépticas**.
- **En mercados marginales y en áreas de pocos recursos**, donde los agricultores no tienen acceso a los insumos y las tecnologías modernas, la agricultura orgánica puede también aumentar la productividad de los sistemas tradicionales, optimizando el uso de los recursos locales.



- Crea unos **rendimientos mucho más estables**, a diferencia de la Agricultura Convencional, donde los altos incrementos de productividad sucedidos tras la revolución verde se vieron reducidos especialmente en aquellos países que más tempranamente adoptaron las técnicas y/o que más abusaron de los fertilizantes, plaguicidas, etc. (Infoagro, 2010).

Los numerosos beneficios ambientales del cultivo orgánico, difíciles de cuantificar en términos económicos, son ingredientes fundamentales en cualquier comparación.

2.2.6. ¿A QUÉ PROBLEMAS SE ENFRENTA LA AGRICULTURA ECOLÓGICA?

- **Pérdida de producción al inicio de la conversión a sistema orgánico.** Debido a una multiplicidad de factores interrelacionados: la materia orgánica del suelo y la actividad biológica necesitan tiempo para establecerse; muchas granjas convencionales se encuentran en una rutina de plaguicidas que no permite el establecimiento de organismos benéficos para la eliminación de plagas, malezas y enfermedades; y los problemas de fertilidad son comunes hasta la restauración de una total actividad biológica. Pero una vez que el agroecosistema se restablece y se instala completamente el sistema de manejo orgánico, los rendimientos aumentan de manera significativa (FAO, 2011).
- Contaminación por Organismos Genéticamente Modificados (**OGM**). El reglamento (CEE) 2092/91 de Agricultura Ecológica prohíbe el empleo de semillas transgénicas y no tolera nivel alguno de OGM en la producción ecológica. Pero la posibilidad de que algunos cultivos transgénicos se crucen con otros cultivos o con plantas arvenses es muy alta. Por lo pronto la normativa actual no recoge responsabilidad alguna sobre la empresa responsable.
- **Semillas ecológicas.** La agricultura tradicional ha provocado la pérdida de gran cantidad de variedades tradicionales y locales, de especial interés para la Agricultura Ecológica. Además, el comercio se ha estructurado para que la mayor parte de las semillas hayan sido sometidas a tratamientos que las hacen inviables al uso ecológico.
- El **aumento de necesidad de mano de obra**, en particular para controlar las malezas.
- De forma genérica, los alimentos ecológicos son **más caros** que los convencionales, en algunas ocasiones puede superar entre un 30-50%,



dependiendo mucho del lugar de compra, del producto y de la época.

- **Dificultad de acceso.** Aunque ha aumentado considerablemente el número de establecimientos en los que se ofertan productos ecológicos, estos siguen siendo muy pocos y en general, mal abastecidos de productos frescos.
- **Estacionalidad de la oferta** de alimentos frescos, este factor es muy importante para el consumidor actual, acostumbrado a disponer de gran variedad de alimentos en cualquier época del año.
- Para muchos consumidores es **difícil identificar los alimentos procedentes de la Agricultura Ecológica** obtenidos según la normativa, de los otros alimentos, debido a que estos últimos se comercializan con términos como: naturales, de huerta, sin productos químicos, biológico o bio; con el fin de crear expectativas positivas en el consumidor y poder revalorizar el producto, y no es hasta el 11 de mayo de 2001 cuando el Consejo de Ministros aprobó una modificación del Real Decreto de regulación de la producción Agrícola Ecológica y su indicación en producción agrarios y alimenticios por el que solo se reconocen exclusivamente los términos **ecológico** y **orgánico**, y los prefijos “**eco**” y “**bio**” (Molina y Pérez, 2004).

Las mayores limitaciones a las que se enfrentan los agricultores en proceso de transición son; la falta de conocimientos, fuentes de información y apoyo técnico. Una mayor inversión en investigación y difusión, puede ayudar a superar esas limitaciones.

2.3. EL SUELO

El suelo constituye el soporte fundamental de la agricultura, pero tal importancia se verá incrementada en el campo de la Agricultura Ecológica, donde la ausencia de aportes químicos u otras técnicas propias de la Agricultura Convencional, harán del suelo el principal responsable de la supervivencia y desarrollo óptimo del cultivo.

Tal importancia procede de su papel clave en el ciclo del agua y en los ciclos de los distintos elementos, además de ser el medio donde tienen lugar gran parte de las transformaciones energéticas y de la materia de los ecosistemas.

Además, si tenemos en cuenta que su regeneración es muy lenta, el suelo debe considerarse como un recurso no renovable y cada vez más escaso, donde los procesos de degradación y destrucción a los que se ve sometido son constantes.

Un suelo ideal contiene cuatro componentes en proporciones bien definidas:



material mineral (45%), **materia orgánica** (5%), aire (25%) y agua (25%).

2.3.1. LA IMPORTANCIA DE UN SUELO FERTIL

Un enfoque agroecológico, define la **fertilidad** como: la capacidad de los suelos agrícolas para mantener de manera perdurable, un nivel de producción estable y de calidad, conservando un estado de alta estabilidad frente a los procesos que implican su degradación, manteniendo una biodiversidad edáfica que posibilite las necesarias interrelaciones entre plantas, organismos y el medio mineral que les acoge y favoreciendo la dinámica y la disponibilidad de los nutrientes minerales, y todo ello dentro de una amplia gama de condiciones locales agroambientales, socioeconómicas y culturales (Labrador, 2003). Distinguimos tres tipos de fertilidad:

- **Fertilidad física:** concretamente se refiere a la función de dar soporte a la vegetación; además de otras características que favorecerán el desarrollo de la planta; como son la correcta profundidad, estabilidad, textura o permeabilidad.
- **Fertilidad química:** define tanto el estado físico-químico del medio como la importancia de la reserva y la disponibilidad de elementos asimilables. Aspectos como el pH, el potencial redox o la capacidad de intercambio, configuran el estado químico del suelo. Además de contener los elementos necesarios para la planta, debe ser lugar de transformación de sustancias orgánicas y minerales antes de ser absorbidas por las raíces (Foth, 1997).
- **Fertilidad biológica:** la gran mayoría de los **microorganismos** del suelo son mejoradores del mismo. Su papel es vital en la descomposición de residuos orgánicos cuyo producto final es el **humus**.

Técnicas agrícolas como la labranza, la quema, la exposición directa del suelo al sol, los monocultivos, el uso irracional de agrotóxicos, matan la vida del suelo.

En los cultivos ecológicos, serán los organismos el factor especialmente beneficiado; dado que una nutrición vegetal indirecta, no altera las poblaciones de organismos que se encuentran en relación con las plantas, mientras que una nutrición directa, es el factor antropogénico el que determina la cantidad de nutrientes, desactivando la capacidad natural de los organismos para ello (Kolmans, 1996).

Un estudio realizado en el 2002 llamado “Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming”, obtuvo las siguientes cifras en suelo: se duplicó el número de escarabajos peloteros, se produjo un 50% más de lombrices de tierra, un 60% más de escarabajos estafilínidos y el número de arañas también se duplicó; todo ello tras la



reconversión del suelo a un sistema ecológico (Mäder *et al.*, 2002).

2.3.2. MATERIA ORGÁNICA Y HUMUS

El concepto de fertilidad no solo se apoya en el papel de los microorganismos sino también en el contenido de **Materia Orgánica (MO)**, producto final de la actividad microbiana.

Cuando el suelo es manejado de a cuerdo a un sistema sostenible, el papel de la MO aumenta.

La MO aparece en el suelo natural como consecuencia de la actividad de los seres vivos y está conformada por diversos componentes heterogéneos; material viviente (raíces, microorganismos y fauna del suelo) y material no viviente (hojarasca superficial, raíces muertas, metabolitos microbianos y sustancias húmicas). La interacción entre la materia orgánica viviente y la no viviente ocurre de forma constante.

La MO favorece aspectos del suelo como; el régimen térmico, la capacidad de retención de agua, la formación de agregados, la capacidad de intercambio catiónico, la producción de nutrientes, etc.

El contenido medio de MO en el horizonte A de suelos cultivados, en nuestras latitudes y condiciones agrobióticas, lo estableció Babier (1949) entre el 1% y 3%. Este porcentaje disminuye rápidamente conforme descendemos a lo largo del perfil. Cifras comprendidas entre 1,5 - 2%, en ocasiones pueden ser suficientes para mantener una fertilidad adecuada (Urbano, 2001).

La descomposición de los materiales orgánicos ocurre por medio de dos procesos: **mineralización** y **humificación** (figura R6).

Los componentes complejos de carbono en los residuos frescos de plantas son rápidamente metabolizados o descompuestos, por el proceso conocido como **humificación**, y produce **humus**.

Podemos pues, considerar el **humus**, como la parte activa y más estable de la MO, con propiedades que influyen en la fertilidad del suelo (García *et al.*, 2007).

La fracción de MO que llega a ser estabilizada, eventualmente mediante la **mineralización, libera nutrientes minerales** que pueden ser absorbidos por la raíces de las plantas (Gliessman, 2002).

Ambos procesos coexisten en el tiempo y determinarán el “**equilibrio húmico del suelo**”.





Fig.R6.- Descomposición de la materia orgánica en elementos minerales.

La velocidad de humificación y de mineralización y, en consecuencia, el “equilibrio húmico del suelo” depende de la actividad biológica que en él se desarrolla.

Dicha velocidad y el equilibrio al que tienden la humificación y la mineralización, es mucho más importante que el propio contenido total de MO en el suelo. De modo que un buen suelo agrícola destacará por una elevada velocidad de evolución, mientras que en otros casos, un suelo que haya acumulado cantidades ingentes de MO hace inviable el cultivo (pantanos, turberas, etc.).

En Paiporta (Valencia), se llevaron a cabo ensayos durante 8 años consecutivos (2000-2008); para evaluar el efecto a largo plazo de los sistemas de **cultivo ecológico e integrado** respectivamente, sobre el sistema suelo (Quenum *et al.*, 2008).

La experiencia puso de manifiesto que los suelos sometidos a manejo ecológico (el abonado consistió en una mezcla de estiércol de vacuno y ovino al 50%); vieron mejorados sus niveles en los distintos parámetros asociados al aporte de MO. Así la CE fue superior en los suelos bajo manejo integrado generando cierta salinidad en los mismos; situación que no tuvo lugar en suelos bajo manejo ecológico. No se encontraron diferencias significativas en los parámetros biológicos estudiados; aunque sí se detectó mayor índice de actividad de la biomasa microbiana y las distintas enzimas estudiadas en los sistemas ecológicos. Además, al final del ensayo, se constató que los niveles de MO habían aumentado un 18% en la capa arable con respecto a los niveles de partida.

El límite al cual los contenidos de MO se reducen en un suelo cultivado, depende del propio cultivo y de las prácticas empleadas.

2.3.3. FERTILIZACIÓN ECOLÓGICA- EL ESTIÉRCOL

La Agricultura Ecológica basa su fertilización en afianzar la fertilización natural de los propios suelos, para ello se vale de la aportación de abonos orgánicos de fondo (estiércol) estos cubrirán dos objetivos:

- mantener entradas constantes de nueva MO, para reemplazar las extraídas por la cosecha y la descomposición (Gliessman, 2002).



- **alimentar el “ecosistema edáfico”**: es decir, a los microorganismos del suelo, encargados de humificar la MO y de ayudar a la descomposición de los minerales.

Un ejemplo, es el estudio realizado en el este de Washington, donde se compararon suelos con más de 75 años de producción orgánica y convencional de trigo; mostró que la MO no sólo se mantiene en el sistema orgánico, sino que se incrementa con el tiempo, mientras que los niveles de producción para el agricultor orgánico fueron prácticamente iguales al convencional (Reganold *et al.*, 1987).

El **estiércol natural o de cuadra** está formado por las deyecciones sólidas y líquidas del ganado, mezcladas con los materiales que le sirven de cama. El conjunto constituye un producto que empieza a descomponerse en el alojamiento del ganado y cuya fermentación continúa en el estercolero (Urbano, 2001).

Como todo abono orgánico, el estiércol no tiene una concentración fija de nutrientes. Esto dependerá del estado de descomposición, naturaleza de las camas, clase y edad del ganado, régimen alimenticio y del régimen de la explotación del ganado, entre otros.

Sus contenidos de nitrógeno son altos y la cantidad de humus es considerable. El **nitrógeno del estiércol** se encuentra, casi exclusivamente, en forma orgánica, por tanto requiere de la mineralización previa para que los cultivos puedan absorberlo. Bajo nuestras condiciones climáticas, el mismo año en que aplicamos el estiércol, el nitrógeno se mineraliza a forma amoniacal y luego a nítrica en un 50%, el 2º año un 35% y el 3º año un 15% (Guerrero, 2000; Urbano, 2001).

El **P₂O₅** y el **K₂O** se encuentran, aproximadamente, en un 50% en forma orgánica y mineral pudiendo, en principio, suministrar a la planta la parte mineral pero requiriendo, para su utilización completa, la mineralización de la parte orgánica.

La acción fertilizante del estiércol en elementos como el **fósforo**, potasio y micronutrientes resulta afectada en gran medida por la capacidad tampón del suelo, reduciendo de este modo su impacto ambiental con respecto al nitrógeno (Pomares y Canet, 2001).

Un estercolado medio supone 30 t·ha⁻¹, pero a menudo se utilizan dosis mayores, 40-45 t·ha⁻¹ cuando pretendemos mejorar la calidad del suelo. Este aporte de 30 toneladas supone un aporte por hectárea de 120 kg de nitrógeno, 75 kg de anhídrido fosfórico y 165 kg de óxido de potasio (Bellapart, 1988).

Investigaciones realizadas durante 12 años sobre diferentes cultivos (entre ellos el **tomate**); tuvieron por objeto la comparación entre el efecto de los **fertilizantes orgánicos** frente a los fertilizantes minerales de síntesis. Dichas investigaciones



demonstraron que los suelos abonados con fertilizantes orgánicos mejoraron su CIC. Además aumentaron considerablemente sus niveles de P, Ca, Mg, Zn y B. Así mismo quedó demostrado que a largo plazo, los suelos a los que se incorporaron fertilizantes orgánicos producen rendimientos más estables (para muchos cultivos), que aquellos fertilizados convencionalmente (Warman, 2005).

La aplicación de estiércol, aporta beneficios a la estructura del suelo, tiene la propiedad de soltar los suelos compactos y dar más cuerpo a los sueltos, mejora la retención de humedad, etc. La liberación de los nutrientes se produce lentamente, lo que determina una menor lixiviación y volatilización (Purves *et al.*, 2009; Meléndez y Soto, 2003).

Estudios realizados por el Instituto Nacional de Investigación Agronómica de Versalles (Francia) pusieron de relieve la importancia de la MO y su papel estructural en el suelo. En los ensayos se dispusieron varias parcelas, las cuales fueron abonadas con distintos fertilizantes (ácidos básicos, ricos en Na⁺ y K⁺ y por último estiércol) durante 70 años ininterrumpidamente. Los resultados indicaron que la parcela abonada con estiércol dio los mejores resultados en cuanto a propiedades físicas se refiere (Pernes-Debuyser & Tessier, 2004).

La investigación ha demostrado que la aplicación directa de estiércol también provoca muchos problemas. El mal olor, presencia de semillas de malas hierbas, microorganismos patógenos y larvas de insectos (moscas) están relacionadas frecuentemente con aplicaciones directas de estiércol. La pérdida de nitrógeno mediante la amonificación puede ser bastante alta, lixiviación de nitratos y otros materiales solubles, entre otros (Gliessman, 2002).

También el aporte de abonados de fondo orgánicos crea una **liberación excesiva de nutrientes**, entre ellos nitrógeno disponible para el cultivo, en las **primeras semanas del ciclo**, cuando los requerimientos de la planta son escasos. La gestión ineficiente de agua provoca un lavado de estos elementos tanto en profundidad como lateralmente, dependiendo de las condiciones hidráulicas del suelo, que tienden a acumularse en el frente de humectación, salinizándolo. En las fases más adelantadas del ciclo, cuando la demanda del cultivo se incrementa, la respuesta del abonado de fondo no suele ser suficiente y los elementos lixiviados no estarán disponibles, bien por su excesiva profundidad o bien por estar combinados con otros elementos nocivos tales como el sodio o los cloruros, con una conductividad eléctrica excesiva para la planta.



2.4. EL ENARENADO

El enarenado es una técnica muy extendida en los cultivos bajo invernadero. Este sistema consiste en distribuir el sustrato del cultivo de la siguiente forma (figura R7):



Fig.R7.- Estructura de un suelo enarenado.

En el caso de la planta de **tomate**, sus raíces de pequeña longitud y ramificadas, en forma de cabellera, se desarrollan en el horizonte orgánico, mientras que las más gruesas y de mayor longitud se desarrollan en la capa mineral (Lao y Jiménez, 2002).

¿Cuál es la finalidad de cada una de las capas? (Baudoin *et al.*, 2002)

- Capa impermeable: la impermeabilidad de la arcilla, impide movimientos descendentes de agua lo que reduce la necesidad de riego y asimismo movimientos ascendentes, lo que evita el traslado de sales del suelo natural subyacente a la planta.
- Capa nutritiva: la capa de estiércol suministra los nutrientes. Se renueva cada 4 - 5 años.
- Capa protectora: la arena cumple varias funciones:
 1. Disminuye notablemente la proliferación de malas hierbas, ya que éstas suelen desarrollar sus raíces en la capa superficial del suelo, que en este sistema permanece seca. En consecuencia los gastos de herbicidas o las labores de desherbado también se reducen.
 2. La arena actúa como filtro rompiendo la capilaridad del suelo y evitando la evaporación del agua. Con ello previene que las sales no estén diluidas y que sean depositadas en la superficie evitando que la sal llegue a las

raíces y también permite un uso más eficiente del agua de riego.

3. Su capacidad para reflejar los rayos solares, y el calor que transmite y contribuye a acumular en el estiércol, favorecen un desarrollo más rápido de las plantas.

Este sistema consigue condensar la humedad atmosférica con el descenso de la temperatura nocturna, manteniendo así el suelo húmedo en cualquier época del año; evita la evaporación diurna y los contrastes térmicos del suelo entre día y noche (Morales y Hernández, 2003).

Pero el enarenado tiene otra ventaja adicional y es que consigue, en las condiciones climáticas de la zona de Almería (elevada insolación en invierno y temperatura suaves), adelantar la maduración de las cosechas en unos 15 días. Con el abrigo de esta tierra enarenada y bajo las condiciones de invernadero, se reduce la maduración hasta en 30 días. Este adelanto permite introducir los productos hortícolas en los mercados un mes antes que los de otras regiones (Checa, 1998).

De modo que con el “enarenado” conseguimos precocidad en la maduración, cultivar en suelos salinos, emplear aguas de riego salina, ahorrar agua de riego, y eliminar malas hierbas (Nuez, 2001; García y Fourneau, 1994).

El **riego por goteo** es el sistema que mejor contribuye al mantenimiento de esta estructura artificialmente creada, y es por tanto, el sistema idóneo para el enarenado, dado que la capa superficial es de una gran permeabilidad. En Almería ha permitido pasar de un consumo de agua por hectárea y año de 7.000 m³ en el año 1982 a 5.500 m³ en 2002 (Pérez *et al.*, 2002).

En el caso de los invernaderos enarenados, el coste de la operación de retirada de la arena para aportar la fertilización de fondo es muy elevado y justifica, en muchos casos, la mezcla de la arena con el suelo para evitar el encarecimiento de labores. Esta práctica tiene efectos beneficiosos en general en el enraizamiento de la planta y en la fertilidad del sistema, pero modifica la dinámica hídrica del suelo y, por tanto el patrón de distribución de sales.



2.5. MOVIMIENTO ASOCIADO AL AGUA. DISTRIBUCIÓN DE NUTRIENTES, SALES Y AGUA DE RIEGO

2.5.1. DESPLAZAMIENTO DEL AGUA:

Cuando se riega, el agua va penetrando en el suelo, la mayor o menor velocidad, la distancia en la que el agua recorrerá horizontalmente y la profundidad de humectación dependerán de la **textura del suelo** y del **tipo y duración de riego**.

- Si se riega estando muy seco, el agua se irá repartiendo hacia abajo y hacia los lados quedando retenida en los poros pequeños, según su potencial mátrico.
- Cuanto más fino sea el suelo, mayor superficie tendrán las partículas del mismo y, por tanto, más agua retendrán.

Este desplazamiento lateral y hacia abajo, también influye en el **grado de salinización** de las diferentes capas del suelo; a la fuerza de retención del agua por parte de las sales, se la denomina “potencial osmótico”.

Los nutrientes que son transportados a través del riego por goteo se distribuirá siguiendo el patrón de humedecimiento del suelo, tales patrones tienden a ser en forma semiesférica u ovalada, con la parte más ancha en la superficie del terreno y el punto más profundo directamente debajo del emisor (Miles *et al.*, 2010).

En el caso de un **sistema enarenado**, el movimiento del agua a lo largo del perfil presenta un movimiento vertical y horizontal. El movimiento del agua horizontal viene condicionado por la textura del suelo y por el caudal de riego. Debido a este movimiento y a la práctica del riego localizado, hace que no se produzcan bulbos de humedad en el suelo, sino un sistema de humedad continuo pudiendo considerar el funcionamiento del suelo enarenado como una semihidroponía (Lao y Jiménez, 2002).

2.5.2. SANIDAD Y DRENAJE

- Si existe un buen drenaje, el agua sale de la finca, arrastrando las sales en disolución, provocando unas pérdidas por lixiviación, que pueden ser beneficiosas (lavado de sales nocivas) o perjudiciales (pérdidas de fertilizantes y contaminación de las aguas subterráneas).
- Si no existe un buen drenaje, el suelo queda encharcado mucho tiempo, provocando la muerte de las plantas por asfixia radicular, o puede generar problemas al cultivo, como dificultad en la absorción de hierro (Fe) (clorosis) y en consecuencia no resulten rentables.



Mientras el suelo permanezca completamente saturado, las plantas detendrán su actividad pero cuando se dispone de oxígeno en los poros, las raíces empiezan a absorber sin apenas esfuerzo, lo que reduce el gasto de consumo de energía metabólica al mínimo, que será aprovechada para aumentar la vegetación y la producción.

Precisamente ésta es una de las razones por las que en el riego localizado, con la frecuencia adecuada, se observa una mayor brotación y frutos de mayor calibre.

2.5.3. RIEGO LOCALIZADO (RIEGO POR GOTEO)

Según las técnicas de riego empleadas, el agua tiene una acción y un efecto diferente.

En el riego por goteo, los desplazamientos de las sales también son laterales, hacia el exterior del volumen humedecido y, por una evaporación posterior, las sales ascienden a la superficie, alrededor de la parte más externa.

Con el tiempo se produce una mayor concentración de sales entorno al bulbo húmedo, ocasionando el riesgo de salinización del mismo. En la actualidad, existe una tendencia a solapar los bulbos húmedos de los goteros, para evitar esta posible acumulación de sales en la capa superficial.

Cuando se trate de cultivo hortícolas, con separaciones de plantas inferiores al medio metro, es seguro que existe el solape, convirtiéndose en un riego localizado por bandas, apareciendo las eflorescencias salinas por los bordes de las bandas.

2.5.4. INFLUENCIA DEL CONTENIDO EN MO

El **contenido hídrico del suelo** se verá favorecido por unas propiedades físicas del suelo adecuadas, tales propiedades dependen en gran medida del contenido en **MO**. El aumento en carbono orgánico reduce la densidad aparente, aumenta la capacidad de retención de agua y las estabilidad de los agregados del suelo (Herencia *et al.*, 2008). También se ha demostrado una mayor porosidad en el suelo.

Un estudio realizado a lo largo de 10 años en el valle del río Guadalquivir comparó los efectos en las propiedades físicas del suelo en un invernadero bajo sistema ecológico (se empleó rotación de cultivos: remolacha, pimiento, **tomate**...) y otro bajo sistema convencional. Tal estudio demostró como el empleo de abono orgánico incremento el carbono orgánico del suelo, aumento significativamente la estabilidad de los agregados, disminuyó la densidad aparente ($1,24 \text{ Mg m}^{-3}$ en cultivo ecológico y $1,36 \text{ Mg m}^{-3}$ en convencional) y se observó una mayor porosidad. En los últimos años de la experiencia, la calidad física del suelo (índice de Dexter) fue significativamente



mayor en las parcelas de abonos orgánicos, al igual que los contenidos de humedad en el PMP (Punto de Marchitamiento Permanente). En general, la aplicación de MO y el incremento de la capacidad de retención de agua por parte del suelo proporcionó más agua disponible para las plantas (Herencia *et al.*, 2011).

Otro estudio realizado en Carolina del Norte (EEUU) llevo a cabo otro ensayo con el mismo objeto de comparar el efecto del sistema convencional, integrado y ecológico sobre varios cultivos en invernadero (pimiento, **tomate**...). Los datos demostraron importantes diferencias en las propiedades físicas del suelo en función al sistema empleado. Datos como la densidad, porosidad y contenido de agua durante los años 2002 - 2003 fueron mejores bajo manejo ecológico:

- La densidad del suelo fue de 1,3 g/cm³ 1,24 g/cm³ y 1,34 g/cm³ en manejo ecológico, integrado y convencional respectivamente.
- La porosidad se situó en un 0,63% en suelo ecológico, frente a los 0,58% y 0,47% obtenidos en integrado y convencional respectivamente.
- Además se observaron mayores niveles en el cultivo ecológico de C extraíble y nitrógeno mineralizable (Liu *et al.*, 2006).

En las Palmerillas (Almería), se evaluó un cultivo ecológico de berenjena bajo invernadero en ciclo de primavera. Se establecieron tres variables de estudio:

T1: Abono ecológico con vermicompost

T2: Abono ecológico con estiércol paletizado

T3: Fertilización convencional

La investigación comparó el efecto de cada uno de los abonados sobre la producción y el gasto de agua. Las lecturas realizadas en los contadores mostraron que el gasto de agua fue superior en el tratamiento convencional. En el tratamiento T1 se registró un gasto de 2.553 m³/ha, en el T2 2.662 m³/ha, mientras en el tratamiento convencional el gasto ascendió a 3.619 m³/ha. Los resultados de la producción mostraron que entre el tratamiento de abonado convencional (T3) y el de abonado ecológico (T2) no existían diferencias significativas. Además la producción del tratamiento T2 fue satisfactoria ya que se superaron los 7 kg/m² esperados de los que se partió para realizar el cálculo del abonado en dicho tratamiento (Guerrero *et al.*, 2008).



2.5.5. IMPORTANCIA DEL MOVIMIENTO DE LAS SALES

La importancia del movimiento de sales radica en la competencia que pueden establecer con la raíz del cultivo, ya que estas retienen por ósmosis parte del agua existente, pudiendo impedir la absorción de agua por parte de la planta si la concentración de sales es muy elevada. Otro aspecto es la toxicidad directa de ciertas sales (Na^+ , Cl^- ...) (Moya, 2009), aunque no todas, como por ejemplo el **fósforo**, necesario para la alimentación, se estima conveniente que haya un 40 - 50 p.p.m.

La cubierta de arena (**enarenado**) reduce la pérdida de humedad del suelo y, cuando se trata de aguas muy salinas, la permanencia de la humedad hace que las sales estén diluidas durante más tiempo (Martínez, 2001).

El riego con aguas salinas exige un incremento de la dosis. Por una parte, para contrarrestar la competencia de las propias sales y por otra, para favorecer los lavados por fuera del bulbo.

También es importante que se disponga de suficiente humus, el Complejo arcillo-húmico tiene la propiedad de adsorción del exceso de iones de la solución, por lo que se contrarresta el efecto tóxico de algunas sales.

2.6. LA AGRICULTURA ECOLÓGICA EN INVERNADERO

Llevar la Agricultura Ecológica al invernadero permite intensificar su producción y cubrir la demanda creciente de productos ecológicos.

Un ejemplo de un mayor rendimiento bajo plástico es el menor consumo de agua en la producción de tomate invernado en Almería ($26,5 \text{ m}^3 \text{ agua Tm}^{-1}$), mientras que el uso de agua de un cultivo de tomate al aire libre se estima en $50 - 60 \text{ m}^3 \text{ agua Tm}^{-1}$ (Pérez *et al.*, 2002).

El manejo integral del invernadero adquiere más importancia en los cultivos ecológicos, el agricultor debe saber conjugar todos los factores que influyen en la producción para aprovecharlos a su favor y conseguir una producción rentable, sostenible en el tiempo y de calidad.

Fundamentalmente, hemos de centrarnos en las siguientes prácticas que, realizadas conjunta y adecuadamente, configuran la base fundamental de la Agricultura Ecológica invernada (Del-Castillo *et al.*, 2004).

- a) Manejo del suelo. El mantenimiento e incremento de la fertilidad de la tierra y de su actividad biológica. El **abonado de fondo** debe constituir la fuente principal de aporte de fertilizantes al cultivo.



- b) Rotación de cultivos. La **rotación** es un elemento equilibrante. La función que cumplen los cultivos en la rotación es múltiple: desde mantener la fertilidad del suelo, a impedir que determinados patógenos asociados a ciertos cultivos proliferen.
- c) Manejo del invernadero. El invernadero debe ser capaz de proporcionar las condiciones ambientales más idóneas, con objeto de que los cultivos se desarrollen en las mejores condiciones de temperatura, luz, humedad relativa, etc. De esta forma, evitaremos crear condiciones favorables a la aparición de numerosas plagas y enfermedades.
- d) Manejo de plagas y enfermedades. Los tratamientos fitosanitarios (feromonas, microorganismos entomopatógenos y entomófagos) se harán únicamente cuando aparezcan los focos de la plaga y en momentos puntuales.

En 2004, un estudio realizado en Tenerife, comparó la influencia del manejo ecológico sobre la fertilidad de los suelos en cultivo de tomate invernado, en comparación a un cultivo convencional (tabla R2):

MANEJO	PH (1:2,5)	MATERIA ORGÁNICA (%M.O)	CIC (meq/100g)	FÓSFORO (mgP ₂ O ₅ /kg)
Convencional	7,81±0,06	2,51±0,15	61,34±1,87	365,36±21,22
Ecológico	7,50±0,05	3,80±0,13	69,37±1,70	405,67±19,32
P	0	0	0	0,16

Tabla R2.- Comparación de magnitudes físico-químicas del suelo entre un manejo convencional y uno ecológico en invernadero. Valores de $P \leq 0,05$ indican que hay diferencia significativa entre tratamientos.

Los contenidos en MO, al igual que los niveles de CIC fueron más altos en los suelos ecológicos. El valor de pH desciende significativamente; este menor valor de pH puede relacionarse directamente con el mayor contenido en MO, ya que durante la descomposición de la MO se producen ácidos orgánicos.

Otro estudio comparativo entre los dos sistemas fue el realizado en la CIFA (Cantabria). En este caso se comparó los rendimientos obtenidos en tres variedades distintas de tomate (tomates tipo suelto de calibres entre G y GG), cultivados en ecológico y en convencional. Se puede observar en la siguiente tabla (tabla R3) como las tres variedades de producción ecológico superan la convencional (Gutiérrez, 2007):



CULTIVOS TOMATE INVERNADERO PRODUCCIONES MEDIAS		
VARIEDAD	CULTIVO ECOLÓGICO	CULTIVO CONVENCIONAL
JACK	21,48	17,65
SINATRA	17,22	16,3
GOLOSO	21,69	19,06

Tabla R3.- Producciones medias de tomate en invernadero (kg/m²).
Fuente: Gutiérrez, 2007.

Andalucía lidera a nivel europeo la **lucha biológica** contra las plagas en los cultivos hortícolas de invernadero. Actualmente existen 20.000 hectáreas de cultivos con control biológico en la comunidad autónoma, frente a las 250 de 2005.

Andalucía es líder nacional en superficie de **producción integrada** respetuosa con el medio ambiente, con más de 400.000 hectáreas, lo que supone el 63% del país. La evolución de este sistema productivo se ha multiplicado por cinco en los últimos ocho años, al pasar de las 81.000 hectáreas de 2003 hasta las 400.000 actuales.

También ocupa el primer puesto en la **producción ecológica**, con 880.000 hectáreas, 2.887 explotaciones ganaderas, 800 industrias y 20.000 puestos de trabajo. El II Plan de Agricultura Ecológica 2007 - 2013, dotado con 325,9 millones de euros, ha beneficiado ya a 9.278 productores y permitido la innovación de 81 empresas (García, 2012).

Para continuar la línea de avance y desarrollo de los cultivos ecológicos, debemos enfocarnos en la mejora de las vías de comercialización y favorecer la difusión e información de los productos ecológicos al consumidor.

2.7. CULTIVO DEL TOMATE

La planta de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) se desarrolla bien dentro de un amplio rango de latitudes, tipos de suelos, temperaturas y métodos de cultivo.

Su **temperatura** óptima durante la noche oscila entre los 13 - 16°C y durante el día entre 22 - 26°C. El tomate es una planta termoperiódica, desarrollándose mejor con temperatura variable que constante, cifrándose las diferencias térmicas noche/día en 6 - 7°C (Went, 1957). Es muy sensible a las heladas, lo que determina que su ciclo de cultivo sea anual.



Prefiere ambientes cálidos, con buena iluminación y drenaje. La exposición prolongada a temperaturas inferiores a 10°C, la escarcha, una iluminación diurna inferior a las 12h, un drenaje deficiente o un abonado nitrogenado excesivo le afectan desfavorablemente.

La **humedad relativa** óptima oscila entre 60 y un 80%.

El tomate destaca por su **tolerancia a la salinidad** (C.E= 2-6 mS/cm) convirtiéndose en la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua de riego (Guzmán, 2007).

En lo referente al **pH**, los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos (su tolerancia a la acidez se sitúa en un rango de 6,8 a 5,5) hasta ligeramente alcalinos cuando están enarenados (Infoagro, 2012).

La planta de tomate no es muy exigente en cuanto **suelo**, excepto en lo que se refiere al drenaje, aunque prefiere suelos sueltos de textura silíceo-arcillosa y ricos en materia orgánica. No obstante se desarrolla perfectamente en suelo arcillosos enarenados (nuestro caso). Su sistema radicular es de raíz pivotante, esta crece unos 3 cm al día, hasta alcanzar los 60 cm de profundidad.

Las necesidades brutas medias de riego del tomate en un invernadero de Almería con riego por goteo (tabla R4), son:

MES	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO	
QUINCENA	1 ^a	2 ^a										
Necesidades	0,3	0,6	1,1	1,5	2,8	3,5	4,3	4,6	4,6	4,5	4,9	4,6

Tabla R4.- Datos medios para riego con agua de buena calidad, por goteo, cuya red tenga una uniformidad de aplicación. Tomate de crecimiento indeterminado, transplantado a primeros de Enero, con finales de ciclo en junio. Necesidades brutas medias (agua a aplicar) en l/m²-día. Invernadero con cubierta de lámina de polietileno (sin blanquear en los meses de primavera y verano. Fuente: (Nuez, 2001)

En cuanto a la nutrición, cabe destacar la importancia de la **relación de N/K** a lo largo de todo el ciclo de cultivo, que suele ser de 1/1 desde el trasplante hasta la floración, cambiando hasta 1/2 e incluso 1/3 durante el período de recolección.

El **fósforo** juega un papel relevante en las etapas de enraizamiento y floración, ya que es determinante sobre la formación de raíces y sobre el tamaño de las flores.

El cultivo del tomate en Almería es muy importante (tabla R5), ello se refleja en los datos obtenidos por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía:



PRODUCCION (TM)	MEDIA 07-10		2011		MARZO 2012	
	ALMERÍA	ANDALUCIA	ALMERÍA	ANDALUCIA	ALMERÍA	ANDALUCIA
TOMATE ENERO-MAYO	640.518	778.400	615.838	723.969	632.524	780.272
TOMATE TOTAL	938.016	157.7261	892.519	1.535.255		

Tabla R5.- Datos de producción (Tm) de tomate en Almería y Andalucía.
Fuente: Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente, 2012.

Otro dato significativo es el precio recibido por el agricultor de tomate en 2008, en Almería fue de 58,94 €/100 kg y la media en Andalucía 55,03 €/100 kg.

2.8. EL NITRÓGENO

El **nitrógeno** es uno de los macronutrientes esenciales, parte fundamental de los tejidos vegetales, y factor limitante para el crecimiento y desarrollo de los mismos. Forma parte de componentes orgánicos básicos como; proteínas, aminoácidos, clorofila, y aminoazúcares.

En las plantas representa entre un 2 - 4% de la materia seca.

El déficit nitrogenado provoca en la planta pérdida de vigor y atrofia, mientras que el follaje se presenta más viejo tomando un color verde pálido y algo amarilleamiento, generalmente avanza desde el ápice hasta la base.

2.8.1. EL NITRÓGENO EN SUELO

El contenido de nitrógeno en suelo se sitúa entre un 0,03 - 0,4%. A medida que avanzamos en profundidad su contenido disminuye.

Las prácticas agrícolas condicionan los niveles de nitrógeno. Los suelos no labrados lo incrementan; estos contienen más MO la cual parte queda destruida cuando se labra el suelo, especialmente en climas mediterráneos.

Un exceso o déficit de nitrógeno condiciona a otros elementos; la demasía de nitrógeno genera déficit en P, K, Fe, B, Mn, Cu, Zn, y exceso de Ca, y Mg, mientras que un déficit en el mismo provocará el exceso de P, K y déficit de Mg (Guerrero, 2000).

Lo podemos encontrar en **forma inorgánica u orgánica**, siendo el porcentaje de



este último del orden del 95%.

El **nitrógeno orgánico** es relativamente estable y no directamente asimilable. Es preciso que los microorganismos del suelo lo mineralicen para obtener nitrógeno inorgánico absorbible por la planta.

La **mineralización de la MO** es pequeña y variable. Su valor se sitúa entorno a **1% - 3%**. Los factores de los que depende son numerosos: tipo de MO y su relación C/N, humedad, temperatura, acidez del suelo, fuentes de energía disponibles para los microorganismos y la protección que puedan prestar a la MO degradable las partículas inorgánicas o de otro material orgánico más resistente. Por ejemplo, contenidos de humedad y temperaturas altas favorecen el proceso (Villalobos *et al.*, 2002).

Las formas de **nitrógeno inorgánico** incluyen amonio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), y nitrógeno molecular (N_2). Las tres primeras formas son las más importantes desde el punto de vista de fertilidad; estas provienen de los fertilizantes o de la descomposición de la MO. Las otras tres formas son gases que se pierden como consecuencia de la desnitrificación.

Los cantidades desprendidas en un suelo de Mengibar (Jaén), se situaron en: 8.450 kg/ha de nitrógeno orgánico, 70 kg/ha del nitrógeno asimilable en forma de nitratos (NO_3^-), los nitritos (NO_2^-) presentes sólo alcanzaban 2 kg/ha mientras que el nitrógeno en forma de amonio intercambiable (NH_4^+) llegaba a los 202 kg/ha.

Las formas **amoniacal y nítrica** del nitrógeno son solubles y pueden ser asimiladas por las plantas o perderse por lixiviación.

El **ión nitrato** (NO_3^-) se mueve libremente en el suelo, es conducido hasta las raíces por flujo del agua; cuando la tasa de absorción de nitrógeno excede el aporte, la concentración de nitratos alrededor de las raíces disminuye y comienza el proceso de difusión. En el caso del nitrógeno, la difusión no cobra la importancia que con otros nutrientes, sólo en aquellos casos en que las raíces se acumulan en zonas preferentes puede ser la difusión importante en la nutrición nitrogenada de las plantas.

La absorción de nitrógeno resulta controlada por su concentración, la presencia de agua y por el metabolismo de las plantas.

Las plantas absorben el nitrógeno especialmente como nitrato (NO_3^-), se trata de la forma iónica más abundante en la solución del suelo, en cambio la presencia de **ión amonio** (NH_4^+) en la solución es escasa y con frecuencia temporal, especialmente en climas templados donde los procesos de nitrificación se ven acelerados. En condiciones de pobre aireación, suelos fríos o muy ácidos, donde la nitrificación se ve limitada, puede prevalecer el ion amonio sobre el ion nitrato. Gran parte del ión amonio está adsorbido sobre las superficies de las arcillas.



La **absorción del NO_3^-** se ve favorecida por un pH bajo, en el caso del ión amonio ocurre con pH básico.

En términos energéticos, la absorción del nitrato es menos eficiente que la del amonio, dado que el nitrato a de reducirse previamente a amonio antes de que el N pase a formar parte de los compuestos orgánicos. Sin embargo, la absorción de NH_4^+ conlleva acidificación de la rizosfera y disminuye la absorción de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ mientras que aumenta la absorción de H_2PO_4^- , SO_4^{2-} y Cl^- .

La **preferencia de las plantas por una forma u otra** depende de la especie, edad, etc. En el caso de las solanáceas (tomate, tabaco, patata), prefieren que la proporción $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ en la solución del suelo sea alta.

Las fuentes para abastecer al cultivo son variadas: fertilizantes inorgánicos, nitrógeno orgánico procedente del **estiércol** y otros residuos, o fijación simbiótica de N_2 .

2.8.1.1. Lixiviación y movimiento de nitratos

Es el principal elemento limitante, su carácter altamente soluble en agua y su alta movilidad en suelo hacen que la lixiviación de nitratos se convierta en uno de los problemas más frecuentes.

El lixiviado es un proceso físico, basado en los principios de convección y difusión. Las pérdidas son máximas cuando existen altos contenidos de nitratos en el suelo y rápido movimiento de agua a través de la zona no saturada.

Los factores que en mayor medida inciden en el lixiviado son: el tipo de práctica agrícola, los aportes de nitrógeno, las cantidad de agua de riego, las características del perfil de la zona no saturada y el tipo de cultivo entre otros.

Una investigación llevada a cabo a lo largo de 8 años en Valencia comparó el cultivo hortícola bajo manejo ecológico e integrado. Los datos (tabla R6), desvelaron contenidos superiores de nitratos a lo largo de todo el perfil bajo el manejo ecológico:

Profundidad (cm)	N- NO_3 (mg/kg)			
	0-15	15-30	30-60	60-90
Ecológico	25,5	26,3	13,6	11,3
Integrado	24,4	18,6	13,3	10,5

Tabla R6.- Contenido de nitratos en el perfil del suelo (mg/kg).
Fuente: Quenum *et al.*, 2008.



Los nitratos son conservados en la zona radicular y más allá de esta zona solamente la capilaridad del suelo puede reducir el lixiviado.

La presencia de partículas arcillosas, es de gran importancia, estas provocan la adsorción y fijación del amonio. Los suelos arcillosos o con intercalaciones semipermeables contribuyen a que el flujo de agua sea más lento y permiten que existan condiciones anaerobias que facilitan la desnitrificación, mientras que en los suelos arenosos difícilmente se dan condiciones anaerobias, y además, la velocidad del movimiento del agua es más elevada (Morell y Hernández, 2000).

Una simulación realizada sobre el acuífero del río “South Platte” (Colorado, Estados Unidos), analizó la lixiviación de nitratos bajos distintos parámetros (tipo de suelo, rotación de cultivos y aplicación de estiércol). Las diferencias entre distintos tipos de suelos fueron de 5-10 kg/ha año de N, mientras que la variabilidad entre distintos rotaciones de cultivos fue hasta 65 kg-N/ha, la aplicación de estiércol puede ser responsable de más de 100 kg-N/ha adicionales de lixiviación. La aplicación de estiércol fue el factor más determinante (Niu *et al.*, 2011).

Otro ensayo fue el realizado entre 1996 y 1997 en Virginia y Maryland, donde se comparó un manejo convencional y uno ecológico en cultivo de tomate invernado. El cultivo bajo manejo ecológico ofreció tasas de mineralización elevadas, las pérdidas de nitrógeno en redes fluviales cercanas se redujeron, favoreció las poblaciones de microorganismos beneficiosos del suelo en contrapartida a las poblaciones de patógenos que se vieron mermadas, los contenidos en materia orgánica se agudizaron, la densidad de carbono total aumento, mejoro la capacidad de intercambio catiónico (CIC), los contenidos de Ca, K, Mg y Mn; en general la calidad del suelo se vio muy favorecida. Los rendimientos al segundo año superaron a los obtenidos en manejo convencional (Bulluck *et al.*, 2002).

2.8.2. EL NITRÓGENO EN TOMATE

Los síntomas de **déficit de nitrógeno en la planta tomate** aparecen en las hojas más longevas, permaneciendo sin cambios las más nuevas. Esto sugiere que el nitrógeno de las proteínas es convertido en formas más solubles, siendo traslocado a las regiones de crecimiento. Favorece el desarrollo foliar y consecuentemente la capacidad de realizar fotosíntesis y posiblemente incrementa la productividad de la planta. Sin embargo, el uso inadecuado puede ser más nocivo que útil.

Una aplicación **excesiva de nitrógeno** provoca un incremento en el número de hojas y del área foliar, con tejidos más tiernos y con mayores problemas fitosanitarios. También genera una maduración tardía de los frutos, caída de la flor, etc. (Vallejo, 1999; Catie, 1990).



El nitrógeno, fósforo y potasio suponen más del 90% del contenido en minerales. Durante el desarrollo del tomate, el nitrógeno y el fósforo disminuyen desde el 3% al 0,6% y del 2% al 0,4% de la materia seca, respectivamente, mientras el potasio permanece constante, alrededor del 3% (Nuez, 2001).

El tomate protegido arroja una media de **400 kg/ha de nitrógeno extraído**.

Según datos del USDA el **%N sobre materia seca en fruto de tomate** es de 2.3-3, pero el valor típico es **2,6**. El contenido de agua en recolección es de 94%.

Un estudio realizado en el valle del río Guadalquivir a lo largo de 9 años, analizó la producción de tomate en sistema ecológico y en sistema convencional bajo invernadero. Los parámetros de estudio fueron la disponibilidad de nutrientes en el suelo, la concentración de macronutrientes en la parte comestible de la planta y el rendimiento.

El ensayo finalmente reveló una mejora en la fertilidad de suelo bajo manejo ecológico, mientras que el rendimiento y el contenido de macronutrientes en la parte comestible de la planta fueron similares en ambos sistemas.

Los resultados más contundentes fueron los desprendidos en suelo, el contenido de nitrógeno en las parcelas orgánicas fueron aproximadamente el doble del contenido de las parcelas convencionales (parcela orgánica entre 1,4 y 2,5 g N Kjeldahl/kg y parcela convencional entre 0,8- y 1,2 g N Kjeldahl /kg). Además, se observó una fuerte relación de los incrementos de MO en el sistema ecológico con los incrementos del nitrógeno en suelo (Herencia *et al.*, 2007).

2.9. EL FÓSFORO

El fósforo es el segundo elemento más importante (tras el nitrógeno), para el crecimiento de las plantas.

Forma parte de compuestos clave en los procesos vitales del vegetal (ATP, ácidos nucleicos...). Su concentración oscila entre 0,05 - 0,7% sobre materia seca.

La importancia del fósforo radica en el crecimiento aéreo y radical, y es fundamental al comienzo de la estación de cultivo para favorecer el desarrollo.

Su asimilación está íntimamente relacionada al valor de pH en suelo.

Un **déficit de fósforo** en planta joven produce un color verde intenso y con temperaturas bajas coloración púrpura. Los entrenudos se acortan y la planta se achaparra. Dada su gran movilidad en planta, en las hojas más viejas los folíolos basales quedan marchitos y secos (Guerrero, 2000).



El **exceso de fósforo** provoca déficit de elementos como N, Fe, Cu y Zn.

2.9.1. EL FÓSFORO EN SUELO

El **fósforo del suelo** nunca esta en forma libre, sino en forma de fosfatos. Su contenido medio en suelo (referido a P_2O_5) es aproximadamente del 0,15%, dicho contenido varía dentro de límites muy amplios: desde 0,001% en terrenos silíceos poco fértiles, hasta un máximo de 0,2 a 0,3% en terrenos calizos. En el caso de los suelos cultivados en las regiones mediterráneas, dado su bajo contenido en MO, el fósforo orgánico sólo representa entre el 5% y el 20% del fósforo total.

Todo el **fósforo orgánico** está íntimamente asociado con la fracción de humus de la MO, formando compuestos orgánicos (fitina, fosfolípidos y ácidos nucleicos) y organominerales.

La **mineralización** del fósforo es lenta y supone el **20 - 60% del P total en el suelo**. Esta es activada por la fosfatasa. El fósforo podrá ser utilizado por los microorganismos del suelo, y ser inmovilizado, al menos temporalmente (Villalobos *et al.*, 2002).

El **fósforo inorgánico** puede encontrarse en la solución del suelo (absorbible por la planta) o en la fracción sólida (no absorbible por la planta):

- **Formas insolubles de liberación lenta.** Representan la reserva más importante del fósforo en suelo, están asociadas a los minerales (apatito y fosforita). Generalmente asociado al Ca.
- **Fósforo fijado:**
 - a) **Cambiable:** formas fijadas al complejo arcillo-húmico, compuestos de Fe y Al, partículas de arcilla o de caliza.
 - b) **No cambiable:** en pH extremos precipita formando compuestos insolubles; con pH ácido precipita el P en forma de fosfatos de Fe y Al (insoluble) y con pH básico precipita el P en forma de fosfato de Ca (insoluble).
- **Fosfatos solubles:** (en la solución del suelo). Su concentración es insignificante en la solución del suelo, hablamos de **0,1 mg/l de fosfato** (1-100 kg P_2O_5 /ha), esto obliga a su renovación conforme las plantas lo absorbe, de modo que la extracción de fósforo por parte de la planta determina el paso a la solución de formas fijadas o precipitadas.



El “**poder amortiguador o fijador**” del suelo es la relación entre el fósforo adsorbido y la concentración de fósforo en la solución del suelo.

Interesan suelos con alto poder fijador capaces de reponer fósforo de la solución conforme la planta lo va tomando. Suelos carentes de poder amortiguador, el fósforo aplicado acaba precipitado.

A la hora de abonar debe aplicarse más cantidad de P que permita cubrir el P en solución y el P inorgánico cambiante (Bellapart, 1988).

La movilidad del fósforo en suelo es muy reducida, consecuencia, a su elevada capacidad de fijación. Solo es viable por difusión por gradiente de concentración.

La planta lo absorbe en forma de: fosfato monovalente (PO_4H^-_2) predomina en suelos ácidos (para la planta es la forma más sencilla de absorción, de modo que los suelos ácidos son capaces de absorber más cantidad fósforo), fosfato bivalente (PO_4H^-) presente con pH altos (la planta lo toma de forma más lenta) y fosfato trivalente (PO_4^{3-}) difícilmente absorbible.

Aunque las formas aniónicas son las que la planta es capaz de absorber y es en estas formas como ejercen su actividad en la célula vegetal, se acostumbra, sin embargo, a expresar las relaciones de tipo cuantitativo (cantidad de fosfatos absorbidos, fósforo presente en la materia seca, etc.) refiriendo sus valores a anhídrido fosfórico (P_2O_5).

En condiciones de frío la planta es incapaz de tomar el fósforo del suelo; en tal situación se debe recurrir a la pulverización foliar.

La **liberación del fósforo por parte del abonado de fondo** está relacionado con la movilidad del fósforo en suelo. Los compuestos orgánicos de fósforo son más móviles que el fósforo inorgánico.

La aplicación de estiércol puede provocar la acumulación de fósforo a gran profundidad del suelo. La disponibilidad de fósforo aumenta si está ligado a compuestos orgánicos debido a:

- la formación de compuestos organofosfatados que son más fácilmente asimilados por las plantas.
- el reemplazo aniónico de fosfato monovalente PO_4H^-_2 en los sitios de adsorción.
- la cobertura de partículas de hierro y aluminio por humus, para formar una capa protectora que reduce la adsorción de fósforo.



Son muchas las investigaciones que señalan el efecto positivo de la incorporación de residuos orgánicos sobre la MO del suelo y aquellas características asociadas a la misma. En tal sentido, Larson *et al.*, (1972) señalan, tras 12 años de estudio, una relación lineal entre la tasa de aplicación de residuos orgánicos de origen vegetal y el carbono orgánico del suelo. El incremento observado en los niveles de P disponible en el suelo resultó ser significativo durante los tres años de incorporación de los residuos orgánicos.

Las pérdidas por lixiviación son insignificativas (dada la poca solubilidad del fósforo), pero si se añaden al suelo fertilizantes fosforados solubles y los suelos son arenosos y turbosos, las pérdidas si son apreciables por la escasa capacidad de retención de estos suelos.

Esta baja solubilidad, a veces, puede ocasionar problemas de deficiencia para ciertos cultivos.

Las pérdidas de fósforo en suelo observadas en bibliografía son muy variadas en función del tipo de suelo, de las vías hidrológicas de transporte y de las formas de fósforo evaluadas en esas pérdidas (Haygarth y Jarvis, 1999). Los valores oscilan desde cantidades prácticamente nulas, para ecosistemas forestales sin fertilización, hasta valores tan elevados como **620 kg /ha·año**, en zonas fuertemente fertilizadas con estiércoles y purines de vacuno. Por término medio se consideran pérdidas de **12kg/ha·año**.

El problema ambiental de los fosfatos es, como el del N, la **eutrofización de las aguas**. La eutrofización se genera cuando las aguas se enriquecen en nutrientes. En aguas continentales el nutriente limitante es el fósforo y, aunque no hay datos coincidentes entre los investigadores, se considera, que la concentración crítica de fósforo para desarrollar la eutrofización (expresada como fósforo soluble reactivo al molibdato) es de **0,01 - 0,02 mg/l** (Sharpley Rekolainen, 1997).

2.9.2. EL FÓSFORO EN TOMATE

Los **síntomas de deficiencia de fósforo** en tomate están relacionados con la reducción en el crecimiento de la planta, los tallos de la planta son delgados y fibrosos, en casos severos, las hojas son pequeñas, rígidas y volteadas hacia abajo, el haz es verde azulado y el envés purpura, las hojas viejas se tornan amarillas y caen prematuramente, la planta retarda su fructificación (Vallejo, 1999).

Su deficiencia junto a la de otros minerales como el nitrógeno y el potasio, retrasan el desarrollo de las flores del tomate pudiendo incluso provocar el aborto de las mismas. En ocasiones se abusa de él, buscando un acortamiento de entrenudos en las épocas tempranas en las que la planta tiende a ahilarse. Durante el invierno hay que



aumentar el aporte de este elemento, así como del magnesio, para evitar fuertes carencias por enfriamiento del suelo (Nuez, 2001).

La extracción media de fósforo en tomate invernado, se sitúa en 75 kg P₂O₅/ha.

Los valores umbrales de concentración de P en hojas de tomate (% sobre materia seca) son de 0,07 – 0,13, valores por debajo de los indicados serán muy deficientes y valores por encima serán adecuados.

Según datos del USDA, los contenidos de P en fruto de tomate (% sobre materia seca), da como cifra de 0,47.

El estudio realizado en el valle del Guadalquivir, obtuvo también valores superiores de fósforo disponible en el sistema orgánico (de 2 a 4 veces mayor). Mientras en el sistema convencional el contenido de fósforo disponible en suelo no supero los 50 mg/l P Olsen, en el sistema orgánico osciló entre los 50 y 150 mg/l P Olsen. Al contrario de los nitratos, los contenidos de fósforo en tomate fueron ligeramente superiores en la parcela orgánica (6,21 g/kg frente a 5,8 g/kg del sistema convencional) (Herencia *et al.*, 2007).



3. MATERIALES Y MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS MEDIOS

Los ensayos han sido realizados en la finca experimental UAL-ANECOOP, concretamente en los invernaderos asignados al Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Almería.

3.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL INVERNADERO

El invernadero (figura M1) era de tipo **raspa y amagado**, con soporte estructural de tubo de hierro galvanizado. La altura máxima del invernadero se cifraba en 4,5 m en la raspa, y ocupaba una superficie de 1.600 m² cultivables.

Constaba de ventanas tanto cenitales como laterales cuya apertura y cierre eran controlados automáticamente. Para mermar el riesgo de entrada de patógenos, el invernadero disponía de una antesala con doble puerta y un ventilador de localización de aire que favorecían tal fin.

Las líneas de cultivo se orientaron norte-sur, favoreciendo de este modo la captación de la luz solar, al evitar el sombreado provocado entre los invernaderos adosados (Serrano, 1996).



Fig.M1.- Pasillo central del invernadero.

3.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO NATURAL

Para la construcción del invernadero se procedió a nivelar el suelo natural de partida. Para ello se realizaron los desmontes y terraplenes necesarios, de forma que, el sustrato final quedó constituido por el material geológico subyacente, que consistía en una **marga salina yesífera** cuyas características de fertilidad químicas no eran las idóneas para el cultivo (tabla M1), dada su elevada conductividad eléctrica, porcentaje de sodio intercambiable (10%) y por un contenido en materia orgánica deficitario.

N total (% p/p)	0,03
Fósforo (mg/kg)	15,84
K cambio (cmol/kg)	0,34
Ca cambio (cmol/kg)	2,13
Mg cambio (cmol/kg)	1,84
Na cambio (cmol/kg)	0,47
CIC (cmol/kg)	4,78
Carbono org (% p/p)	0,15
CO₃⁻ (% p/p)	18,51
CE (dS·m ⁻¹)	27,1
pH	8,54

Tabla M1.- Composición química del suelo original. CIC (Capacidad de intercambio catiónico), Carbono org (Carbono orgánico total), CO₃⁻ (Carbonato cálcico equivalente), CE (Conductividad eléctrica).

Desde un punto de vista físico, y como consecuencia parcial de lo anteriormente dicho, el material de partida se presenta fuertemente desestructurado, aunque con una porosidad moderadamente elevada (0,477 m³ m⁻³) en la que abundan los macroporos (0,256 m³ m⁻³), originados por las clases granulométricas más gruesas (tabla M2), junto con una elevada microporosidad (0,119 m³ m⁻³) consecuencia de sus características texturales; el volumen de mesoporos (0,102 m³ m⁻³), capaz de retener agua y ponerla a disposición de las plantas es, sin embargo, proporcionalmente muy bajo.

Esta distribución de tamaño de poros condiciona la infiltración, permeabilidad, y redistribución del agua en el suelo. A priori, una vez vencida la resistencia inicial al paso de agua dentro de los poros de diámetro superior y suponiendo una conectividad hidráulica entre los mismos adecuada, deberíamos apreciar un flujo inicial rápido unido a un flujo capilar igualmente importante como consecuencia de los poros de menor diámetro. Una vez saturada la capacidad de transporte de los poros mayores, el flujo debería ralentizarse y la redistribución del agua debería ser lenta, permaneciendo en estado próximo a saturación durante largos períodos.



Gravas y Arenas			Limos		Arcilla
>3 mm	3-2 mm	2-0,05 mm	0,05-0,02 mm	0,02-0,002 mm	< 0,002 mm
30,8	7,6	22,6	9,4	16,2	13,4

Tabla M2.- Fracciones granulométricas de la marga utilizada como sustrato original en la construcción del invernadero. Datos expresados en porcentaje sobre peso total.

La curva característica de humedad de este suelo (figura M2) pone de manifiesto como el suelo es capaz de retener elevadas cantidades de agua a muy bajas tensiones (por encima de capacidad de campo), en cambio retiene poca a capacidad de campo y por debajo de ésta.

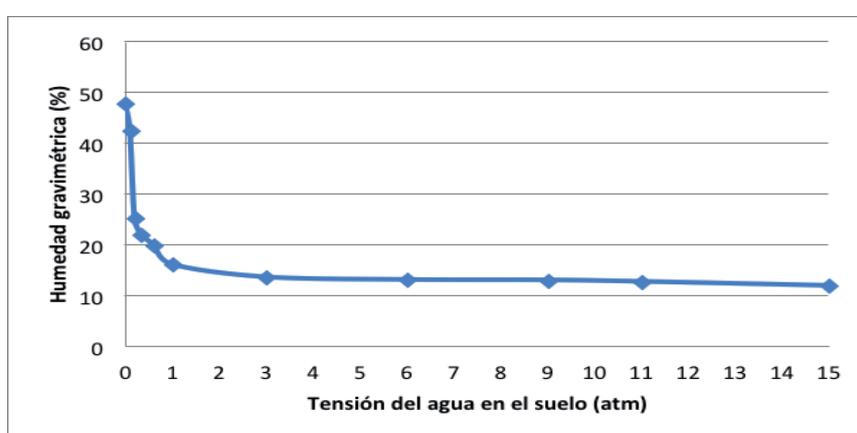


Fig.M 2.- Curva característica de humedad del sustrato sobre el que se construyó el invernadero .

La composición inicial del suelo (fertilidad física/química pobre) obligaron a recurrir a una serie de enmiendas antes de instalar el cultivo.

3.1.3. MATERIAL VEGETAL

Para el ensayo se empleó planta de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) variedad **Razymo RZ** en ciclo de primavera.

- Periodo de cultivo: del **8 de febrero de 2008** al **11 de julio de 2008**.
- Densidad de plantación: 2 plantas/m², marco de plantación 1 x 0,5 m.
- Entutorado: la parte basal de la planta fue sujeta mediante anillas a la rafia y



al alambre del invernadero por sistema de gancho y descuelgue.

- Poda de formación: consistió en el despunte del extremo apical por encima del séptimo brote y la planta se dispuso en un único brazo.
- Labores culturales: se realizaron conforme al uso de la zona; tanto en el destallado como en el deshojado, los restos se dejaron en el suelo para aprovechar los nutrientes que estos podían aportar al mismo.

3.1.4. RIEGO Y NUTRICIÓN

a) Riego

La dotación de riego atenderá a los datos proporcionados por la estación experimental de las Palmerillas, obtenidos por estimación de la ET diaria y utilizados por el propio equipo técnico de la finca.

El riego aplicado al invernadero no fue uniforme en toda la superficie. La superficie fue dividida en 4 sectores y cada uno dividido en dos subsectores, obteniendo un total de 8 subsectores. Cada subsector recibía una dotación de riego independiente, controlada por ordenador y registrada.

A cada subsector le correspondía una **electroválvula de riego**:

- Sector 1: (electroválvulas 10.1 y 10.2). Cada electroválvula proveía a 21 líneas portagotos con 40 goteros cada una.
- Sector 2: (electroválvulas 9.1 y 9.2). A ambas electroválvulas les correspondía 21 líneas portagotos con 40 goteros cada una.
- Sector 3: (electroválvulas 11.1 y 11.2). A la 11.1 le correspondía 7 líneas de cultivo con 40 goteros cada una. La 11.2 eran 10 las líneas portagotos con 17 goteros cada línea (zona de descuadre del invernadero).
- Sector 4: (electroválvulas 12.1 y 12.2). La electroválvula 12.1 regaba 21 líneas portagotos con 40 goteros cada una, y la electroválvula 12.2 comprendía 22 líneas con 40 goteros cada línea.

En cada sector, una misma línea de plantas está abastecida por dos líneas portagotos, una a cada lado, pertenecientes respectivamente a uno de los dos subsectores de riego. De esta manera la planta podía recibir agua por cada uno de sus lados, a la vez o alternativamente.



En cuanto al **cabezal de riego**, este consistía en 4 tanques de abono encargados de suministrar la solución a un tanque de mezclas por medio de las electroválvulas con caudalímetros, cuya información junto a la de pH y CE quedaban registradas en el ordenador.

b) Nutrición

Inicialmente se aportó un **abonado de fondo, 4 kg/m² de estiércol**. La nutrición del cultivo procedía fundamentalmente del medio edáfico apoyada por aportes puntuales de nutrientes vía fertirriego. La dosis final de fertilizantes aplicada a cada sector fue acorde a la cantidad de agua recibida y no a la modificación de la solución nutritiva. A continuación se detalla las cantidades de fertilizantes empleados (tabla M3) como la fechas de aplicación de cada uno de ellos (tabla M4).

FERTILIZANTE	Unidades	Gasto	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	SO ₃ (%)	Nt (%)	MOt (%)	P ₂ O ₅ (%)	AA (%)
Tecomín	L/tanque	40			3,54		3,54	44,8	1,2	8,26
Nutrigeo-Mix	Kg/tanque	5								
Hortisul	Kg/tanque	200			52	45				
Epsotop	Kg/tanque	75		16		32				
Caltec	L/tanque	100	12,3	1,23						2,46
Vinartec	L/tanque	220			3		1	30		2
O. Fosfonatur	L/tanque	40			10,3				17,4	
Pepton organihum	Kg/tanque	52					4	28		24,5
Organihum humus	L/tanque	40			4			7,2	3	

Tabla M3.- Gasto aproximado de los fertilizantes a lo largo del ciclo y riqueza de los mismos. Nt (Nitrógeno total), MOt (Materia orgánica total), AA (Aminoácidos).



CALENDARIO DE ABONADOS		
FECHA	FERTILIZANTE	DOSIS
25/02/08	Tecomín	40 ml/L
25/02/08	Nutrigeo-Mix	1 g/L
25/02/08	Hortisul	75 g/L
25/02/08	Epsotop	25 g/L
25/02/08	Caltec	80 g/L
23/03/08	Epsotop	25 g/L
27/03/08	Vinartec	80 ml/L
27/03/08	Hortisul	75 g/L
27/03/08	Fosnatur	40 g/L
09/04/08	Pepton	24 g/L
09/04/08	Hortisul	50 g/L
09/04/08	Nutrigeo-Mix	1 g/L
09/04/08	Epsotop	25 g/L
16/04/08	Vinartec	40 g/L
16/04/08	Pepton	80 g/L
16/04/08	Organihum humus	40 ml/L
16/04/08	Nutrigeo-Mix	1 g/L
08/05/08	Vinartec	20 g/L
08/05/08	Caltec	20 g/L
12/05/08	Nutrigeo-Mix	2 g/L

Tabla M4.- Calendario de abonados por fecha de aplicación.

3.1.5. PREVENCIÓN DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

Durante todo el ciclo, el cultivo estuvo exento de problemas relacionados con plagas o enfermedades que exigieran tratamientos fitosanitarios, de modo que las únicas acciones realizadas fueron de carácter preventivo:

- 4 de abril: aplicación de azufre micronizado a una dosis de 25 g/L con el objeto de ralentizar el crecimiento vegetativo tras la plantación, a causa de cierto ahilamiento de las plantas (problema que presentaron desde el semillero).
- sueltas de *Nesidiocoris tenuis* (de forma preventiva) en las bandas y en el centro del invernadero. Se trata de un depredador de mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y trips (*Frankliniella occidentalis*), plagas muy típicas en planta de tomate.



3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

La superficie útil del cultivo fue dividida en 4 **sectores**, con perfiles de suelo distintos: sector 3 (enarenado convencional) y el sector 1, 2 y 4 (enarenado modificado).

Cada uno de los sectores ocupaba una superficie de 420 m², exceptuando el sector 3 cuya superficie fue menor a consecuencia del descuadre (320 m²). Los sectores 1 y 2 se situaron con orientación sur y los sectores 3 y 4 orientación norte.

El ensayo consistió en la evaluación de los efectos en los contenidos de humedad del suelo, nitratos y fosfatos bajo dos condiciones de cultivo ecológico diferentes.

1. Aplicación para un mismo perfil de suelo, distintas dotaciones de riego.
2. Aplicación para distintos perfiles de suelo, un misma dotación de riego.

3.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DE SUELO MODIFICADO

Tratando de aprovechar las características de retención de agua de la marga, a la vez que de evitar el efecto salino sobre los cultivos, se diseñó un procedimiento de enmienda al suelo, el cual consistió;

1. En primer lugar se procedió a la labranza (con un subsolador a unos 20cm de profundidad) y despedregado superficial de la marga original para favorecer el drenaje.
2. A continuación se aportó y mezcló arena (de tamaño granulométrico dominante entre 1 y 2 mm) con dicha marga, con objeto de generar un horizonte con suficiente capacidad de retención de agua y buena conductividad hidráulica entre los poros.
3. Sobre el segundo horizonte, se adicionó una nueva capa de arena (de las mismas características), unida a un aporte de estiércol (tabla M5), mezclándola con el anterior horizonte.



Estiércol	
pH	8,97
CE (dS/m)	25,3
Hsat (%)	184,6
CO (%)	17,6
CO soluble (g/L)	6,86
Ntot (%)	1,18

Tabla M5.- Datos analíticos del estiércol aportado a la finca. CE (Conductividad eléctrica), Hsat (Humedad de saturación), CO (Carbono orgánico), CO soluble (Carbono orgánico soluble), Ntot (Nitrógeno total). Fueron medidos en extracto de saturación.

De esta manera obtenemos una secuencia de tres horizontes (arena + materia orgánica; mezcla; marga labrada) en el que la porosidad más gruesa corresponde a los horizontes superiores y las más fina los inferiores (figura M3).

Esto favorecerá el flujo de agua y el lavado en profundidad y prevendrá el ascenso salino por capilaridad, una vez que cesen los riegos. A su vez, permitirá la infiltración rápida en el horizonte superior, lo que disminuirá las pérdidas por evaporación, generando un efecto similar al acolchado inorgánico tradicional y permitirá una distribución relativamente rápida en profundidad, facilitando así, el desarrollo radicular.

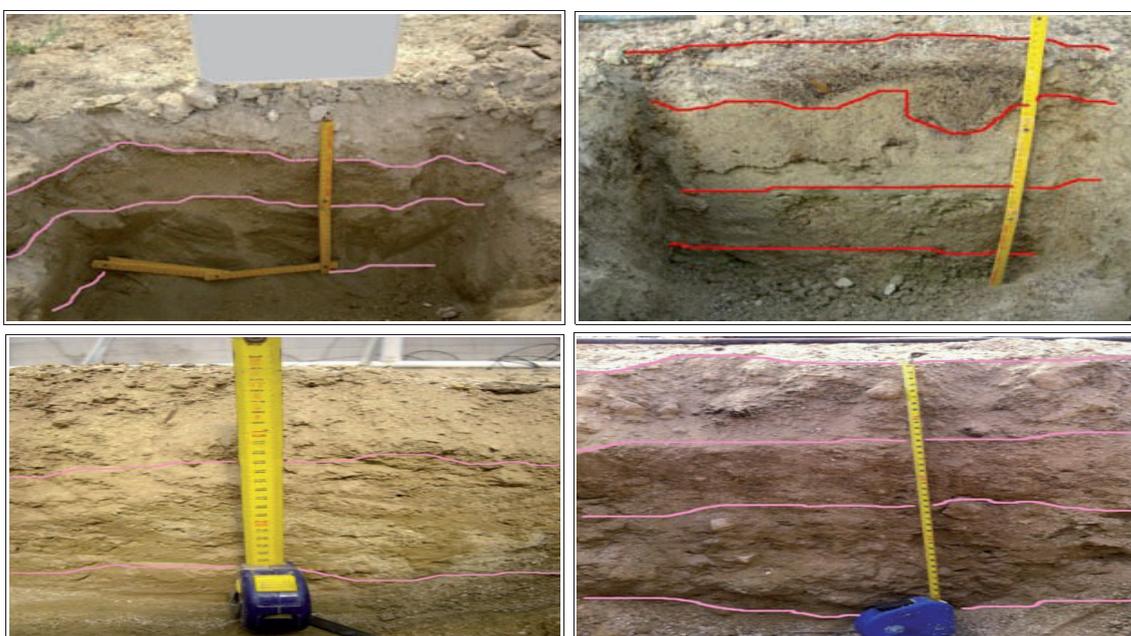


Fig.M3.- Imágenes de los perfiles correspondientes a los cuatro sectores en los que está dividido el invernadero experimental. Los horizontes están marcados con líneas de color y tienen profundidades variables. Arriba a la izquierda: perfil correspondiente al sector 1, con la secuencia de horizontes Arena + materia orgánica, Mezcla, Marga

labrada, Marga original. Arriba a la derecha: perfil correspondiente al sector 2, con la secuencia de horizontes Arena + materia orgánica, Mezcla, Marga labrada. Abajo a la izquierda: perfil correspondiente al sector 3, con la secuencia de horizontes Arena, Marga labrada, Marga sin labrar. Abajo a la derecha: perfil correspondiente al sector 4, con la secuencia de horizontes Arena + materia orgánica, Mezcla, Marga labrada (con elevada pedregosidad).

El proceso de construcción del suelo genera una variabilidad en la profundidad de los horizontes (figura M4), parte deseada y otra parte inevitable. En el sector 3, la mezcla inicial de la arena y de la marga no se realizó, depositándose sólo la segunda parte de la enmienda, consistente en el aporte de arena, directamente sobre la marga labrada, de manera similar a como se hubiera procedido en un enarenado convencional, pero mezclando la materia orgánica con la marga, por lo cual su secuencia de horizontes es diferente de las demás. Por otra parte, en el sector 4, la marga original de partida es mucho más pedregosa que en el resto del invernadero.

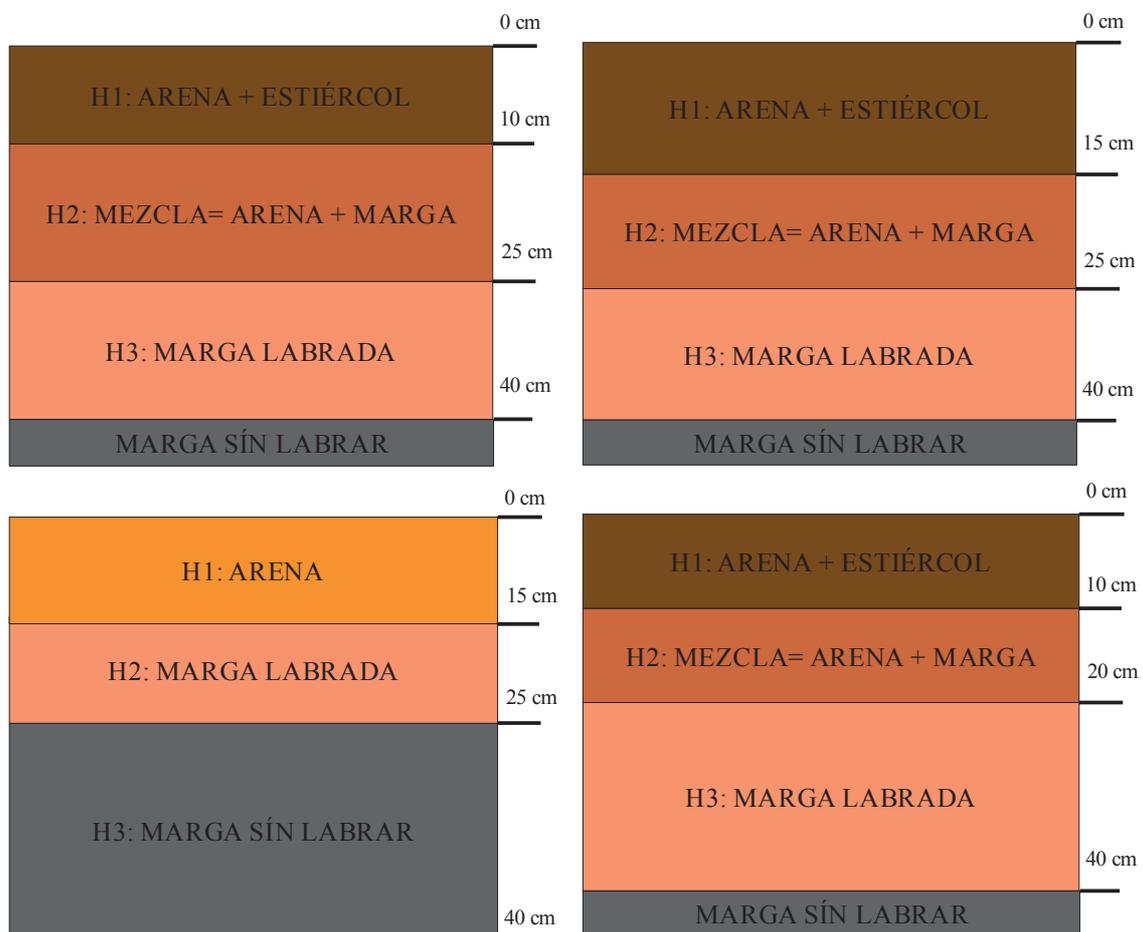


Fig.M4.- Profundidad de los diferentes horizontes en cada uno de los sectores del invernadero. Arriba a la izquierda: perfil correspondiente al sector 1. Arriba a la derecha: perfil correspondiente al sector 2. Abajo a la izquierda: perfil correspondiente al sector 3. Abajo a la derecha: perfil correspondiente al sector 4. H1(horizonte 1), H2 (horizonte 2), H3 (horizonte 3).



La siguiente tabla (tabla M6) muestra las características físico-químico iniciales de cada uno de los horizontes artificiales creados:

SECTORES 1 - 4			
	HORIZONTE 1	HORIZONTE 2	HORIZONTE 3
Ntot	0,22	0,02	0,03
N-org	0,21	0,02	0,03
NO₃⁻(ppm)	503,1	649,4	34,7
P (mg/kg suelo)	250,66	22,17	15,85
PH	9,14	9,06	8,54
CE (dS/m)	14,03	3,75	27,1
CO(%)	1,84	0,07	0,15
CaCO₃ eq (%)	31,18	32,08	18,52
CIC (cmol+/kg)	6,1	1,62	4,79
Cac (cmol+/kg)	5,05	6,34	48,5*
Mgc (cmol+/kg)	1,28	0,41	1,84
Nac (cmol+/kg)	1,31	0,29	10,1*
Kc (cmol+/kg)	3,24	0,38	0,34
Ca (mg/L)	227	198	760
Mg (mg/L)	190	101	850
Na (mg/L)	1255,28	281,1	4812,16
K (mg/L)	2756,15	247,18	7,1
Arena (%)	86,83	88,28	36,71
Limo (%)	6,49	6,02	41,55
Arcilla (%)	6,68	5,7	21,74

Tabla M6.- Propiedades de los horizontes artificiales del suelo en los sectores 1 y 4. Ntot (nitrógeno total), N-org (nitrógeno orgánico), CE (Conductividad eléctrica), CO (Carbono orgánico), CaCO₃ eq (Carbonato cálcico equivalente), CIC (Capacidad de intercambio catiónico), Cac (Calcio de cambio), Mgc (Magnesio de cambio), Nac (Sodio de cambio), Kc (Potasio de cambio), Ca (Calcio en extracto de saturación), Mg (Magnesio en extracto de saturación), Na (Sodio en extracto de saturación), K (Potasio en extracto de saturación).

* Consecuencia de la solubilización de sales cálcicas y sódicas. Inherente al método.



3.2.2. DURACIÓN Y PATRÓN EXPERIMENTAL DE RIEGO:

A lo largo del ciclo de cultivo, se establecieron tres patrones de riego distintos (figura M5):

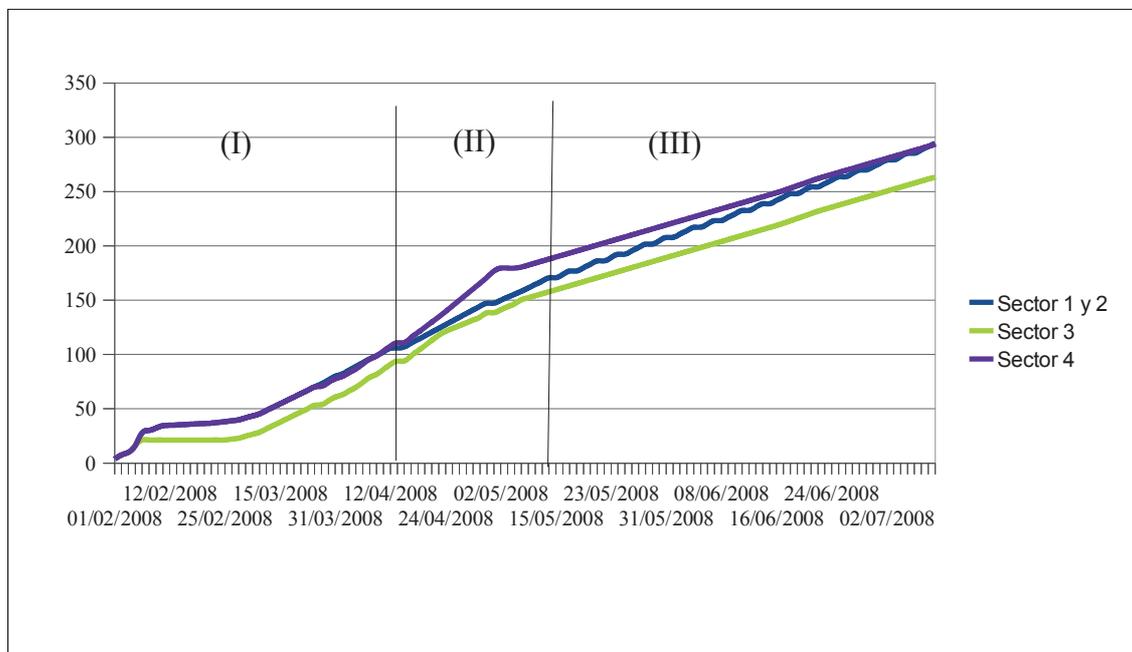


Fig.M5.- Curva acumulada de riego para cada uno de los sectores de estudio. Las unidades están expresadas en Lm². Los números romanos indican cada una de las diferentes etapas de gestión del riego tal como se indica en el texto.

(I) periodo: 1 de febrero de 2008 – 11 de abril de 2008.

Todos los sectores recibieron la misma dotación de agua.

Se iniciaron los riegos preplantación una semana antes de implantar el cultivo, de acuerdo con el criterio del equipo técnico de la finca experimental, dándose dos fuertes riegos durante esa semana.

El sector 3, incapaz de infiltrar a la misma tasa que el resto de sectores como consecuencia de su diferente estructura de horizontes quedó inundado y, por tanto, debió permanecer sin riego durante las dos semanas siguientes, hasta restablecer el mismo patrón de riegos que los demás.

A lo largo de todo el ciclo de cultivo, tanto la cantidad de riego recibida como su distribución fueron idénticas en los sectores 1 y 2.

(II) periodo: 11 de abril de 2008 - 15 de mayo de 2008.

Se incremento la dotación acumulada de los sectores 3 y 4 en un 10% sobre los sectores 1 y 2 con objeto de explorar el comportamiento hídrico del suelo y su capacidad posterior para proporcionar agua hacia el final de ciclo.

Para ello se optó por distribuir la dotación de los sectores 3 y 4 en dos riegos al día con una única electroválvula, cada uno a un lado de la planta, frente a un único riego diario (con las dos electroválvulas) mantenido en los sectores 1 y 2.

(III) periodo: 15 de mayo de 2008 - 4 de julio de 2008.

Se redujo la dotación de los sectores 3 y 4 en un 10% sobre la de los sectores 1 y 2.

De manera que, la frecuencia de los riegos consistió en un riego diario a los sectores 3 y 4, y 5 riegos semanales a los sectores 1 y 2, con objeto de que las cantidades totales de agua aportada al cultivo fueran similares (excepto el sector 3).

La figura M6 muestra la emisión acumulada de agua por gotero, correspondiente a cada uno de los sectores.

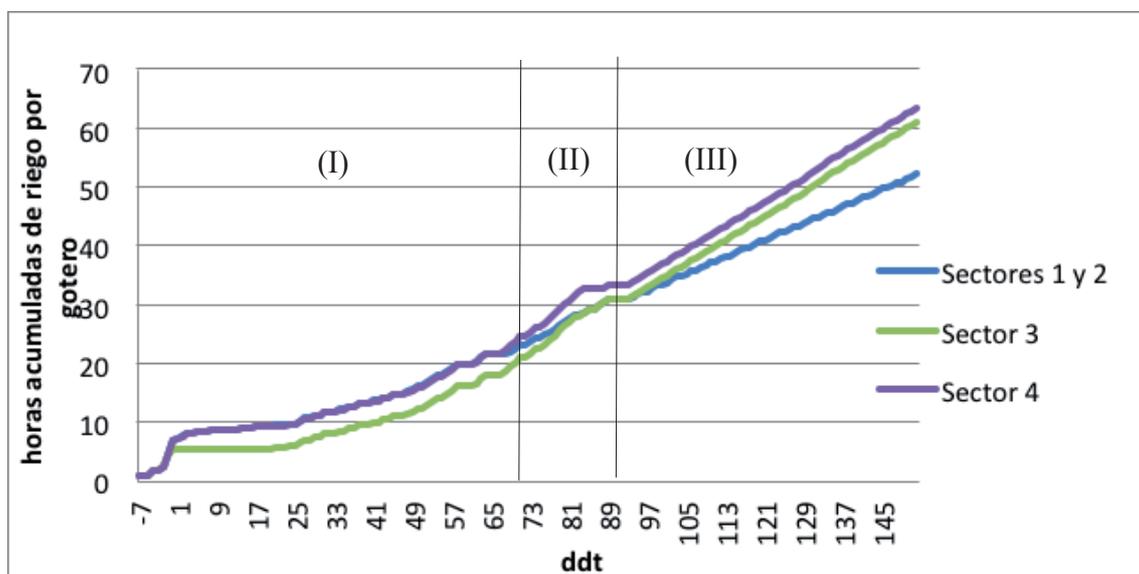


Fig.M6.- Horas acumuladas de riego para un gotero tipo de cada sector. Ddt: Días después del trasplante.

En general los sectores 1 y 2 recibieron por cada gotero un 15% menos de agua que los sectores 3 y 4. Sin embargo, la dotación global por sector no depende exclusivamente de la emisión de cada gotero individual, dado que cada planta estuvo abastecida por dos líneas portagoteros. Así, el volumen final recibido por cada planta depende tanto de la dotación y frecuencia de riego en cada gotero como del número de líneas portagoteros que abastecen a cada planta. La figura M7 muestra el volumen total acumulado recibido por cada planta a lo largo del ciclo de cultivo.

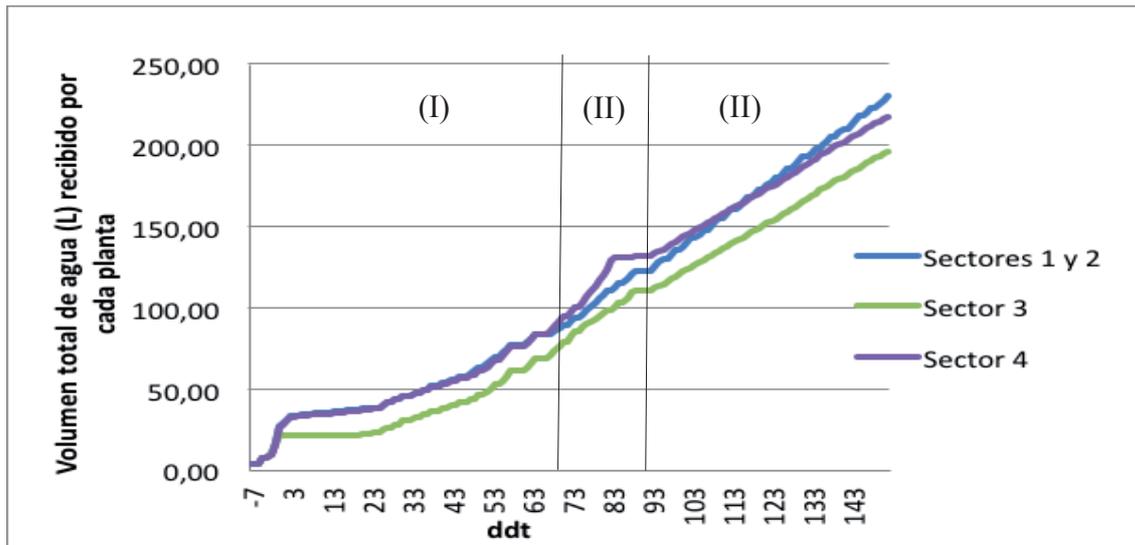


Fig.M7.- Volumen (L) acumulado de agua por planta para cada uno de los cuatro sectores del invernadero. Ddt: días después del trasplante.

En resumen, los sectores 1 y 2 mantuvieron el patrón estándar de riego para el diseño del invernadero, recibiendo un único riego al día por cada evento de riego y agua a los dos lados de la planta, durante todo el ciclo de cultivo.

Los sectores 3 y 4 mantuvieron un patrón distinto, recibiendo un único riego al día a ambos lados de la planta durante el (I) periodo, para posteriormente pasar a recibir dos riegos al día con una sola línea portagoteros.

El volumen final de agua recibido por cada planta fue similar para los sectores 1, 2 y 4 (promedio 226,8 L desviación típica 7,4) e inferior para el sector 3 (195 L por planta), pero con la misma tendencia general que el sector 4 debido a los problemas originados por la inundación inicial que implicó que el sector dejara de regarse durante 2 semanas.

3.3. MUESTREO

Para la obtención y valoración de datos se procedió a la toma de muestras en suelo, hoja, y tomate en cada uno de los sectores.

3.3.1. SUELO

a) Medida del contenido volumétrico de humedad en suelo (Sonda PR1)

Desde el 14 de abril de 2008 hasta el 17 de junio de 2008 (ambos inclusive) se procedió, una vez por semana, a la medida de la humedad en suelo, por medio de una sonda de capacitancia PR1.

Para el empleo de la sonda se instalaron tubos de acceso en cada uno de los sectores. En cada sector se colocaron uno en mitad del pasillo entre líneas de cultivo (dato de pasillo) y otro junto al cuello de una planta situada en la zona central del sector (dato de gotero).

Los datos recogidos fueron los siguientes:

1. Se tomaron datos de cada uno de los **sectores** (sector 1 ,2 , 3 y 4).
2. Se midieron a distintas **profundidades** (a 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, y 40 cm de profundidad).
3. En cada nivel de profundidad se recogieron datos de **gotero y pasillo**.

A lo largo de la mañana esta operación se realizó varias veces (entre tres y cuatro) con intervalos de tiempo de 45 minutos a una hora. Además de anotar los datos de humedad (l/m^3), se anotó la **hora** y la **fecha** de cada dato recogido (figura M8).



SONDA PR1		FECHA:							
PROF SUELO (Cm)	SECTOR 1		SECTOR 2		SECTOR 3		SECTOR 4		
	l/m ³ suelo		l/m ³ suelo		l/m ³ suelo		l/m ³ suelo		
	Hora:		Hora:		Hora:		Hora:		
	Gotero	Pasillo	Gotero	Pasillo	Gotero	Pasillo	Gotero	Pasillo	
5									
10									
15									
20									
25									
30									
35									
40									

Fig.M8.- Estadillo para la toma de datos de humedad en el suelo.

b) Toma de muestras de suelo

Las muestras de suelo nos permitirán conocer los contenidos y la dinámica de nitratos y fosfatos a lo largo del perfil del suelo.

La recogida de las muestras se realizaron desde el 22 de abril de 2008 al 11 de julio de 2008 con un intervalo de dos semanas entre muestra y muestra.

Para cada fecha se tomo muestras de los 4 sectores, y a su vez, en cada uno de ellos se tomaron muestras de los tres horizontes (H.1, H.2 y H.3), obteniendo un total de **12 muestras**. Dentro del propio sector la muestra fue recogida de forma aleatoria, intentado que el lugar fuera distinto al de fechas anteriores.

En el caso del sector 3, la secuencia llevada a cabo en la recolección de muestras no correspondía con la secuencia arena-estiércol-marga, esta fue de la siguiente manera:

- Horizonte 1: incluía tanto la arena como la materia orgánica (estiércol).
- Horizonte 2: comprende la zona labrada de marga inmediatamente inferior.
- Horizonte 3: es la zona más inalterada de la marga subyacente.



La toma de las muestras siguió los siguientes pasos:

1. La extracción de suelo se realizó con ayuda de una barrena, obteniendo suelo de los 3 horizontes.
2. Una vez extraído identificábamos in-situ los tres horizontes para así introducirlos en bolsas de plástico diferentes.
3. Cada bolsa era rotulada con la siguiente información:
 - fechas de extracción
 - sector
 - horizonte

Una vez recogidas las 12 muestras, fueron llevadas a la sala de molienda, donde eran depositadas en papel de filtro para su secado al aire y posterior tamizado.

3.3.2. HOJA

Se seleccionaron **12 plantas** de cada uno de los sectores (**48 plantas en total**), de las cuales se tomarían las hojas muestra. Fueron marcadas para su fácil reconocimiento (figura M9), y se llevó a cabo un control para evitar que siempre se tomaran hojas de las mismas plantas.

En cada una de las fecha de recogida, se tomaron hojas de 4 plantas de las 12 seleccionadas.

La recogida de muestras comenzó el 22 de abril de 2008 y finalizó el 23 de junio de 2008, en intervalos de dos semanas aproximadamente.

Las hojas debían estar en perfecto estado de desarrollo (las hojas más jóvenes fisiológicamente desarrolladas) cuyo corte se realizaba desde la base de inserción del peciolo.

Para cada fecha y sector se recopilaron 2 repeticiones. Una vez cortadas eran introducidas en bolsas de plástico, donde se rotulaba:

- Fecha de corte
- Sector
- Repetición



Fig.M9.- Marcaje de las plantas muestra.



Una vez en laboratorio eran introducidas en una estufa para su desecación.

3.3.3. FRUTO

De esas mismas 12 plantas se tomaron los racimos. Los tomates fueron recogidos desde el 3 de mayo de 2008 hasta el 11 de julio de 2008 en intervalos de 1 a 2 semanas.

Los tomates debían estar en perfecto estado de madurez. Una vez cogidos se depositaban en cajas donde se marcaba:

- Fecha de recogida.
- Sector

Estas cajas eran transportadas hasta el laboratorio de la universidad donde, en el mismo día, eran obtenidos los parámetros objeto.

3.4. ANÁLISIS EN LABORATORIO

En el laboratorio se procedió al análisis de suelos, hojas y frutos, anteriormente recogidos.

3.4.1. SUELO

El análisis del nitrógeno se hizo en base a la concentración de nitratos en los extractos de saturación del suelo (figura M10) por medio de espectrometría de UV/visible, de acuerdo, con los métodos oficiales de análisis de aguas potables y de consumo público según directiva 98/83/CE del Consejo. Una vez construida la curva patrón se midió con el espectrofotómetro UV/Vis la absorbancia a 220 nm y 275 nm. Para conocer la absorbancia debida al ión nitrato restamos la lectura a 275nm multiplicada por 2 a la lectura a 220nm. El contenido de nitratos se calculó mediante curva patrón.



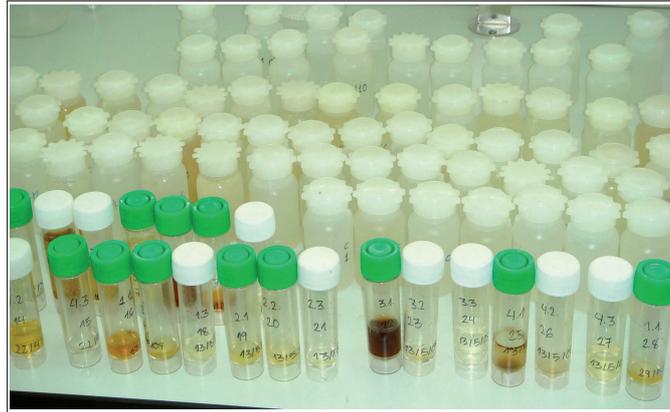


Fig.M10.- Soluciones de cada muestra.

En el análisis de fosfatos medimos la concentración de fosfatos en extractos de saturación del suelo según espectrometría de absorción UV/visible, de acuerdo a los métodos oficiales de análisis de aguas potables y de consumo público según directiva 98/83/CE del Consejo. Añadimos carbono activo a una dilución 1:25 de extracto en un matraz erlenmeyer, como reactivo usamos ácido ascórbico y medimos la absorbancia con longitudes de onda entre los 400nm 490nm (Panreac-Química, 1999).

3.4.2. HOJA

Ya deshidratadas, eran molidas hasta convertirlas en polvo y se introducían en bolsas de plástico con su correspondiente información (fecha, sector y repetición).

Posteriormente la muestra foliar fue mineralizada en medio sulfúrico con ayuda de un bloque digestor. Una alícuota del mineralizado así obtenido, una vez diluida, sirvió para la determinación de los iones por los métodos antes citados.

3.4.3. FRUTO

Los parámetros medidos en fruto siguieron la siguiente metodología:

- a) **Peso de cada racimo:** cada uno de los racimos fue pesado en una balanza previamente tarada.
- b) **Nº de frutos por racimo:** se cuantificó el número de frutos que portaba cada racimo.
- c) **Calibre del fruto:** con ayuda de un calibre digital se midió el calibre

ecuatorial y longitudinal de cada uno de los frutos recogidos.

- d) **°Brix**: como instrumento de medición se recurrió a un refractómetro digital. Se seleccionaron 10 frutos de cada sector, se cortaron por la mitad y se estrujaron unas gotas de jugo en el soporte habilitado en el refractómetro para tal efecto.
- e) **pH**: se tomaron igualmente 10 frutos de cada sector, se trituraron con ayuda de una batidora y ya sobre el zumo de tomate, se midió el pH con un peachímetro.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HÍDRICO DE LOS SUELOS DEL INVERNADERO

4.1.1. ANTES DE ESTABLECER EL CULTIVO

a) Estado hídrico del suelo antes de iniciar los riegos.

Antes de iniciar los riegos preplantación (tras instalar el sistema de riego), se realizó una primera estimación del contenido en humedad en suelo con una sonda de capacitancia PR1. Las condiciones de partida son las más próximas a suelo seco, ya que éste, únicamente había recibido aportes de agua anteriores a la construcción del invernadero y otros procedentes de las pruebas realizadas para el funcionamiento del sistema de riego.

La figura RD1 muestra el estado de humedad de cada uno de los horizontes, en los 4 sectores, antes de comenzar los riegos. El diferente espesor y distribución de los horizontes, genera una distribución diferencial de humedad entre los distintos sectores.

En los sectores 1, 2 y 4 con distribución similar de horizontes aunque con diferente espesor, el contenido de humedad se incrementa paulatinamente con la profundidad, observándose en el sector 4 un incremento de humedad en torno a los 10 cm como consecuencia del menor espesor del primer horizonte. En el sector 3, la baja capacidad de retención de agua de los horizontes superiores provoca que la marga labrada empiece a acumular la mayor proporción de agua aportada hasta el momento.

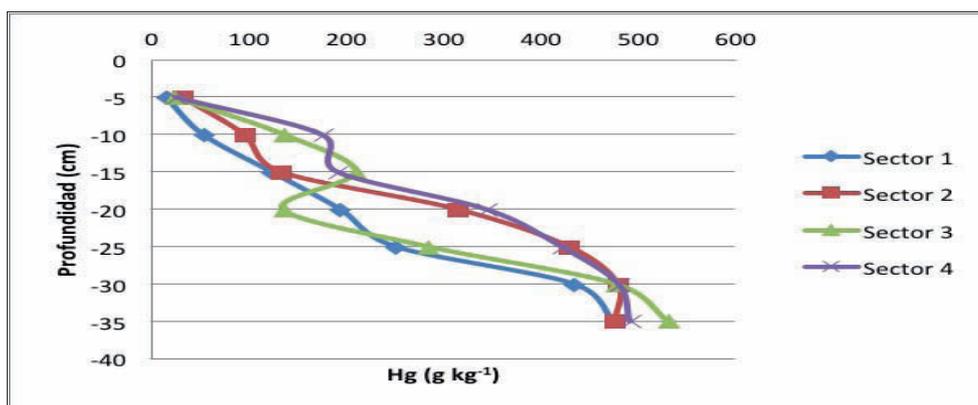


Fig. RD1.- Distribución de la humedad en los cuatro sectores experimentales antes de comenzar los primeros riegos en el invernadero. Hg: Humedad gravimétrica. El nivel de referencia tomado para la medida de la profundidad es la superficie del suelo, por lo cual, los valores de profundidad tienen signo negativo.

b) Evaluación de la dinámica hídrica del suelo, partiendo de un suelo seco, con la aplicación de un primer riego de 20 minutos.

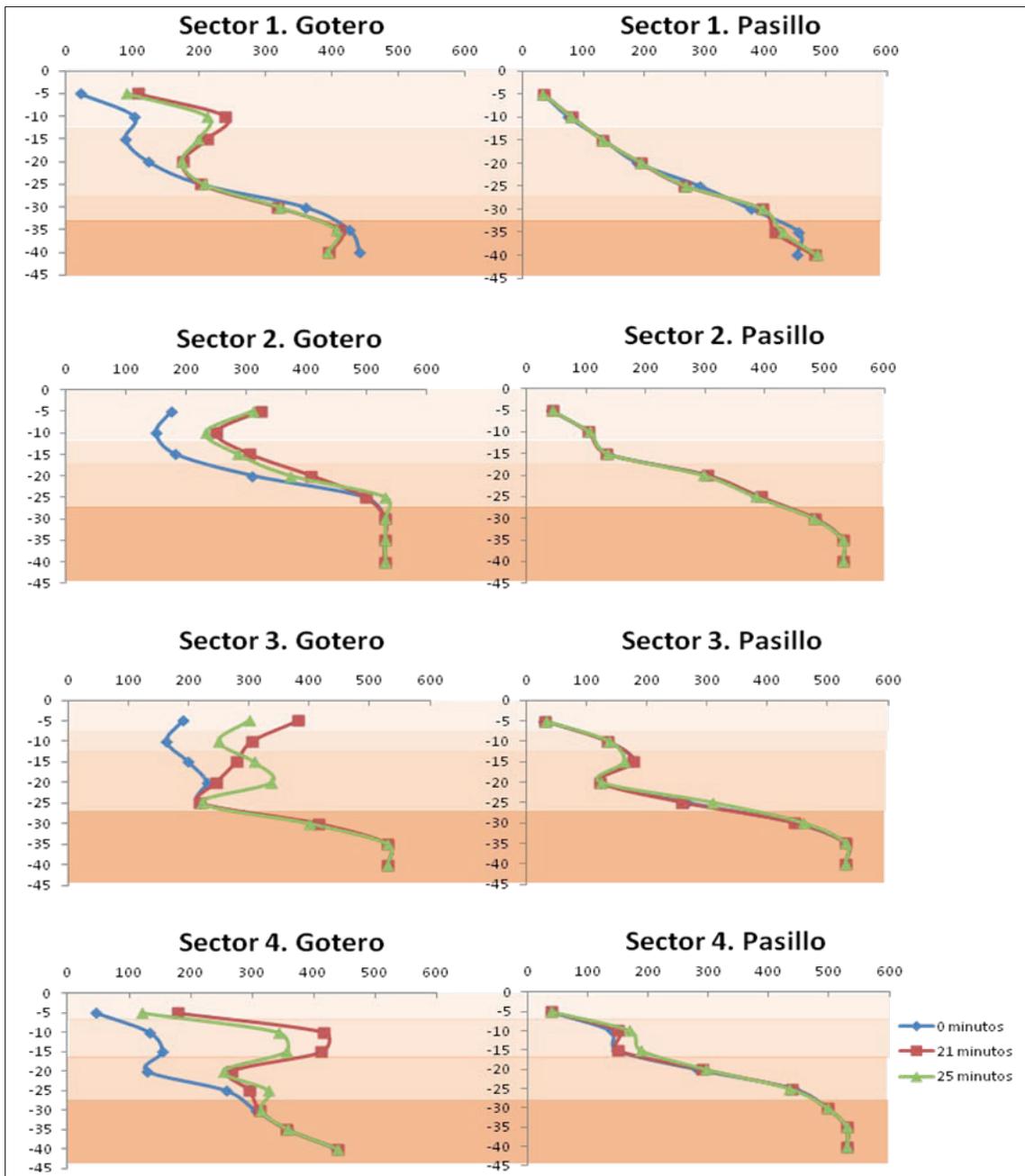


Fig. RD2.- Patrón de distribución de la humedad gravimétrica (g kg^{-1}) en profundidad para cada uno de los distintos sectores en que está dividido el invernadero tras el primer riego de 20 minutos. 0 minutos indica el estado de humedad antes de iniciarse el riego. 21 minutos indica el estado de humedad justo al finalizar el riego. 25 minutos indica el estado de humedad cinco minutos después de finalizar el riego. La posición “gotero” representa la sonda situada a 5 cm de distancia del emisor. La posición “pasillo” representa la sonda situada a 25 cm del emisor. El valor de referencia para la profundidad es la superficie del suelo. La gradación de colores representa el espesor de los distintos horizontes en cada uno de los sectores: Arena, Mezcla, Marga labrada y Marga original.



Antes de establecer el cultivo, realizamos una primera prueba de riego, de 20 minutos de duración, con el objeto de estudiar el comportamiento hídrico en los distintos sectores, partiendo de un suelo seco (Fig. RD2). El espesor diferencial de los horizontes y la profundidad de las interfases generadas condicionan el perfil humedad.

Así los sectores 1 y 4, muestran un perfil de humectación similar en forma pero con zonas de acumulación diferentes. En ambos casos, la infiltración inicial en superficie es elevada, con un flujo que suponemos predominantemente vertical dado que no provoca gran acumulación de agua en este horizonte. En el sector 1, el mayor incremento de humedad se detecta en la interfase entre los horizontes de arena y mezcla, sin que se produzca un aumento en los horizontes más profundos. En el sector 4, el poco espesor del horizonte arena provoca una mayor retención en el horizonte denominado mezcla y un incremento en el horizonte marga labrada, más profundo.

Finalizado el riego, en el sector 4 se observa una redistribución rápida del agua resultado de un flujo en dos direcciones:

- (i) flujo vertical hacia abajo, consecuencia del flujo gravitacional y matricial,
- (ii) flujo lateral, principalmente matricial, que se manifiesta tanto por una disminución del contenido de agua en el horizonte mezcla asociado a un incremento en el horizonte marga labrada subyacente, bajo el gotero, como un incremento en el contenido en humedad del horizonte mezcla en el pasillo. Sólo el riego en el sector 4 evidencia un movimiento lateral de agua hacia el pasillo.

En el sector 1, parece plausible la existencia de un flujo lateral capilar de similares características, que deber ser algo más lento que el del sector 4, dado que apreciamos un descenso del contenido de humedad en la zona de acumulación sin detectar un incremento de la misma ni en profundidad ni en el pasillo. Dicha hipótesis se sostendría sobre una doble base:

- (i) dado que el diámetro de poro es superior en este horizonte, el flujo capilar debe ser más lento,
- (ii) el ascenso capilar menor, lo que provoca que el avance del frente de humectación para una misma dotación de riego sea menor. Como consecuencia de ambos efectos, no detectamos variaciones de humedad en el pasillo.

A diferencia de los sectores 1 y 4 donde la acumulación de humedad ocurre en profundidad, en los sectores 2 y 3 se aprecia una acumulación de humedad importante en la superficie del suelo aunque por motivos distintos.



En el sector 2, el incremento en el contenido de humedad bajo el gotero al finalizar el riego es homogéneo en los tres primeros horizontes (la forma de la curva se mantiene intacta a lo largo del proceso de riego), lo que parece indicar un equilibrio entre los componentes gravitacional (flujo rápido) y matricial (flujo lento) en el transporte del agua en el perfil.

Sin embargo en el sector 3, al finalizar el riego, bajo el gotero se detecta una gran acumulación de agua en superficie que no tiene correspondencia en los horizontes inferiores, lo que puede indicar una deficiencia en la capacidad de infiltración.

Finalizado el aporte de agua, se produce una redistribución rápida de la humedad verticalmente hacia abajo, hasta la marga labrada. Estas curvas de distribución de la humedad son típicas de suelos con cambios bruscos de las condiciones de infiltración entre los distintos horizontes. Las características hidráulicas de los horizontes superiores, con una porosidad alta y elevado diámetro medio de poros, permiten infiltrar rápidamente el agua emitida por el gotero, con un flujo dominado por el componente gravitacional, en dirección predominantemente vertical hacia abajo. Cuando el frente de humectación alcanza la interfase con el horizonte marga labrada, de porosidad similar, pero de diámetro de poro mucho más pequeño, y por tanto con una conductividad hidráulica mucho menor y movimiento de agua dominado por el componente matricial, debe producirse un reequilibrio de las condiciones de flujo, que supone una acumulación de humedad tanto en la interfase como en los horizontes superiores (Chu y Mariño, 2005). Una vez finalizado el aporte de agua, dicho reequilibrio conduce a una redistribución del contenido de humedad en el perfil, incrementándose la humedad en el horizonte marga labrada. Este efecto, se acentúa cuando los horizontes inferiores se encuentran saturados de agua, pudiendo provocar situaciones transitorias de encharcamiento en los horizontes superficiales, nocivos para el cultivo.



4.1.2. UNA VEZ ESTABLECIDO EL CULTIVO

a) Evaluación de la dinámica hídrica del suelo, tras haber recibido varios riegos.

Una vez establecido el patrón de riegos e implantado el cultivo, el suelo ya se encuentra en equilibrio (80 días tras el trasplante), se procedió a realizar un estudio del patrón de humectación del suelo ente riegos, tomando medidas a distintos intervalos de tiempo entre dos riegos consecutivos (29/04/08 y 30/04/08), en cada uno de los sectores, tanto en gotero como en pasillo.

SECTOR 1

La figura RD3 representa el patrón de humectación del perfil del sector 1 en el periodo que media entre los dos riegos de 30 minutos realizados en dos días consecutivos.

Observamos que, tanto bajo el gotero como en el pasillo, la marga labrada, de poco espesor, y la marga original aparecen saturadas de agua o próximas a saturación por lo que no se detecta ninguna variación del humedad con los riegos.

En los horizontes superiores (arena y mezcla) bajo gotero, es donde se producen las mayores variaciones, de manera que, a los 10 minutos después de iniciarse el riego del primer día, se incrementa el contenido de agua en todo el primer horizonte y alcanza los primeros centímetros del horizonte mezcla.

Posteriormente el contenido en humedad de la superficie del suelo tiende a estabilizarse, lo que indica una infiltración principalmente dominada por la gravedad que incrementa el contenido de humedad en el horizonte mezcla subyacente. La curva de humectación ve modificada su forma en la interfase entre ambos horizontes, como consecuencia probable de la necesidad de reequilibrio en las condiciones de infiltración, causadas por el cambio textural abrupto, esto provoca, un cambio en el tipo de flujo, donde el flujo capilar adquiere mayor importancia.

Superada la interfase, la humedad se incrementa rápidamente en el horizonte mezcla en los siguientes 10 minutos, hasta finalizar el riego.

Durante las dos horas siguientes, se observa un descenso gradual de la humedad en ambos horizontes, aunque más acusado en el horizonte mezcla, sin que se aprecie un incremento de humedad en profundidad y sin que se aprecie, como es de esperar, un efecto de interfase como en el caso de la humectación. Este descenso de humedad tampoco se refleja en una variación apreciable en la humedad del pasillo, que parece haber alcanzado ya un estado de equilibrio permanente.



A lo largo del día 29 y hasta que se produce el riego del día 30, hay una disminución progresiva del contenido hídrico del suelo hasta llegar a un estado de equilibrio similar al encontrado al inicio del experimento.

El riego realizado el día 30/04/2008 muestra de nuevo el mismo patrón de humectación y desecado, que por tanto consideraremos como de equilibrio.

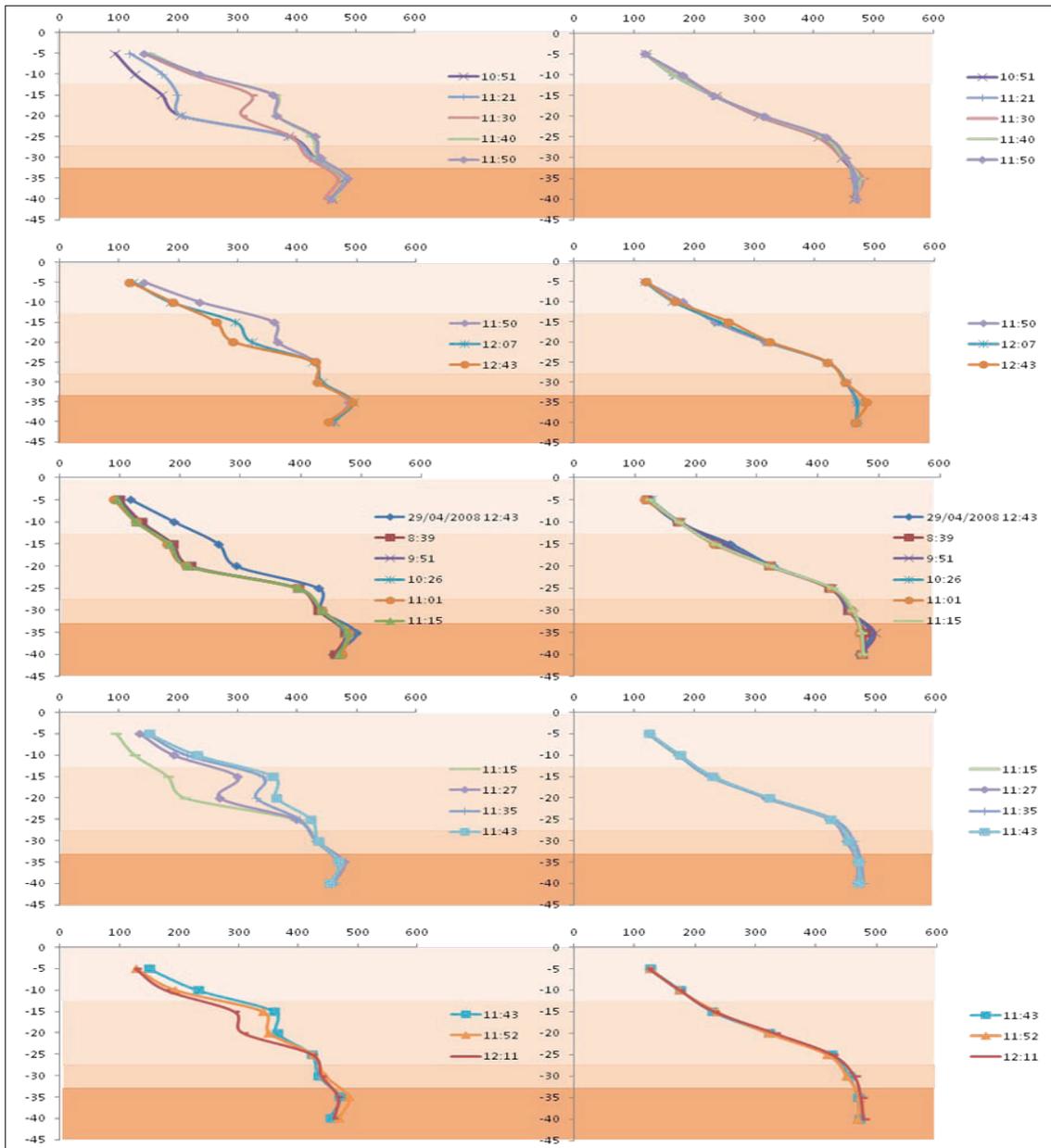


Fig. RD3.- Patrón de distribución de la humedad (g kg^{-1}) en profundidad (cm) en el perfil de suelo del sector 1, entre dos riegos de 30 minutos realizados en días consecutivos. El riego se inició ambos días a las 11:10 hasta las 11:43 de la mañana. La columna de gráficos de la izquierda muestra el patrón ocurrido bajo el gotero. La columna de la derecha muestra lo ocurrido en el pasillo. Las dos filas de gráficos superiores corresponden al día 29/04/2008, las



inferiores al 30/04/2008 (se indica la última medición tomada el día 29 para mejor referencia de lo ocurrido). El patrón de colores esquematiza la profundidad aproximada de cada horizonte. De arriba hacia abajo, progresivamente más oscuro: arena, mezcla, marga labrada y marga original.

SECTOR 2.

El sector 2 muestra la misma distribución de horizontes que el sector 1, pero con distinto espesor, lo que se traduce en un patrón de humectación distinto (figura RD4).

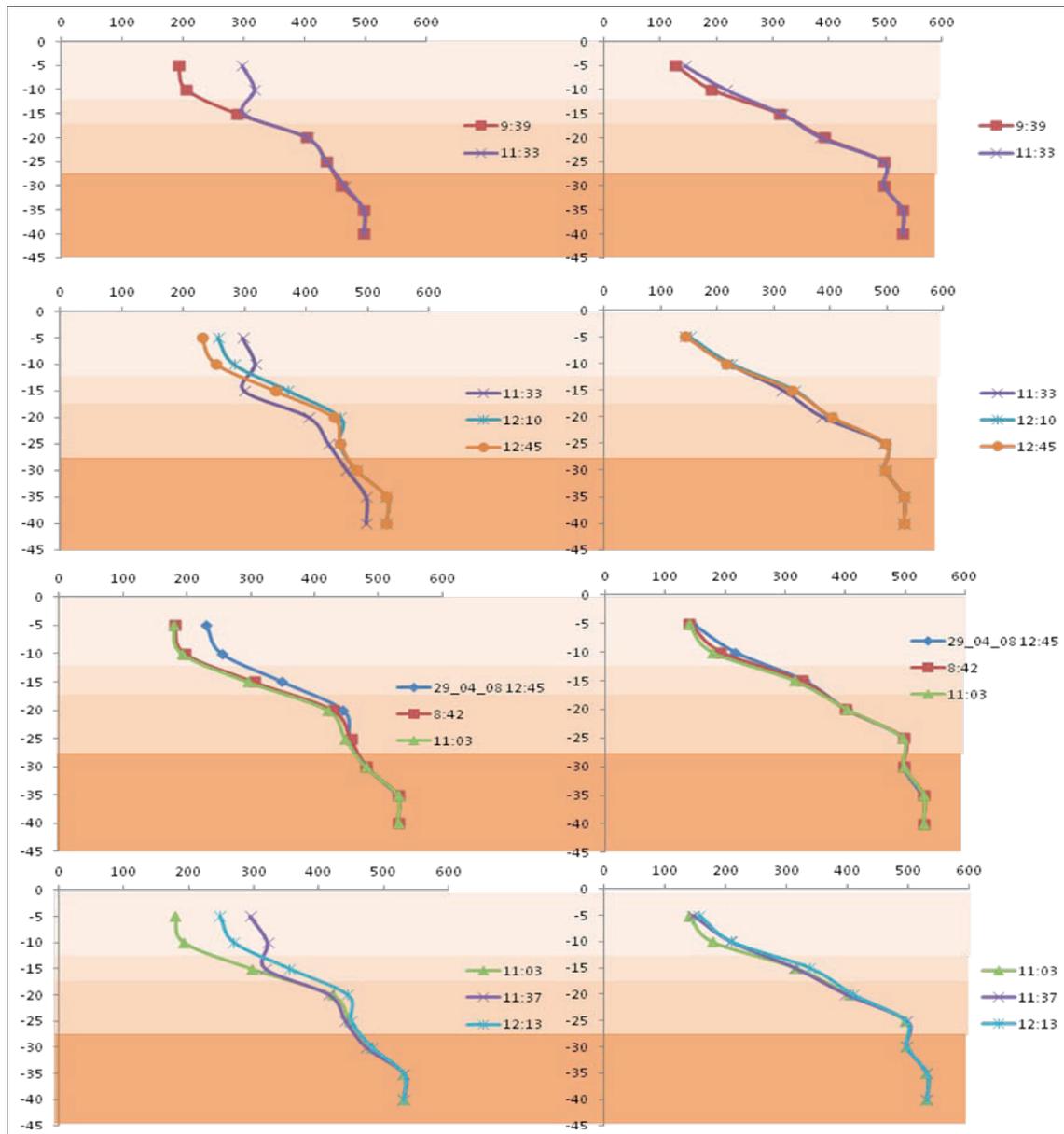


Fig. RD4.- Patrón de distribución de la humedad (g kg^{-1}) en profundidad (cm) en el perfil de suelo del sector 2, entre dos riegos de 30 minutos realizados en días consecutivos. El riego se inició ambos días a las 11:10 hasta las 11:43 de



la mañana. La columna de gráficos de la izquierda muestra el patrón ocurrido bajo el gotero. La columna de la derecha muestra lo ocurrido en el pasillo. Las dos filas de gráficos superiores corresponden al día 29/04/2008, las inferiores al 30/04/2008 (se indica la última medición tomada el día 29 para mejor referencia de lo ocurrido). El patrón de colores esquematiza la profundidad aproximada de cada horizonte. De arriba hacia abajo, progresivamente más oscuro: arena, mezcla, marga labrada y marga original.

Durante el riego, se advierte un déficit de infiltración en profundidad, probablemente a consecuencia de un cambio muy abrupto en las condiciones de flujo, provocando que el agua se almacene bajo el gotero en el horizonte arena y se expanda lateralmente hacia el pasillo donde podemos detectar cierto incremento en la interfase entre este horizonte y el subyacente (mezcla) a los 20 minutos de iniciar el riego. El caudal emitido por el gotero infiltrará, al inicio del riego, rápidamente a través de la superficie del horizonte arenoso con un flujo predominantemente vertical, hasta alcanzar el horizonte mezcla. La diferencia abrupta de tamaño medio de poro motiva el desplazamiento lateral del agua (hacia el pasillo), en la interfase con el horizonte subyacente, hasta alcanzar una superficie suficiente en dicho horizonte para infiltrar el caudal de llegada. Dado que el desplazamiento lateral no puede ser inmediato a través del horizonte arena, se producirá una acumulación temporal de la humedad bajo el gotero llegándose a un estado próximo a saturación.

Tras finalizar el riego, alcanzado el equilibrio en la superficie, se produce la redistribución rápida del agua, disminuye el contenido de humedad en el horizonte arena, incrementándose proporcionalmente en los horizontes subyacente tanto de gotero como de pasillo.

El poco espesor del horizonte mezcla respecto al mayor espesor del horizonte marga labrada (a diferencia de lo que ocurría en el sector 1) provoca que el horizonte marga labrada cobre un papel importante en la dinámica hídrica del suelo, apreciándose variaciones en su contenido de humedad, especialmente en los primeros centímetros, incluso en el pasillo, una hora después de haber finalizado el riego.

Desde este momento, hasta el riego del día siguiente, se produce una disminución del contenido hídrico del suelo, más notable en los horizontes superficiales, como es de esperar, y como ocurría en el sector 1. Este descenso del contenido de humedad se produce igualmente en el pasillo.

El riego del día siguiente interpreta el mismo patrón de humectación.



SECTOR 3.

En el sector 3, los horizontes superficiales se han reducido a la mínima profundidad existente en el invernadero, convirtiéndose la marga labrada en el horizonte más potente. Estas condiciones son similares a algunas de las existentes en invernaderos de enarenado convencional.

La principal diferencia observada entre las curvas obtenidas en el sector 3 (figura RD5) y el resto de sectores es el valor máximo de humedad en los horizontes superiores, muy próximo al estado de saturación, incluso en el horizonte arena.

El proceso de humectación es muy similar al observado en el sector 2 pero mucho más acusado, dado que la capacidad inicial de infiltración del horizonte arena prácticamente se ha perdido al encontrarse sus poros casi saturados. Esto provoca que rápidamente detectemos un gran incremento en el contenido de humedad en los dos horizontes superiores, incluso en el pasillo, cuya superficie llega a saturarse.

La dinámica hídrica entre pasillo y gotero son muy similares, incluso en el proceso de desecación, observándose un incremento de humedad en la marga original más profunda con la pérdida de agua de los horizontes superiores, lo que implica, un lixiviado continuo tanto de agua como de recursos nutritivos asociados a ella. Esta situación dista mucho de ser deseable, por cuanto el estado próximo a saturación debe afectar al desarrollo radicular (Chu and Mariño, 2005) impidiendo la colonización de los horizontes más profundos donde la cantidad de oxígeno necesaria para la respiración radicular debe ser muy baja. Al ser la densidad radicular muy elevada en superficie y muy baja o nula en profundidad (datos no demostrados en el proyecto) los elementos nutritivos lixiviados con el agua, que pasan por debajo del nivel de enraizamiento, dejan de estar a disposición del cultivo, lo que disminuye la eficiencia, afecta a la economía del productor y contribuye a la contaminación general de la zona. A esto añadimos, la condición de cultivo ecológico de nuestro proyecto, y por tanto, con escasez de insumos, el proceso de pérdida de recursos es más grave todavía.



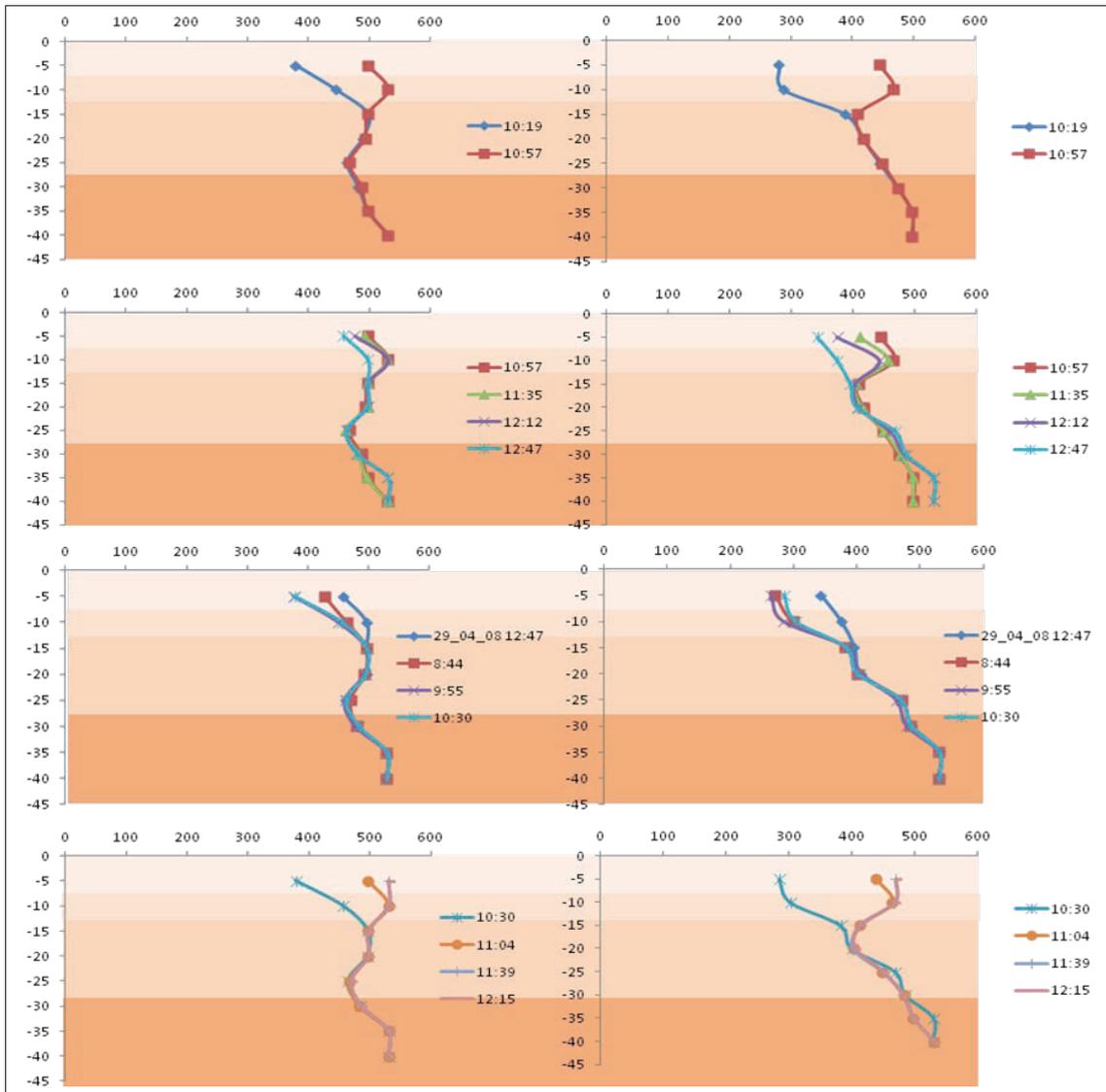


Fig. RD5.- Patrón de distribución de la humedad (g kg^{-1}) en profundidad (cm) en el perfil de suelo del sector 3, entre dos riegos de 45 minutos realizados en días consecutivos. El riego se inició ambos días a las 10:30 de la mañana. La columna de gráficos de la izquierda muestra el patrón ocurrido bajo el gotero. La columna de la derecha muestra lo ocurrido en el pasillo. Las dos filas de gráficos superiores corresponden al día 29/04/2008, las inferiores al 30/04/2008 (se indica la última medición tomada el día 29 para mejor referencia de lo ocurrido). El patrón de colores esquematiza la profundidad aproximada de cada horizonte. De arriba hacia abajo, progresivamente más oscuro: arena, mezcla, marga labrada y marga original.

SECTOR 4.

El sector 4 tiene un perfil de humectación (figura RD6) muy similar al sector 1 en cuanto a la forma de las curvas. Sin embargo, la diferencia de espesor del horizonte arena superficial, 5 cm menor en el sector 4, le confiere al conjunto del sector unas características drásticamente diferentes que se manifiestan en la detección de agua en la sonda situada en el pasillo.

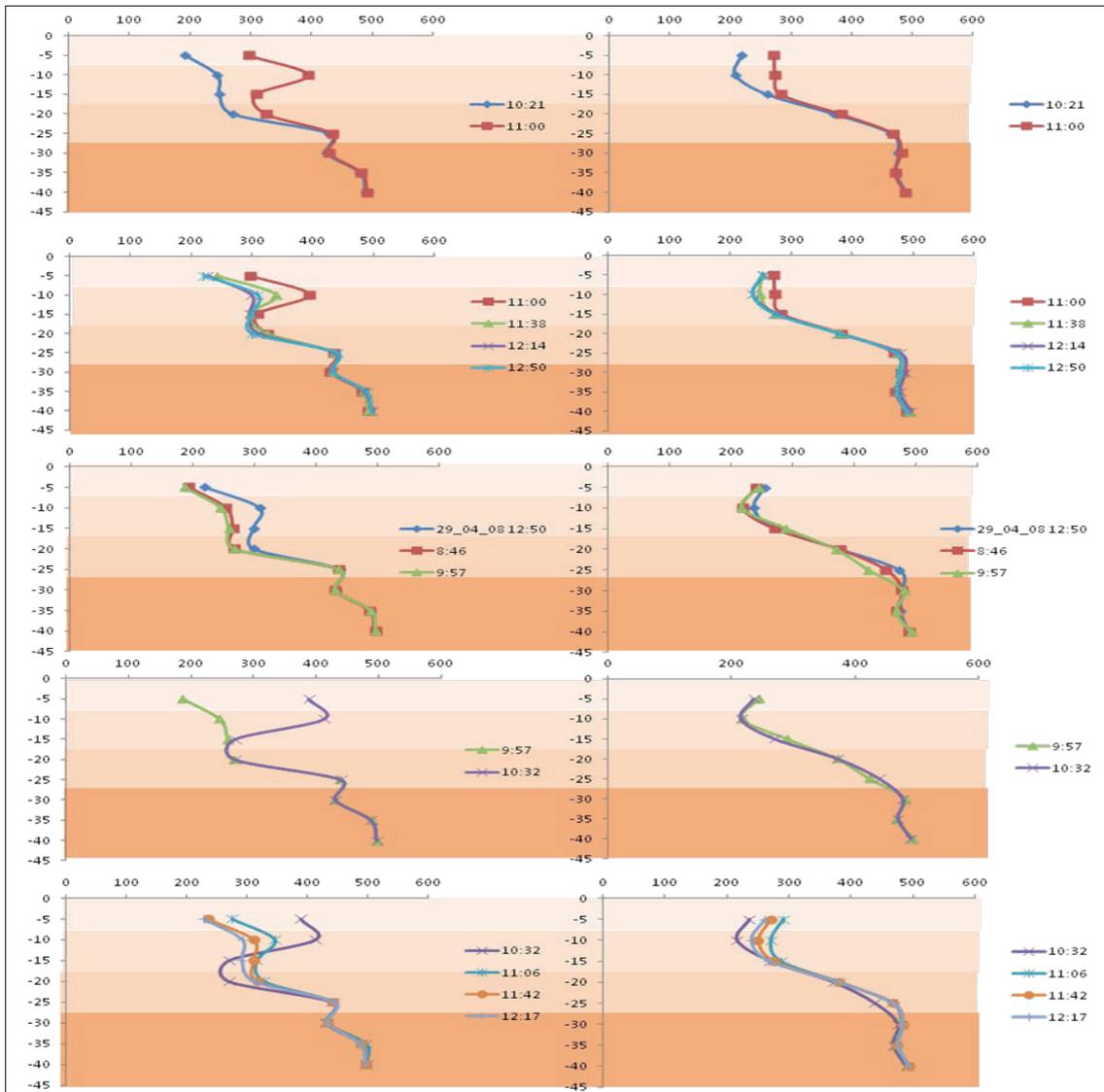


Fig. RD6.- Patrón de distribución de la humedad (g kg^{-1}) en profundidad (cm) en el perfil de suelo del sector 4, entre dos riegos de 45 minutos realizados en días consecutivos. El riego se inició ambos días a las 10:30 de la mañana. La columna de gráficos de la izquierda muestra el patrón ocurrido bajo el gotero. La columna de la derecha muestra lo ocurrido en el pasillo. Las dos filas de gráficos superiores corresponden al día 29/04/2008, las inferiores al 30/04/2008 (se indica la última medición tomada el día 29 para mejor referencia de lo ocurrido). El patrón de colores esquematiza la profundidad aproximada de cada horizonte. De arriba hacia abajo, progresivamente más oscuro: arena, mezcla, marga labrada y marga original.

A su vez, el menor espesor del horizonte mezcla ocasiona que se detecte variación en el contenido de humedad en el horizonte marga labrada por debajo de este, en la sonda situada bajo el gotero y en la interfase con la marga original, cierto tiempo después de haber iniciado el riego en la sonda situada en el pasillo.

Este comportamiento denota cierto equilibrio entre los procesos de flujo vertical dominados por la gravedad y los de flujo lateral, dominados por capilaridad y asociado a la presencia de interfases entre horizontes con distintas características hidráulicas.

Fundamenta lo anteriormente dicho el comportamiento observado el día 30, dos minutos después de iniciados los riegos y, supuestamente en condiciones de no equilibrio en el flujo de agua, en los que se aprecia bajo el gotero un incremento rápido de la humedad en el horizonte superficial hasta la interfase, sin que se observe variación en el contenido de agua en el pasillo.

Treinta minutos después, una vez salvada la diferencia energética que supone el paso por la interfase entre los dos horizontes superficiales, se observa la disminución del contenido de humedad bajo el gotero, asociada a un incremento del mismo, tanto en el horizonte mezcla subyacente (flujo vertical y capilar), como en el pasillo, en ambos horizontes, lo que denota un flujo lateral considerable.

b) Evolución del contenido hídrico a lo largo del ciclo de cultivo.

La figura RD7 muestra las curvas patrón de humectación del perfil bajo el gotero, en cada uno de los cuatro sectores, calculadas en promedio para las distintas épocas de cultivo, partiendo de la medida realizada en suelo seco.

En todos los casos puede observarse como el horizonte más profundo (marga original) ha ido saturándose a lo largo del ciclo de cultivo y, cómo acto seguido lo ha ido haciendo el inmediatamente superior (marga labrada).

Este proceso ha sido más evidente en los sectores 2 y 3 en los que el espesor del horizonte mezcla, capaz de retener, distribuir y ceder el agua al cultivo, es notablemente menor. En estos perfiles, a lo largo del cultivo se ha ido produciendo una acumulación neta de humedad desde los 5-10 cm de profundidad hacia abajo, apareciendo condiciones de saturación a partir de los 15 cm de profundidad. Sin embargo, el contenido de humedad hacia el final del cultivo es inferior al inicial en los horizontes superficiales, lo que sugiere que la extracción de agua por el cultivo se realiza superficialmente.

Por el contrario, en los sectores 1 y 4, la acumulación neta de agua comienza por debajo de los 20-25cm de profundidad, y aparecen condiciones de saturación por debajo de los 30cm, lo que sugiere que la profundidad útil de extracción de agua para estos perfiles es mayor y por tanto la posibilidad de captación de recursos también lo será.



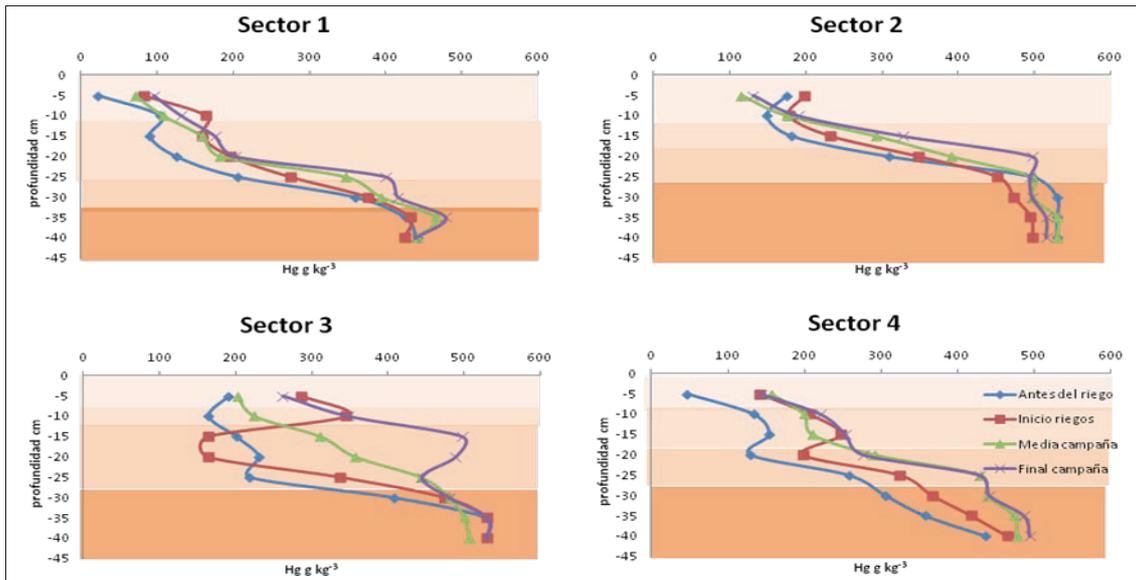


Fig. RD7.- Curvas de distribución promedio de humedad en el perfil de los sectores indicados, en sondas situadas bajo el gotero, para diferentes períodos del ciclo de cultivo. El patrón de colores esquematiza la profundidad aproximada de cada horizonte. De arriba hacia abajo, progresivamente más oscuro: arena, mezcla, marga labrada y marga original.

La figura RD8 pone de manifiesto la existencia de un flujo lateral desde el gotero hacia el pasillo en todos los sectores. Dicho flujo había sido observado inmediatamente tras un riego individual para todos los sectores menos para el sector 1. Sin embargo, el estudio de la campaña al completo indica que en este sector también se incrementa el agua paulatinamente en el pasillo. De nuevo los sectores 2 y 3 son los que, por sus características particulares, muestran un mayor grado de saturación en profundidad, a partir de los 20cm.

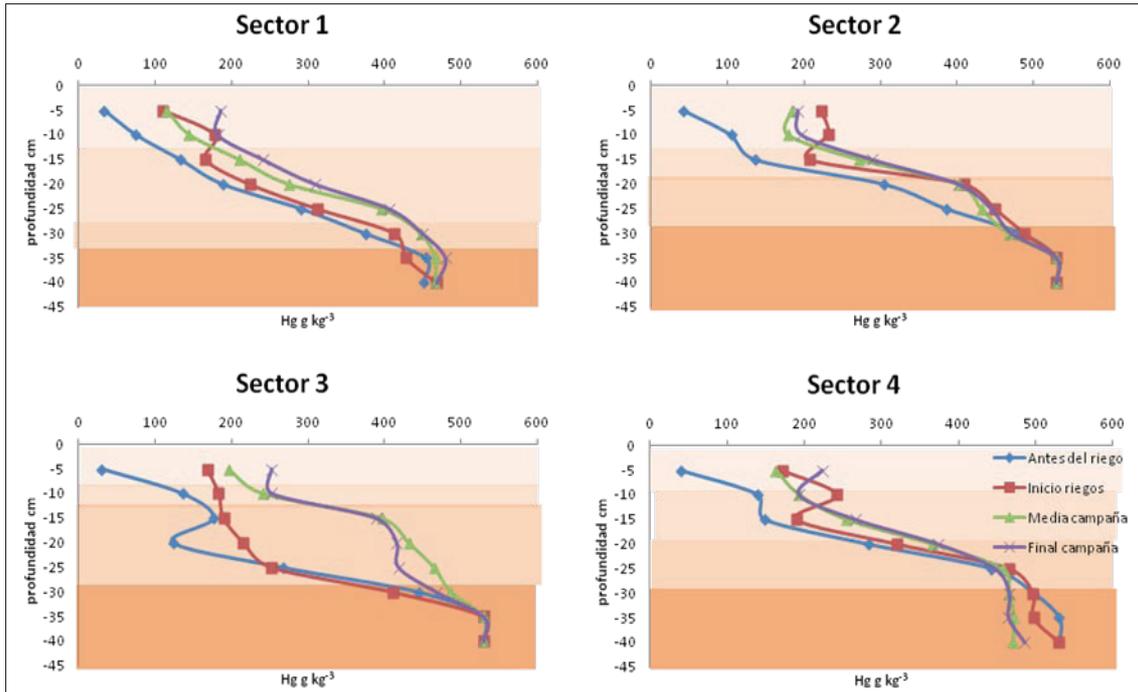


Fig. RD8.- Curvas de distribución promedio de humedad en el perfil de los sectores indicados, en sondas situadas bajo el pasillo, para diferentes periodos del ciclo de cultivo. El patrón de colores esquematiza la profundidad aproximada de cada horizonte. De arriba hacia abajo, progresivamente más oscuro: arena, mezcla, marga labrada y marga original.

4.2. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN SUELO Y HOJA

4.2.1. EVALUACIÓN EN SUELO

Las medidas realizadas en suelo fueron: **pH, CE, nitratos, fosfatos y sulfatos**. Los valores se evaluaron estadísticamente mediante un test Duncan para un nivel de significación 0,05.

Tales medidas fueron agrupadas bajo tres criterios diferentes: sector (tabla RD1), horizonte (tabla RD2) y fecha de medida (tabla RD3).

Los valores obtenidos entre los sectores 1, 2, 3, y 4 únicamente mostraron diferencias significativas en las cifras de pH, CE y nitratos. El valor medio de pH fue muy similar en toda la finca, en cambio la CE y los niveles de nitratos fueron mayores en el sector 2, en concreto los niveles de nitratos cuadruplicaron los valores del sector 1 (sector con la cifra mas baja).

Fosfatos y sulfatos no mostraron diferencias significativas, y las cifras medias fueron similares en todos los sectores, a excepción de los sulfatos del sector 2 donde nuevamente fueron mayores al resto de sectores.

Sector	pH	CE (Ms)	NO ₃ ⁻ (mg/kg)	PO ₄ ⁻ (mg/kg)	SO ₄ ⁻ (mg/kg)
1	8,44 ^a (0,26)	6,72 ^{ab} (2,80)	33,65 ^a (23,03)	0,62 ^a (1,01)	82,83 ^a (24,91)
2	8,65 ^b (0,19)	8,47 ^a (2,75)	122,05 ^b (142,03)	0,75 ^a (0,96)	135,39 ^a (139,94)
3	8,64 ^b (0,33)	6,22 ^b (2,83)	68,66 ^{ab} (112,90)	0,61 ^a (0,30)	86,79 ^a (55,27)
4	8,49 ^{ab} (0,22)	7,66 ^{ab} (3,39)	43,30 ^a (32,09)	0,42 ^a (0,20)	96,14 ^a (26,78)

Tabla RD1.- Promedio en suelo en cada uno de los sectores 1,2,3 y 4 de pH, CE (Conductividad eléctrica) NO₃⁻ (nitratos), PO₄⁻ (fosfatos), SO₄⁻ (sulfatos). Los valores entre paréntesis indican una desviación típica. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre los valores observados a un nivel de significación 0,05.

Comparando horizontes, sus resultados de pH, CE y sulfatos obtuvieron diferencias significativas, destacando los valores de CE, donde hubo diferencias significativas entre los tres horizontes. El horizonte 1 (a excepción del pH) supera al resto de horizontes especialmente en los niveles de nitratos y sulfatos.



Horizonte	pH	CE (Ms)	NO ₃ ⁻ (mg/kg)	PO ₄ ⁻ (mg/kg)	SO ₄ ⁻ (mg/kg)
1	8,60 ^a (0,25)	9,35 ^a (3,12)	100,43 ^a (153,19)	0,63 ^a (0,41)	122,89 ^a (97,93)
2	8,66 ^a (0,31)	7,13 ^b (2,62)	53,08 ^a (39,83)	0,58 ^a (0,87)	70,27 ^b (26,58)
3	8,42 ^b (0,16)	5,34 ^c (1,75)	50,84 ^a (63,65)	0,59 ^a (0,80)	109,80 ^{ab} (89,11)

Tabla RD2.- Promedio en suelo en cada uno de los horizontes del suelo de pH, CE (Conductividad eléctrica) NO₃⁻ (nitratos), PO₄⁻ (fosfatos), SO₄⁻ (sulfatos). Los valores entre paréntesis indican una desviación típica. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre los valores observados a un nivel de significación 0,05.

A lo largo de la campaña, las diferencias significativas tan solo fueron en CE y pH, este último la diferencia fue mayor al distinguir tres grupos de población distintos (a, b, c).

Nitratos, fosfatos y sulfatos no mostraron diferencias significativas. Sus valores no siguieron una tendencia definida (creciente o decreciente) conforme avanzaba el cultivo en tiempo.

Fecha	pH	CE (Ms)	NO ₃ ⁻ (mg/kg)	PO ₄ ⁻ (mg/kg)	SO ₄ ⁻ (mg/kg)
22/04/08	8,83 ^a (0,32)	8,55 ^a (3,01)	69,97 ^a (35,47)	0,54 ^a (0,34)	100,54 ^a (59,61)
13/05/08	8,52 ^{bc} (0,22)	8,12 ^a (3,20)	34,71 ^a (26,22)	0,40 ^a (0,20)	94,03 ^a (36,40)
29/05/08	8,53 ^{bc} (0,18)	7,91 ^a (3,03)	86,79 ^a (166,72)	0,45 ^a (0,43)	116,73 ^a (127,12)
11/06/08	8,58 ^b (0,28)	5,56 ^b (2,23)	61,80 ^a (51,77)	0,49 ^a (0,30)	75,30 ^a (26,70)
23/06/08	8,53 ^{bc} (0,13)	7,14 ^{ab} (3,90)	57,95 ^a (91,57)	1,04 ^a (1,24)	140,95 ^a (140,80)
11/07/08	8,37 ^c (0,21)	6,39 ^{ab} (1,93)	87,27 ^a (132,48)	0,79 ^a (1,17)	87,26 ^a (26,95)

Tabla RD3.- Promedio en suelo para cada una de las fechas de pH, CE (Conductividad eléctrica) NO₃⁻ (nitratos), PO₄⁻ (fosfatos), SO₄⁻ (sulfatos). Los valores entre paréntesis indican una desviación típica. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre los valores observados a un nivel de significación 0,05.



4.2.2. EVALUACIÓN EN HOJA

Los análisis en las hojas se centraron en obtener los **niveles de nitrógeno y fósforo**. La evaluación de los resultados reveló diferencias significativas solo en el fósforo (tanto por sectores como por fechas) (Tabla RD2) , mientras que el nitrógeno no mostró diferencia en ninguna de las tablas.

El incremento del fósforo en la última fecha fue consecuencia del riego con fertilización fosforada aplicada entre las fechas del 12 y 18 mayo, trasladándose con cierto retraso a las hojas.

Sector	%N	%P
1	3,78 ^a (3,15)	0,77 ^{ab} (0,10)
2	3,57 ^a (0,21)	0,70 ^a (0,20)
3	3,66 ^a (0,51)	0,90 ^b (0,20)
4	3,53 ^a (0,76)	0,68 ^a (0,14)

Tabla RD4.- Promedio en hoja en cada uno de los sectores 1, 2, 3 y 4 de N (nitrógeno) y P (fósforo). Los valores entre paréntesis indican una desviación típica. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre los valores observados a un nivel de significación 0,05.

Fecha	N	P
22/04/08	3,84 ^a (0,94)	0,87 ^a (0,26)
13/05/08	3,63 ^a (0,39)	0,81 ^{ab} (0,16)
29/05/08	3,68 ^a (0,22)	0,63 ^c (0,13)
11/06/08	3,37 ^a (0,21)	0,69 ^{bc} (0,11)
23/06/08	3,64 ^a (0,18)	0,8 ^{ab} (0,13)

Tabla RD5- Promedio en hoja en cada uno de los horizontes de N (nitrógeno) y P (fósforo). Los valores entre paréntesis indican una desviación típica. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre los valores observados a un nivel de significación 0,05.



4.3 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE LOS FRUTOS Y PRODUCCIÓN DEL CULTIVO

4.3.1 PARÁMETROS DE CALIDAD

Los parámetros de calidad analizados fueron los siguientes: contenido en **°Brix**, **pH del fruto**, **peso medio del fruto** y **diámetro máximo del fruto**. Los valores se evaluaron estadísticamente mediante un test Duncan para un nivel de significación 0,05.

Cada uno de los parámetros fueron estudiados bajo dos criterios: por sector (tabla RD1) y por fecha de recolección de las muestras (tabla RD2).

Los valores en **°Brix** fueron los que mayores diferencias significativas reflejaron entre sectores respecto al resto de parámetros. El enarenado convencional (sector 3) despunta con el valor medio mas elevado respecto al resto de sectores, siendo el sector 1, en contrapartida, el sector con el valor mas reducido. Los **°Brix** nos indican la concentración de sólidos solubles y por tanto nos muestra que sectores producen mejores cualidades organolépticas en fruto, siendo en este caso, los frutos del sector 3.

Los valores medios de **pH** entre los distintos sectores, fueron prácticamente iguales, no hubo apenas diferencias significativas, por lo que deducimos que ni la estructura del suelo ni el riego aplicado influyeron en el pH del tomate. Tales valores fueron óptimos para un fruto ligeramente ácido como es el tomate.

No se detectaron diferencias significativas en el **peso medio**. Este hecho es positivo, pues, pone de manifiesto que los sectores 3 y 4 pudieron producir frutos de igual peso que los sectores 1 y 2 teniendo en cuenta que durante un tercio del ciclo de cultivo (etapa III de riego) recibieron un 10% menos de agua que el sector 1 y 2.

El **calibre máximo** del fruto tampoco mostró diferencias significativas y al igual que el peso medio, el valor medio máximo se situaba en el sector 3.

SECTOR	°BRIX	pH	PESO FRUTO (g)	DIÁMETRO MÁXIMO (mm)
1	4,88 ^a (0,32)	4,30 ^a (0,05)	85,56 ^a (25,58)	53,09 ^a (25,69)
2	5,07 ^{bc} (0,54)	4,35 ^b (0,05)	88,53 ^a (26,01)	52,94 ^a (10,63)
3	5,16 ^b (0,39)	4,30 ^a (0,04)	93,97 ^a (27,03)	54,67 ^a (9,42)
4	4,94 ^{ac} (0,32)	4,31 ^a (0,05)	86,38 ^a (29,52)	52,75 ^a (11,03)

Tabla RD6.- Promedio en parámetros de calidad de los frutos según sectores. Los valores entre paréntesis indican una desviación típica. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre los valores observados a un nivel de significación 0,05.



En general los sectores 1 y 4 marcaron cifras muy afines en todos los parámetros, situándose en la mayoría de los casos por debajo de los sectores 2 y 3.

En cuanto a la fecha de recolección (tabla RD2), todos los parámetros analizados mostraron diferencias significativas en todas sus medidas, siendo mayores las diferencias en el diámetro máximo (caso distinto al ocurrido entre sectores donde los °Brix fueron los de mayores diferencias).

A lo largo de la campaña los °Brix tienen una tendencia creciente, alcanzando su mayor acumulo en la última medida.

La evolución del **peso del fruto** a lo largo de la campaña es normal. Alcanza su máximo valor en el mes de junio, cuando la planta se encuentra en su máximo desarrollo y su capacidad para absorber nutrientes y agua es máxima; para luego disminuir (pero sin llegar a los valores de la primera recogida) con el declive de la misma.

La evolución del **diámetro máximo** sigue la misma tendencia que el peso, aunque en la última fecha experimenta un incremento.

FECHA	°BRIX	PESO FRUTO (g)	DIÁMETRO MÁXIMO (mm)
16/05/08	4,94 ^a (0,4)	61,31 ^a (24,76)	45,43 ^a (13,03)
03/06/08	4,92 ^a (0,41)	115,2 ^b (15,46)	62,47 ^b (3,24)
17/06/08		112,81 ^b (10,01)	61,41 ^b (2,65)
02/07/08	5,08 ^{ab} (0,42)	98,18 ^c (10,44)	48,99 ^c (3,25)
11/07/08	5,12 ^b (0,44)	93,70 ^c (12,72)	56,87 ^d (20,75)

Tabla RD7.- Promedio en parámetros de calidad de los frutos en cada una de las fechas de recogida. Los valores entre paréntesis indican una desviación típica. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre los valores observados a un nivel de significación 0,05.

La evolución del contenido °Brix fue creciente en el sector 3 al igual que en el sector 4 pero el crecimiento fue menor en este último. Sectores 1 y 2, su desarrollo fue creciente excepto en una determinada fecha donde disminuye para luego recuperarse. Las cifras se mueven entre 4,6 y 5,4 °Brix (Fig RD5).



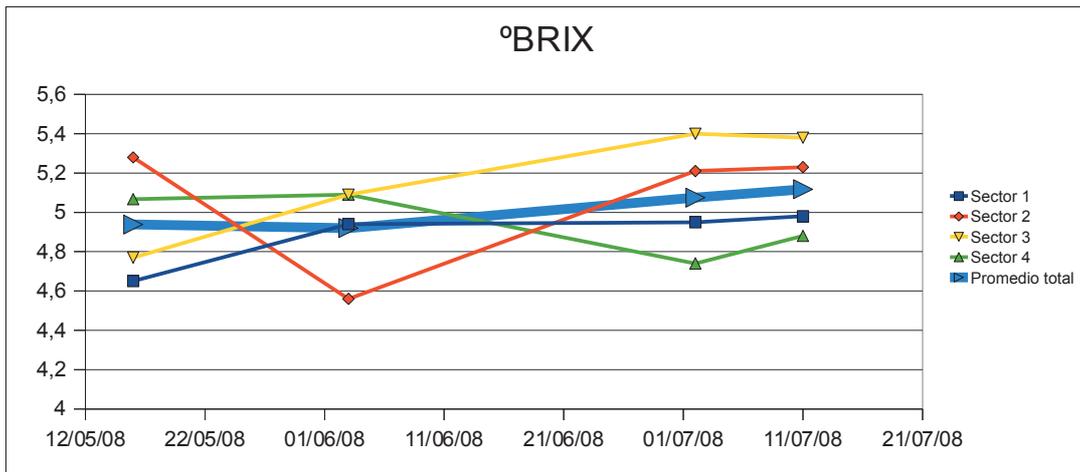


Fig.RD9.- Evolución de los °Brix en los sectores 1, 2, 3 y 4 a lo largo del ciclo de cultivo y del promedio total.

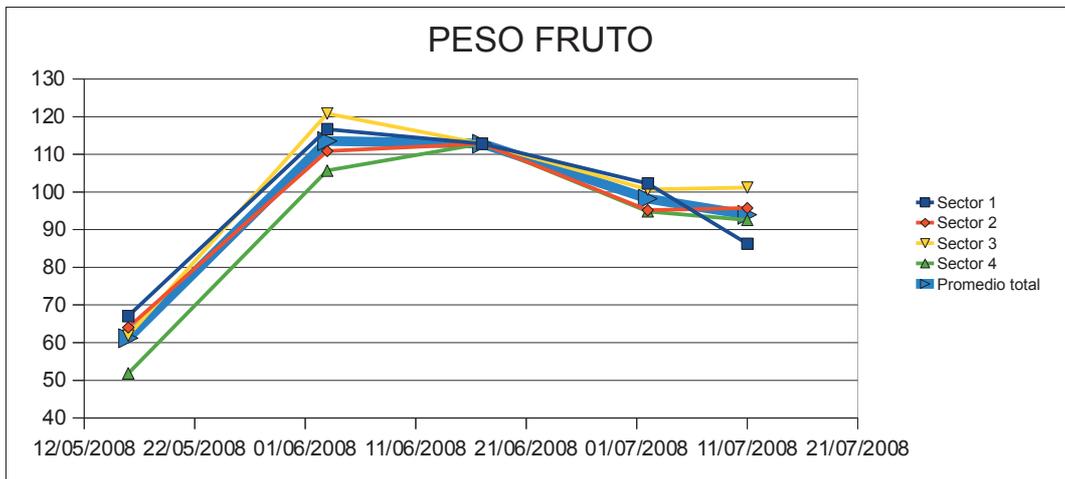


Fig.RD10.- Evolución del peso del fruto en los sectores 1, 2,3 y 4 a lo largo del ciclo de cultivo y del promedio total.

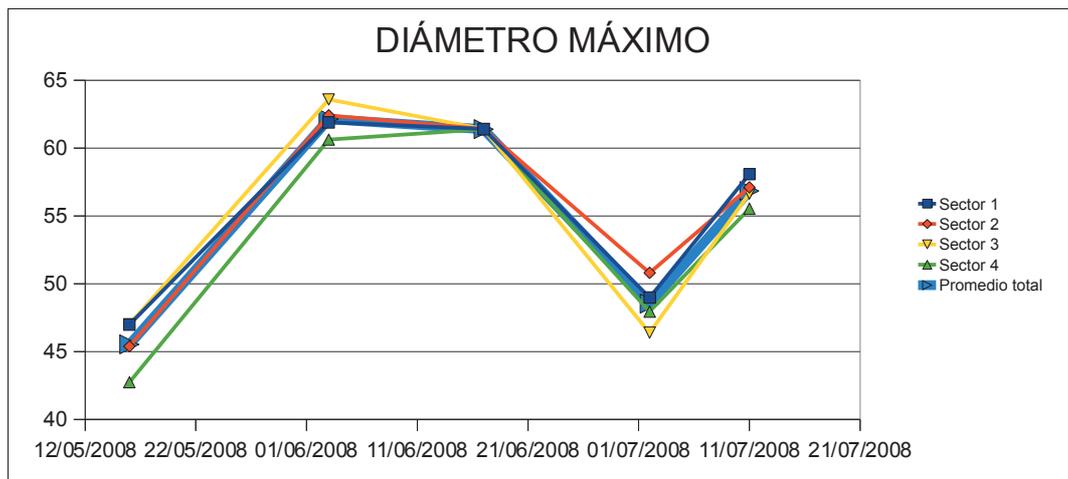


Fig.RD11.- Evolución del diámetro máximo en los sectores 1, 2,3 y 4 a lo largo del ciclo de cultivo y del promedio total.

La forma de la curva del peso del fruto y del diámetro máximo no difiere entre sectores (figura RD6, figura RD7)

El número de tomates por ramo varía entre los 6 y 7 frutos por ramo en todos los sectores pero en la última fecha este intervalo se desplaza entre los 7 y 9 frutos por ramo, siendo el sector 3 el de mayor valor (figura RD8).

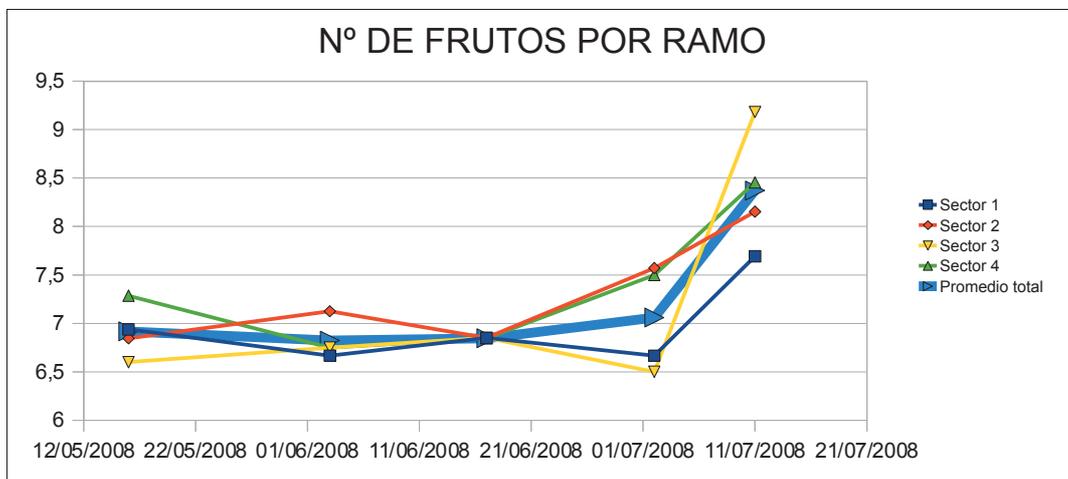


Fig.RD12.- Evolución del número de frutos por ramo en los sectores 1, 2,3 y 4 a lo largo del ciclo de cultivo y del promedio total.



En función del calibre, aquellos tomates cuyo diámetro ecuatorial se encuentra por debajo de 47mm forman parte del calibre “pequeño”, entre 47-57 mm forman parte del calibre “MM”, mientras que aquellos cuyo diámetro ecuatorial se sitúa entre 57-67 mm son de la categoría “M”.

En esta segunda clasificación encontraríamos tomates de calibre “M” (sector 3) y calibre “MM” (sectores 1, 2 y 4) (figura RD 9).

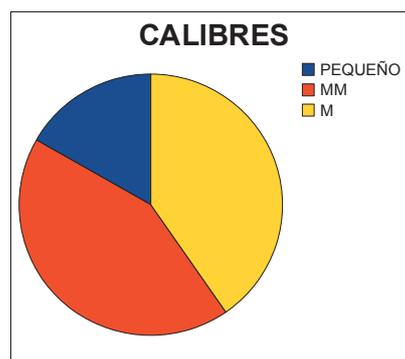


Fig.RD13.- Proporción de frutos para cada uno de los calibres.

Esta norma, también establece que los tomates bien seleccionados de los calibres “M” y “MM” serán comercializados en categoría (I), pues ambos calibres son apropiados para tomates tipo ramo como el que se cultivó en este ensayo.

En líneas generales, al evaluar los parámetros de calidad en los frutos no encontramos muchas diferencias en los diferentes sectores. Tan solo es destacable un mayor contenido en °Brix y mayor calibre en el sector 3.

No obstante, al no encontrarse diferencias muy significativas entre el peso del fruto, la producción (kg/m^2) y en consecuencia el precio a percibir fueron los mismos para los cuatro sectores.

4.3.2 PRODUCCIÓN

El rendimiento del cultivo fue bueno a lo largo de todo el ciclo. La productividad de la finca no dependió de la sectorización del invernadero (pues entre todos los sectores se obtuvo el mismo peso medio de fruto). La producción acumulada en la finca alcanzó los 16.230 Kg (figura RD 19); lo que supuso una productividad de 10 kg/m².

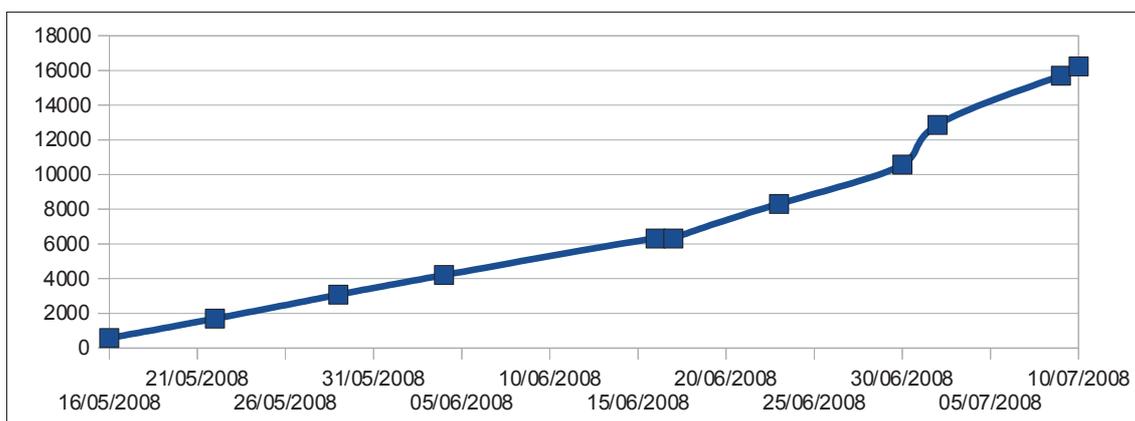


Fig. RD14.- Producción acumulada en la finca a lo largo del ciclo de cultivo. Las unidades están expresadas en Kg.



5. CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

1. La preparación del suelo no convencional mejora la distribución del agua en el suelo; evita la saturación de la marga original más profunda con la pérdida de agua de los horizontes superiores y por tanto la lixiviación de agua y recursos nutritivos asociados a ella se reduce al mínimo.
2. La profundidad útil de extracción de agua fue mayor en los suelos con mayor espesor de horizonte mezcla; capaz de retener, distribuir y ceder agua al cultivo.
3. Los niveles de CE, nitratos y fosfatos máximos se detectaron en el sector 2, concretamente los nitratos cuadruplicando al sector 1; tales sectores recibieron idéntico aporte y distribución de riego a lo largo de todo el ciclo de cultivo, pero sus perfiles fueron distintos donde el espesor de la marga labrada, capaz de acumular agua, fue el doble en el sector 2 respecto al sector 1.
4. La interacción entre la diferente dotación de agua y estructura del suelo podría determinar el contenido foliar de fósforo y no parece afectar a los contenidos de nitrógeno.
5. La diferente dotación de riego afecta al contenido de azúcares en el fruto, siendo visiblemente mejor en el enarenado convencional. No hubo diferencias significativas en el peso medio, este hecho es importante dado que los sectores 3 y 4 recibieron durante un tercio del ciclo de cultivo menos agua que los sectores 1 y 2. Al no encontrar diferencias significativas entre el peso del fruto y la producción, se demuestra que ni la distinta dotación de riego ni las distintas estructuras del suelo afectan a tales parámetros.



BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- **Alonso, A.** (2001). Desarrollo y situación actual de la Agricultura Ecológica: Elementos de análisis para entender el caso español. Revista española de estudios agro sociales y pesqueros. M.A.P.A.
- **Allen, P. y Kovach, M.** (2000). The capitalist composition of organic: The potential of markets in fulfilling the promise of organic agriculture. Agriculture and Human Values, nº 17, pp. 221-232.
- **Arens, P.L.** (1983). El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América Latina. FAO. Roma. Italia.
- **Baudoin, I.W., Grafiadellis, M., Jimenez, R., La Malfa, G., Martinez-García, P.F., Monteiro, A.A., Nisen, A., Verlodt, H., Villele, de Villele, O., Von Zabeltitz, Ch. Y Garnaud, J.C.** (2002) El cultivo protegido en clima mediterráneo. Estudio Fao producción y protección vegetal. Food & Agriculture Org. Roma.
<http://www.fao.org/DOCREP/005/S8630S/s8630s00.htm#Contents>
- **Bellapart, C.** (1988). Agricultura Biológica en equilibrio con la Agricultura Química. Ed. Aedos. Barcelona . pp. 280.
- **Bulluck III, L.R., Brosius, M., Evanylo, G.K. & Ristaino, J.B.** (2002). “Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. Applied soil ecology, vol. 19, no.2, pp. 147-160.
- **Catie.** (1990) Guía para el Manejo integrado de plagas del cultivo de tomate. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Proyecto Manejo Integrado de Plagas. Ed. Turrialba, Costa Rica.
- **Checa, F.** (1998) Africanos en la otra orilla. Trabajo, cultura e integración en la España Mediterránea. Ed. Icaria.
- **Chu, X., Mariño, M.A.,** (2005). Determination of ponding condition and infiltration into layered soils under unsteady rainfall. Journal of Hydrology, 313: 195-207.
- **Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente.** (2012)



(<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/servicios/estadisticas/estadisticas/agrarias/superficies-y-producciones.html>)

- **Del-Castillo, J. A, Uríbarri, A, Sádaba, S, Aguado, G. y De-Galdeano, J.S.** (2004). Consideraciones sobre el cultivo ecológico en invernadero. Navarra agraria.
<http://www.navarraagraria.com/n146/arineco.pdf>
- **El Amrani-Paaza, N., Larocque, M.** (2007). Simulation of groundwater contamination in the Adra river delta and eutrophication of two lagoons (Almería, Spain)
- **FAO** (Food and Agriculture Organization).(2011). Agricultura orgánica, ambiente y seguridad alimentaria.
(<http://www.fao.org/docrep/005/y4137s/y4137s03.htm>)
- **FAO** (Food and Agriculture Organization). (2012). (2012, 7/13)
(<http://www.fao.org/kids/es/revolution.html>).
- **Foth, H.D.** (1997). Fundamentos de la ciencia del suelo. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México.
- **García, H, Toscano, A, Baquero, C.** (2007). Producción de abonos orgánicos en fincas paneleras. Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña panelera. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Ed. Produmedios. pp. 115-139.
- **García, L.A y Fourneau, F.** (1994). El turismo rural en Andalucía ante la reforma de la PAC. Desarrollo regional y crisis del turismo en Andalucía. Actas. Ed: Instituto de Estudios Almerienses. Casa de Velázquez.
- **García, P.A.** (2012). “Andalucía es referente europeo en el control biológico de plagas”. Ideal de Granada. pp.32. 20-01-2012.
- **Gliessman, S.R.**(2002). Suelo. Agroecología. Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible. Ed. Turrialba. pp. 101-117.
- **Graetz, H. A.** (1997). Suelos y Fertilización. Traducido por: F. Luna Orozco. Trillas. México.
- **Guerrero Alarcón, L.**(2000). Manual para hacer Agricultura Ecológica. Ed. Cajamar. pp.13-40.



- **Guerrero, L., Zamora, L., Gázquez, J., Ramos, R., Arévalo, A. & Acedo, J.**(2008). Evaluación de un cultivo ecológico de berenjena en invernadero. [2010, 27/07]
(http://www.agroecologia.net/SEAE/recursos/publicaciones/publicacionesonline/2009/eventos-seae/cds/congresos/actas-bullas/seae_bullas/verd/posters/8%20P.%20PV/7.pdf.)
- **Gutiérrez, C. M.** (2007). Cultivo ecológico de hortalizas en invernadero. Proyectos de investigación del CIFA: Área de Hortofruticultura.
- **Guzmán, M.** (2007). Recirculación de la solución nutritiva desinfección y ajuste. Universidad de Almería.
- **Haygarth P.M. y Jarvis S.C.** (1999). Transfer of phosphorus from agricultural soils. En. *Advances in Agronomy*. Academic Press. 66:195-249.
- **Herencia, J., Ruiz-Porras JC., Melero, S., Garcia-Galavis, Morillo, E. & Maqueda,C.** (2007). Comparison between organic and mineral fertilization for soil fertility levels, crop macronutrient concentrations, and yield”, *Agronomy Journal.*, Vol. 99, no. 4, pp. 973-983.
- **Herencia, J. F., Maqueda, C., García Galavis P. A., Moreno, R. and Ruiz, J. C.** (2008). Physical and chemical properties in soils in conversion to organic management. Proceedings [CD-ROM] of 6th International Meeting on Soil Fertility, Land Management and Agroclimatology, 29 October–1 November 2008, Kusadasi- Aydin, Turkey.
- **Herencia,J., García-Galavis, P., y Maqueda, C.** (2011). Long-Term Effect of Organic and Mineral Fertilization on Soil Physical Properties Under Greenhouse and Outdoor Management Practices. *Soil Science Society of China.* 21(4): 443-453.
- **Infoagro Systems SL.** (2010).
(http://www.infoagro.com/agricultura_ecologica/agricultura_ecologica3.htm)
- **Infoagro Systems SL.**(2012) El cultivo del tomate.
(<http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate2.htm>)
- **Kolmans, E.** (1996). la agricultura ecológica como base para un desarrollo rural sostenible. Consideraciones metodológicas. En *Simposio Centro Americano sobre Agricultura Orgánica.* pp. 319-334.
- **Labrador, J.** (2003). La materia orgánica: Fundamentos de la fertilidad,



base de la fertilización. Fundamentos de la Agricultura Ecológica. Ed. Universidad de Castilla-La Mancha. pp. 112.

- **Lao, M.T y Jiménez, S.** (2002) Los suelos enarenados en el sureste español. Revista Vida Rural.
(http://www.mapa.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_vrural%2FVrural_2002_159_42_44.pdf).
- **Larson, W.E., C.E. Clapp, W.H. Pierre, y Y.B. Morachan.** (1972). Effects of increasing amounts of organic residues on continuous corn: II. Organic carbon, nitrogen, phosphorus, and sulfur. Agron. J. 64: 204-208
- **Liu, B., Hu, S., Gumpertz, M y Ristaino, J.B.** (2006)Effect of organic, sustainable, and conventional management strategies in grower fields on soil physical, chemical, and biological factors and the incidence of Southern blight. Vol. (37), Issue 3, pp. 202-214.
- **Lotter, D.**(2003). Organic agriculture: a review. Journal of Sustainable Agriculture.
- **Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., Niggli, U.,** (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. Institute of Organic Agriculture, Ackerstrasse, Switzerland.
- **Martinez, V.U.** (2001). El Ejido. Discriminación, exclusión social y racismo. Ed. Catarata.
- **Meléndez, G. y Soto, G.** (2003). Taller de Abonos Orgánicos. Ed. Universidad de Costa Rica. pp. 4.
- **Miles, C., Jonathan, R., Maynard, E. y Timoteo, C.** (2010). Fertigation in Organic Vegetable Production Systems. Cornell University. Cooperative Extension.
(<http://www.extension.org/article/29712>).
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (**MAGRAMA**) 2012. La Agricultura Ecológica en España.
(<http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/>)
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio rural y Marino (**MARM**) 2009. Datos sobre la Agricultura Ecológica en España 2009.
(<http://www.agro-alimentarias.coop/ficheros/doc/02879.pdf>)



- **Molina, C.M.A. y Pérez, S.J (2004).** Fundación Alfonso Martín Escudero. La agricultura ecológica en España. Agricultura ecológica y alimentación. Análisis y funcionamiento de la cadena comercial de productos ecológicos. Ed. Mundi-Prensa, pp.7-70.
- **Morales, M.G y Hernández, M.A. (2003)** Génesis, desarrollo y estado actual del espacio rural de Canarias. *Ería*. Revista cuatrimestral de geografía. no. 62.
- **Morell, I. y Hernández, F. (2000).** El agua en Castellón. Un reto para el siglo XXI. Universitat Jaume.
- **Moya, T. JA. (2009).** Riego Localizado y Fertirrigación. Ed. Mundi-Prensa.
- **Niu, M., Zhang, D., Wang, S., Zhao, M. (2011).** Effects of organic manure on nitrate distribution in greenhouse soil over three continuous crop cultivations, *Advanced Materials Research*, .183-185, pp. 333-337.
- **Nuez, F. (2001).** El cultivo del tomate. Ed. Mundi-Prensa.
- **Panreac-Química. (1999)** Analíticos en alimentaria. Métodos oficiales de análisis de aguas potables de consumo público y aguas de bebida envasadas. Ed. Panreac. Barcelona. España.
- **Pérez, JJ., López, JC. y Fernández, MD. (2002).** La agricultura mediterránea en el siglo XXI. Colección Mediterráneo económico. Ed. Caja Rural Intermediterránea, Cajamar. Vol (2). pp. 1-12.
- **Pernes-Debuyser, A. & Tessier, D. (2004).** Soil physical properties affected by long-term fertilization. *European Journal of Soil Science*, vol. 55, no. 3, pp. 505-512.
- **Pomares, F. y Canet, R. (2001).** Los residuos orgánicos utilizables en agricultura: Origen, composición y características. Aplicación agrícola de residuos orgánicos. Eds : J. Boixadera y M.R. Teira. Universitat de Lleida. pp.1-15.
- **Purves, Heller, Hillis, Orians y Sadava.(2009).**Vida: La Ciencia de la Biología. Ed. médica Panamericana. pp. 787.
- **Quenum, L., Ribó, M., Albiach, M.R., Estela, M., Canet, R., Baixauli, C., Aquilar, J.M. & Pomares, F. (2008).** Comparación de la producción ecológica e integrada de hortalizas en una experiencia de ocho años: Estudio



de las propiedades físico-químicas, químicas y biológicas del suelo. VIII Congreso SEAE Bullas (Murcia) 2008, ed. IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias).

- **Reganold, J.P, Elliott, L.F, y Unger, Y.L.** (1987). Long-term effects of organic and conventional farming on soil erosion. *Nature* 330, 6146:370-372.
- **Reicosky, D.C, Kemper, W.D., Langdale, G.W., Douglas JR., C. L. y Rasussen, P. E.**(1995). Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *J. of Soil and Water Cons.*64, pp. 253-261.
- **Ribó, M.** (2003). Balance de macronutrientes y materia orgánica en el suelo de agrosistemas hortícolas con manejo integrado y ecológico. Universidad de Valencia.
- **Scialabba, N.** (2000). Factors influencing organic agriculture policies with a focus on developing countries. IFOAM 2000 Scientific Conference, 28-31 August, Basel, Switzerland.
- **Serrano, Z.** (1996). “Veinte cultivos de hortalizas en invernadero”. *Rali. S. A. Sevilla* p 50-63.
- **Sharpley, A.N., y S. Rekolainen.** (1997). Phosphorus in agriculture and its environmental implications. p. 1–53. In H. Tunney et al. (ed.) *Phosphorus loss from soil to water*. CABI Publ., Wallingford, UK.
- **Urbano, T.P.** (2001). Control de la materia orgánica de los suelos cultivados. *Tratado de fitotecnia general*. Ed. Mundi-Prensa. pp. 363-410.
- **Vallejo, C. F.** (1999). *Agronomía del tomate. Mejoramiento genético y producción de tomate en Colombia*. Univ. Nacional de Colombia. pp.147.
- **Villalobos, F.J, Mateos, L., Orgaz, F. y Fereres, E.** (2002). Laboreo y conservación de los suelos. *Fitotecnia, Bases y tecnologías de la producción agrícola*. Ed. Mundi-prensa. pp. 191-283.
- **Warman, P.R.** (2005). Soil fertility, yield and nutrient contents of vegetable crops after 12 years of compost or fertilizer amendments. *Biological Agriculture and Horticulture*, vol. 23, no. 1, pp. 85-96.
- **Went, F. W.** (1957). The experimental control of plant growth. *Chronica Botany*. 17:257.



- **Wild, A.,**(1992). Elementos nutritivos en el suelo. Nitrógeno. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Eds. Mundi-Prensa. Madrid. pp.687-731.

