

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro I.1:	Composición química de la perlita	28
Cuadro I.2:	Composición química (%) de la lana de roca	30
Cuadro I.3:	Reparto (%) en una tabla de 15 cm de altura el aire y el agua	31
Cuadro I.4:	Resultados del análisis de dos muestras de estiércol ..	35
Cuadro I.5:	Clasificación edafológica (sistema USDA-Soil Taxonomy)	35
Cuadro II.1:	Características de los PE más utilizados para cerramiento de invernaderos	47
Cuadro III.1:	Superficie S (10 ³ ha), rendimiento R (10 ³ kg/ha) y producción P (10 ⁶ ptas) de los principales cultivos protegidos	68
Cuadro III.2:	Ciclos usuales de cultivo bajo invernadero en Almería y Murcia	68
Cuadro III.3:	Densidad usual de plantación en cultivos bajo invernadero (10 ³ plantas/ha)	69
Cuadro III.4:	Requerimientos de temperatura (°C), humedad relativa (%), luz (10 ³ lux) y fotoperiodo (F)	69
Cuadro IV.1:	Tolerancia a la salinidad de las principales hortalizas	94
Cuadro V.1:	Contenido de elementos (%) en órganos aéreos de judía cultivada sobre suelo enarenado y de tomate cultivado en distinto medio	96
Cuadro V.2:	Fertilizantes más utilizados en fertirriego	98
Cuadro V.3:	Fertilizantes más comunes utilizados para cultivos en sustrato	100
Cuadro V.4:	Fertilizantes que pueden ser o no mezclados en la solución madre	101
Cuadro V.5:	Coeeficientes para pasar de un símbolo químico a otro	108
Cuadro VII.1:	Escala de agregación espacial y su interacción con la gestión	146

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico II.1:	Transmisividad en distintos puntos del invernadero ..	55
Gráfico II.2:	Media mensual de la radiación solar	55
Gráfico II.3:	Media mensual de la temperatura del aire	56
Gráfico II.4:	Media mensual de la humedad relativa del aire	57
Gráfico II.5:	Velocidad del aire a lo largo del día (10-1-94)	58
Gráfico II.6:	Media mensual de la evaporación	58
Gráfico IV.1:	Curva típica de kc para un cultivo de tomate en <i>invernadero parral</i> trasplantado en otoño	85
Gráfico IV.2:	Comparación entre los valores medidos en invernadero y los estimados por los métodos Radiación FAO, Penman-FAO con y sin factor de corrección y FAO tanque clase A	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.1:	Perfil del enarenado	26
Figura I.2:	Sección transversal del sistema de perlita	29
Figura I.3:	Sección transversal del sistema de lana de roca	32
Figura II.1:	Perfil de invernadero asimétrico	41
Figura II.2:	Forma de la gota de agua en una película sin a) y con b) aditivos antivaho, y su efecto sobre la transmisividad	49
Figura II.3:	Balance de radiación	50
Figura II.4:	Transferencia de calor en invernadero	52
Figura III.1:	Conducción del pimiento	70
Figura III.2:	Conducción del tomate	70
Figura III.3:	Conducción del pepino holandés	71
Figura III.4:	Conducción del pepino corto	71
Figura III.5:	Conducción del melón tutorado	72
Figura III.6:	Conducción del melón sin tutorar	72
Figura III.7:	Conducción de la berenjena	73
Figura III.8:	Injerto de aproximación en sandía	74
Figura III.9:	Injerto de púa en hendidura en sandía	75
Figura III.10:	Injerto de púa en hendidura en tomate	76
Figura IV.1:	Esquema de la cabeza del sistema de riego	78
Figura IV.2:	Esquema de un sistema de riego por goteo	79
Figura IV.3:	Distribución del agua aplicada con un sistema de goteo	82
Figura IV.4:	Componentes del balance hídrico en un cultivo por goteo en invernadero	84
Figura IV.5:	Sección transversal de un lisímetro de drenaje (cotas en cm)	85
Figura IV.6:	Sección longitudinal de un lisímetro de drenaje (cotas en cm)	86
Figura V.1:	Tanque fertilizador	103
Figura V.2:	Aspiración directa	104
Figura V.3:	Succión en venturi	105
Figura V.4:	Bomba inyectora	107

Figura VI.1:	Instalación fija para tratamientos por pulverización ..	122
Figura VII.1:	Balance físico de invernadero	148
Figura VII.2:	Balance monetario de invernadero	149

PARTE ESPECIAL

ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO DE SISTEMAS DE CULTIVO EN SUELO ENARENADO Y EN SUSTRATO

J. López-Gálvez, J. M. Naredo, S. Echeverría,
J. C. López-Hernández, C. Segovia, F. Bretones,
G. Castañón, A. Gallego y J. R. Díaz Álvarez

Figura VI.1:

Figura VI.2:

Introducción

La pretensión de esta parte del libro es la de realizar la comparación entre el sistema de cultivo en suelo enarenado y sustrato mediante datos obtenidos experimentalmente con el fin de conectar la parte general con la especial. Las cifras que se dan deben ser entendidas a título de esta comparación, tal y como se indica en los epígrafes correspondientes. Esto es así porque la disposición de parcelas experimentales, especialmente en los sustratos, hicieron que las plantas recibieran mayor radiación de la que hubieran recibido en condiciones de campo. Además de utilizar valores estimados que se señalan en el apartado correspondiente.

La parte especial de este volumen debe entenderse, no sólo con la provisionalidad que tiene cualquier trabajo de investigación sino que, además, en este caso debería proseguirse con el estudio experimental sobre el empleo de la técnica de cultivo en sustrato con solución recirculante. Ello permitiría enjuiciar, desde una perspectiva más amplia, los dos sistemas de cultivo que son objeto de comparación.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

La técnica de cultivo en agua, con o sin sustrato, ya se experimentaba en el siglo XVII, empleándose para conocer los requerimientos en fertilizantes de las plantas. Su desarrollo comercial se inició hacia 1930¹. El cultivo en sustrato, mayoritariamente lana de roca, comienza su expansión en Holanda a principios de los años 70. La realización de numerosos trabajos experimentales, en invernaderos con cierto control ambiental, aportaron la información necesaria sobre el manejo de la nueva técnica, facilitando su introducción. En España, la utilización de los sustratos de cultivo empieza en la década de los 80, principalmente en el sureste peninsular, disponiéndose bajo invernaderos de clima pasivo. Las investigaciones realizadas para conocer la adecuación de dicha técnica, en esta modalidad de invernadero, son muy escasas. Limitándose, en buena parte de los casos, a comparar la productividad de esta técnica frente a la del enarenado o a conocer el manejo del sustrato.

A continuación se citan algunos trabajos experimentales realizados con sustratos en invernaderos tipo parral de Almería. Uno de los experimentos analiza la respuesta productiva del pepino holandés cultivado en: a) lana de roca calentada a 20°C, b) lana de roca a temperatura ambiente y c) enarenado². La cosecha obtenida fue respectivamente de 14,5 kg/m²; 12,8 kg/m² y 9,1 kg/m². Otro ha mostrado que la cantidad de cosecha de un cultivo de pimiento ha sido mayor en plantas cultivadas sobre perlita y lana de roca que sobre enarenado³. También se ha tratado del riego en sustrato de perlita donde se dice que, con aguas de baja salinidad, drenajes entre un 10-20% facilitan su manejo⁴.

¹ FAO (1990), «Soilless culture for horticultural crop production. Plant Production and Protection», *Paper 101*, Rome, 188 pp.

² MONTERO, J., F. BRETONES y N. CASTILLA (1986), *Cultivo en lana de roca en invernaderos de polietileno*, II Congreso Nacional de la SECH, vol. I: 628-635.

³ ESCOBAR, I. (1993), «Growing peppers in substrates in the south east of Spain», *Acta Horticulturae*, n.º 335: 413-419.

⁴ LORENZO, P., E. MEDRANO y M. GARCÍA (1993), «Irrigation management in perlita», *Acta Horticulturae*, n.º 335: 429-434.

Los problemas de escasez de agua están planteando, en los regadíos de numerosas áreas, un futuro incierto en algunos casos por su nula rentabilidad y, en otros, por problemas de sobreexplotación y contaminación de las aguas. Parece razonable, ante esta situación, que la ley de mínimos que rige tradicionalmente en agronomía el estudio de las necesidades de fertirrigación de los cultivos, deba ser completada con una ley de máximos que evite el despilfarro de agua, de nutrientes y la contaminación resultante por lixiviación de éstos. Así al estudiar los sistemas de cultivo en sustrato hay que analizar el impacto ambiental que ocasionan debido a que se: a) aportan cantidades de agua y de nutrientes superiores a las necesidades de las plantas, ocasionando un lixiviado salino (fertilizantes más iones del agua de riego) cuantitativamente muy importante; b) acumulan los residuos del material de los sustratos una vez utilizados.

La cantidad de solución salina drenada es función del sistema de cultivo y de las características de la explotación. En el sureste de Francia para una cosecha de tomate de 300 t/ha, obtenida mediante cultivo en sustrato, con solución perdida, se precisó una cantidad de solución que drenó entre 2.000 y 3.000 m³/ha, perdiéndose unas 8 t/ha de fertilizantes⁵. Ante situaciones como ésta, no es de extrañar la preocupación existente por la utilización de esta técnica de cultivo sin solución recirculada⁶. A lo que se añade el problema ambiental, derivado de los desechos dejados por los materiales que componen los sustratos⁷.

Los antecedentes expuestos ponen de manifiesto la necesidad de realizar experimentos con el fin de obtener datos que permitan conocer el comportamiento de esta técnica de cultivo. Este trabajo da una visión sobre la productividad de un cultivo de tomate realizado tanto en sustratos como en enarenado, analizando las ventajas e inconvenientes que conlleva cada modalidad de cultivo.

⁵ JEANNEQUIN, B. y R. FABRE (1993), «Procédé de culture hors-sol à circuit fermé. Etudes et perspectives», *PHM*, n.º 338: 21-26.

⁶ LÓPEZ-GÁLVEZ, J., J. M. NAREDO y J. R. DÍAZ-ÁLVAREZ (1994), *Problemática medioambiental del sistema de cultivo en sustrato con solución perdida*, 13º Congreso Internacional CIPA (Verona-Italia), vol. 1.º, IV sección.

⁷ BENOIT, F. y N. CEUSTERMANS (1993), «Growing tomatoes on ecologically sound substrates», *Plasticulture*, n.º 97-1993/1: 41-47 pp.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN Y METODOLOGÍA

1. Objetivo, tratamientos y diseño experimental

En el año 1992, un equipo multidisciplinar inició un programa de trabajo con el fin de analizar la eficiencia técnico-económica del cultivo en sustrato. Su título fue «PROGRAMA DE DEMOSTRACIÓN DIRIGIDO A COMPARAR EL ENARENADO FRENTE A OTROS SUSTRATOS EN LOS INVERNADEROS DE ALMERÍA». Se estudió el comportamiento de dos sustratos de cultivo (perlita y lana de roca) frente al enarenado, regando con dos calidades de agua.

El objetivo del experimento fue conocer el funcionamiento de esta técnica de cultivo bajo invernadero pasivo. También se buscaba analizar su viabilidad teniendo presente que, en determinadas áreas, la escasez de agua constituye el principal factor limitante de las prácticas agrarias.

El enarenado utilizado fue el usual de Almería con 15 años de implantación y en cultivo ininterrumpido durante todo ese tiempo.

Los sustratos empleados (dos tipos de lana de roca y dos contenedores de perlita con distinta granulometría) son los más utilizados en los invernaderos del sureste español. La especie elegida (tomate) es la más cultivada con esta técnica. Para el riego se utilizaron dos aguas de distinta salinidad (una N de CE= 0,5 dS/m y otra S de CE= 3,0 dS/m).

Tratamientos:

a) Primer ciclo de cultivo

- Lana de roca (A) y agua de riego (N). Tratamiento: AN.
- Lana de roca (B) y agua de riego (N). Tratamiento: BN.
- Perlita (C) y agua de riego (N). Tratamiento: CN.
- Perlita (D) y agua de riego (N). Tratamiento: DN.
- Enarenado (E) y agua de riego (N). Tratamiento: EN.
- Lana de roca (A) y agua de riego (S). Tratamiento: AS.
- Lana de roca (B) y agua de riego (S). Tratamiento: BS.

- Perlita (C) y agua de riego (S). Tratamiento: CS.
- Perlita (D) y agua de riego (S). Tratamiento: DS

b) Segundo ciclo de cultivo

- Los tratamiento del primer ciclo de cultivo más:
- Enarenado (E) y agua de riego (S). Tratamiento: ES

Diseño experimental:

El diseño experimental fue de bloques generalizados distribuyendo los tratamientos al azar en dos bloques. La parcela elemental fue de 4 m².

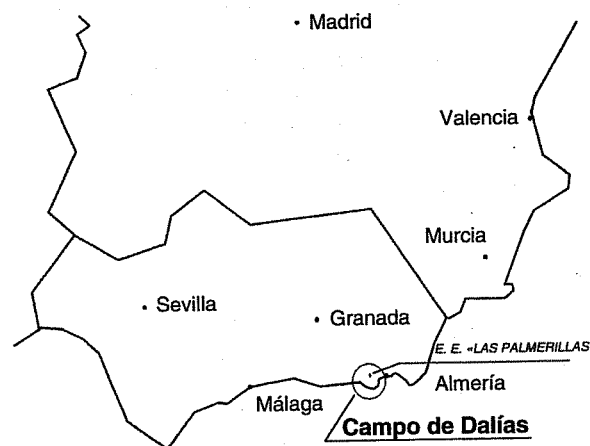
2. Ubicación del experimento

El trabajo se realizó en la estación experimental «Las Palmerillas» (longitud: 2° 43'W, latitud: 36° 48'N, altitud: 155 m), ubicada en el Campo de Dalías, Almería (ver figura II.1).

El clima de la zona corresponde al carácter citrus-agodón menos cálido, con régimen térmico subtropical semicálido y mediterráneo semiárido (Ci-g-Su-Me)¹.

Figura II.1

SITUACIÓN DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL «LAS PALMERILLAS»

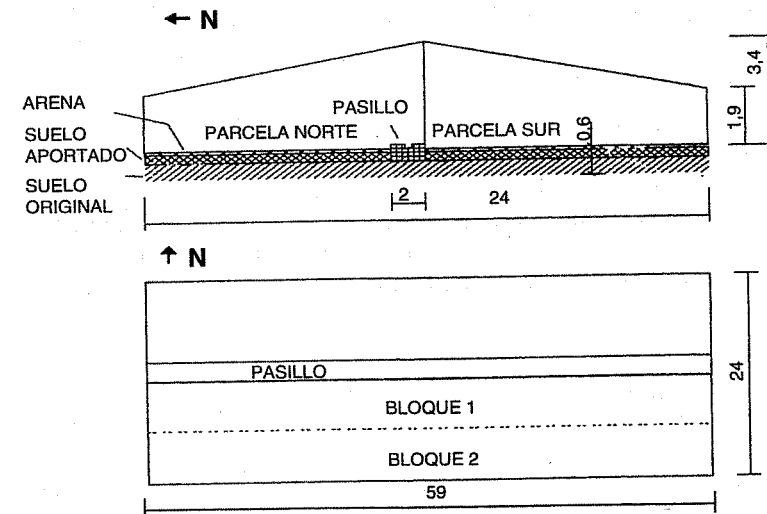


¹ ELÍAS, F. y C. B. RUIZ (1973), *Clasificación agroclimática de España*, Servicio Meteorológico Nacional, Madrid, 145 pp.

El experimento se efectuó en un invernadero *parral de Almería*. Éste se situó en su mitad sur para que, en cada bloque, sobre las plantas del ensayo incidiera la misma radiación solar². La parte norte, no incluida en el ensayo, también se plantó de tomate (ver figura II.2).

Figura II.2

ALZADO Y PLANTA DEL INVERNADERO
DONDE SE HA REALIZADO EL EXPERIMENTO (cotas en m)



3. Características y manejo del enarenado y los sustratos

Los sustratos empleados eran materiales comerciales de las siguientes características:

A. Lana de roca en plancha de 10 x 10 x 100 cm, 55 kg/m³ de densidad aparente y 10 L de capacidad, con envoltura de polietileno.

B. Lana de roca en plancha de 24 x 7,5 x 100 cm, 80 kg/m³ de densidad aparente y 18 L de capacidad, con envoltura de polietileno.

Situadas en parcela las dos lanas de roca, se regaron con solución nutritiva para neutralizar el pH.

² López-Gálvez, J. (1990), *Productividad de la judía verde sobre enarenado bajo invernadero en Almería*. Capítulo I. «Relaciones de radiación del invernadero». Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 225 pp.

C. Perlita de dos granulometrías: una de $\phi < 1,5$ mm en la parte superior y otra de $\phi 1,5 - 5$ mm en la parte inferior. El contenedor era una maceta de poliestireno troncopiramidal de 0,3 m de altura y capacidad de 27 L.

D. Perlita, con una granulometría de $\phi < 5$ mm, servida en sacos de polietileno de 40 L de capacidad y medidas aproximadas de 1,20 m de largo y 20 cm de diámetro.

E. El enarenado se retranqueó durante el mes de julio de 1992, aportándose 5 kg/m² de estiércol entre el suelo y la arena, y 5 kg/m² de estiércol que se incorporó al suelo mediante una labor con fresadora. La caracterización química³, así como la física del suelo enarenado sobre el que se realizó el experimento ha sido descrita en algunos trabajos⁴. Finalizada la operación de retranqueo, el enarenado se desinfectó con Di-trapex con dosis de 200 L/ha, que se aplicó por medio de un riego de pie que aportó 40 mm.

Previo al segundo ciclo de cultivo, los sustratos y el enarenado se desinfectaron con Criptonol-50 con concentración de 150 ml/hl y dosis de 9 L/ha, que se aplicó a través de la red de riego. Con anterioridad se dio un riego para lavado de sales que a la vez facilitó el reparto del Criptonol-50 en enarenado y sustratos y mejoró la eficiencia de aplicación del producto.

Las determinaciones de propiedades físicas e hidráulicas de los sustratos (A, B, C y D) se realizaron como sigue:

- Peso de los sustratos. Se pesó cada sustrato antes de su colocación en el campo de ensayo.
- Densidad aparente (Da). Se obtuvo a partir de un volumen de muestra conocida, mediante el método de Kopecky⁵.
- Densidad real (Dr). Para la lana de roca se ha tomado la de la sílice (2,25 g/m³) y para la perlita (2,40 g/m³)⁶.
- Porosidad. Para su obtención se ha utilizado la expresión:

³ LÓPEZ-GÁLVEZ, J. (1996), «Metodología para estudio de las necesidades de agua y nutrientes de los cultivos bajo invernadero de clima pasivo», GARRABOU, R. y J. M. NAREDO, Eds. *La fertilización en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica*. Colección Economía y Naturaleza, Madrid: Fundación Argentaria, Distribuciones Visor, pp. 61-85.

⁴ CASTILLA, N. (1986), *Contribución al estudio de los enarenados en Almería: necesidades hídricas y extracción de nutrientes del cultivo de tomate de crecimiento indeterminado en abrigo de polietileno*, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 195 pp.

MARTÍNEZ, A. (1987), *Comportamiento del riego bajo enarenado en invernadero. Balances de salinidad y fertilizantes, en especial de cultivos de pimiento y judía*, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 230 pp.

⁵ ASTM. (1969) *Classification of peats. American Society for Testing Materials*, Dignation D. 2607-69.

GUERRERO, F. (1989), «Estudio de las propiedades físicas y químicas de algunas turbas españolas y su posible aprovechamiento agrícola», INIA, Colección Tesis Doctorales, n.º 67, INIA Madrid.

⁶ PUUSTJARVI y ROBERTSON (1975), *Physical and Chemical Properties Peat in Horticulture*, Londres: Academic Press, 2: 23-35 pp.

$$\% \text{ Porosidad} = 100 (1 - Da/Dr)$$

- Curvas características de humedad a bajas succiones. Se determinaron por el método de De Boodt⁷. Tomando como:

- a) Agua fácilmente utilizable (A.F.U.). Es aquella susceptible de extraerse con succiones de entre 10 y 50 cm de columna de agua.
- b) Capacidad compensadora de agua (C.C.A.) o agua de reserva. Expresa la cantidad de agua extraída con succiones de entre 50 y 100 cm de columna de agua.
- c) Agua difícilmente utilizable (A.D.U.). Expresa la cantidad de agua extraída con succiones superiores a 100 cm de columna de agua.

- Temperatura del suelo enarenado y de los sustratos. Se midió con sondas Pt-100, conectadas a un Datalogger. Las medidas se realizaron a lo largo de distintos días, siendo la duración de cada una de 1' y registrándose el dato medio cada 30'. En el enarenado, las sondas se colocaron en el suelo aportado a 10 cm de profundidad. En los sustratos se dispusieron en el centro del contenedor, a 10 cm del punto de goteo.

4. Características del medio de cultivo

El invernadero utilizado fue del tipo *parral de Almería*⁸. Con estructura de tubo galvanizado, cubierta a dos aguas y eje longitudinal este-oeste. La ventilación se realizaba mediante ventanas laterales de polietileno, situadas en las bandas sur y norte, que disponían de malla mosquitera. La subida y bajada se hacía manualmente, estando abiertas durante el día, excepto cuando el viento aconsejaba su cierre.

El material de cerramiento empleado fue película de polietileno termoisolante de las siguientes características:

- Polietileno de baja densidad.
- Espesor: 200 μ m (800 galgas).
- Peso: 0,1982 kg/m².
- Transmisión de la radiación infrarroja: 12,8% (7-14 μ m).
- Transmisión global de la luz visible: 83,4%.

El polietileno de la cubierta se colocó entre dos mallas de alambre y se sujetó, para disminuir su fatiga por fricción, con puntos de alambre que

⁷ DE BOODT, M., O. VERDONCK y P. CAPPAERT (1974), «Method for measuring the water release curve of organic substrates», *Acta Horticulturae*, n.º 37, 2054-2062 pp.

⁸ BRETONES, F. (1989), «Invernaderos en España», *Plasticulture*, n.º 82: 33-40 pp.

CARREÑO, J. (1991), «Materiales, equipos, herramientas y proceso constructivo del invernadero tipo Almería», Curso internacional sobre agrotecnia del cultivo en invernaderos, FIAPA-IFA. 25-35 pp.

unían las mallas, quedando la película perforada, permitiendo así la entrada de una parte del agua de lluvia. Para evitar este inconveniente no se punteó en las zonas objeto de control.

La temperatura de aire sólo se controló dentro del invernadero a la vez que se realizaron las medidas de temperatura en el suelo enarenado y en los sustratos. Los datos climáticos que se dan en este trabajo, proceden de una estación agrometeorológica automática permanente, situada en un invernadero de características similares al que se ha realizado el ensayo, sembrado de césped.

5. Cultivo: el tomate

La especie cultivada fue tomate *cv. Daniela*, en los dos ciclos. En el primero la siembra en semillero se efectuó el 29 de julio de 1992 y se trasplantó el 19 de agosto de 1992. En el segundo la siembra en semillero se efectuó el 23 de agosto de 1993 y se procedió a su trasplante el 20 de septiembre de 1993. En el semillero, la semilla se colocó en un taco de lana de roca de 6,5 x 6,5 x 7,5 cm, para el posterior trasplante de tacos y plantas a los sustratos A y B. En el resto de los tratamientos la semilla se colocó en un cepellón de turba de 4 x 4 cm en bandejas alveolares de poliestireno expandido para su posterior trasplante a los sustratos de perlita y enarenado. Las plantas se transplantaron con 4 hojas verdaderas. El marco de plantación fue en el enarenado de 1 x 0,5 m, en los sustratos A y B (lana de roca) se plantaron 4 plantas por plancha, cada contenedor del sustrato C recibió 4 plantas y en el sustrato D se colocaron 6 plantas por saco. La densidad de plantación fue de 2 plantas/m². Las prácticas culturales fueron las habitualmente aplicadas a este cultivar en invernadero. Las plantas se podaron a un solo tallo y se tutoraron mediante cinta de rafia de polipropileno. Los ramos florales se trataron, con el fin de favorecer el cuajado de frutos, con un producto hormonal que contenía giberelina y fenotirol a dosis de 0,03% aplicado mediante pulverización, a partir de la antesis de las primeras flores de cada ramo.

6. Riego

6.1. Agua de riego

El cuadro II.1 muestra la composición química del agua empleada para el riego que como podemos apreciar tiene una CE algo inferior a 0,5 dS/m.

Cuadro II.1

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA UTILIZADA PARA RIEGO (ANIONES Y CATIONES EN meq/L)

Aniones				Cationes				pH	CE dS/m	pHc
SO ₄ ⁼	Cl ⁻	CO ₃ H ⁻	CO ₃ ⁼	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺			
0,48	0,81	2,60	0,60	0,05	0,97	2,57	0,92	8,41	0,46	7,43

La relación de absorción de sodio (SAR) es: 0,69 y el SAR ajustado es: 1,36. El agua se clasifica C-2 S-1.

Dado que entre los objetivos estaba el de conocer el comportamiento de los sustratos con agua salina, ésta se obtuvo de forma artificial, añadiendo cloruro sódico, al agua empleada para el riego, hasta alcanzar una conductividad eléctrica seis veces superior (3,0 dS/m). Por tanto los tratamientos regados con agua S recibieron un importante aporte adicional de Na y Cl (ver cuadro II.2).

Cuadro II.2

APORTE (t/ha) ADICIONAL DE Na y Cl EN LOS TRATAMIENTOS REGADOS CON EL AGUA S, EN LOS DOS CICLOS DE CULTIVO

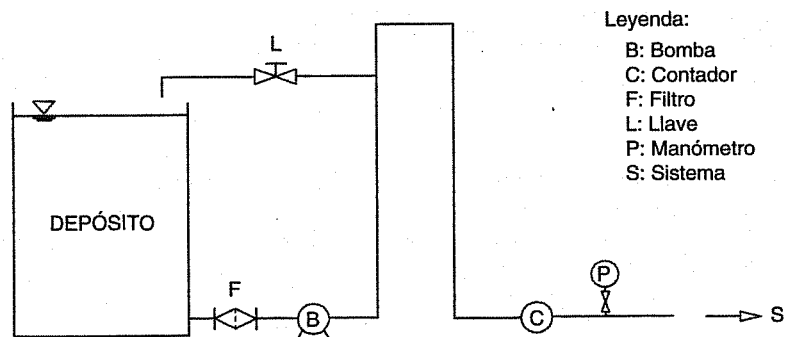
Ciclo	Na					Cl				
	AS	BS	CS	DS	ES	AS	BS	CS	DS	ES
1 ^{er}	4,6	3,9	5,5	4,2	—	7,0	6,1	8,5	6,6	—
2 ^o	4,4	5,0	5,7	5,8	2,1	6,8	7,7	8,8	8,9	3,2

6.2. Sistemas de riego

Para la realización del experimento se adoptó el sistema de riego localizado. El agua, procedente de un embalse impermeabilizado con caucho butilo, atraviesa un filtro de arena y dos coladores de anillas antes de entrar en la cabeza del sistema de riego. Esta última está formada esencialmente por siete depósitos de fibrocemento de 500 litros de capacidad donde se preparan manualmente las soluciones nutritivas y diez electrobombas centrífugas de 0,5 hp que proporcionan la presión necesaria para el correcto funcionamiento del sistema. Los dos tratamientos (salino y no salino) de los cuatro sustratos estudiados y del enarenado se riegan de forma independiente, por lo que se puede hablar de diez sistemas de riego distintos. La cabeza de todos los sistemas de riego es similar y se esquematiza en la figura II.3.

Figura II.3

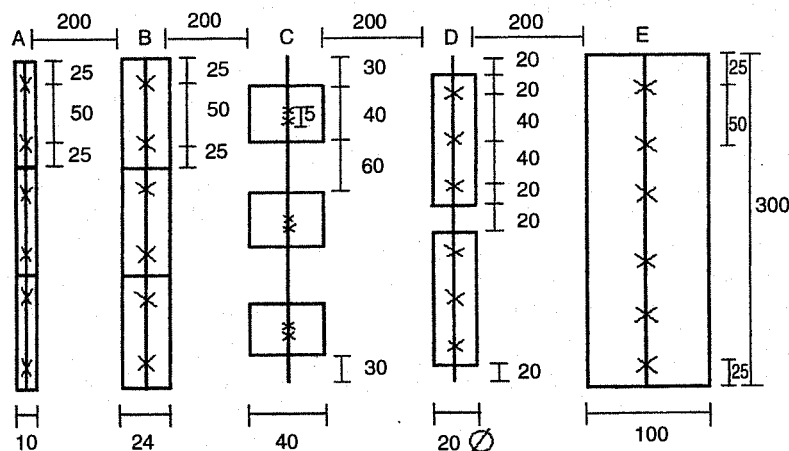
ESQUEMA DE LA CABEZA DEL SISTEMA DE RIEGO



El emisor instalado en el enarenado es diferente al instalado en los sustratos. La densidad de goteros en el enarenado fue de 2 goteros/m² (distancia entre ramales portagoteros 1 m y distancia entre goteros 0,5 m) y en los sustratos fue de 1 gotero/m² (distancia entre ramales portagoteros 2 m y distancia entre goteros variable según el sustrato). La disposición de los goteros en los distintos tratamientos se aprecia en la figura II.4.

Figura II.4

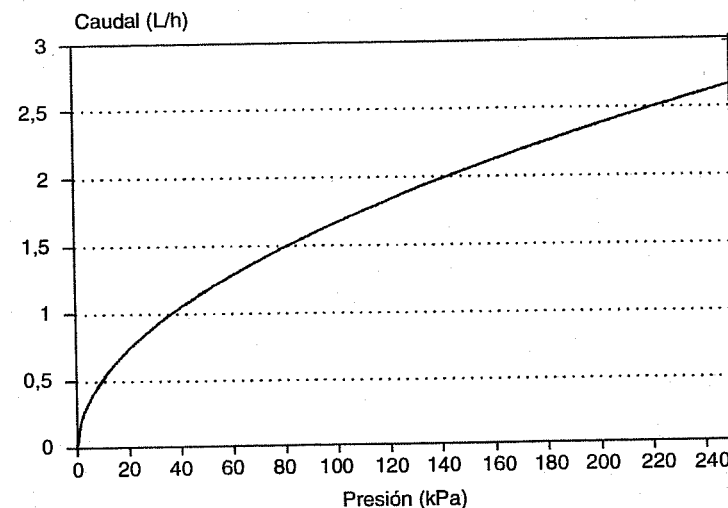
DISPOSICIÓN DE LOS GOTEROS EN CADA TRATAMIENTO (cotas en cm)



El gotero del enarenado: Se trata de un gotero integrado tipo laberinto con un caudal nominal $Q_n=1,64$ L/h correspondiente a la presión nominal de 100 kPa, un exponente de la fórmula de gasto $x=0,51$ y un coeficiente de variación de fábrica $C_v=2,38$. Su curva de gasto se muestra en el gráfico II.1.

Gráfico II.1

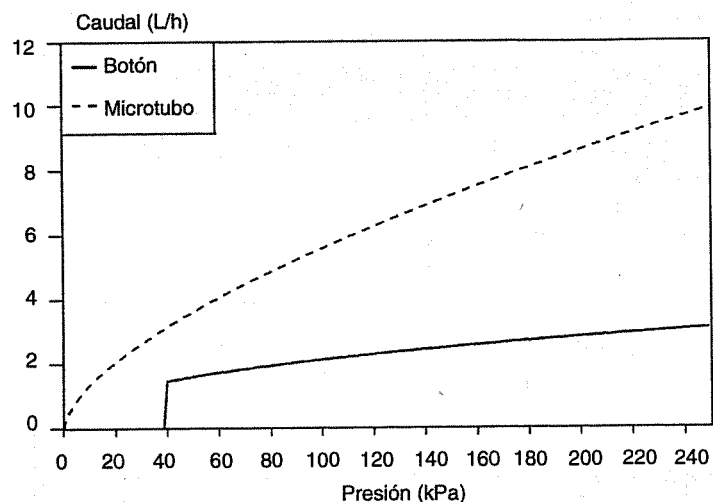
CURVA DE GASTO DEL GOTERO DEL ENARENADO



Los goteros en los sustratos: En el primer ciclo del cultivo se instaló un gotero en forma de botón con una membrana interior que le proporciona la característica de antidrenante. Su caudal nominal $Q_n=2,13$ L/h a una presión de 100 kPa, el exponente de la fórmula de gasto $x=0,41$ y un coeficiente de variación de fábrica $C_v=4,11$. Debido a que este gotero presentó grandes problemas de atascamientos, en el segundo ciclo de cultivo se utilizó un microtubo con un diámetro interior de 0,5 mm y una longitud de 0,6 m. Su caudal nominal $Q_n=5$ L/h a una presión de 100 kPa, el exponente de la fórmula de gasto $x=0,63$ y un coeficiente de variación de fábrica $C_v=3,33$. Las curvas de gasto de ambos goteros se muestran en el gráfico II.2.

Gráfico II.2

CURVA DE GASTO DE LOS GOTEROS DE LOS SUSTRATOS



6.3. Programación del riego

El control del agua aportada (N y S) a cada sustrato se efectuó mediante contadores volumétricos situados en cabeza de la instalación. Antes del trasplante se regaron los sustratos y el enarenado con agua de 0,5 dS/m aportándose las cantidades que se dan en el cuadro II.3.

Cuadro II.3

AGUA APORTADA (mm), ANTES DEL TRASPLANTE, A LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS EN LOS DOS CICLOS DE CULTIVO

Ciclo	AN	BN	CN	DN	EN-ES	AS	BS	CS	DS
1 ^{er}	15	27	60	45	35	15	27	60	45
2 ^o	40	53	59	62	22	43	45	50	61

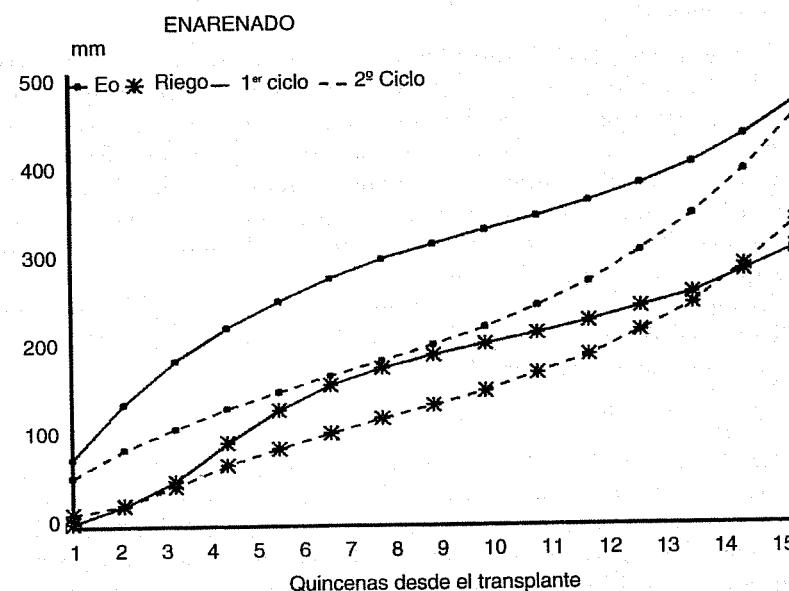
Programación del riego en el enarenado

La programación se apoyó en las medidas de evaporación (E_0) de un tanque evaporímetro clase A situado en un invernadero, similar al que se

dispuso para el experimento, sembrado de césped⁹. Los coeficientes de cultivo utilizados son los obtenidos experimentalmente en idénticas condiciones de cultivo¹⁰. Se aplicó un riego deficitario que aportó entre el 80% y el 90% de la ET_c (evapotranspiración del cultivo) estimada, con el fin de no producir lixiviado a lo largo del ciclo. A los tratamientos EN y ES se les dio la misma cantidad de agua. El gráfico II.3 muestra la cantidad de agua aportada al tratamiento E para períodos quincenales en los dos ciclos de cultivo.

Gráfico II.3

PROGRAMACIÓN DEL RIEGO EN EL ENARENADO



⁹ LÓPEZ-GÁLVEZ, J., J. PÉREZ, F. BRETONES, N. CASTILLA y F. ELÍAS (1988), *Comparación de medidas de evaporación en tanque evaporimétrico clase A. Justificación del entorno de hierba (césped)*, VII Jornadas Técnicas sobre Riego, Madrid-España, E-3.

¹⁰ CASTILLA, N., F. ELÍAS y E. FERERES (1990), *Caracterización de condiciones climáticas y de las relaciones suelo-agua-raíz en el cultivo enarenado del tomate en invernadero en Almería*, Invest. Agr.: Prod. Prot. Vegetal, vol. 5 (2): 259-271 pp.

Programación del riego en los sustratos

Las características hidrofísicas de los sustratos, con pequeña capacidad de retención de agua, aun con succión de pocos centímetros, hacen necesario un aporte hídrico casi continuo, reponiendo el agua consumida y drenada, para poner a disposición del cultivo una cantidad de agua fácilmente asimilable. Por esta razón se aplicó una alta frecuencia de riegos, con el fin de mantener un adecuado contenido de agua en los sustratos, compatible con la necesaria aireación. La frecuencia no fue nunca inferior a 6 riegos por día, alcanzándose en la época de mayor demanda evapotranspirativa más de 20 aplicaciones diarias.

En el gráfico II.4 se indica las cantidades de agua aplicadas a los sustratos en los dos ciclos de cultivo, para períodos quincenales. La programación fue diferente en cada ciclo de cultivo, describiéndose a continuación:

a) Primer ciclo.

Desde el transplante hasta el 28 de agosto se aplicaron 4,0 L/(m² día) de solución nutritiva. Desde ese día y hasta el 6 de septiembre se dieron 6,0 L/(m² día). Colocándose a continuación dos programadores con cuatro canales cada uno, para la automatización del riego. Ésta se efectuó por tiempo, excepto en el sustrato C, que se instaló sobre un balancín que activaba un contactor, para la puesta en marcha y parada del bombeo, cuando existía una diferencia de peso entre el sustrato y el contrapeso de equilibrio, que se ajustaba periódicamente.

La programación del riego se efectuó para tener, como mínimo, un 25% de lixiviado en los sustratos que recibían el agua N y un 50% en los sustratos que recibían el agua S.

b) Segundo ciclo.

Desde el transplante hasta el 12 de octubre el control de riego fue manual, el agua que se aplicó fue en todo momento superior a la demanda del cultivo con una frecuencia superior a 6 riegos por día, obteniendo lixiviado con cada riego. A partir de ese día el riego en los sustratos A, B y D se efectuó automáticamente mediante bandejas, que recogían el agua de drenaje, provistas de dos sondas de nivel. Éstas permitían regar en función del nivel de agua existente en la bandeja. El sustrato C continuó con el mismo sistema semiautomático del ciclo anterior (la figura II.5 muestra los dos sistemas de puesta en marcha y parada del riego). La programación, en lo referente a la cantidad de lixiviado, se efectuó con el mismo criterio del primer ciclo.

En todas las parcelas de control, con la excepción de las del enarenado, se controló el agua lixiviada, utilizándose estos datos para la realización del balance de agua.

Gráfico II.4

AGUA APORTADA A CADA TRATAMIENTO (A, B, C y D)
EN LOS DOS CICLOS DE CULTIVO

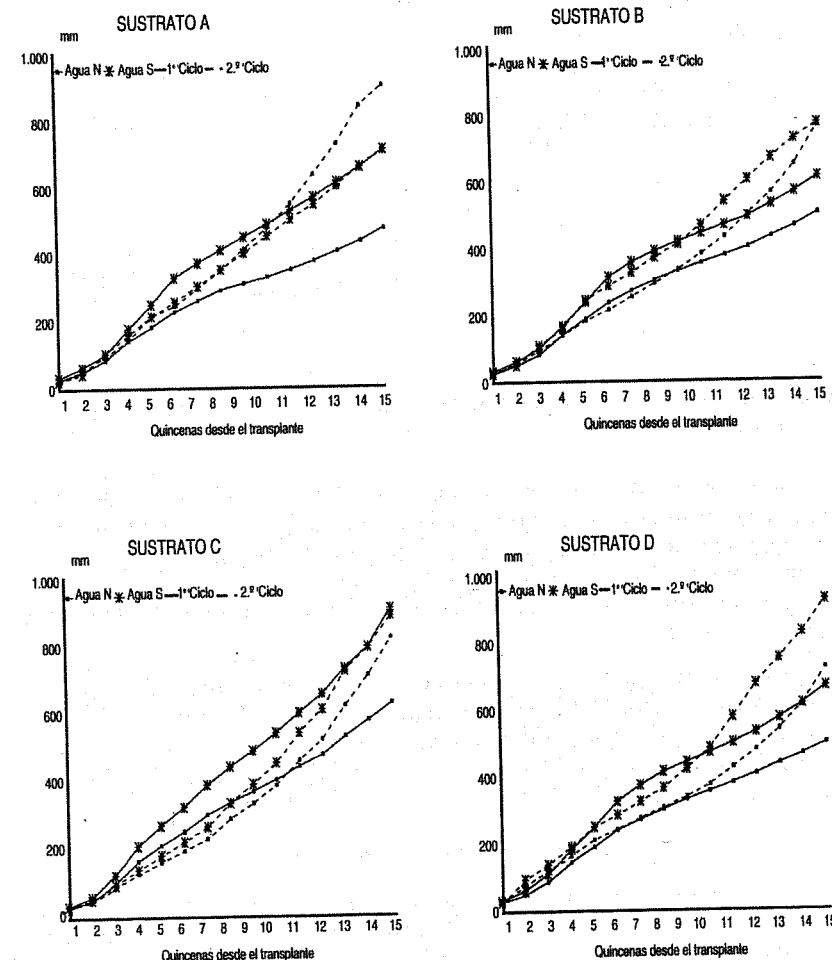
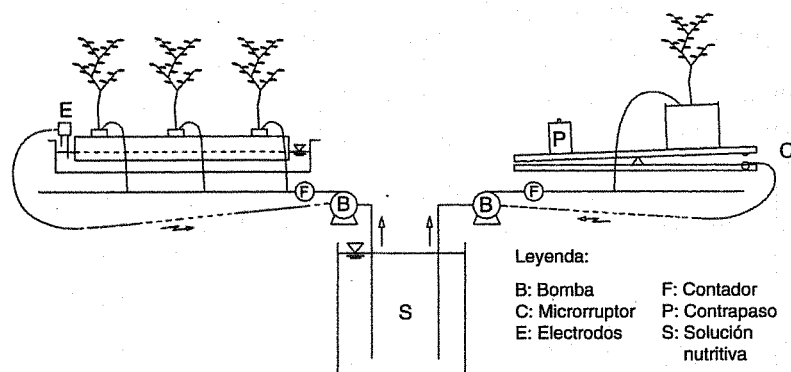


Figura II.5

ESQUEMA DE LOS DISPOSITIVOS AUTOMÁTICOS DE ARRANQUE Y PARADA DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA



6.4. Obtención de la evapotranspiración y determinación del coeficiente de cultivo

La obtención de la evapotranspiración del cultivo (ETc) se realizó por diferencia entre el agua aportada y la lixiviada. Las medidas se hicieron diariamente (excepto festivos), el agua aportada se controló mediante contadores volumétricos y el agua lixiviada se midió manualmente, utilizando probeta graduada. Para la obtención de la ETc se han hecho las siguientes aproximaciones:

- En el enarenado se ha supuesto que el lixiviado fue nulo y que la cantidad de agua que el cultivo extrajo del suelo no superó el 20% del agua aportada por el riego a lo largo del ciclo.
- En los sustratos se ha puesto la variación del contenido de humedad de los mismos fue nula.

$$ETc (\text{enarenado}) = R + \Delta W \quad (1)$$

$$ETc (\text{sustrato}) = R - L \quad (2)$$

ΔW = Variación en el contenido de humedad del suelo.

R= Agua aportada por el riego.

L= Agua lixiviada.

A la ETc así obtenida hay que restarle el agua que se condensa sobre el material de cubierta del invernadero y cae sobre la parcela. En el caso del

enarenado este agua es aprovechada casi en su totalidad mientras que en los sustratos la cantidad que reciben es muy escasa. Siendo:

$$ETc (\text{neta}) = ETc (\text{bruta}) - \text{Condensación}$$

La cantidad de agua aportada por la condensación no se ha medido en ningún caso.

El coeficiente de cultivo (Kc) en cada sustrato se obtuvo mediante la expresión:

$$Kc = \frac{ETc}{Kp \cdot Eo} \quad (3)$$

Donde:

Eo: evaporación en tanque evaporimérico en condiciones normalizadas de invernadero tipo parral de Almería.

Kp: coeficiente de tanque¹¹.

7. La fertilización

7.1. Programación

Los tratamientos regados con agua S aportaron las siguientes cantidades de Na y Cl, para llevar el agua de riego desde 0,5 hasta 3,0 dS/m, en los dos ciclos de cultivo (ver cuadro II.2).

a) En el enarenado.

El gráfico II.5 muestra la programación de la fertilización en el enarenado en los dos ciclos de cultivo. En el primero se aportó 100,0 kg/ha de P₂O₅ como abonado de fondo en forma de superfosfato. En el segundo se practicó el mismo programa en el tratamiento N y S.

b) En los sustratos.

Los gráficos II.6 y II.7 muestran la programación de la fertilización en cada sustrato para los dos ciclos de cultivo.

¹¹ Investigación en curso en la estación experimental «Las Palmerillas». Programa de investigación dirigido a evaluar respuestas productivas al agua de los cultivos protegidos de mayor interés económico en el área mediterránea.

Valor de Kp = 0,79.

Gráfico II.5

PROGRAMACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN
EN EL ENARENADO EN PERÍODOS QUINCENALES
EN LOS DOS CICLOS

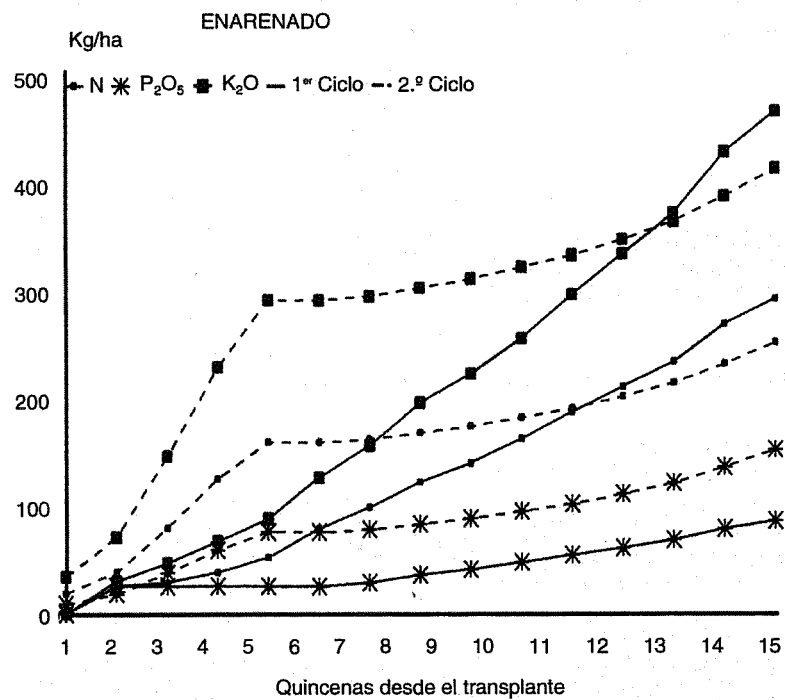


Gráfico II.6

PROGRAMACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN EN LOS DISTINTOS
SUSTRATOS PARA EL PRIMER CICLO

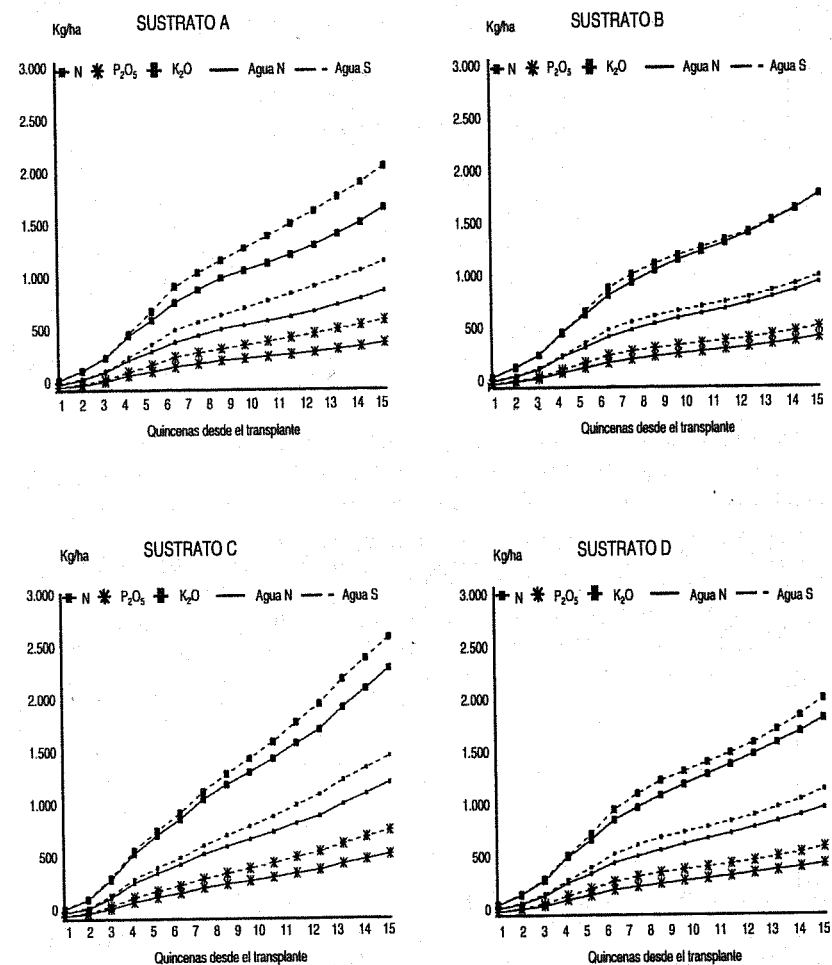
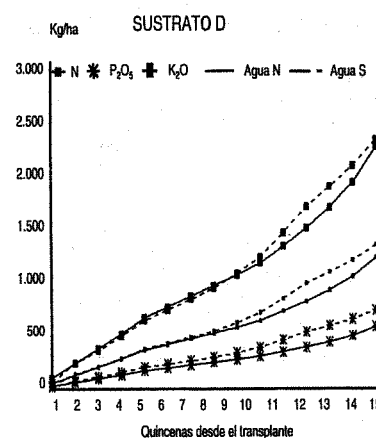
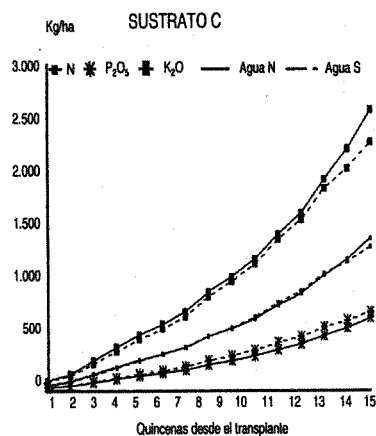
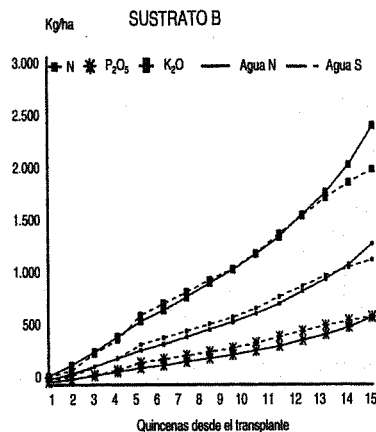
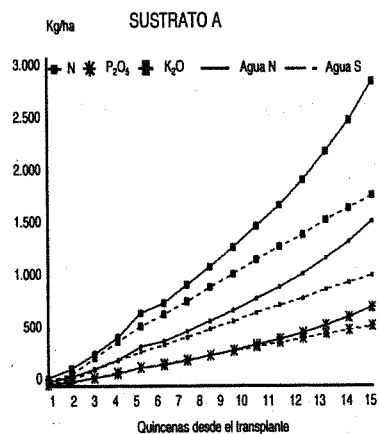


Gráfico II.7

PROGRAMACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN EN LOS DISTINTOS
SISTRATOS PARA EL SEGUNDO CICLO

La solución nutritiva, igual en ambos ciclos, se preparó partiendo de soluciones madres de 100 L que se dilutan al 1% con el agua de riego. Ésta se dispuso en dos depósitos con el fin de evitar interacciones entre iones. Para cada tratamiento de agua (N y S) se preparó la siguiente solución.

Agua de conductividad eléctrica de 0,5 dS/m (N).

Depósito 1		Depósito 2	
(NO ₃) ₂ Ca	80,0 Kg/m ³	SO ₄ K ₂	25,0 kg/m ³
NO ₃ K	50,0 Kg/m ³	SO ₄ Mg.7H ₂ O	10,0 kg/m ³
Microelementos	2,5 Kg/m ³	PO ₄ H ₃ (70%)	15,0 kg/m ³

Agua de conductividad eléctrica de 3,0 dS/m (S).

Depósito 1		Depósito 2	
(NO ₃) ₂ Ca	90,0 Kg/m ³	SO ₄ K ₂	40,0 kg/m ³
NO ₃ K	2,0 Kg/m ³	SO ₄ Mg.7H ₂ O	10,0 kg/m ³
Microelementos	2,5 Kg/m ³	PO ₄ H ₃ (70%)	15,0 kg/m ³

Para mantener la solución con un pH próximo a 5,5 se empleó ácido nítrico, aportando entre 500 y 700 cm³ por cada 100 L de agua, siempre, en el depósito 2. El cuadro II.4 muestra la cantidad de macroelementos aportados.

Cuadro II.4

CANTIDAD DE MACROELEMENTOS (g) APORTADOS
POR CADA 100 L DE AGUA EN LOS DOS CICLOS DE CULTIVO

Agua	Ciclo	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
N	1º	19,5	7,8	35,5	15,2	1,0
	2º	19,3	9,2	35,5	15,2	1,0
S	1º	17,1	7,8	29,2	17,1	1,0
	2º	16,9	9,2	29,2	17,1	1,0

Los microelementos se aportaron mediante un producto comercial (cuya composición es: 0,5% de B, 0,3% de Cu, 1,5% de Fe, 4% de Mn, 0,5% de Zn y 0,2% de Mo; estando todos los elementos en forma de quelatos a excepción del B y Mo que están en forma mineral) a razón de 250 g/100 L de agua, tratando de mantener las siguientes concentraciones (ppm):

Fe	0,8-1,0	Mn	0,5-0,6	B	= 0,3-1,0
Zn	0,3-0,6	Cu	0,5-1,0	Mo	0,5-0,6

7.2. Nitrógeno lixiviado y extracción de nutrientes

En el segundo ciclo de cultivo se controló el nitrógeno lixiviado por los sustratos con el fin de conocer el balance de este elemento. Sólo se determinó nitrógeno nítrico, pues toda la fertilización nitrogenada se aportó en forma nítrica, $(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$ y NO_3K y la cantidad que pudiera haber en forma amoniacal se ha considerado despreciable. Su determinación se hizo mediante electrodos selectivos.

En los dos ciclos de cultivo se determinó el contenido de macroelementos (N, P, K, Ca y Mg) en los órganos aéreos de la planta (hojas, tallos y frutos)¹². El análisis se realizó sobre muestras desecadas de biomasa, con la metodología siguiente:

Nitrógeno total: Método Kjeldahl. Tratando el material vegetal con ácido sulfúrico concentrado, a ebullición, en presencia de un catalizador, el nitrógeno se transforma en sulfato amónico. Se destila en presencia de un exceso de hidróxido sódico y se valora el amoniaco destilado con ácido sulfúrico N/14.

Fósforo: En solución ácido, en presencia de iones V^{5+} y Mo^{6+} , el ácido fosfórico forma un complejo de fosfomolibdovanadato, cuya absorbencia se mide por espectrofotometría a 430 nm.

Potasio: La emisión espectral del potasio se mide a 760 nm en fotómetro de llama y se comparan las lecturas obtenidas con las de la curva patrón.

Calcio: Lectura por absorción atómica del contenido en calcio de la disolución de cenizas vegetales a 422,67 nm.

Magnesio: Lectura por absorción atómica del contenido en magnesio de la solución de cenizas vegetales a 285,2 nm.

8. Productividad del cultivo

En la realización del experimento se efectuaron medidas relacionadas con parámetros de productividad del cultivo.

8.1. Radiación interceptada por el cultivo

Sólo se realizó en el primer ciclo, con el fin de determinar posibles diferencias de radiación interceptada por los distintos tratamientos.

Las medidas se efectuaron con un sensor lineal de radiación fotosintéticamente activa (Line Quantum, con un rango de medida de 0,4-0,7 mm,

recogiendo las lecturas en un Detalogger). Se efectuaron ocho medidas a las 12 horas solares, cuatro sobre el cultivo y cuatro bajo el mismo. La realización fue de la siguiente manera: dos perpendiculares a las líneas de cultivo y dos oblicuas, cubriendo la superficie ocupada por dos plantas equivalentes a 1 m².

8.2. Crecimiento de la planta

Esta medida sólo se realizó en el segundo ciclo de cultivo, con una periodicidad quincenal, excepto las dos últimas que se efectuaron cada 45 días. Se midió la altura de planta, con un metro flexible, se contó el número de hojas y se anotó la aparición de inflorescencias. Para la realización de estas determinaciones se eligieron cuatro plantas por cada tratamiento y bloque.

8.3. Biomasa

Se efectuó una sola biomasa al final del ciclo de cultivo. De cada planta se tomaron los destallados y el resto de los órganos aéreos, separando hojas, tallos y frutos. Éstos se desecaron en estufa ventilada a 80°C (se trata de una estufa armario, con rango de temperatura hasta 200°C, que cuenta con termómetro exterior y sistema de extracción de aire), hasta peso constante. La pesada se realizó en una balanza de precisión con rango de peso hasta 16.000 g, desviación $\pm 0,1$ g y tiempo de respuesta dos segundos. Destinándose para esta determinación ocho plantas por tratamiento y bloque.

8.4. Cosecha: cantidad, calibre y calidad

En los dos ciclos de cultivo se determinó por pesada la cosecha obtenida en cada pasada de recolección. Destinándose para este control ocho plantas por tratamiento y bloque.

En el segundo ciclo de cultivo se analizó el calibre de toda la cosecha utilizando una calibradora. Además, se determinó la calidad comercial de cuatro recolecciones. La evaluación, en este último caso, se hizo conjuntamente de todos los sustratos por un lado y del enarenado por otro, diferenciándose únicamente los tratamientos N y S. La clasificación se realizó en una central hortofrutícola que utilizó los siguientes parámetros:

¹² Métodos oficiales de análisis, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1974, tomo III.

Calidad	Calibre	Aspecto
I	GG-G-M	Nous Deux
II	GG-G-M MM	Nuebe Nous Deux
III	GG-G-M MM MMM	Elara Nuebe Nous Deux
IV	MM-MMM MMM	Elara Nuebe

Siendo:

37 mm ≤ MMM < 47 mm

47 mm ≤ MM < 57 mm

57 mm ≤ M < 67 mm

67 mm ≤ G < 82 mm

82 mm ≤ GG

Nous Deux: tomate duro y sin manchas

Nuebe: tomate duro y algunas manchas

Elara: tomate algo blando y con manchas

9. Datos económicos

Todas las entradas y salidas al sistema incluidas las de inversión, para cada tratamiento, se han valorado en términos físicos y monetarios (en pesetas corrientes a precios de mercado, en el área donde se desarrolla el trabajo).

9.1. Alternativas consideradas y coste de la inversión

El cuadro II.5 representa el número de alternativas de inversión consideradas en el experimento, que resultan de aplicar los tres tipos de inversión en enarenado, que a continuación se detallan, junto con la de las cuatro clases de sustratos considerados.

En el marco del análisis físico, el número de opciones se reduce a cinco, mientras que en el análisis monetario se eleva a once, teniendo en cuenta, para el caso de los sustratos, los dos equipos de riego utilizados, así como las tres opciones de inversión en enarenado.

E₁ (retranqueo sobre enarenado existente)

E₂ (instalación de enarenado sobre suelo existente)

E₃ (preparación de enarenado con aportación de suelo)

Cuadro II.5

ALTERNATIVAS DE INVERSIÓN

Suelo	Análisis físico	Análisis monetario
Enarenado	E	E ₁ E ₂ E ₃
Sustratos	A	AR ₁ AR ₂
	B	BR ₁ BR ₂
	C	CR ₁ CR ₂
	D	DR ₁ DR ₂

a) Inversión en enarenado (E). Se han considerado tres alternativas:

– El enarenado existe y sólo se realiza la operación de «retranqueo» (aporte de 10 kg/m² de estiércol). Este es el caso (E₁).

– La finca dispone de suelo agrícola, pero hay que aportar estiércol y arena para construir el enarenado caso (E₂).

– La finca carece de suelo agrícola, por lo que precisa roturado, aportación de tierra y formación completa del enarenado caso (E₃).

Nota: la operación de nivelado no se ha incluido ya que se ha considerado necesaria también para los sustratos. Los costes de inversión atribuidos al enarenado en cada una de las hipótesis son más elevados que los medios de la zona, ya que son el resultado de contratar todas las operaciones con empresas. Aunque por lo general este coste es menor debido a la contribución que hace el agricultor, aportando su mano de obra. También es frecuente que los períodos de reposición del estiércol y de la arena se prolonguen algo más allá de la vida útil que se les ha atribuido.

b) Inversión en sustratos. Los sustratos se valoran a precios de mercado.

c) Inversión en sistemas de riego. El coste del sistema de riego aplicado al «enarenado» es el usual en los invernaderos de Almería. Los dos equipos de riego empleados en los sustratos (R₁ y R₂), reflejan los costes extremos en los que varían éstos en las explotaciones que utilizan esta técnica de cultivo.

El cuadro II.6 resume el importe y los años de vida útil de las inversiones consideradas. Éste se completa con los epígrafes relativos a compra de

la tierra, coste del invernadero y obra civil, comunes a todas las alternativas. De esta manera, al completar las inversiones, se conseguirán conocer los índices de rentabilidad calculados para la explotación en su conjunto.

Cuadro II.6

COSTE DE LA INVERSIÓN (10³ ptas/ha) Y VIDA ÚTIL (AÑOS)

Inversión	Coste	Vida útil	Equipo de riego	Vida útil
A	1.526	2	1.750-4.000	7
B	1.526	2	1.750-4.000	7
C	1.800	2	1.750-4.000	7
D	1.380	2	1.750-4.000	7
E	1.000-5.700	3-17	1.000	7
Roturado	0-1.000	40		
Tierra	0-1.700	20		
Estiércol	1.000	3		
Arena	2.000	10		
C.I.	8.000	20		
O.C.	1.500	40		
C.T.	7.000	40		

Notas: Para el coste de la inversión se han tomado precios correspondientes a la campaña 1992/1993. C.I.: Coste invernadero. O.C.: Obra civil. C.T.: Compra tierra.

9.2. Flujos físicos y monetarios

Las aportaciones de insumos realizadas en el experimento se recogen en términos físicos. Habida cuenta que no existen reempleos en el sistema, estas entradas físicas dan lugar, con la excepción de la radiación solar, a las correspondientes partidas de gasto monetario.

Los datos económicos en los que se apoya el estudio proceden de la información recogida en la zona del Poniente de Almería (El Ejido). Los datos monetarios se presentan en 10³ ptas/ha y los de precios en pesetas por kilo o unidad de referencia.

Los gastos corrientes incluyen, por una parte, los gastos directamente atribuibles al cultivo: compra de las plantas, agua, fertilizantes, fitosanitarios y mano de obra, que a continuación se describen y, por otra parte, los gastos de reposición del plástico, operación que se realizada cada dos años tomándose como flujo anual la mitad del plástico instalado.

Gasto de cultivo:

– Coste de las plantas: incluye el coste de adquisición de estas plantas (tomate) en semillero. Su precio fue de 277.000 ptas/ha en los dos ciclos de cultivo.

– Agua: coste del agua en los tratamientos regados con agua de 0,5 y 3,0 dS/m que recoge el coste medio del bombeo y de la distribución pagado en la zona del Campo de Dalías (25 ptas/m³). Al mismo tiempo, se ha estimado un coste adicional de fabricar el agua de riego desalando la del mar (175 ptas/m³). Los cuadros II.7 y II.8 muestran el aporte de agua y su coste según las distintas hipótesis.

Cuadro II.7

**AGUA APORTADA (m³/ha) Y COSTE (10³ ptas/ha)
PARA CADA TRATAMIENTO Y SALINIDAD. CAMPAÑA 92/93**

1	E		A		B		C		D	
2	N	*S	N	S	N	S	N	S	N	S
3	3.410	–	5.060	7.388	5.478	6.533	7.078	9.402	5.614	7.211
4	85	–	127	185	137	163	177	235	140	180
5	597	–	885	1.293	959	1.143	1.239	1.645	983	1.262
6	682	–	1.012	1.478	1.096	1.306	1.416	1.880	1.123	1.442

Nota: 1. Tratamiento. 2. Salinidad del agua de riego (N o S). 3. Aporte teniendo en cuenta el agua empleada en presiembra y, la necesaria para saturar los sustratos y que los sustratos sólo ocupan el 10% del invernadero. 4. Coste efectivo. 5. Coste imputado. 6. Coste total (200 ptas/m³).

* En el enarenado no hubo tratamiento salino en esta campaña.

Cuadro II.8

**AGUA APORTADA (m³/ha) Y COSTE (10³ ptas/ha)
PARA CADA TRATAMIENTO Y SALINIDAD. CAMPAÑA 93/94**

1	E		A		B		C		D	
2	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S
3	3.571	3.571	9.220	7.062	7.865	7.931	8.496	9.147	7.385	9.223
4	89	89	240	193	209	208	226	245	199	251
5	625	625	1.613	1.236	1.376	1.388	1.487	1.601	1.292	1.614
6	714	714	1.853	1.429	1.585	1.596	1.713	1.846	1.491	1.865

Nota: 1. Tratamiento. 2. Salinidad del agua de riego (N o S). 3. Aporte teniendo en cuenta el agua empleada en presiembra y, la necesaria para saturar los sustratos y que los sustratos sólo ocupan el 10% del invernadero. 4. Coste efectivo. 5. Coste imputado. 6. Coste total (200 ptas/m³).

– Fertilizantes: Los cuadros II.9 a II.13 muestran la cantidad de fertilizantes aportados a cada tratamiento y su gasto.

Cuadro II.9

ENARENADO. APORTE DE FERTILIZANTES (kg/ha)
Y GASTO (10³ ptas/ha) EN CADA CAMPAÑA

Campaña	Fertilizantes	Aporte	Gasto
92/93	Superfosfato	556	10,2
	Sulfato de potasa	93	4,5
	20 - 0 - 0	1.153	35,4
	0 - 20 - 10	396	21,0
	1,5 - 0 - 10	4.221	110,6
93/94	Nitrato cálcico	656	18,6
	Nitrato potásico	410	25,8
	Sulfato potásico	205	9,0
	Sul de magnesio	82	3,8
	Ácido fosfórico	144,9	8,6
	Ácido nítrico	51,6	2,0
	Microelementos	20,5	28,7
	20 - 0 - 0	415,9	9,6
	0 - 20 - 10	386,2	17,9
	1,5 - 0 - 10	797,5	14,8

Nota: En la campaña 93/94, que si hubo tratamiento N y S en el enarenado, ambos recibieron la misma cantidad y tipo de fertilizantes.

Cuadro II.10

SUSTRATOS. APORTES DE FERTILIZANTES (t/ha)
EN EL TRATAMIENTO N

Campaña	Fertilizantes	AN	BN	CN	DN
92/93	Nitrato de cal	3,89	4,13	5,14	4,04
	Nitrato potásico	2,43	2,58	3,21	2,52
	Sulfato de potasa	1,21	1,29	1,60	1,26
	Sulfato de magnesio	0,48	0,51	0,64	0,50
	Ácido fosfórico	0,36	0,91	1,13	0,89
	Ácido nítrico	0,30	0,32	0,40	0,61
	Microelementos	0,21	0,12	0,16	0,12
93/94	Nitrato de cal	7,34	6,24	6,74	5,85
	Nitrato potásico	4,59	3,90	4,21	3,66
	Sulfato de potasa	2,29	1,95	2,10	1,83
	Sulfato de magnesio	0,91	0,78	0,84	0,73
	Ácido fosfórico	1,62	1,38	1,49	1,29
	Ácido nítrico	0,57	0,49	0,53	0,46
	Microelementos	0,22	0,19	0,21	0,18

Cuadro II.11

SUSTRATOS. APORTES DE FERTILIZANTES (t/ha)
EN EL TRATAMIENTO S

Campaña	Fertilizantes	AS	BS	CS	DS
92/93	Nitrato de cal	6,51	5,63	7,92	6,08
	Nitrato potásico	1,44	1,25	1,76	1,35
	Sulfato de potasa	2,89	2,50	3,52	2,70
	Sulfato de magnesio	0,72	0,62	0,88	0,67
	Ácido fosfórico	1,27	1,10	1,55	1,19
	Ácido nítrico	0,45	0,39	0,55	0,42
	Microelementos	0,18	0,15	0,22	0,16
93/94	Nitrato de cal	6,31	7,09	8,18	8,24
	Nitrato potásico	1,40	1,57	1,81	1,83
	Sulfato de potasa	2,80	3,15	3,63	3,66
	Sulfato de magnesio	0,70	0,78	0,90	0,91
	Ácido fosfórico	1,24	1,39	1,60	1,61
	Ácido nítrico	0,44	0,49	0,57	0,57
	Microelementos	0,17	0,19	0,22	0,22

Cuadro II.12

SUSTRATOS. GASTO DE FERTILIZANTES (10³ ptas/ha)
EN EL TRATAMIENTO N

Campaña	Fertilizantes	AN	BN	CN	DN
92/93	Nitrato de cal	112,2	119,0	148,3	116,5
	Nitrato potásico	170,9	181,3	225,9	177,4
	Sulfato de potasa	58,8	62,4	77,7	61,0
	Sulfato de magnesio	24,8	26,3	32,8	25,8
	Ácido fosfórico	49,5	52,5	65,4	51,4
	Ácido nítrico	9,9	10,5	13,0	10,2
	Microelementos	207,8	220,5	274,8	215,9
	Total	633,9	672,5	837,9	658,2
93/94	Nitrato de cal	209,3	178,1	192,4	167,0
	Nitrato potásico	289,2	246,1	265,8	230,7
	Sulfato de potasa	101,0	85,9	92,8	80,6
	Sulfato de magnesio	43,1	36,7	39,7	34,4
	Ácido fosfórico	97,3	82,8	89,4	77,6
	Ácido nítrico	23,1	19,7	21,2	18,4
	Microelementos	321,3	273,4	295,3	256,3
	Total	1084,3	922,7	996,6	865,0

Cuadro II.13

SUSTRATOS. GASTO DE FERTILIZANTES (10³ ptas/ha)
EN EL TRATAMIENTO S

<i>Campaña</i>	<i>Fertilizantes</i>	AS	BS	CS	DS
92/93	Nitrato de cal	187,6	162,3	228,1	175,2
	Nitrato potásico	101,6	87,9	123,6	94,9
	Sulfato de potasa	139,8	121,0	170,1	130,6
	Sulfato de magnesio	36,9	31,9	44,9	34,5
	Ácido fosfórico	73,5	63,6	89,4	68,7
	Ácido nítrico	14,7	12,7	17,8	13,7
	Microelementos	309,1	267,4	375,9	288,6
	Total	863,2	746,8	1049,8	806,2
93/94	Nitrato de cal	180,0	202,3	233,3	235,0
	Nitrato potásico	88,4	99,4	114,6	115,4
	Sulfato de potasa	123,5	138,8	160,1	161,3
	Sulfato de magnesio	33,0	37,1	42,8	43,1
	Ácido fosfórico	74,4	83,6	96,4	97,1
	Ácido nítrico	17,7	19,8	22,9	23,1
	Microelementos	245,7	276,1	318,4	320,7
	Total	762,7	857,1	988,5	995,7

– Mano de obra: se calcula multiplicando el tiempo de trabajo realmente aplicado al cultivo objeto del experimento, por el salario medio vigente. En la zona del Campo de Dalías ésta se encontraba, en la campaña 92/93, entre las 3.500 a 4.000 ptas/jornada de 8 horas. Las diferencias que aparecen entre las alternativas que estamos comparando, se deben sólo a la incidencia que sobre el coste de la mano de obra tienen las distintas cantidades de cosecha obtenidas en cada caso.

– Productos fitosanitarios: incluye el importe gastado en el curso de las campañas analizadas en el experimento. Aquí se ha incluido el total gastado en el experimento, cada año. El mayor gasto que se registra en el enarenado responde al coste que supone la desinfección del suelo.

– Plástico: incluye el precio pagado por el material de cerramiento más la mano de obra de colocación. Éste se situaba, en la campaña 92/93, en torno a las 800.000 ptas/ha. El gasto anual imputado por este concepto corresponde a la mitad (400.000 ptas/ha), ya que su reposición se realiza cada dos años. La cantidad adicional anual que aparece de 20.000 ptas/año se debe al coste de la rafia necesaria para tutorar el cultivo.

También se dispone de la información sobre insumos en productos y residuos. Lo cual ha permitido calcular los balances energéticos de los sis-

temas de cultivo analizados aplicando, sobre la información física disponible, la metodología propuesta por Naredo y Campos¹³.

Por otra parte, la cosecha aparece clasificada atendiendo a su calidad comercial y a su contenido dietético (ver cuadros III.16 a III.20 y gráfico III.9), con sus correspondientes precios de mercado. De esta manera se podrá pasar sin problemas desde la información física a la monetaria (multiplicando las cantidades por sus precios). Ello nos permitirá calcular ratios de contaminación, rendimiento físico y de rentabilidad monetaria de los sistemas de cultivo investigados.

¹³ NAREDO, J. M. y P. CAMPOS (1985), «Los balances energéticos de la agricultura española», *Agricultura y Sociedad*, 15. Reproducido en NAREDO, J. M. (1996), *La evolución de la agricultura en España (1940-1990)*, Granada: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Granada, pp. 303-411.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

1. Técnicos

1.1. Caracterización física de los sustratos de cultivo

a) Peso del enarenado y de los sustratos:

– Enarenado.

Se ha estimado un peso medio del enarenado de 4.300 t/ha de acuerdo con:

Peso de la arena de playa (10 cm) = 1.600 t/ha.

Peso de la tierra aportada (20 cm) = 2.600 t/ha.

Peso del estiércol = 100 t/ha.

La caracterización del suelo enarenado existente en el lugar donde se ha realizado el ensayo la han llevado a cabo diferentes autores¹.

– Sustratos.

El peso de los distintos sustratos con sus contenedores presentan diferencias apreciables (ver cuadro III.1). Existe una mayor heterogeneidad en los sustratos B y D. La cantidad de sustrato que correspondió a cada planta (g/planta) fue: 165 en A, 364 en B, 616 en C y 966 en D. Comparando las lanas de roca podemos ver como en el sustrato B cada planta dispuso de una cantidad 2,2 veces mayor que en el sustrato A. Las perlitas pusieron a disposición del cultivo cantidades superiores de material, especialmente el sustrato D con casi 1 kg/planta.

¹ CASTILLA, N. (1986), *Contribución al estudio de los cultivos enarenados en Almería: necesidades hídricas y extracción de nutrientes del cultivo de tomate de crecimiento indeterminado en abrigo de polietileno*, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Caja Rural de Almería, 195 pp.

MARTÍNEZ, A. (1987), *Comportamiento del riego bajo enarenado en invernadero. Balances de salinidad y fertilizantes, en especial de cultivos de pimiento y judía*, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Caja Rural de Almería, 230 pp.

Cuadro III.1

VARIACIÓN EN PESO (g) DE CADA CONTENEDOR

Muestras	A	B	C	D
1	642,5	1.347,4	2.470,1	5.902,5
2	697,0	1.478,6	2.354,4	6.182,7
3	656,0	1.587,4	2.510,1	5.994,5
4	645,6	1.414,2	2.525,6	5.112,8
P. medio	660,3	1.456,9	2.465,1	5.798,9
P _{max} - P _{min}	54,5	240,0	171,2	1.069,9
% variación	8,3	16,5	6,9	18,5

$$VARIACIÓN = \frac{P_{m\acute{a}x} - P_{m\acute{i}n}}{P_{medio}} \cdot 100(1)$$

b) Características físicas e hidráulicas de los sustratos.

El cuadro III.2 muestra algunas de las características físicas e hidráulicas de los sustratos. En él podemos apreciar como la porosidad presenta valores altos, lo que va a influir en la capacidad de aireación. Además, el agua retenida disminuye a medida que aumenta la altura del sustrato, con mayor cantidad de agua en la base. La lana de roca presenta peor capacidad de retención de agua que la perlita ya que con una tensión de succión de 50 cm ha perdido prácticamente toda el agua, mientras que la perlita retiene todavía cantidades comprendidas entre el 33% y el 45% del volumen de poros. Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de riegos frecuentes, que saturan el sustrato, con el fin de que las plantas dispongan de abundante agua fácilmente utilizable. El sustrato C utiliza dos granulometrías de perlita y el D una sola, siendo la granulometría más gruesa del C similar a la utilizada en el sustrato D. El sustrato C tiene mejores características hídricas que el D debido a que una porción de la perlita utilizada es de granulometría más fina.

Después de dos años de cultivo se han vuelto a determinar las características físicas e hidráulicas de los sustratos. La determinación del agua retenida, en este caso, se ha efectuado únicamente para una altura de aproximadamente 9 cm, correspondiente a la altura de las planchas de lana de roca.

En el sustrato C se ha efectuado para el material (mezcla de dos perlitas de diferente granulometría) utilizado en dicho tratamiento. Debido a su mayor altura se hicieron 2 determinaciones (parte superior e inferior) y los datos corresponden al valor medio.

De los datos observados podemos decir que:

– Las raíces, en la perlita, se concentran en la parte central, con poco desarrollo en las zonas perimetrales. Por el contrario, en la lana de roca hay

Cuadro III.2

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E HIDRÁULICAS DE LOS DISTINTOS SUSTRATOS A DIFERENTES ALTURAS ANTES DE UTILIZARLOS

Sustrato	h (cm)	Da	Poros (%)	Agua retenida con diferentes succiones(%)				
				0 cm	10 cm	50 cm	100 cm	A.F.U.
A	6,0	0,05	97,7	89,7	38,5	1,5	0,9	37,0
A	4,0	0,06	97,8	96,7	55,2	7,8	7,3	47,4
A	2,0	0,06	97,8	97,8	47,0	3,7	0,9	43,3
B	6,0	0,08	97,0	97,5	46,3	7,9	6,4	38,4
B	3,4	0,08	97,0	96,7	52,2	2,7	2,0	49,5
B	2,0	0,08	96,6	95,4	60,7	1,9	0,8	58,8
C-g	5,5	0,16	93,4	64,3	59,3	45,7	36,4	13,6
C-g	2,0	0,18	92,5	82,0	62,2	45,9	34,9	16,3
C-m	5,5	0,08	96,7	69,8	64,6	40,9	38,7	23,7
C-m	2,0	0,11	96,4	78,7	65,3	30,9	22,9	34,4
C-f	5,5	0,06	97,5	81,1	76,1	36,8	25,3	39,3
C-f	2,0	0,06	97,5	89,6	77,9	37,5	23,7	40,4
D	5,5	0,16	93,4	64,4	47,9	32,9	28,0	15,0
D	2,0	0,18	92,5	80,5	54,3	37,2	27,8	17,1
D	2,0	0,18	92,5	85,0	65,4	43,6	28,0	21,8

Nota: g=perlita gruesa ϕ 1,5 - 5 mm; f = perlita fina ϕ < 1,5 mm; m = mezcla de las anteriores; h = altura de la muestra analizada, Da = densidad aparente.

menor cantidad de raíces en el interior de la plancha y se presenta una abundante cabellera radical en la parte inferior, entre la plancha y la envoltura plástica, donde siempre queda agua. Esto confirma lo ya publicado por otros autores².

– El pH es ácido en todos los casos analizados salvo en el BS, que es básico.

– La conductividad eléctrica (CE), medida en extracto 1:1 se duplica por lo menos en el caso del agua salina, salvo en el tratamiento C donde el aumento de la conductividad eléctrica es ligeramente menor. Éste es bastante mayor en las lanas de roca que en las perlitas.

Las características de los sustratos, después de dos ciclos de cultivo, se presentan en el cuadro III.3.

² VIDAL-BEAUDET, L., S. CHARPENTIER, L. M. RIVIÈRE y B. KAFKA (1994), «Migration des solutes dans les laines minérales», *PHM* nº 349: 33-39 pp.

Cuadro III.3

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E HIDRÁULICAS DE LOS DISTINTOS SUSTRATOS DESPUÉS DE DOS AÑOS DE CULTIVO

Sust	h (cm)	Da	Poros %	Agua retenida con diferentes succiones (%)					Extracto 1:1	
				0 cm	10 cm	50 cm	100 cm	AFU	pH	CE us/cm
AN	8,5	0,12	95,5	96,1	82,9	30,6	25,9	52,3	6,00	4040
BN	8,0	0,10	96,2	91,0	82,2	69,2	47,3	13,0	6,05	3120
CN	9,0	0,09	96,4	69,3	64,9	46,3	34,8	18,6	6,15	1740
DN	8,0	0,14	94,1	80,5	72,5	65,7	59,8	7,8	5,70	1500
AS	8,0	0,08	97,0	82,1	67,5	22,8	13,2	44,7	6,00	9600
BS	8,5	0,09	96,6	80,8	66,6	10,1	7,2	55,5	7,60	6320
CS	9,0	0,08	96,6	84,6	76,8	49,4	36,6	27,4	5,25	2200
DS	8,0	0,08	96,6	46,1	39,5	31,8	27,7	7,7	5,00	3550

Nota: Cada dato es media de 2 determinaciones.

Comparando los resultados de los análisis realizados en sustratos nuevos y en los utilizados durante 2 campañas se puede observar que:

- No existe prácticamente variación en la porosidad.
- El aumento de Da, especialmente en las lanas de roca, es debido a la existencia de raíces.
- La cantidad de agua retenida es mayor cuando se ha regado con agua de buena calidad, con la posible excepción del sustrato C. Por esta razón puede ser necesario aumentar la frecuencia de riegos en los tratamientos S.
- En general, el AFU disminuye en el tratamiento N con respecto al S.
- Los sustratos de lana de roca aumentan el porcentaje de retención de agua para bajas tensiones de succión y, sobre todo, con agua de buena calidad.

c) Inercia térmica.

La inercia térmica de los sustratos viene determinada por:

- Las características del sustrato y del contenedor.
- El volumen del sustrato y del agua retenida.
- La programación del riego.

Para el conjunto de las medidas realizadas, en cada ciclo de cultivo, la mayor inercia térmica la mostró el enarenado, es decir, la diferencia entre temperatura máxima y mínima fue menor en éste que en los sustratos (ver cuadro III.4). La inercia térmica de las lanas de roca fue menor en el sustrato A que en el B como consecuencia del mayor volumen de éste. En el caso de las perlitas la mayor inercia térmica la mostró el sustrato C.

Cuadro III.4

SALTO TÉRMICO ($\Delta T = T_{\text{máxima}} - T_{\text{mínima}}$) EN °C EN LOS SUSTRATOS Y EN EL ENARENADO

Ciclo	A	B	C	D	E
1°	7,5	6,9	4,1	5,9	3,1
2°	6,2	5,0	4,3	6,0	2,6

Nota: Cada dato es media de 6 medidas.

El cuadro III.5 muestra que en la primera campaña, la temperatura máxima, se registró en el sustrato A con 29,2°C y la mínima en los sustratos A y D con 11,2°C. En la segunda campaña, la máxima temperatura de 30,6°C se dio en el enarenado y en el sustrato B; y la mínima se registró en el sustrato A con 8,2°C.

Cuadro III.5

TEMPERATURAS (°C) MÁXIMAS Y MÍNIMAS ALCANZADAS EN DIFERENTES DÍAS

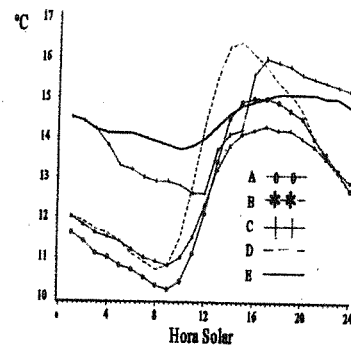
Ciclo	Fecha	Temperatura	A	B	C	D	E
1°	28-09-92	Máximas	29,2	29,0	23,7	25,7	27,6
	30-12-92	Mínimas	11,2	11,8	11,7	11,2	12,9
2°	02-10-93	Máximas	29,8	30,6	27,6	28,7	30,6
	06-02-94	Mínimas	8,2	10,1	12,1	10,1	10,0

El gráfico III.1 muestra la temperatura del aire, del enarenado y de los sustratos, en diferentes días del primer ciclo de cultivo. En ellas se pueden apreciar que en días fríos (diciembre) la mayor inercia térmica la mostró el enarenado y la menor los sustratos, hecho que viene motivado por el acolchado que supone la arena, además de por su mayor volumen. Entre sustratos el mejor comportamiento térmico se dio en los de perlita y entre ellos el sustrato C, probablemente, debido a su capacidad de almacenar agua a consecuencia de su mayor volumen y del material del contenedor. En los sustratos de lana de roca la mayor inercia térmica la mostró el sustrato B, que es el de mayor volumen.

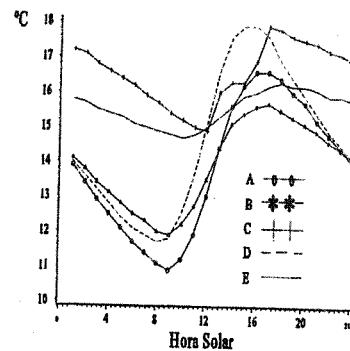
Con altas temperaturas de aire (septiembre y marzo) los sustratos muestran la misma tendencia que en días fríos. A destacar el comportamiento térmico del sustrato C que fue similar al del enarenado, hecho que puede venir inducido por la alta frecuencia de riegos, por comparación con el enarenado, con varios riegos al día que han facilitado la regulación térmica, a lo que habrá que añadir el efecto termoaislante del contenedor de este sustrato. También aquí los sustratos de lana de roca mostraron la menor inercia térmica, registrándose en ellos el valor máximo absoluto de temperatura.

Gráfico III.1

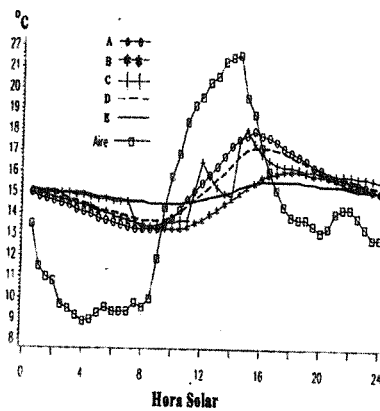
TEMPERATURA DEL AIRE, DEL ENARENADO
Y DE LOS SUSTRATOS EN DÍAS FRÍOS



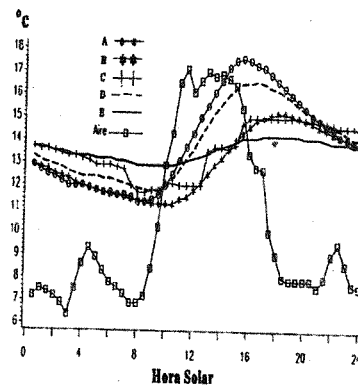
DIA: 17.12.93



DIA: 03.01.94



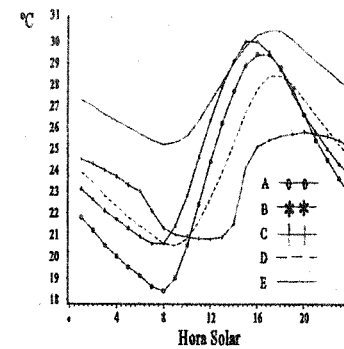
DIA: 22.12.92



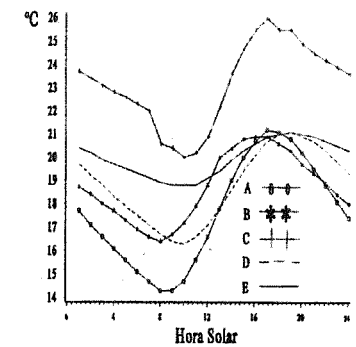
DIA: 30.12.92

Gráfico III.2

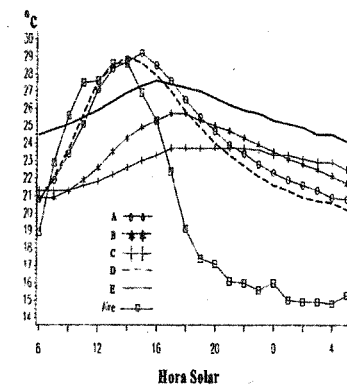
TEMPERATURA DEL AIRE, DEL ENARENADO
Y DE LOS SUSTRATOS EN LOS DÍAS CÁLIDOS



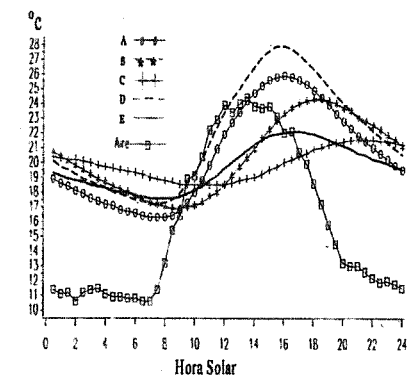
DIA: 03.10.93



DIA: 03.04.94



DIA: 28.09.92 - 29.09.92



DIA: 30.03.93

En el segundo ciclo de cultivo la inercia térmica del enarenado y de los sustratos muestra una tendencia similar a la del ciclo anterior. La temperatura mínima se registró en el sustrato A y la máxima en el enarenado. A destacar las mayores temperaturas que alcanza el sustrato C hacia el final de este ciclo (03.04.94) que puede deberse a la pérdida de características del material de aislamiento y a la compactación de la perlita (ver gráfico III.2).

1.2. Clima del invernadero

– Radiación solar y evaporación. Los valores de radiación solar (wh/m^2 día) en el invernadero variaron entre 1.248 (novena quincena que se corresponde con el mes de diciembre) y 4.110 (primera quincena mes de agosto) y entre 1.290 (sexta quincena mes de diciembre) y 3.996 (última quincena mes de mayo), en el primer y segundo ciclo de cultivo respectivamente. La evolución de la radiación global y de la evaporación en tanque clase A se muestra en el gráfico III.3.

El cuadro III.6 muestra la evaporación en tanque y la radiación solar dentro y fuera de invernadero. En él se aprecia que los valores de evaporación y radiación fueron similares en ambos ciclos de cultivo.

Cuadro III.6

VALORES MEDIOS Y ACUMULADOS PARA LOS DOS CICLOS DE CULTIVO DE: EVAPORACIÓN EN TANQUE EVAPORÍMETRO CLASE A DENTRO DE INVERNADERO (E_o), RADIACIÓN SOLAR EXTERIOR (R_e) Y DENTRO DEL INVERNADERO (R_i)

Ciclo	E_o (mm)		R_e (wh/m^2 día)		R_i (wh/m^2 día)	
	Media	Acumulado	Media	Acumulado	Media	Acumulado
1er	2,04	458	3717	832713	2438	546175
2º	2,06	463	3607	811671	2317	521444

– Temperatura del aire. Los valores medios de fototemperatura, en el interior del invernadero, fueron en general inferiores a los 21°C (temperatura considerada como mínima deseable para un adecuado desarrollo del cultivo) en la mayor parte del ciclo de cultivo. Sólo las cuatro primeras quincenas, en el primer ciclo, y las dos primeras y las cinco últimas, en el segundo ciclo de cultivo, superaron este valor. Las medias registradas de nitotemperatura fueron, en ambos ciclos, durante la mayor parte de los períodos inferiores a los $12^\circ\text{--}15^\circ\text{C}$, consideradas mínimas deseables para el cultivo de tomate³. El gráfico

³ BRUN, R. y J. LAGIER (1984), «Etude d'un nouveau type d'abri mieux adapté au climat méditerranéen», *PHM* 245: 25-32 pp.

figo III.4 muestra la evolución de la fototemperatura (diurna), nitotemperatura (nocturna) y la humedad relativa del aire diurna y nocturna.

Gráfico III.3

EVOLUCIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL Y DE LA EVAPORACIÓN EN TANQUE CLASE A EN EL PRIMER Y SEGUNDO CICLO DE CULTIVO

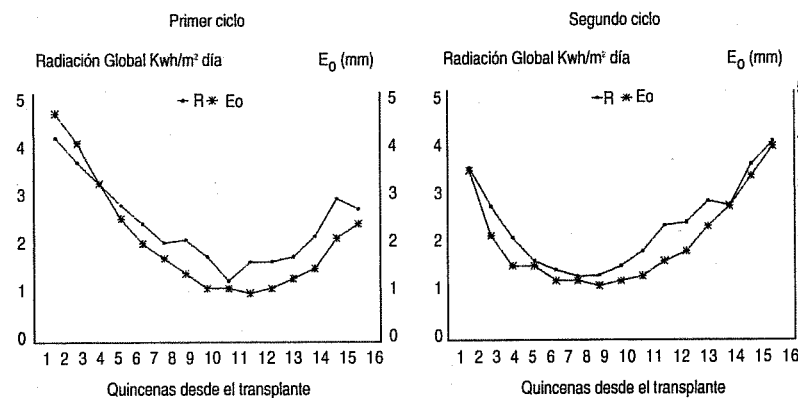
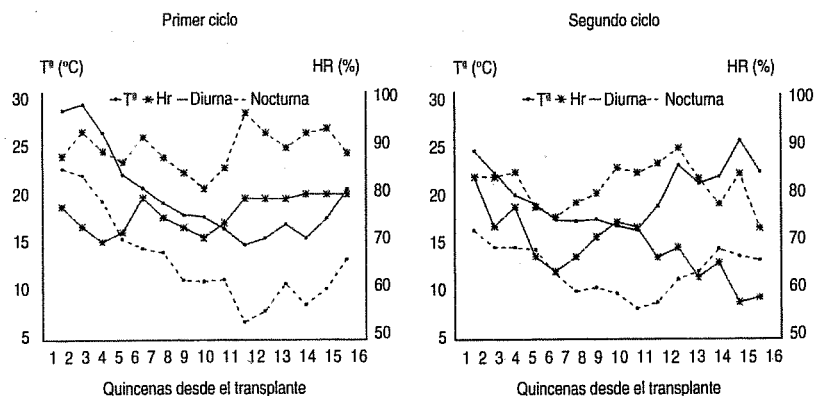


Gráfico III.4

EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE DURANTE EL DÍA Y LA NOCHE EN EL PRIMER Y SEGUNDO CICLO DE CULTIVO



– Humedad relativa del aire. La humedad relativa diurna, en el primer ciclo de cultivo, se situó en porcentajes considerados óptimos (70% a 80%) no así en las horas nocturnas donde, las medias quincenales, superaron en bastantes ocasiones el 90% (porcentaje crítico para el normal desarrollo del cultivo de tomate). Los valores de humedad relativa, en el segundo ciclo de cultivo, fueron inferiores variando entre el 60% (día) y el 90% (noche). Ésta ha sido la causa de la menor incidencia de enfermedades fúngicas durante este ciclo.

1.3. Balance hídrico

La disposición de las plantas en la parcela hace que éstas reciban mayor radiación que la que este cultivo interceptaría en condiciones de campo. Por esta razón, los consumos de agua fueron más elevados que lo normal en particular en el segundo ciclo de cultivo. En este apartado se presentan dichos consumos, referidos como la ET del cultivo, y su relación con la ET de referencia (coeficiente de cultivo), bien entendido que los resultados que se dan son válidos a título comparativo entre tratamientos.

La evolución de la evapotranspiración del cultivo de tomate, para períodos quincenales, se da en los gráficos III.5 y III.6. En ellos puede verse como los sustratos en el primer y segundo ciclo de cultivo muestran, hasta la 5ª quincena, una tendencia similar entre tratamientos S y N. La diferencia de ETc entre los tratamientos S y N, fue menor cuanto más agua recibió el sustrato y cuanto mayor fue su volumen (a destacar el tratamiento CS y DS).

El cuadro III.7 muestra los valores de la evapotranspiración estacional en los distintos tratamientos en los dos ciclos de cultivo. En el caso del enarenado su valor se ha estimado suponiendo que el agua aportada a lo largo del ciclo de cultivo fue aproximadamente el 90% de la ETc y el resto la tomó del agua fácilmente utilizable existente en el perfil del suelo. La evapotranspiración estacional de los sustratos se ha medido por diferencia entre aportes y lixiviados. La mayor demanda evapotranspirativa del segundo ciclo de cultivo, puede estar motivada por las distintas fechas en las que se realizó el trasplante, ya que la duración del ciclo fue la misma, así como la integral de radiación y la evaporación en tanque clase A (ver cuadro III.6).

Cuadro III.7

EVAPOTRANSPIRACIÓN ESTACIONAL DEL CULTIVO (mm) EN LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS Y EN LOS DOS CICLOS DE CULTIVO

Ciclo	AN	BN	CN	DN	E(N-S)	AS	BS	CS	DS
1º	347,5	318,8	424,3	370,5	306,2	230,0	282,3	337,7	312,7
2º	641,0	596,8	586,8	459,6	335,1	354,5	358,5	493,6	482,5

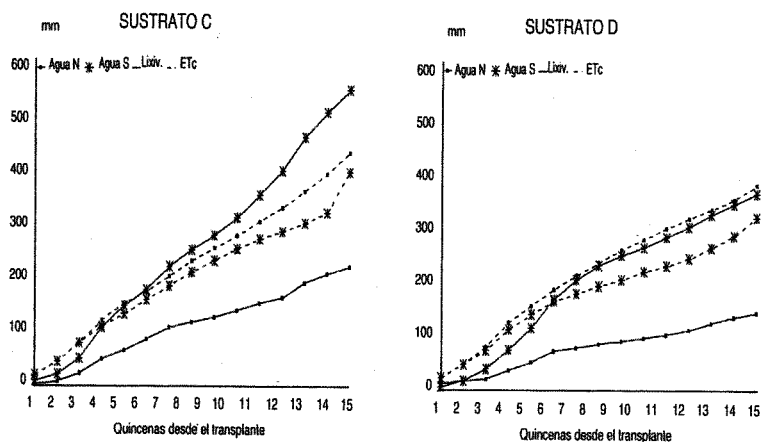
Los coeficientes de cultivo en el primer y segundo ciclo, para períodos quincenales, aparecen en el cuadro III.8. Los valores de kc van subiendo hasta la 8ª ó 9ª quincena, mantienen sus valores las tres quincenas siguientes y comienzan a bajar hasta el final del ciclo. En el primer ciclo los valores de kc más altos los dio el tratamiento CN. En el segundo ciclo los valores más altos los dio el tratamiento AN. En ambos ciclos, los kc fueron mayores en los tratamientos regados con agua N que con agua S.

Cuadro III.8

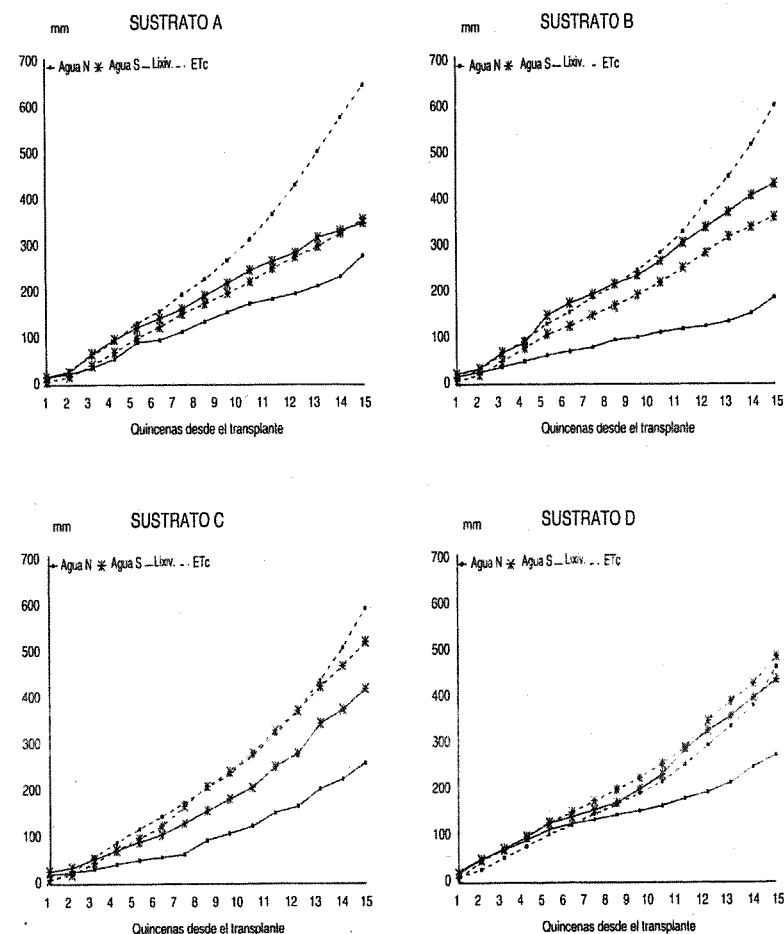
COEFICIENTES DE CULTIVO (Kc) PARA PERÍODOS QUINCENALES EN EL PRIMER (*) Y SEGUNDO (**) CICLO DE CULTIVO

Período	AN	BN	CN	DN	AS	BS	CS	DS
1º	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
2º	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
3º	0,84	0,58	0,90	0,86	0,52	0,74	0,92	0,69
4º	1,28	1,04	1,42	1,51	0,79	1,20	1,03	1,31
5º	1,00	1,07	1,33	1,30	0,65	1,84	0,95	1,17
6º	1,14	0,95	1,01	1,46	0,68	1,71	1,27	1,18
7º	1,47	1,46	1,68	1,48	1,04	0,94	1,42	0,82
* 8º	1,48	1,50	2,14	1,83	1,03	1,02	1,96	1,08
9º	1,18	1,40	1,79	1,77	0,72	1,12	1,67	0,90
10º	1,42	1,42	1,94	1,67	0,67	0,71	1,68	1,23
11º	1,43	1,41	1,98	1,50	0,93	0,80	1,41	0,78
12º	1,27	1,21	1,67	1,23	0,77	0,59	0,91	0,89
13º	1,28	1,04	1,64	0,94	0,46	0,48	0,88	1,60
14º	0,97	0,77	1,32	0,75	0,40	0,32	0,80	0,95
15º	0,97	0,90	1,34	0,88	0,89	0,38	0,75	1,18
1º	0,24	0,22	0,17	0,26	0,14	0,13	0,17	0,19
2º	0,88	0,95	0,74	0,67	0,48	0,55	0,48	1,58
3º	1,65	1,65	1,80	1,38	1,27	1,54	1,41	1,25
4º	1,84	1,88	1,73	1,42	1,59	1,69	1,55	1,65
5º	2,59	2,28	1,98	1,78	2,11	2,01	1,73	2,04
6º	1,79	1,75	1,89	1,38	1,66	1,24	1,80	1,58
7º	2,64	2,29	2,19	1,76	2,02	1,66	2,62	1,84
** 8º	2,36	1,82	2,14	1,47	1,56	1,49	2,03	1,69
9º	2,56	2,19	2,00	1,51	1,43	1,45	1,97	1,64
10º	2,45	2,00	2,04	1,40	1,32	1,46	2,14	1,56
11º	2,55	2,13	2,14	1,70	1,38	1,52	2,23	1,68
12º	2,32	2,28	1,84	1,48	0,92	1,21	1,55	2,05
13º	2,24	1,78	2,02	1,28	0,71	1,05	1,63	1,31
14º	1,87	1,73	1,81	1,11	0,73	0,54	1,12	0,99
15º	1,39	1,71	1,70	1,68	0,61	0,45	1,05	1,16

EVOLUCIÓN DE LA ET_c Y DEL LIXIVIADO EN CADA SUSTRATO,
PARA LAS DOS CALIDADES DE AGUA,
EN EL PRIMER CICLO DE CULTIVO



EVOLUCIÓN DE LA ET_c Y DEL LIXIVIADO EN CADA SUSTRATO,
PARA LAS DOS CALIDADES DE AGUA,
EN EL SEGUNDO CICLO DE CULTIVO



1.4. Balance salino

En este apartado se presentan datos sobre el balance de fertilizantes, de nitrógeno y, el aporte y extracción de nutrientes.

– Balance de fertilizantes.

El cuadro III.9 presenta los datos de aportes, extracciones y lixiviados de fertilizantes habidos en el primer ciclo de cultivo. Aquí podemos apreciar las mayores cantidades de lixiviados que se producen en los tratamientos salinos que es la consecuencia de la programación del riego donde se dio hasta un 50% más de agua para lavado de sales. En el enarenado no se ha computado los aportes del estiércol, por esta razón aparece el valor negativo. Si se han incluido, en todos los casos, las cantidades de potasio, calcio y magnesio aportadas por el agua de riego.

Cuadro III.9

BALANCE (t/ha) DE FERTILIZANTES
(N, P₂O₅, K₂O, Ca Y Mg) EN EL PRIMER CICLO DE CULTIVO

Tratamientos	Aportes	Extracciones	Lixiviado
AN	4,2	2,3	1,9
BN	4,4	2,1	2,3
CN	5,5	2,1	3,4
DN	4,3	2,2	2,1
EN	1,1	1,5	-0,4
AS	5,7	1,8	3,9
BS	4,9	2,3	2,6
CS	6,9	2,4	4,5
DS	5,3	1,9	3,4

– Balance de nitrógeno.

El balance de nitrógeno se ha determinado únicamente en los sustratos, durante el segundo ciclo de cultivo. Para su obtención se han medido:

- Los aportes procedentes del agua del riego (que en este caso fue cero) y de los fertilizantes nitrogenados aplicados a lo largo del ciclo.
- Las extracciones efectuadas por los órganos aéreos de las plantas.
- Las pérdidas por lixiviación en el ciclo de cultivo.
- El contenido de nitrógeno en los sustratos al finalizar el cultivo. En esta última determinación se mide conjuntamente el nitrógeno extraído por el sistema radical de las plantas y el retenido por los sustratos (ver cuadro III.10).

Cuadro III.10

CONTENIDO EN NITRÓGENO TOTAL EN LOS SUSTRATOS
(g/100 g DE MATERIA SECA)
AL FINAL DE LOS DOS CICLOS DE CULTIVO.

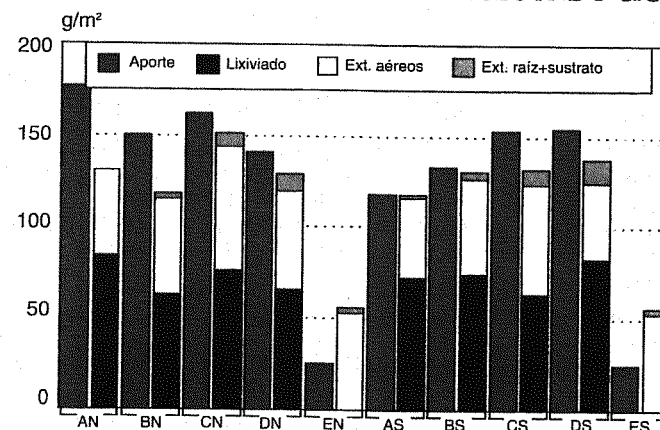
AN	BN	CN	DN	AS	BS	CS	DS
0,39	0,41	0,59	0,48	0,49	0,50	0,64	0,65

En el caso del enarenado no se ha computado la variación de este elemento en la reserva del suelo, ni el procedente de la mineralización del estiércol que se aportó con el retranqueo y se ha estimado que el nitrógeno contenido por las raíces es un 5% del total extraído por la planta. No se han tenido en cuenta las pérdidas producidas por volatilización, que han debido ser nulas en los sustratos, dadas las composiciones de los fertilizantes. En el caso del enarenado, con la programación del riego efectuada, se puede considerar que las pérdidas de nitrógeno por lixiviación fueron despreciables, produciéndose pérdidas en el suelo por volatilización del amonio y mineralización de la materia orgánica.

El gráfico III.7 muestra el manejo poco eficiente de la programación de la fertilización nitrogenada realizada en los sustratos, ya que se pierden por lixiviación cantidades de nitrógeno que, en la mayor parte de los casos, son superiores a la extracción que de este elemento hace el cultivo. La eficiencia de la fertilización nitrogenada en el enarenado fue alta, tomando las plantas una cantidad importante del existente en el suelo.

Gráfico III.7

BALANCE DE NITRÓGENO EN EL SEGUNDO CICLO



– Aporte y extracción de nutrientes.

El cuadro III.11 muestra los aportes y extracciones del cultivo de tomate en cada tratamiento. La aportación de fertilizantes en todos los tratamientos fue muy superior a las extracciones excepto en el enarenado. En éste estimamos que el cultivo tomó de las reservas del suelo para el conjunto de los dos años de cultivo una cantidad próxima a los 400 kg/ha.

Cuadro III.11

APORTE Y EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES EN kg/ha

Trat.	Concepto	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
AN	Fertilizante	1770,4	843,4	3258,2	1395,0	91,8
	A. Riego	0,0	0,0	23,0	187,7	298,8
	Ext. aéreos*	-469,5	-350,1	-1191,9	-312,6	-133,3
	Ext. raíz	-12,9	-35,1	-143,0	-59,4	-17,3
	Diferencia	1288,0				
BN	Fertilizante	1506,8	717,8	2773,0	1187,3	78,1
	A. Riego	0,0	0,0	20,0	163,5	260,2
	Ext. aéreos*	-528,5	-307,4	-1221,1	-328,8	-142,4
	Ext. raíz	-29,9	-30,7	-146,5	-62,5	-18,5
	Diferencia	948,4				
CN	Fertilizante	1627,7	775,3	2995,4	1282,6	84,4
	A. Riego	0,0	0,0	21,7	177,0	281,7
	Ext. aéreos*	-690,6	-396,6	-1342,4	-449,6	-195,5
	Ext. raíz	-72,7	-39,6	-161,1	-85,4	-25,4
	Diferencia	864,4				
DN	Fertilizante	1412,5	672,8	2599,4	1113,0	73,2
	A. Riego	0,0	0,0	191,1	155,6	247,8
	Ext. aéreos*	-554,5	-306,5	-1259,2	-350,4	-153,5
	Ext. raíz	-92,8	-30,7	-151,1	-66,6	-20,0
	Diferencia	765,2				
EN	Fertilizante	252,1	151,9	412,5	157,9	10,4
	A. Riego	0,0	0,0	8,6	70,0	111,4
	Ext. aéreos*	-529,9	-226,4	-1252,2	-429,8	-244,0
	Ext. raíz	-26,5	-227,0	-150,3	-81,7	-31,7
	Diferencia	-304,3				
AS	Fertilizante	1185,7	645,2	2049,4	1200,2	70,2
	A. Riego	0,0	0,0	16,9	137,5	219,0
	Ext. aéreos*	-449,3	-310,0	-1034,7	-259,4	-100,6
	Ext. raíz	-16,2	-30,9	-124,1	-49,3	-13,1
	Diferencia	720,2				
BS	Fertilizante	1332,4	724,8	2303,1	1348,7	78,9
	A. Riego	0,0	0,0	20,0	163,3	259,9
	Ext. aéreos*	-539,4	-317,3	-1135,0	-354,5	-151,7
	Ext. raíz	-36,4	-31,8	-136,2	-67,4	-19,7
	Diferencia	756,6				

Cuadro III.11 (continuación)

Trat.	Concepto	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
CS	Fertilizante	1536,5	835,9	2656,3	1555,6	91,0
	A. Riego	0,0	0,0	23,5	178,3	283,8
	Ext. aéreos*	-613,7	-342,3	-1298,4	-431,3	-167,0
	Ext. raíz	-78,9	-34,1	-155,8	-81,9	21,7
	Diferencia	843,9				
DS	Fertilizante	1547,6	841,9	2675,2	1566,7	91,6
	A. Riego	0,0	0,0	22,1	176,6	285,9
	Ext. aéreos*	-432,8	-253,6	-866,4	-238,8	-110,7
	Ext. raíz	-125,6	-25,0	-107,0	-45,4	-14,7
	Diferencia	948,4				
ES	Fertilizante	246,0	152,4	396,2	177,7	10,4
	A. Riego	0,0	0,0	8,6	70,1	111,6
	Ext. aéreos*	-532,3	-232,5	-1366,8	-467,2	-252,4
	Ext. raíz	-26,6	-23,4	-164,0	-88,8	-32,8
	Diferencia	-312,9				

El cuadro III.12 aporta información sobre la variabilidad de la extracción de nutrientes en cada tratamiento, por los órganos aéreos de la planta y la cosecha producida.

Cuadro III.12

EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES (kg/ha)
POR LOS ÓRGANOS AÉREOS DEL TOMATE Y COSECHA (t/ha)

Tratamientos	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Cosecha
AN	470 ± 11,2	350 ± 2,6	1192 ± 9,7	313 ± 8,3	133 ± 6,1	228
BN	529 ± 4,8	308 ± 1,4	1221 ± 14,3	329 ± 7,9	142 ± 3,5	228
CN	691 ± 14,5	397 ± 2,3	1342 ± 6,1	450 ± 12,5	196 ± 5,6	247
DN	555 ± 12,4	307 ± 2,2	1259 ± 12,7	350 ± 5,7	154 ± 3,3	223
EN	530 ± 4,3	226 ± 1,1	1252 ± 4,7	430 ± 4,5	244 ± 3,7	217
AS	449 ± 5,2	310 ± 1,9	1035 ± 8,5	259 ± 4,3	101 ± 2,6	173
BS	539 ± 7,4	317 ± 0,7	1135 ± 7,7	355 ± 6,7	152 ± 3,3	189
CS	614 ± 7,4	342 ± 2,2	1298 ± 12,5	431 ± 3,6	167 ± 3,5	169
DS	433 ± 2,2	254 ± 2,9	866 ± 4,2	239 ± 4,6	113 ± 2,3	154
ES	532 ± 4,5	233 ± 1,4	1367 ± 11,8	467 ± 3,6	252 ± 1,2	173

1.5. Parámetros de productividad del cultivo

Este apartado ofrece datos sobre radiación interceptada por el cultivo, crecimiento, fenología y biomasa.

– Radiación interceptada por el cultivo.

Esta determinación sólo se realizó en el primer ciclo de cultivo. Su finalidad fue tener un indicador, no destructivo, del desarrollo de las plantas. El cuadro III.13 muestra que, transcurridos 27 días desde el transplante, las plantas cultivadas en los sustratos tuvieron mayor desarrollo que en el enarenado. En este período los tratamientos regados con agua S interceptaron menos radiación que los regados con agua N. Con agua N el sustrato que mostró, en esta fase, el menor desarrollo fue el A y el mayor el C, mientras que con el agua S fue el sustrato D el de menor interceptación. La medida realizada a los 36 días desde el transplante, muestra como las plantas cultivadas sobre enarenado continúan teniendo menores porcentajes de radiación interceptada; aunque la intensidad de desarrollo, en los nueve días transcurridos desde la medida anterior, fue la mayor de todos los tratamientos. A la vista de estos resultados cabría pensar que, en ese período y para el ciclo estudiado, los sustratos inducen más precocidad en las plantas en sus primeras fases de cultivo. Esto puede deberse, a que la disposición de las plantas cultivadas en los sustratos interceptan más cantidad de radiación y/o, a las mejores condiciones para el desarrollo del sistema radical consecuencia de las mejores condiciones térmicas, inducidas por la programación de los riegos, siendo más acusado este efecto en los sustratos de mayor volumen.

Cuadro III.13

VALORES DE RADIACIÓN PAR INTERCEPTADA (%),
POR EL CULTIVO, A LOS 27, 36 Y 69 DÍAS DESDE EL TRASPLANTE,
EN CADA TRATAMIENTO

Trat./días	27	36	69
AN	57,1 b	75,6 a7	5,4 a
BN	63,7 b	72,5 ab	79,6 a
CN	67,5 a	74,3 a	75,0 a
DN	63,0 b	74,1 a	75,5 a
EN	32,5 c	59,3 bc	75,2 a
AS	57,5 b	70,2 ab	73,0 a
BS	54,4 b	69,5 ab	74,7 a
CS	58,5 b	59,2 bc	70,7 a
DS	48,9 b	65,5 abc	74,5 a

Nota. Test de Rangos múltiples de Duncan. Números seguidos de distinta letra (a,b,c) denotan diferencias significativas (nivel 5%). Cada dato es media de cuatro medidas.

La última medida se realizó a los 69 días desde el transplante. Aquí todos los tratamientos, incluido el enarenado, muestran valores bastante similares, siendo la interceptación de radiación superior al 70%. Los tratamientos regados con agua N muestran menor intensidad de desarrollo en el período comprendido entre el día 36 y 69 debido a la precocidad de aparición de inflorescencias.

– Crecimiento y fenología del cultivo.

Esta determinación sólo se realizó en el segundo ciclo de cultivo. La altura de las plantas, el número de hojas y la aparición de inflorescencias se representa en el gráfico III.8. El cuadro III.14 muestra, en tres períodos del ciclo de cultivo, la intensidad de crecimiento, el ritmo de aparición de hojas y el número de inflorescencias en los distintos tratamientos. Podemos ver como el primer período (17 a 65 días desde el transplante) es el de mayor intensidad de crecimiento. No se aprecia que los tratamientos N y S tengan influencia en los parámetros medidos, presentando los sustratos A, B y C valores, muy similares, que son mayores que los del D. El siguiente período (entre el día 66 y el 116 desde el trasplante), que coincide con meses fríos y baja radiación solar, presenta la menor intensidad de crecimiento del cultivo, siendo muy escasas las diferencias entre los tratamientos regados con agua N y S. En el último período (entre el día 117 y 206), con mejores condiciones térmicas y radiativas, la intensidad de crecimiento aumenta con relación al período anterior. En todos los casos analizados, los valores más bajos los dio el tratamiento E.

Cuadro III.14

CRECIMIENTO (cm/día), RITMO DE APARICIÓN DE HOJAS
(n.º hojas/día) Y N.º DE INFLORESCENCIAS EN TRES PERÍODOS DEL
CICLO DE CULTIVO

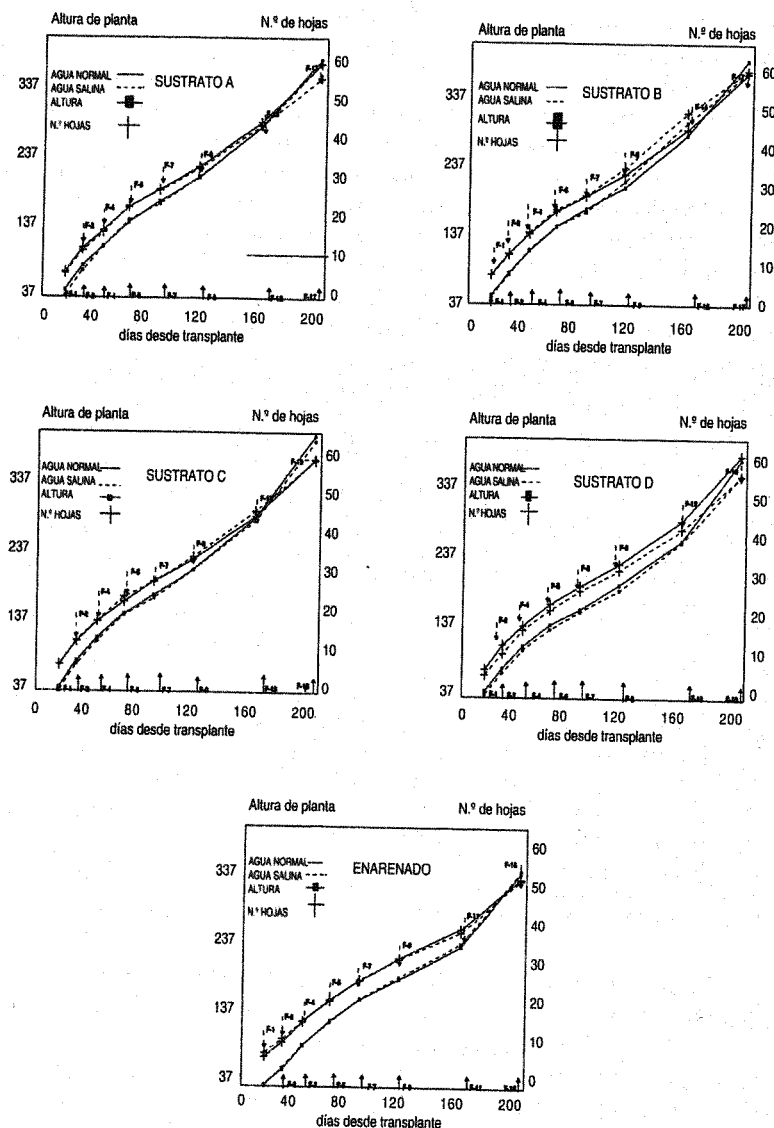
Desde	el día 17 al 65			el 66 al 116			el 117 al 206		
Trat.	cm/d	h/d	inf	cm/d	h/d	inf	cm/d	h/d	inf
AN	2,25	0,35	5	1,75	0,27	7	1,84	0,28	5
BN	2,27	0,36	6	1,71	0,27	6	1,86	0,28	5
CN	2,26	0,34	6	1,76	0,27	7	1,95	0,28	5
DN	2,18	0,36	6	1,63	0,28	7	1,85	0,30	5
EN	2,02	0,34	5	1,48	0,25	6	1,68	0,26	4
AS	2,29	0,35	6	1,75	0,27	7	1,82	0,27	4
BS	2,28	0,37	6	1,83	0,30	8	1,78	0,28	3
CS	2,23	0,36	6	1,73	0,28	7	1,91	0,28	5
DS	2,08	0,34	5	1,61	0,26	7	1,74	0,27	4
ES	2,00	0,33	5	1,51	0,24	6	1,70	0,25	4

Nota. Cada dato es la media de ocho plantas.

El número total de ramos florales fue de 18 en los tratamientos CS, CN y DN, de 17 en los AN, AS, BN y BS y de 16 en DS y de 15 en el EN y ES. La aparición de la primera inflorescencia ocurrió entre las hojas 6 y 7, los siguientes ramos florales aparecieron cada 3 hojas. Las plantas no se despuntaron, siendo ésta la causa de la gran intensidad de crecimiento existente en el tercer período.

Gráfico III.8

ALTURA DE PLANTA (cm), NÚMERO DE HOJAS Y APARICIÓN DE INFLORESCENCIA EN CADA TRATAMIENTO, EN EL 2º CICLO



– Biomasa.

La biomasa total producida por los distintos tratamientos se puede ver en el cuadro III.15.

Cuadro III.15

BIOMASA (g/m^2) PRODUCIDA POR LOS ÓRGANOS AÉREOS DE LA PLANTA EN CADA TRATAMIENTO EN LOS DOS CICLOS DE CULTIVO (1º y 2º)

Tratamientos	Hojas	Tallos	Frutos	Total	Índice de cosecha
1º					
AN	709,4 a	391,8 a	1.190,7 a	2.291,9 a	0,52 a
BN	636,4 a	330,0 a	1.128,0 a	2.094,6 a	0,54 a
CN	678,2 a	331,5 a	1.080,3 a	2.090,1 a	0,52 a
DN	645,4 a	352,3 a	1.156,2 a	2.153,9 a	0,54 a
EN	516,8 a	278,6 a	703,1 b	1.498,7 b	0,47 b
AS	529,3 a	286,1 a	989,2 a	1.804,6 ab	0,55 a
BS	735,5 a	537,0 a	997,4 a	2.269,9 a	0,46 b
CS	727,9 a	413,6 a	1.192,2 a	2.333,7 a	0,51 a
DS	564,8 a	305,9 a	1.006,0 a	1.876,7 ab	0,54 a
2º					
AN	755,9 cde	393,4 abc	1.542 ab	2.691 abc	0,57 ab
BN	730,0 de	378,2 bc	1.493,6 abc	2.609,7 abc	0,57 ab
CN	1.011,4 a	460,7 a	1.511,8 abc	2.983,9 a	0,51 bcd
DN	750,6 cde	403,8 abc	1.637,1 a	2.791,5 ab	0,59 a
EN	892,6 abcd	356,5 bc	1.235,1 bcd	2.484,2 abc	0,50 cd
AS	644,0 e	332,6 cd	1.526,8 abc	2.503,5 abc	0,61 a
BS	793,4 bcde	372,0 bc	1.430,8 abcd	2.596,1 abc	0,55 abc
CS	976,7 ab	428,8 ba	1.192,5 cd	2.597,9 abc	0,46 d
DS	615,4 e	275,4 d	1.330,2 abcd	2.221,0 c	0,60 a
ES	951,3 abc	352,2 cd	1.123,0 d	2.399,4 bc	0,47 d

Nota: Test de Rangos múltiples de Duncan, números seguidos de distinta letra (a,b,c,d,e) denotan diferencias significativas ($p < 0,05$).

En el primer ciclo de cultivo, la producción de biomasa fue menor en el enarenado que en el resto de los sustratos. Entre los sustratos son los tratamientos AS y DS, con menor volumen, los que dan menor producción de biomasa. El menor índice de cosecha (cociente entre la materia seca producida en frutos y el total de materia seca producida por el conjunto de los órganos aéreos de la planta) se dio en el enarenado. Éste hecho puede deberse a un control poco eficiente de la nutrición del cultivo, provocando un reparto de asimilados que ha beneficiado a los órganos vegetativos en detrimento de los reproductivos y/o a mejores temperaturas del sustrato. De igual manera el bajo índice de cosecha del tratamiento BS puede venir

inducido por el arranque de plantas como consecuencia de la aparición de síntomas de virosis, en las parcelas de control de este tratamiento, lo que ha podido producir un cierto desequilibrio nutricional.

En el segundo ciclo de cultivo la biomasa de hojas fue mayor en los tratamientos CN y CS, y menor en los tratamientos AS y DS. La biomasa de tallos fue mayor en los tratamientos CN y CS, y menor en los tratamientos AS, DS y EN. La biomasa de frutos fue mayor en el tratamiento DN y menor en el tratamiento ES. Los tratamientos sobre enarenado muestran el menor índice de cosecha, igual que ocurrió en el ciclo anterior. La biomasa total fue mayor en los tratamientos regados con agua N, pero las diferencias no fueron significativas.

1.6. Cosecha

En este apartado se analiza la producción precoz y total, así como calibre de los frutos, la calidad y la composición de los mismos.

– Cosecha precoz y total.

La cosecha precoz y total, obtenida en los distintos tratamientos y en los dos ciclos de cultivo se muestra en el cuadro III.16. El enarenado siempre dio menos precocidad de cosecha. Los sustratos regados con agua S dan, por lo general, algo menos de precocidad que los regados con agua N.

La cosecha total, en el primer ciclo de cultivo, fue menor en el tratamiento DS y mayor en los tratamientos AN y CN. En el segundo ciclo de cultivo, los tratamientos CS, DS y ES dieron las menores cosechas y las mayores se produjeron en los tratamientos AN, BN, CN y DN, con diferencias significativas entre estos tratamientos. La distinta salinidad del agua de riego empleada ha afectado tanto a la precocidad como a la cosecha total.

La cosecha total media, obtenida con el agua N y S, en los sustratos y en el enarenado fue:

a) En el primer ciclo de cultivo, de 170 t/ha en los sustratos y de 135 t/ha en el enarenado, regados con agua N y; de 134 t/ha en los sustratos regados con agua S.

b) En el segundo ciclo de cultivo, de 192 t/ha en los sustratos y 171 t/ha en el enarenado, regados con agua N y; de 150 t/ha en los sustratos y de 144 t/ha en el enarenado, regados con agua S.

Para los ciclos de cultivo, material vegetal y fechas de siembra, contemplados en los ensayos, las producciones obtenidas son algo superiores a las que usualmente se obtienen en invernaderos pasivos situados en latitudes similares a las del sureste español. La respuesta productiva de los dos ciclos de cultivo fue diferente a pesar de que en ambos la duración del ciclo y la integral de radiación fue similar. La mayor cosecha obtenida en el segundo ciclo de cultivo está motivada por las mejores condiciones

ambientales (temperatura y humedad relativa) en el invernadero durante esta campaña. La mayor cantidad de radiación que interceptó el cultivo en este ciclo debido a las diferentes fechas de siembra, ha podido contribuir también a la mejora de la producción indicada.

Cuadro III.16

COSECHA (g/m²) PRECOZ (HASTA LOS 100 DÍAS DESDE EL TRASPLANTE) Y TOTAL PRODUCIDA POR LOS TRATAMIENTOS EN LOS DOS CICLOS DE CULTIVO (1º y 2º)

Tratamientos		Precoz	Total
1º	AN	2.661,6 a	17.833 a
	BN	3.237,6 a	16.786 ab
	CN	3.181,5 a	17.425 a
	DN	2.751,5 a	15.851 ab
	EN	876,0 b	13.512 ab
	AS	2.481,9 a	12.621 ab
	BS	2.231,5 a	12.741 ab
	CS	2.736,6 a	16.719 ab
	DS	2.473,2 a	11.574 b
2º	AN	4.358,1 ab	18.622 a
	BN	4.490,5 ab	18.988 a
	CN	3.480,1 b	19.959 a
	DN	5.937,2 a	19.243 a
	EN	2.277,7 b	17.112 ab
	AS	4.102,0 ab	16.066 ab
	BS	4.060,7 ab	16.396 ab
	CS	3.376,6 b	13.633 b
	DS	3.085,9 b	13.944 b
	ES	2.993,1 b	14.416 b

Nota: Test de Rangos múltiples de Duncan, números seguidos de distinta letra (a,b) denotan diferencias significativas ($p < 0,05$).

– Calibre de los frutos.

Esta determinación sólo se realizó en el segundo ciclo de cultivo. El cuadro III.17 muestra el porcentaje de frutos de cada calibre. El mayor calibre (GG) se da en las plantas regadas con agua N siendo las diferencias significativas entre los sustratos. Entre los tratamientos EN y ES las diferencias fueron significativas sólo para el menor calibre (MMM). En los sustratos las plantas regadas con agua S dan menor calibre siendo las diferencias significativas. El porcentaje de frutos no comerciales (destrío) fue similar en todos los tratamientos.

Cuadro III.17

CALIBRES (%) OBTENIDOS POR LA COSECHA
EN LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS

Trat.	MMM	MM	M	G	GC	Destrio
AN	4,2 b	8,6 cd	28,3 ab	43,9 a	10,6 ab	4,3 a
BN	5,4 b	10,9 bcd	31,2 ab	41,3 a	7,9 b	3,6 a
CN	4,4 b	8,3 d	26,2 b	43,4 a	13,9 a	3,9 a
DN	4,1 b	9,0 cd	30,9 ab	42,4 a	8,8 ab	4,8 a
EN	4,7 b	10,0 bcd	34,0 ab	40,1 a	7,0 bc	4,2 a
AS	9,9 a	13,6 bcd	33,7 ab	38,6 a	1,4 d	2,8 a
BS	6,6 ab	13,8 abc	34,8 a	39,5 a	2,4 d	2,8 a
CS	8,7 a	13,2 bcd	29,5 ab	40,8 a	3,4 cd	4,4 a
DS	9,2 a	19,3 a	36,0 a	28,8 b	2,1 d	4,6 a
ES	8,6 a	15,0 ab	31,5 ab	35,5 ab	5,9 bc	3,4 a

Nota. Test de rangos múltiples de Duncan. Números seguidos de distinta letra (a,b,c) denotan diferencias significativas (nivel 5%). Cada dato es media de cuatro medidas. Se ha realizado la transformación arcoseno.

- Calidad comercial de la cosecha.

La calidad comercial de la cosecha aparece en el gráfico III.9. En este apartado se ha agrupado por un lado la cosecha obtenida en los sustratos y por otro la del enarenado haciendo la separación entre las dos calidades de agua. La información generada nos dice que en la calidad comercial no ha influido la distinta salinidad del agua aportada. Los sustratos (SN y SS) dieron más del 65% de los frutos de la mejor calidad (I) mientras que el enarenado los frutos con calidad (I) rondó el 50%.

1.7. Características de los frutos

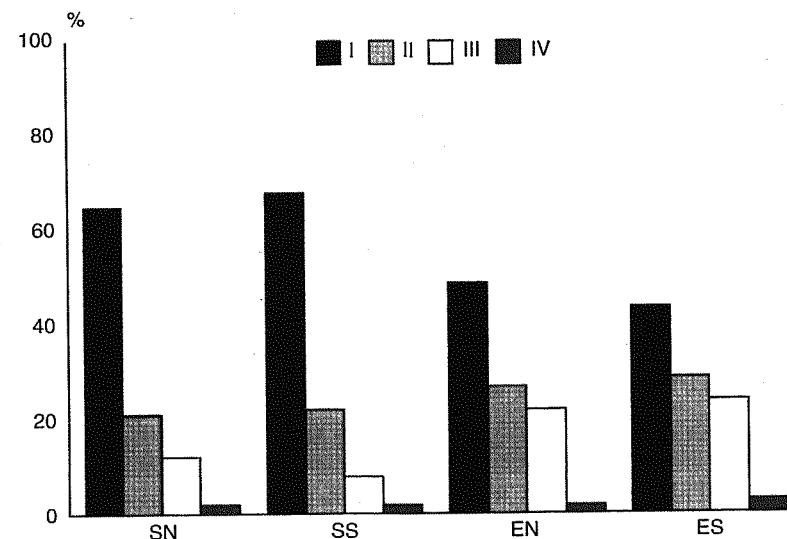
Para una determinada variedad su calidad comercial y composición viene dada, entre otros factores, por el momento de recolección, por la técnica de producción⁴ y por el sistema de cultivo⁵.

⁴ LÓPEZ-GÁLVEZ, J., C. SEGOVIA y P. GONZÁLEZ (1995), «Fertirrigación nitrogenada de la judía de crecimiento indeterminado bajo invernadero en suelo enarenado», *Investigación agraria. Producción y protección vegetales*, vol. 10: 85-99 pp.

⁵ VOTMANN, H. (1983), «La calidad de los productos agrícolas provenientes de distintos sistemas de cultivo», *Agricultura y Sociedad*, n.º 26.

Gráfico III.9

PORCENTAJE DE FRUTOS
DE CADA UNA DE LAS CUATRO CALIDADES



SN: Sustrato (A + B + C + D) regados con agua N

SS: Sustrato (A + B + C + D) regados con agua S

EN: Enarenado regado con agua N

ES: Enarenado regado con agua S

- Contenido en macro y microelementos de los frutos de tomate⁶.

Esta determinación sólo se realizó en el segundo ciclo de cultivo con frutos de tomate de la última recolección. El cuadro III.18 muestra el porcentaje de macroelementos existentes en frutos. Se observa un menor contenido de nitrógeno en los frutos producidos sobre el enarenado, no apareciendo diferencias significativas entre los tratamientos regados con agua N y S.

El cuadro III.19 muestra el contenido de microelementos en frutos. Las plantas cultivadas sobre enarenado (EN y ES) presentan frutos con mayor contenido en boro, cobre y cinc. Ni el empleo de agua de distinta salinidad ni los distintos sustratos (A, B, C y D) han influido en el contenido de microelementos en frutos.

⁶ *La Agricultura Ecológica*. Edita el Banco de Crédito Agrícola. 93 pp.

LOUÉ, A. (1988), *Los microelementos en la agricultura*. Editor Mundi Prensa.

Cuadro III.18

CONTENIDO EN MACROELEMENTOS (% SOBRE MATERIA SECA)
DE LOS FRUTOS DE TOMATE

Trat.	N	P	K	Ca	Mg
AN	1,85 abc	0,25 d	2,61 cd	0,37 ab	0,17 b
BN	2,00 a	0,28 cd	2,89 bc	0,67 ab	0,29 ab
CN	1,85 abc	0,33 ab	3,06 abc	0,45 ab	0,42 ab
DN	2,08 a	0,35 a	2,98 bc	0,77 ab	0,63 a
EN	1,62 bc	0,28 c	3,07 abc	0,48 ab	0,30 ab
AS	1,85 abc	0,27 cd	2,35 d	0,45 ab	0,19 b
BS	2,16 a	0,33 ab	2,89 bc	0,22 b	0,22 b
CS	2,24 a	0,35 a	3,17 ab	0,54 ab	0,33 ab
DS	1,90 ab	0,32 ab	2,73 bcd	0,87 a	0,52 a
ES	1,56 c	0,30 bc	3,55 a	0,67 ab	0,47 a

Nota: Test de Rangos múltiples de Duncan, números seguidos de distinta letra (a,b,c,d) denotan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Cuadro III.19

CONTENIDO EN MICROELEMENTOS (ppm) DE LOS FRUTOS

Trat.	B	Cu	Fe	Mn	Zn
AN	5,8 d	2,8 b	53,3 a	12,8 ab	17,3 cd
BN	9,0 bcd	3,0 b	69,8 a	15,3 a	14,8 d
CN	12,8 abcd	4,5 b	36,5 a	14,3 ab	21,8 a
DN	14,3 abcd	3,3 b	42,3 a	13,0 ab	20,8 ab
EN	18,0 ab	6,5 a	62,8 a	12,5 ab	23,5 a
AS	7,3 cd	2,5 b	46,3 a	10,5 b	16,5 cd
BS	16,0 abc	3,8 b	44,5 a	10,8 b	21,0 ab
CS	11,8 abcd	3,0 b	43,5 a	13,8 ab	21,8 a
DS	13,5 abcd	3,3 b	43,8 a	11,8 ab	18,0 bc
ES	19,5 a	6,5 a	44,3 a	12,0 ab	23,3 a

Nota: Test de Rangos múltiples de Duncan, números seguidos de distinta letra (a,b,c,d) denotan diferencias significativas ($p < 0,05$).

– Contenido en azúcar, grasa y humedad de los frutos de tomate.

Esta determinación sólo se realizó en el segundo ciclo de cultivo. El cuadro III.20 muestra el contenido en azúcar, grasa y humedad de los frutos de la última recolección. El porcentaje de azúcar fue superior en el enarenado (EN y ES). El porcentaje de grasas fue similar entre tratamientos. El porcentaje de humedad fue superior en el enarenado, probablemente debido a que las plantas, en este tratamiento, estaban menos envejecidas al final del ciclo de cultivo.

Cuadro III.20

CONTENIDO EN AZÚCAR (% DE SÓLIDOS SOLUBLES),
GRASA (% SOBRE MATERIA SECA) Y HUMEDAD (%) DE LOS FRUTOS

Tratamientos	Azúcar	Grasa	Humedad
AN	14,30 abc	0,69 ab	91,23 abc
BN	12,96 bc	0,89 a	93,53 ab
CN	16,06 abc	0,60 b	87,85 c
DN	15,30 abc	0,58 b	92,28 abc
EN	19,05 ab	0,70 ab	94,45 a
AS	11,39 c	0,70 ab	87,90 c
BS	11,33 c	0,61 b	89,98 bc
CS	11,46 c	0,61 b	91,13 abc
DS	15,49 abc	0,59 b	90,80 abc
ES	19,70 a	0,67 ab	93,55 ab

Nota: Test de Rangos múltiples de Duncan, números seguidos de distinta letra (a,b,c,d) denotan diferencias significativas ($p < 0,05$).

2. Económicos

2.1. Rendimiento físico de los procesos productivos

En este apartado se analiza el rendimiento, en términos físicos, de los procesos productivos y sus incidencias ambientales. El análisis se fundamenta en los enfoques propuestos en el capítulo VII de la parte general y utiliza los datos, obtenidos experimentalmente, cuyo significado se comentó en el apartado del capítulo II de la parte especial.

La información que se resume en los cuadros III.21 y III.22 recoge las cantidades de «ingredientes» aplicados y de residuos emitidos para obtener una unidad de producto, en el abanico de «recetas» analizadas.

El recurso cuantitativamente más importante utilizado en el proceso de cultivo es el agua, seguida de: carbono, hidrógeno y oxígeno. El carbono y parte del oxígeno provienen del aire (ver capítulo V parte general). Las concentraciones de dióxido de carbono en el interior del invernadero, son inferiores a las necesidades de las plantas. Las emisiones de CO₂ que origina el estiércol del enarenado y la ventilación del invernadero mejoran, aunque mínimamente, las cantidades de este factor y por ende la actividad fotosintética de las plantas. Dado que el ensayo se realizó en un único invernadero no podemos conocer las posibles diferencias de productividad entre los sustratos y el enarenado por las mayores concentraciones de CO₂ en este medio de cultivo.

La enorme variabilidad, en las exigencias de recursos y residuos por unidad de producto, que se observa entre las distintas formas de producción consideradas es un hecho a destacar. Por ejemplo, en la campaña 93/94 la cantidad de agua N demandada varía desde los 20 kg (o litros) por kilogramo de tomate producido en el enarenado, hasta los 49 en el sustrato A. Para el agua S esta variación oscila entre 24 litros para el enarenado y 67 para el sustrato C. Durante la campaña 92/93 las diferencias entre valores extremos son inferiores.

La exigencia en fertilizantes, en la campaña 93/94, para obtener la misma cantidad de cosecha, varía para el agua N de 1, en el enarenado, a 4 unidades fertilizantes en los sustratos (A, B y C) ó de 2 a 9 unidades de producto comercial; con el agua S la variación oscila entre 1 y 5 unidades de fertilizantes. En la campaña 92/93 la variación fue de 5 unidades de producto comercial en el enarenado a 7 en el sustrato C con agua N.

La diferencia en peso de los materiales movilizados durante el proceso de implantación, del enarenado y de los sustratos, es mucho más acentuada que en el proceso de cultivo. Cada sistema reclama materiales y procesos de fabricación diferentes. El enarenado exige importantes cantidades de arena y estiércol por unidad de cosecha. Este sistema de cultivo demanda cantidades abundantes que se encuentran relativamente a las zonas donde se ubican los invernaderos de ambos elementos, limitándose la emisión de residuos al lixiviado de determinados iones presentes en el estiércol. Los sustratos reclaman cantidades variables de material que oscilan de 1 a 8 (agua S campaña 92/93). Aunque estas cantidades son mucho menores a las requeridas por el enarenado, plantean una doble problemática. Por una parte, los sustratos no son el resultado de una actividad extractiva directa ni constituyen un subproducto. Para su fabricación se requiere someter a las rocas volcánicas, utilizadas como materia prima, a procesos industriales muy exigentes en energía y, por tanto, contaminantes. Por otra, una vez utilizados se transforman en residuos muy voluminosos y contaminados.

El plástico de cerramiento del invernadero tiene un peso relativamente pequeño.

Las salidas más importantes, cuantitativamente, son las de agua que tanto más elevadas cuanto mayor sea la necesidad de lavado del suelo o sustrato. Las mayores pérdidas se producen con el agua S debido a la necesidad de aumentar la fracción de lavado por su más elevada concentración salina. La cantidad de agua lixiviada se acercó a los 40 L por kilogramo de cosecha en el sustrato A con agua S en la campaña 92/93. Le siguen los residuos del cultivo que son ligeramente superiores en el enarenado. La variación entre fertilizantes lixiviados por los sustratos es escasa, siendo despreciable el lixiviado producido por el enarenado debido a la programación del riego.

Cuadro III.21

RECURSOS Y RESIDUOS POR UNIDAD DE COSECHA.
CAMPAÑA 92/93

Agua	Conceptos	E	A	B	C	D
N	ENTRADAS					
	AGUA	25,3	27,4	30,9	37,2	32,2
	FERTILIZANTES:					
	– en U.F.*	–	–	–	–	–
	– en producto comercial	0,05	0,05	0,06	0,07	0,06
	SUSTRATO	–	0,01	0,02	0,04	0,06
	ESTIÉRCOL	0,25	–	–	–	–
	ARENA	1,18	–	–	–	–
	PLÁSTICO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	SALIDAS					
	COSECHA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	RESIDUOS DE:					
	• CULTIVO	1,49	1,40	1,38	1,41	1,39
	• AGUA	2,2	7,8	11,8	12,6	8,5
S	• FERTILIZANTES					
	– en U.F.*	**	–	–	–	–
	– en producto comercial	**	0,03	0,04	0,06	0,04
	• SUSTRATO	–	0,01	0,02	0,04	0,06
	• PLÁSTICO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	ENTRADAS					
	AGUA	–	57,5	49,4	53,0	58,8
	FERTILIZANTES:					
	– en U.F.*	–	–	–	–	–
	– en producto comercial	–	0,11	0,09	0,10	0,11
	SUSTRATO	–	0,01	0,03	0,04	0,08
	ESTIÉRCOL	–	–	–	–	–
	ARENA	–	–	–	–	–
	PLÁSTICO	–	0,01	0,01	0,01	0,01
	SALIDAS					
	COSECHA	–	1,00	1,00	1,00	1,00
	RESIDUOS DE:					
	• CULTIVO	–	1,42	1,61	1,49	1,50
	• AGUA	–	39,1	27,0	32,4	31,4
	• FERTILIZANTES					
	– en U.F.*	–	–	–	–	–
	– en producto comercial	–	0,04	0,03	0,04	0,04
	• SUSTRATO	–	0,01	0,03	0,04	0,08
	• PLÁSTICO	–	0,01	0,01	0,01	0,01

Nota:

* U.F. = unidades fertilizantes.

** No se controlaron las salidas con el riego de presiembra.

Cuadro III.22

RECURSOS Y RESIDUOS POR UNIDAD DE COSECHA.
CAMPAÑA 93/94

Agua	Conceptos	E	A	B	C	D
N	ENTRADAS					
	AGUA	20,9	49,5	41,4	42,5	38,4
	C,H,O***	0,24	0,21	0,21	0,22	0,21
	FERTILIZANTES:					
	– en U.F.*	0,01	0,04	0,04	0,04	0,03
	– en producto comercial	0,02	0,09	0,08	0,08	0,07
	SUSTRATO	–	0,01	0,02	0,03	0,05
	ESTIÉRCOL	0,19	–	–	–	–
	ARENA	0,94	–	–	–	–
	PLÁSTICO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	SALIDAS					
	COSECHA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	RESIDUOS DE:					
	• CULTIVO	1,94	1,64	1,62	1,79	1,65
	• AGUA	1,75	14,9	9,71	12,9	14,2
S	• FERTILIZANTES					
	– en U.F.*	–	0,02	0,02	0,02	0,02
	– en producto comercial	0,00	0,06	0,04	0,04	0,04
	• SUSTRATO	–	0,01	0,02	0,03	0,05
	• PLÁSTICO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	ENTRADAS					
	AGUA	24,8	44,0	48,4	67,1	66,1
	C,H,O***	0,25	0,21	0,21	0,25	0,21
	FERTILIZANTES:					
	– en U.F.*	0,01	0,03	0,04	0,05	0,05
	– en producto comercial	0,02	0,08	0,09	0,12	0,12
	SUSTRATO	–	0,01	0,02	0,05	0,07
	ESTIÉRCOL	0,23	–	–	–	–
	ARENA	1,11	–	–	–	–
	PLÁSTICO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	SALIDAS					
	COSECHA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	RESIDUOS DE:					
	• CULTIVO	2,09	1,56	1,61	2,10	1,62
	• AGUA	2,08	21,6	26,2	30,5	31,1
	• FERTILIZANTES					
	– en U.F.*	**	0,02	0,02	0,03	0,03
	– en producto comercial	**	0,05	0,05	0,06	0,08
	• SUSTRATO	–	0,01	0,02	0,05	0,07
	• PLÁSTICO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Nota:

* U.F. = unidades fertilizantes. ** No se controlaron las salidas con el riego de presembrado.

*** La cantidad de C, H, O se ha obtenido por saldo.

La cuantificación del balance de nutrientes con agua N, en la campaña 93/94, se recoge en el cuadro III.23, donde se muestra el mayor rendimiento que obtiene el enarenado de los fertilizantes. Mientras los sustratos lixivian más de la mitad de lo aportado, en el enarenado las plantas extraen más del doble de la cantidad de nutrientes aplicados, cubriendo el déficit con cargo al estiércol y a la reserva del suelo. El estiércol juega un importante papel en la función descomponedora y fijadora de nutrientes de los organismos que lo integran. La coherencia de los datos del balance aparece confirmada por el hecho de que, en el caso de los sustratos, las mediciones de los aportes y extracciones arrojan excedentes que encajan con las mediciones de los lixiviados. A la vez que los déficits observados en el enarenado se aproximan al contenido en elementos fertilizantes de las aportaciones del estiércol (este contenido corresponde al análisis del estiércol aportado a un invernadero de la zona, efectuado en junio de 1995 y no al aportado en el experimento, por lo que estos datos deben tomarse a título meramente indicativo).

Cuadro III.23

APROXIMACIÓN AL BALANCE DE NUTRIENTES (kg/ha)
DE LA MEDIA DEL CONJUNTO DE LOS SUSTRATOS (A, B, C y D)
Y DEL ENARENADO, CON AGUA N. CAMPAÑA 93/94

Elemento		Aportes	Extracciones	Saldo	Lixiviado	Aporte*
N	E	252	556	-304	**	394
	S	1.579	613	967	712	–
P ₂ O ₅	E	152	543	-302	**	304
	S	752	374	378	377	–
K ₂ O	E	421	1.402	-981	**	547
	S	2.970	1.404	1.566	1.502	–
Ca	E	228	512	-284	**	357
	S	1.415	429	986	976	–
Mg	E	122	276	-154	**	117
	S	354	177	177	161	–
Total	E	1.175	3.199	-2.025	**	1.719
	S	7.070	2.997	4.074	3.728	–

Nota: * Esta columna muestra lo aportado por el estiércol, se ha supuesto un 33% de su contenido en elementos minerales. ** No se sabe el lixiviado del enarenado que se ha producido como consecuencia del riego de inundación previo a la siembra.

* GONZÁLEZ, E., M. VILLAFRANCA, J. M. MARTÍNEZ y A. VALVERDE (1991), *Evaluación de los contenidos de nitrógeno en suelo de invernadero*, FIAPA, 14 pp.

GUERRERO, F., A. MOLINA, C. SEGOVIA, F. BRETONES y J. M. GASCÓ (1991), *Influencia de la materia orgánica sobre las propiedades físicas y químicas de un "enarenado" bajo cubierta plástica y con riego localizado*, II Congreso Nacional de Fertilización, SECH, pp. 113-118.

En cualquier caso, no está de más recordar que la principal misión del estercolado en la agricultura tradicional no ha sido tanto la de aportar elementos fertilizantes, como la de promover la vida microbiana y mejorar la textura del suelo, incentivando así su función como fábrica natural de nutrientes que ha permitido mantener establemente sistemas agrarios durante siglos, pese al déficit secular que en ellos se acusaba entre los nutrientes directamente aportados por el hombre y los extraídos por las plantas*. De esta manera, no ha de resultar extraño que el aparentemente ajustado balance de nutrientes que observa el enarenado, se revele compatible con la práctica continuada de este sistema de cultivo. La anterior afirmación se apoya en que existe evidencia empírica de parcelas, con suelo enrenado, cultivadas durante más de cuarenta años que no han mostrado síntomas de agotamiento ni de salinización.

Los cuadros III.24 a III.27 presentan las entradas de recursos, las salidas de cosechas y residuos, además de los ratios de rendimiento y de contaminación de cada alternativa, para las dos salinidades aplicadas. Estos datos permiten enjuiciar el comportamiento de los sistemas de cultivo en la utilización de recursos y la emisión de residuos. Resalta el comportamiento más eficiente en el uso de los recursos y menos contaminante del enarenado, aunque también se acusan importantes diferencias entre los sustratos.

Los sustratos, por lo general, han dado rendimientos de cosecha, por unidad de superficie, mayores que el enarenado. Aunque los C y D, para el tratamiento S en la campaña 93/94, han tenido peor comportamiento que los A y B y que el enarenado. Así el agua S ocasiona en los sustratos C y D una disminución de cosecha del 30% respecto al agua N. En el enarenado y en los sustratos A y B esta disminución se sitúa en torno al 15%. Para el tratamiento N, campaña 93/94, la cosecha obtenida en los sustratos supera a la del enarenado en porcentajes que oscilan entre el 8 y el 16%. Pero ello conlleva unas exigencias mayores de agua y nutrientes lo cual es importante si se piensa en la posible sustitución del enarenado por el cultivo en sustratos. En efecto, la información contenida en los cuadros permite cuantificar el comportamiento más eficiente y menos contaminante del enarenado frente a los sustratos (ver ratios de eficiencia). En el cultivo de tomate analizado, el empleo de sustratos con solución perdida, además de multiplicar por más de 2 la exigencia de agua, multiplica por más de 10 los fertilizante lixiviados, con respecto al enarenado tradicional.

Las diferencias de flujos físicos entre sustratos y enarenado se acentúan en el ciclo 93/94. La mayor aplicación de agua y de fertilizantes ha provocado lixiviados más elevados, pero con menores ratios de eficiencia que

en la campaña 92/93. La mejor cosecha de la campaña 93/94, que oscila entre el 4% y 21% , para los sustratos, y el 26% para el enarenado no mejora los ratios de eficiencia de esta campaña con relación a la anterior.

Un problema adicional que presenta el sistema de cultivo en sustratos es el derivado de sus residuos una vez utilizados. En efecto, tras sus dos años de vida útil, se convierten en residuos sólidos que, además de no ser fácilmente degradables, están contaminandos. El mantenimiento de este sistema de cultivo exige unas entradas anuales de entre 2 y 10 toneladas de sustratos nuevos por hectárea y unas salidas algo mayores de sustratos desechados, ya que ganarían peso al incorporar durante el proceso de cultivo residuos orgánicos, químicos y humedad. Al no haber pesado los sustratos, empleados en el experimento, en el momento de retirarlos, se ha optado por atribuirles el mismo peso, como residuo, que tenían en el momento de introducirlos en la parcela. Por tanto las cifras referentes a los residuos sólidos derivados de los sustratos, que aparecen en los cuadros, constituyen una estimación mínima. De acuerdo con este criterio, los gramos de residuo sólido por kilogramo de cosecha oscilarían entre 9 y 50, para el tratamiento N, y entre 10 y 70, para el tratamiento S. Estas cifras superan con creces el peso del plástico de cerramiento del invernadero que se sitúa en torno a 5 y 6,5 gramos por kilogramo de producto para el tratamiento N y S respectivamente. Como se puede apreciar los sustratos pasan a ser el residuo sólido inerte cuantitativamente más importante.

En lo que concierne al enarenado ni el estiércol, ni la arena, que constituyen las entradas de los materiales necesarios para su formación, plantean problemas de residuos. Como flujo anual requerido por el sistema, a escala agregada, se ha incluido la tercera parte del estiércol y la décima de la arena inicialmente aportada. En este caso se ha adoptado el supuesto conservador de que el estercolado debe realizarse cada tres años y que la arena tiene diez años de vida útil.

El gran volumen de arena demandado 160 t/(ha año), hacen de ella la segunda entrada en importancia, después del agua, que requiere el sistema de cultivo enarenado. Aquí se plantea el problema no tanto de la escasez absoluta de la misma, ya que la arena no es un factor limitante en zonas desérticas, sino del mayor coste que supone traerla desde puntos más alejados, con objeto de minimizar el impacto ecológico y paisajístico como ocurre en el litoral almeriense.

Si bien la arena no constituye un factor limitante para la implantación del enarenado, si lo es el estiércol. La demanda anual de 33 t/ha plantea la necesidad de asociar el sistema a algunos aprovechamientos ganaderos o a la obtención de compost de residuos orgánicos. La escasez de turba en zonas áridas haría antieconómico recurrir al empleo de ésta como sustitutivo traído desde lejanos territorios donde el coste de transporte es difícilmente asumible.

* La fertilización en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica. Ed. GARRABOU, R. y J. M. NAREDO. Colección «Economía y Naturaleza», Fundación Argentaria-Visor Distribuciones, Madrid, 220 p.

Cuadro III.24

FLUJOS FÍSICOS ANUALES (10³ kg/ha). AGUA N. CAMPAÑA 92/93

	E	A	B	C	D
ENTRADAS:					
AGUA	3.412	4.883	5.192	6.496	5.100
FERTILIZANTES	6,4	9,3	9,9	12,3	9,7
SUSTRATO	—	1,7	3,7	6,2	9,7
ESTIÉRCOL	33,3	—	—	—	—
ARENA	160,0	—	—	—	—
PLÁSTICO	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
SALIDAS:					
COSECHA	135,1	178,3	167,9	174,3	158,5
RESIDUOS:					
CULTIVO	201,6	249,3	231,9	246,6	219,7
AGUA	300,0	1.392	1.975	2.193	1.350
FERTILIZANTES	0,6	5,6	6,8	9,7	6,6
SUSTRATO	—	1,7	3,7	6,2	9,7
PLÁSTICO	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
RATIOS DE EFICIENCIA:					
— g de cosecha por L de agua	44,1	36,6	32,5	27,1	31,4
— kg de cosecha por g de fertilizante	21,0	19,1	17,0	14,1	16,4
RATIOS DE CONTAMINACIÓN:					
— L de agua lixiviada por kg de cosecha	2,2	7,8	11,8	12,6	8,5
— g de fertilizante lixiviado por kg de cosecha	4,4	31,4	40,5	55,7	41,6
— g de residuo sólido por kg de cosecha					
— Cultivo	1.492	1.398	1.381	1.415	1.386
— Sustrato	—	9,5	22,0	35,6	61,2
— Plástico	7,4	5,6	6,0	5,7	6,3
— mg fertilizante (residuo) por L de agua lixiviada	2,0	4,0	3,4	4,4	4,9

Notas:

- Como la vida de los sustratos es de dos años, se ha calculado el flujo anual suponiendo que cada año entra y sale la mitad.
- Como la operación de retransiego debe realizarse cada tres años, se ha tomado como flujo anual un tercio del estiércol aplicado.
- Como se estima en diez años la vida útil de la arena del enarenado, se ha calculado el flujo anual dividiendo por diez la arena aportada.
- Como la vida del plástico es de dos años, se ha tomado como flujo anual la mitad del plástico instalado (1 Kg cada 5 m², es decir 2 t/ha).

Cuadro III.25

FLUJOS FÍSICOS ANUALES (10³ kg/ha). AGUA S. CAMPAÑA 92/93

	A	B	C	D
ENTRADAS:				
AGUA	7.253	6.290	8.862	6.806
FERTILIZANTES	13,5	11,7	16,4	12,6
SUSTRATO	1,7	3,7	6,2	9,7
ESTIÉRCOL	—	—	—	—
ARENA	—	—	—	—
PLÁSTICO	1,00	1,00	1,00	1,00
SALIDAS:				
COSECHA	126,2	127,4	167,2	115,7
RESIDUOS:				
CULTIVO	179,3	205,2	248,4	173,1
AGUA	4.938	3.440	5.425	3.634
FERTILIZANTES	5,5	4,0	7,0	4,9
SUSTRATO	1,7	3,7	6,2	9,7
PLÁSTICO	1,00	1,00	1,00	1,00
RATIOS DE EFICIENCIA:				
— g de cosecha por L de agua	17,4	20,3	19,0	17,1
— kg de cosecha por g de fertilizante	9,4	10,9	10,2	9,2
RATIOS DE CONTAMINACIÓN:				
— L de agua lixiviada por kg de cosecha	39,1	27,0	32,4	31,4
— g de fertilizante lixiviado por kg de cosecha	43,6	31,4	41,9	42,3
— g de residuo sólido por kg de cosecha				
— Cultivo	1.421	1.611	1.486	1.496
— Sustrato	13,5	29,0	37,1	83,8
— Plástico	7,9	7,8	6,0	8,6
— mg fertilizante (residuo) por L de agua lixiviada	1,1	1,2	1,3	1,4

Cuadro III.26

FLUJOS FÍSICOS ANUALES (10³ kg/ha). AGUA N. CAMPAÑA 93/94

	E	A	B	C	D
ENTRADAS:					
AGUA	3.571	9.220	7.865	8.496	7.385
C,H,O**	40,8	39,8	40,2	45,1	41,3
FERTILIZANTES					
– En U.F.*	1,2	7,9	6,7	7,2	6,5
– En producto comercial	3,2	17,6	15,0	16,2	14,0
SUSTRATO	–	1,7	3,7	6,2	9,7
ESTIÉRCOL	33,3	–	–	–	–
ARENA	160	–	–	–	–
PLÁSTICO	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
SALIDAS:					
COSECHA	171,1	186,2	189,9	199,6	192,4
RESIDUOS:					
CULTIVO	332,0	305,0	307,0	357,0	318,0
AGUA	300	2.770	1.844	2.569	2.727
FERTILIZANTES					
– En U.F.*	–	4,6	3,5	3,6	3,1
– En producto comercial	0,6	10,4	7,8	8,1	6,8
SUSTRATO	–	1,7	3,7	6,2	9,7
PLÁSTICO	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
RATIOS DE EFICIENCIA:					
– g de cosecha por L de agua	51,1	20,3	24,3	23,7	26,3
– kg de cosecha por g de fertilizante	54,0	10,6	12,7	12,4	13,7
RATIOS DE CONTAMINACIÓN:					
– L de agua lixiviada por kg de cosecha	1,8	14,9	9,7	12,9	14,2
– g de fertilizante lixiviado por kg de cosecha					
– En U.F.*	–	24,9	18,5	18,1	16,3
– En producto comercial	3,5	55,7	41,37	40,5	35,4
– g de residuo sólido por kg de cosecha					
– Cultivo	1.940	1.638	1.617	1.789	1.653
– Sustrato	0,0	9,1	19,5	31,1	50,4
– Plástico	5,8	5,4	5,3	5,0	5,2
– mg fertilizante (residuo) por L de agua lixiviada					
– En U.F.*	–	1,7	1,9	1,4	1,2
– En producto comercial	2,0	3,7	4,3	3,1	2,5

Nota:

* U.F. = Unidades fertilizantes: Suma de los elementos puros (N,P,O,K,Ca,Mg)

** La cantidad de C, H, O se ha obtenido por saldo.

Cuadro III.27

FLUJOS FÍSICOS ANUALES (10³ kg/ha). AGUA S. CAMPAÑA 93/94

	E	A	B	C	D
ENTRADAS:					
AGUA	3.571	7.062	7.931	9.147	9.223
C,H,O**	36,1	33,3	34,7	34,2	29,6
FERTILIZANTES					
– En U.F.*	1,2	5,5	6,2	7,2	7,2
– En producto comercial	3,5	13,1	14,7	17,0	17,1
SUSTRATO	–	1,7	3,7	6,2	9,7
ESTIÉRCOL	33,3	–	–	–	–
ARENA	160	–	–	–	–
PLÁSTICO	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
SALIDAS:					
COSECHA	144,2	160,7	164,0	136,3	139,4
RESIDUOS:					
CULTIVO	301,0	250,0	264,0	286,0	226,0
AGUA	300	3.474	4.301	4.158	4.337
FERTILIZANTES					
– En U.F.*	–	3,1	3,4	3,7	4,8
– En producto comercial	0,6	7,4	8,0	8,8	11,4
SUSTRATO	–	1,7	3,7	6,2	9,7
PLÁSTICO	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
RATIOS DE EFICIENCIA:					
– g de cosecha por L de agua	43,0	22,9	17,3	15,0	15,2
– kg de cosecha por g de fertilizante	41,0	12,3	11,2	8,0	8,2
RATIOS DE CONTAMINACIÓN:					
– L de agua lixiviada por kg de cosecha	2,1	21,6	26,2	30,5	31,1
– g de fertilizante lixiviado por kg de cosecha					
– En U.F.*	–	19,4	20,6	27,1	34,4
– En producto comercial	4,2	45,9	48,7	64,3	81,6
– g de residuo sólido por kg de cosecha					
– Cultivo	2.088	1.556	1.610	2.098	1.621
– Sustrato	–	10,6	22,6	45,5	69,6
– Plástico	6,9	6,2	6,1	7,3	7,2
– mg fertilizante (residuo) por L de agua lixiviada					
– En U.F.*	–	0,9	0,8	0,9	1,1
– En producto comercial	2,0	2,1	1,9	2,1	2,6

Nota:

* U.F. = Unidades fertilizantes

** La cantidad de C, H, O se ha obtenido por saldo.

Los resultados obtenidos a escala micro evidencian que la generalización del sistema cultivo en sustratos con solución perdida resulta incompatible con la conservación de los acuíferos de zonas como la del Campo de Dalías. Aquí se enfrentan con problemas de sobreexplotación y contaminación pese a que el sistema usual de cultivo enarenado es menos exigente en agua y no muy contaminante. La única manera de paliar la incidencia ambiental tan negativa del sistema de cultivo en sustrato pasa por recircular los lixiviados para aprovechar su potencial fertilizador y paliar su efecto contaminante. Sin embargo este proceder, además de encarecer la instalación, plantea problemas de índole sanitario por aumentar el riesgo de contaminación biológica de la solución nutritiva y acaba generando como residuo final una salmuera muy contaminante que supone cerca del 20 por 100 de agua recirculada. En cualquier caso esta solución no ha sido todavía estudiada en condiciones de campo, careciendo de información sobre su viabilidad técnica y económica en la zona objeto de estudio.

Si quisiéramos considerar la sostenibilidad global de cada sistema de cultivo, pasando de la escala micro de la experiencia a la agregada del conjunto de la zona (Campo de Dalías), bastaría con multiplicar las cantidades por hectárea de los cuadros expuestos, por el número de hectáreas ocupadas por el cultivo. Lo cual permitiría cotejar las extracciones de agua y los lixiviados inherentes a cada sistema de cultivo, con las disponibilidades y la capacidad de dilución de los acuíferos de la zona. O también las toneladas y el volumen de residuos sólidos que habría que gestionar en cada caso.

La información de los balances energéticos, recogida en los cuadros III.28 y III.29, se ha realizado sólo para la campaña 93/94. Ellos hacen la síntesis de este apartado, ya que ofrecen una imagen cuantitativa homogénea del funcionamiento físico del conjunto de los procesos implicados en cada caso y permiten el cálculo de los rendimientos globales de cada uno de ellos.

El cálculo de los balances energéticos de cada sistema de cultivo se ha apoyado en la información física que proporcionan los datos experimentales. En cualquier caso se recuerda que las estimaciones del contenido energético de los materiales y productos que intervienen en el proceso, no se han analizado directamente, sino que proceden de distintas fuentes citadas en la bibliografía antes referenciada de Naredo y Campos. Por lo que, a diferencia de los resultados cuantitativos del experimento, los balances energéticos deben considerarse como meramente orientativos de un orden de magnitud y no como el resultado de mediciones directas.

Con las limitaciones indicadas, los datos de los balances energéticos resaltan la importancia que tiene la energía aplicada a procesos previos al cultivo, para obtener el agua, los fertilizantes, los sustratos o el plástico de cerramiento del invernadero. Esta energía se incrementa sensiblemente en el caso del cultivo en sustrato, en razón, sobre todo, del mayor gasto que

supone la obtención de los propios sustratos y de los fertilizantes que tan abundantemente utilizan.

En el gasto energético relacionado con la aplicación de agua (red de distribución, bombeo e incluso desalación) se ha distinguido entre el riego normal del cultivo y el riego previo de saturación o presiembra, dado que éste reviste mayor importancia cuantitativa en el caso del enarenado. Con todo, se observa que la importancia del gasto energético relacionado con el agua es pequeño con relación al de los fertilizantes y los sustratos. Oscila entre 0,1 tep/ha en el enarenado y 0,3 en el sustrato A con agua N (tep = tonelada equivalente de petróleo).

Los fertilizantes constituyen la otra gran entrada de energía que reclaman los sistemas de cultivo analizados. Tampoco en este caso se ha calculado la energía gastada en los procesos específicos que originaron los fertilizantes aplicados en el cultivo, sino que se han imputado los datos disponibles de otros estudios sobre la energía requerida por kilogramo de cada tipo de fertilizante. El gasto energético varía en este caso con las cantidades de fertilizantes aplicadas en cada sistema de cultivo, oscilando entre cerca de 0,5 tep/ha, en el caso del enarenado, y 3,4 tep/ha, en el sustrato A con agua N.

El capítulo I, de la parte general, describe sumariamente la naturaleza de los procesos de fabricación de los sustratos. Tanto la obtención de la perlita como de la lana de roca exigen procesos de extracción, molienda... y calentamiento a temperaturas que oscilan entre los 900 y los 1500°C. A lo cual hay que añadir el contenedor de plástico flexible o de material rígido en el que se instalan ambas sustancias. El gasto de energía que tiene lugar en los procesos de extracción, preparación y transporte de las rocas volcánicas utilizadas y en las plantas de producción de los sustratos utilizados, es de un kilogramo equivalente de petróleo (kep) por cada kilogramo de sustrato. A este gasto medio de energía, que parece razonable, se ha llegado tras diversas consultas con especialistas del campo energético y con técnicos de casas productoras. Al gasto anterior se ha añadido una estimación de la energía empleada en el transporte de los sustratos desde las industrias productoras hasta la zona de destino del Campo de Dalías. Las amplias diferencias que se observan en el peso de los sustratos se reflejan en el gasto energético anual requerido, que oscila aproximadamente entre 2 y 10 tep/ha.

La energía empleada en los sustratos hasta ponerlos en la parcela supera al gasto anual medio exigido en el sistema enarenado por la aportación de estiércol, de arena e incluso de suelo. En efecto, pese a su mayor tonelaje, la aportación de suelo reclamaría un gasto energético anual inferior a los exigidos por el estiércol y la arena, habida cuenta su prolongada vida útil, suponiendo que se traiga de zonas próximas, como ocurre en el Campo de Dalías.

Por último, se ha incluido el plástico de cerramiento del invernadero entre los gastos medios anuales, con algo más de 2 tep/ha ignorando el resto de las instalaciones.

Otro aporte energético que no suele incluirse entre los *inputs* energéticos del cultivo, en este tipo de ejercicios, es el de la radiación solar, por tratarse del único bien verdaderamente libre y gratuito. La energía aportada al invernadero por la radiación solar fue de 437 tep/ha en el primer ciclo de cultivo y de 417 en el segundo. La no inclusión de la radiación solar entre las entradas de energía de los sistemas agrarios, circunscribiendo éstas a las aplicadas por el hombre, es lo que permite obtener rendimientos mayores que la unidad, al relacionarlas con la energía contenida en la cosecha como ya se indicó en el capítulo VII de la parte general).

Con todo, los elementos considerados dan cuenta del grueso de la energía anual aplicada por el hombre a los sistemas de cultivo objeto del experimento y permiten advertir marcadas diferencias en su comportamiento físico: el cultivo en sustrato reclama entre tres y cinco veces más energía que el enarenado. Mientras el gasto anual de este último se cifra en 3 tep/ha, el de los sustratos oscila entre 7 y 15 tep/ha, para obtener por término medio sólo 1 tep/ha más de cosecha que el enarenado. Los datos muestran que el enarenado, no sólo es menos exigente en energía, sino que hace un uso mucho más eficiente de ésta. Por cada tep aplicado en el proceso obtiene 1,40 tep de cosecha con agua N y 1,27 con agua S, mientras que los sustratos obtienen entre 0,8 y 0,3 tep. Y como se indicó en el capítulo VII de la parte general, el bajo rendimiento de un proceso nutrido con energía no renovable se traduce en pérdidas y contaminaciones elevadas. Siendo el coste energético unitario la inversa del rendimiento, tenemos qué para obtener un tep de cosecha se requiere un gasto de 0,7 tep en el enarenado y entre 1,2 y 3,3 tep en los sustratos. Lo que conlleva mayores problemas de contaminación, originados por los propios procesos de cultivo o en los otros procesos previos que se requieren para la obtención de fertilizantes, de sustratos, de electricidad para bombear el agua, etc.

Hay que subrayar también que se observan amplias diferencias de comportamiento entre los sustratos mismos, destacando el mayor rendimiento y el menor coste físico unitario sustratos A y B frente a los C y D. El mayor rendimiento del sustrato A se acentúa en el tratamiento salino ya que recorta en 1 tep el empleo de fertilizantes con relación al tratamiento con agua de buena calidad, sin que a penas se resienta la cosecha. El mejor comportamiento de los sustratos A y B con relación a los C y D resulta en buena medida del menor peso de los primeros, que se acentúa en el caso del sustrato A. En efecto, el peso por hectárea de los sustratos C y D multiplica por más de 3 y por más de 5 el del sustrato A, con el consiguiente incremento del coste y mayor cantidad de residuo generado, que en el balance energético no aparece compensado por el mejor rendimiento del agua y los fertilizantes como se observa en el tratamiento N para los dos primeros sustratos mencionados. Sin embargo, para el tratamiento S, los sustratos A y B utilizan de modo más eficiente el agua y los fertilizantes e incluso obtienen mayor cosecha que los C y D, como ya se apuntó anteriormente.

Cuadro III.28

BALANCE ENERGÉTICO (tep/ha). AGUA N. CAMPAÑA 93/94

	E	A	B	C	D
RECURSOS:	3,08	7,67	9,14	11,89	15,05
AGUA	0,12	0,31	0,26	0,28	0,25
- De riego	0,11	0,31	0,26	0,28	0,25
- De saturación	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
FERTILIZANTES	0,48	3,38	2,88	3,11	2,72
- Nitrógeno	0,37	2,60	2,21	2,39	2,08
- Fósforo	0,05	0,25	0,22	0,23	0,20
- Potasio	0,07	0,52	0,45	0,48	0,45
SUSTRATO	-	1,83	3,85	6,35	9,93
ESTIÉRCOL	0,20	-	-	-	-
ARENA	0,13	-	-	-	-
PLÁSTICO	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
PRODUCTO: COSECHA	4,3	5,4	5,2	5,2	5,7
Ratio de rendimiento	1,40	0,70	0,57	0,44	0,38

Cuadro III.29

BALANCE ENERGÉTICO (tep/ha). AGUA S. CAMPAÑA 93/94

	E	A	B	C	D
RECURSOS:	3,06	6,49	8,81	11,74	15,05
AGUA	0,12	0,24	0,27	0,31	0,31
- De riego	0,11	0,24	0,26	0,30	0,31
- De saturación	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
FERTILIZANTES	0,47	2,27	2,55	2,94	2,96
- Nitrógeno	0,36	1,74	1,96	2,26	2,27
- Fósforo	0,05	0,19	0,22	0,25	0,25
- Potasio	0,06	0,33	0,37	0,43	0,43
SUSTRATO	-	1,83	3,85	6,35	9,93
ESTIÉRCOL	0,20	-	-	-	-
ARENA	0,13	-	-	-	-
PLÁSTICO	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
PRODUCTO: COSECHA	3,9	5,3	5,0	4,1	4,6
Ratio de rendimiento	1,27	0,82	0,57	0,35	0,30

De forma general hemos de concluir que el sistema de cultivo enarenado, al ser menos exigente en energía y hacer un uso más eficiente de la misma que los sustratos, se revela menos contaminante y más sostenible que éstos. Siendo las disponibilidades de arena y materia orgánica en áreas próximas a las de cultivo, los factores más limitantes que condicionan su expansión. En particular, destaca el mayor rendimiento del agua y el uso menos contaminante de la misma en este sistema de cultivo, lo que hace de él una tecnología apropiada a zonas áridas. Estas zonas se caracterizan por la escasez de agua de calidad y de suelo fértil pero suelen venir acompañadas de abundancia de arena.

2.2. Cosecha: cantidad, calidad y precio

Los apartados 1.6 y 1.7 del capítulo III de la parte especial ofrecen la información relacionada con la cantidad de cosecha, la calidad y la composición de los frutos. Para pasar de la dimensión física de las cosechas a la monetaria de los ingresos necesitamos multiplicar las unidades físicas de producto por sus correspondientes precios. En primer lugar hay que advertir que los precios de mercado varían con las calidades comerciales, pero permanecen insensibles al contenido químico de los productos. Con lo cual se puede decir que la sensibilidad del mercado se inclina hoy más en favor del sistema de cultivo en sustratos que del enarenado: aprecia las mejores calidades comerciales producidas por aquellos, pero no el mayor contenido en azúcares y en algunos oligoelementos originado en éste. Tampoco penaliza el mayor contenido en nitrato observado en los frutos de los sustratos. Con todo cabe advertir que la tendencia que apunta a valorar más los productos de la agricultura «biológica» o «ecológica» frente a la «química», puede jugar en favor del enarenado, en la medida en la que se sepa reducir la aplicación de pesticidas y hacer valer el elevado componente orgánico de este sistema de cultivo. Todo ello hace del enarenado una técnica menos agresiva al ambiente y más respetuosa de la calidad dietética de los frutos que la mayoría de los otros sistemas de agricultura «forzada».

Pero los precios de las frutas y hortalizas no sólo varían con las calidades comerciales de los productos, sino que también lo hacen a lo largo del año. Por ello, un importante aspecto que no debemos de obviar, en la comparación de los resultados de distintas formas de producir tomate, es la distribución de la cosecha a lo largo del año, así como la evolución temporal de los precios para las distintas calidades de tomate analizadas.

Los gráficos III.10 y III.11 representan la evolución de la producción a lo largo del ciclo de cultivo, en los sustratos y en el enarenado, para cada una de las dos salinidades de agua aplicada. El perfil temporal de la producción, reflejado en estos gráficos, permite observar la mayor precocidad de los sustratos, mientras que el enarenado concentra la mayor parte de la producción en la segunda mitad del ciclo.

Los gráficos III.12 y III.13 permiten relacionar, para cada una de las dos calidades de agua aplicada, la evolución de los rendimientos de los cultivos con la de los precios percibidos en la campaña 93-94. Para la realización de los gráficos se ha tomado una media de los rendimientos y precios de las cuatro clases de sustratos considerados, una para el agua N y otra para la S, y se han representado los cinco momentos del ciclo en los que se ha obtenido información conjunta de precios, rendimientos y calidades.

Al comparar los rendimientos diarios de los sustratos y del enarenado observamos una asimetría en sus comportamientos. Los sustratos entran antes en producción y a partir del segundo momento del ciclo comienzan a decaer. Por contra, el enarenado es menos precoz que los primeros, pero mantiene un crecimiento sostenido hasta el cuarto momento del ciclo, instante a partir del cual comienza su rendimiento diario a decrecer.

Esta evolución de los rendimientos hay que contrastarla con la de los precios. Los precios percibidos evolucionaron de forma paralela en los sustratos y el enarenado, superando el precio del fruto de los sustratos en aproximadamente 10 pta/kg al del enarenado, debido a la mejor calidad comercial producida por aquellos. Únicamente en el último período del ciclo en el tratamiento N, el precio percibido por la cosecha del enarenado se sitúa por encima de los sustratos. A la vez que la producción de los sustratos decae en cantidad y en calidad, más que en el enarenado, a medida que se prolonga el ciclo de cultivo. Este aspecto podría variar si el cultivo se hubiera realizado en una estructura de invernadero más hermética, con mayor altura y mejor ventilada⁹. En conjunto se observa que la mayor precocidad de los sustratos resulta estéril a efectos monetarios, dado que durante los dos primeros momentos del ciclo los precios son inferiores a los de la segunda mitad del mismo. Así, a diferencia de lo ocurrido con las calidades comerciales, el mercado no prima en este caso la mayor precocidad de los sustratos, jugando la estacionalidad de los precios en favor del enarenado. Con todo, el precio medio percibido por éste durante la campaña resulta inferior al de los sustratos.

⁹ CASTILLA, N., P. LORENZO, J. PÉREZ-PARRA, J. I. MONTERO, E. FERERES, F. BRETONES y J. LÓPEZ-GÁLVEZ (1990), «New greenhouse structures for the south of Spain», *Acta Horticulturae*, n.º 281: 153-158 pp.

LÓPEZ-GÁLVEZ, J., J. SÁNCHEZ-CARREÑO, J. M. NAREDO y N. CASTILLA (1993), «Análisis técnico-económico de estructuras alternativas al invernadero de cubierta plana parral-Almería», *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales*, vol. 8(3): 411-423 pp.

Gráfico III.10

DISTRIBUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LOS SUSTRATOS (MEDIA A, B, C y D) Y EN EL ENARENADO. AGUA N

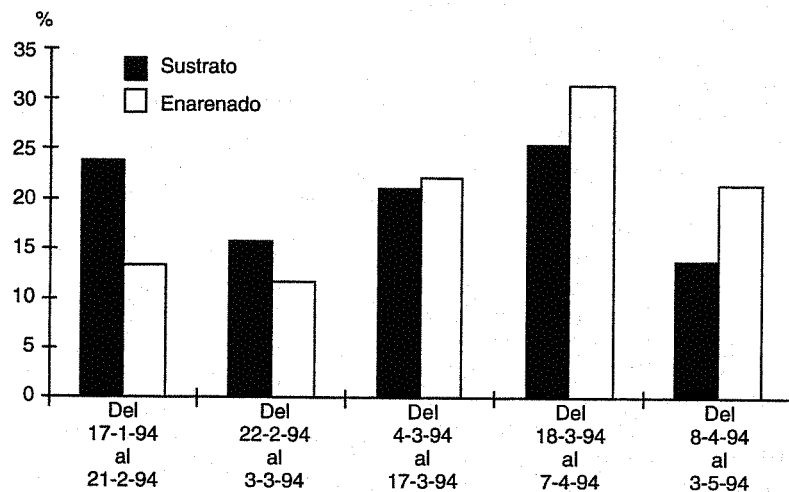


Gráfico III.11

DISTRIBUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LOS SUSTRATOS (MEDIA A, B, C y D) Y EN EL ENARENADO. AGUA S

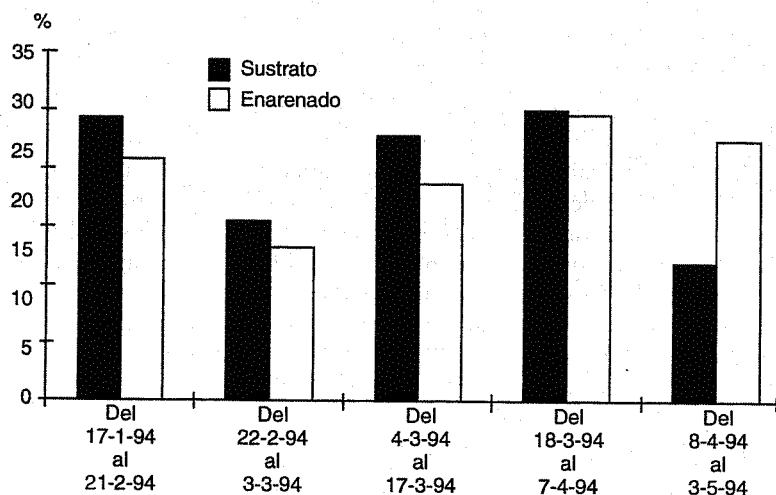


Gráfico III.12

EVOLUCIÓN DEL RENDIMIENTO Y DEL PRECIO DE LA COSECHA EN LOS SUSTRATOS (MEDIA A, B, C y D) Y EN EL ENARENADO. AGUA N (Q = CANTIDAD y P = PRECIO)

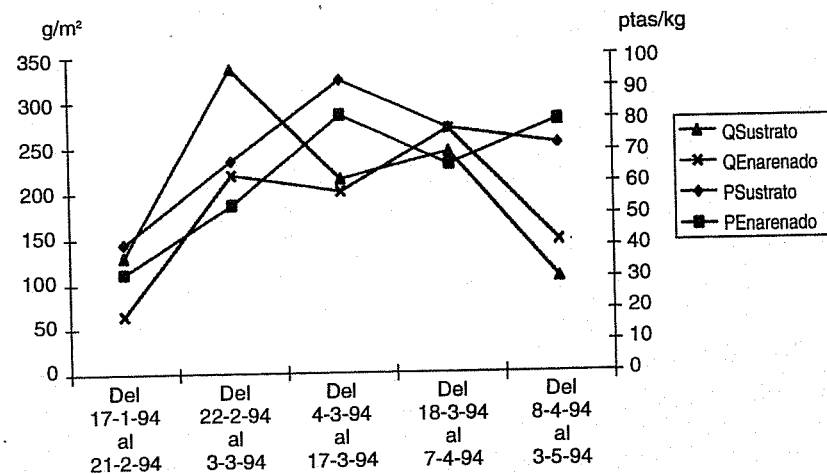
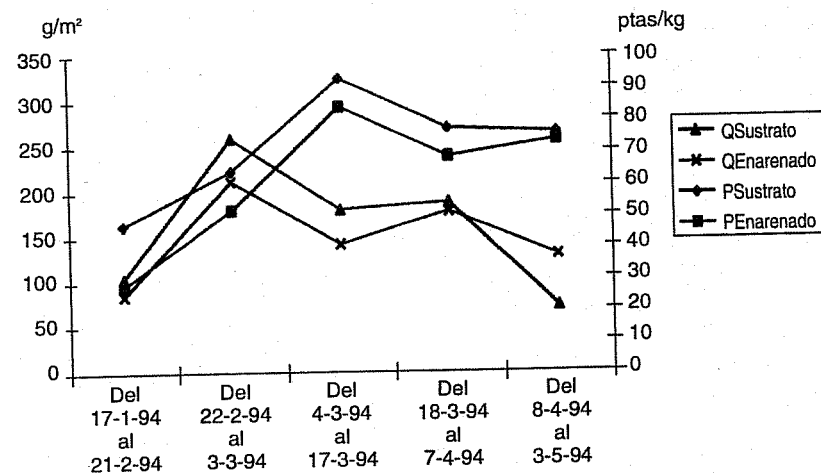


Gráfico III.13

EVOLUCIÓN DEL RENDIMIENTO Y DEL PRECIO DE LA COSECHA EN LOS SUSTRATOS (MEDIA A, B, C y D) Y EN EL ENARENADO. AGUA S (Q = CANTIDAD y P = PRECIO)



2.3. Rentabilidad financiera de los procesos productivos

Tras pasar revista a los rendimientos físicos de los procesos, a la calidad de la cosecha y al precio que el mercado hace de ellas, se procede al análisis de la rentabilidad monetaria de cada una de las alternativas consideradas, teniendo en cuenta parte de sus externalidades ambientales. Para ello debemos recordar que, tal y como se especifica en el cuadro II.5 de la parte especial, el número de casos a comparar aumenta en el análisis monetario con respecto a las consideradas en el análisis físico. Ello se debe a que se desdoblan en dos las opciones de inversión en los sustratos y en tres en el enarenado.

El desdoblamiento operado en el caso de los sustratos refleja la posibilidad que brinda el mercado de optar por una mayor o menor sofisticación informática de la cabeza de riego, con la consiguiente variación de coste. Las dos opciones de inversión de los sustratos responden así exclusivamente a la posibilidad de instalar los equipos de riego R_1 y R_2 . Ya que su precio depende del grado de automatización de la cabeza del sistema de riego, sin que ello tenga por qué afectar, en adecuadas condiciones de manejo, a la calidad del riego mismo, ni a la cosecha permaneciendo los gastos e ingresos corrientes del cultivo invariables en estas opciones.

La inversión, en el caso del enarenado, responde a las tres posibilidades siguientes. La posibilidad E_1 trata de un enarenado en uso que requiere exclusivamente la inversión en retranqueo. En la posibilidad E_2 se requiere la aportación y aplicación de arena, además del retranqueo y el aporte de estiércol, es decir que supone la implantación completa del enarenado sobre suelo ya existente. En la posibilidad E_3 se considera que la finca carece también de suelo agrícola, por lo que, además del coste de implantación del enarenado recogido en E_2 , se incluye el coste de aportación de tierra para crear el suelo, con roturado previo.

El anterior desglose permitirá responder, con los datos de la cosecha y de su precio, a tres cuestiones que son prioritarias sobre la rentabilidad financiera que guía la opción entre enarenado y sustrato. Una primera pregunta plantea hasta qué punto interesa financieramente introducir sustratos para sustituir un enarenado cuando sólo se requiere la inversión en retranqueo (E_1). Una segunda pregunta a contestar es la de hasta qué punto interesa financieramente introducir sustratos para sustituir a un enarenado degradado, cuya restauración requiere de las labores de retranqueo y aporte de arena (E_2) o también si interesa más instalar sustrato o enarenado en un invernadero con suelo agrícola. Y una tercera pregunta plantea si interesa más introducir sustratos o implantar el enarenado con aporte de suelo agrícola, cuando se carece de éste (E_3).

Las respuestas a estas preguntas se apoyan en los rendimientos, los precios y los costes de mercado obtenidos durante los dos ciclos de cultivo analizados. Una vez identificados el coste de cada alternativa de inversión,

los años de vida útil que se le atribuyen y los flujos anuales de ingresos netos de cada una de ellas, se han calculado sus correspondientes Tasas Internas de Rendimiento (TIR), como índices significativos de la rentabilidad financiera de cada hipótesis de inversión considerada. Este cálculo se ha realizado de dos maneras. Por una parte, incluyendo sólo la inversión en enarenado o sustrato y su correspondiente equipo de riego bajo el supuesto que estaba amortizado y funcionando el resto de las instalaciones del invernadero. Por otra, incluyendo los elementos básicos de inversión (referenciados en el cuadro II.6) que reclama la completa puesta en marcha de la explotación. El cálculo de las TIR referentes a inversiones cuya vida útil excede a las dos campañas analizadas se ha realizado extrapolando los flujos de ingresos y gastos correspondientes a esas dos campañas.

Una vez calculadas las rentabilidades que se derivan de los ingresos y gastos a los precios de mercado, cabe preguntarse hasta qué punto las administraciones pueden reorientar las decisiones de los agricultores hacia proyectos más sostenibles o ambientalmente saludables, mediante alteraciones del marco institucional que modifiquen los actuales escenarios de precios y costes. Siendo la sobreexplotación y contaminación de los acuíferos el principal problema ambiental que amenaza la supervivencia de la agricultura en el área donde se ha realizado el trabajo, se ha optado por valorar la «externalidad» negativa derivada del uso agrario del agua imputándole una estimación del coste que supondría producir dicha agua mediante desalación del agua del mar. Al sumar a los costes ordinarios el coste de esta función desaladora, que hasta ahora ha venido realizando la naturaleza gratuitamente, se puede apreciar hasta qué punto el uso más o menos eficiente del agua que hacen los sistemas de cultivo analizados altera sus índices de rentabilidad.

La «externalidad» negativa derivada de los residuos sólidos de los sustratos desechados, se ha valorado por el coste de traslado a vertedero de dichos residuos. La abundancia y la poca valoración del suelo en área desértica, como es buena parte de Almería difícilmente permiten imputar costes de vertedero capaces de modificar de forma sustancial los actuales costes de cultivo.

A continuación se pasa revista a los resultados que permiten enjuiciar la rentabilidad de las distintas alternativas de inversión consideradas. En el apéndice se incluye el detalle de los costes e ingresos y del cálculo de las «externalidades» de cada alternativa, para las dos campañas analizadas. En el texto, los cuadros III.33, III.34, III.35 y III.36 sintetizan los flujos monetarios de las inversiones realizadas, los ingresos y los gastos con y sin «externalidades» de la media de las dos campañas 92/93 y 93/94, así como los correspondientes ratios de ingresos por cada peseta de gasto corriente en cada una de las alternativas objeto de estudio y para las dos salinidades de agua aplicada (ver cuadros III.37 y III.38).

El análisis de la inversión y de los gastos corrientes se muestra en los cuadros III.30 y III.31. La observación quizá más sobresaliente que se des-

prende de estos cuadros, es que la rentabilidad del capital destinado a los gastos corrientes (columna C) es mayor en el enarenado que en los sustratos, en el caso del tratamiento con agua N, mientras que con agua S los sustratos A y B se comportan mejor que el enarenado y éste mejor que los sustratos C y D. Por otra parte, la inclusión de las «externalidades», coste de desalación del agua y traslado de los sustratos desechados a vertedero eleva los gastos corrientes desde el 18% en el enarenado, hasta algo más del 30% en los sustratos para el tratamiento N.

Las TIR, correspondientes a cada opción inversora, se dan en el cuadro III.32, lo que permiten responder a cada una de las preguntas anteriormente planteadas. La primera columna numérica del cuadro contiene las TIR para la inversión parcial en suelo o sustrato y equipo de riego, y la segunda, para la inversión total de implantación del sistema de cultivo, ambos para el tratamiento N y S. La información referida al tratamiento N se complementa con el cálculo de las TIR cargando en concepto de «externalidades» los gastos de desalación del agua utilizada y de traslado a vertedero de los residuos de sustratos (tercera columna).

Respondiendo las preguntas por el mismo orden que se plantearon, en primer lugar, podemos decir que, para el cultivo analizado, no resulta financieramente interesante sustituir por sustratos un enarenado que esté sólo pendiente de la labor de retranqueo (E_1). En segundo lugar, que sólo interesaría sustituir un enarenado necesitado de retranqueo y aportación de arena (E_2) por sustratos si se optara en éstos por el equipo de riego más barato (R_1). En tercer lugar, que si se carece de suelo fértil interesa más introducir sustratos que implantar el enarenado con aportación de tierra (E_3), esta observación aparece confirmada tanto por las TIR de la primera columna como por las correspondientes a la inversión total, de la segunda.

Las conclusiones enunciadas en los tres puntos anteriores son válidas tanto para el tratamiento con agua N como con agua S, aunque en este último caso mejora la situación relativa del enarenado, dado que soporta mejor la salinidad.

Comparando la rentabilidad de la inversión en sustratos (TIR de la primera columna) vemos que el sustrato A aventaja a los demás seguido del sustrato B (excepto en el tratamiento S en el que repuntan las TIR de los sustratos C y B).

Por último, la introducción de las «externalidades» relativas al agua y a los residuos de sustratos, mejora la posición del enarenado, pero no llega a alterar las conclusiones antes avanzadas sobre su comparación con los sustratos: cuando se carece de suelo sigue interesando más introducir sustratos que implantar el enarenado. Lo cual nos lleva a apreciar que el aumento del precio del agua, o el pago por la evacuación de residuos sólidos, no son instrumentos eficaces para reorientar las decisiones de inversión, al menos en sistemas de cultivo intensivo como los estudiados, hacia los usos más efi-

cientes y menos contaminantes del agua y de los materiales en general. En el caso que nos ocupa parece clara la necesidad de una normativa que obligue al menos a recircular el agua en el cultivo en sustratos, a fin de mejorar el rendimiento y reducir la contaminación en el uso de la misma, teniendo en cuenta su escasez en zonas áridas. Por otra parte cabe observar que las TIR de la inversión total, mantienen unos valores relativamente aceptables tras cargar las externalidades, lo cual deja entrever la posibilidad de que los sistemas de producción intensiva estudiados sean capaces de trabajar con el agua desalada, soportando íntegramente los costes de desalación. Posiblemente los actuales o futuros sistemas de obtención de agua desalada mejoren su rendimiento reduciendo el coste de las 175 pta/m³ que se ha imputado en este ejercicio¹⁰. En este caso, la liquidación de los acuíferos por sobreexplotación e intrusión salina no acarrearía la desaparición de esta agricultura, pero sí ocasionaría un problema de equidad intergeneracional: la generación actual de agricultores se beneficiaría de la sobreexplotación de los acuíferos en perjuicio de las generaciones futuras, que tendrían que sufragar el coste de la desalación para seguir con la actividad agraria.

En lo relativo a los sustratos mismos parecería razonable dirigir la investigación, la normativa y la información en las dos direcciones siguientes orientadas a limitar su uso, por las razones ambientales anteriormente expuestas. Una tendente evitar su extensión en áreas que disponen de suelo en las que, como hemos visto, resultan más dudosas las razones rentabilistas que apoyan su introducción. Otra tendente a minimizar su impacto ambiental sustituyéndolos por la técnica hidropónica, en sentido estricto, o por un volumen mínimo de sustrato ya que como se ha podido comprobar el sustrato de menor volumen (A) ha tenido un buen rendimiento productivo.

Subrayemos, por último, que los sistemas de cultivo que estamos comentando plantean múltiples problemas técnicos, económicos y ambientales cuya discusión escapa a las pretensiones del presente trabajo, centrado en la comparación entre el enarenado y el empleo de sustratos. Por ejemplo, un aprovechamiento del suelo tan intensivo como es la agricultura de invernadero, reclamaría una ordenación del territorio y un cuidado del paisaje mucho más estricto que el actual, si se quiere compatibilizar, no ya con el turismo, sino con la estética y habitabilidad más elemental. Lo mismo que un sistema agrario tan orgánico como es el cultivo enarenado debería cuidar y promover la calidad diferenciada de sus productos, sometiendo para ello la aplicación de pesticidas a controles mucho más estrictos que los actuales. Valgan estos ejemplos para ilustrar aspectos quizá más importantes y más necesitados de estudio y de regulación que los aquí discutidos, pero cuya problemática se sale de la presente investigación.

¹⁰ OJEDA, F.: «La desalación del agua del mar para uso agrícola. Estudio de caso». Ponencia presentada al Seminario sobre «La economía del agua en España», Fundación Argenteria, Sevilla, 28 y 29 de noviembre de 1995 (en prensa, en la Colección «Economía y Naturaleza», Fundación Argenteria-Visor Dis.).

Cuadro III.30

ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN Y LOS GASTOS CORRIENTES
(10³ ptas/ha) DE LAS DISTINTAS ALTERNATIVAS. CAMPAÑA 92/93

Agua	1	2	3	A	B	C	E	F
N	E ₁	476		7.834	3.117	2,51	3.714	2,11
	E ₂	676		7.834	3.117	2,51	3.714	2,11
	E ₃	1.401	100,0	7.834	3.117	2,51	3.714	2,11
	AR ₁	1.628	116,2	10.343	3.888	2,66	4.753	2,18
	AR ₂	1.949	139,1	10.343	3.888	2,66	4.753	2,18
	BR ₁	1.628	116,2	9.736	3.842	2,53	4.773	2,04
	BR ₂	1.949	139,1	9.736	3.842	2,53	4.773	2,04
	CR ₁	1.765	126,0	10.107	4.096	2,47	5.270	1,92
	CR ₂	2.086	148,9	10.107	4.096	2,47	5.270	1,92
	DR ₁	1.555	111,0	9.194	3.744	2,46	4.694	1,96
	DR ₂	1.876	133,9	9.194	3.744	2,46	4.694	1,96
S	E ₁	476		6.310	2.797	2,26	2.797	2,26
	E ₂	676		6.310	2.797	2,26	2.797	2,26
	E ₃	1.401	100,0	6.310	2.797	2,26	2.797	2,26
	AR ₁	1.628	116,2	7.320	3.632	2,02	4.911	1,49
	AR ₂	1.949	139,1	7.320	3.632	2,02	4.911	1,49
	BR ₁	1.628	116,2	7.390	3.504	2,11	4.627	1,60
	BR ₂	1.949	139,1	7.390	3.504	2,11	4.627	1,60
	CR ₁	1.765	126,0	9.697	4.288	2,26	5.876	1,65
	CR ₂	2.086	148,9	9.697	4.288	2,26	5.876	1,65
	DR ₁	1.555	111,0	6.713	3.452	1,94	4.702	1,43
	DR ₂	1.876	133,9	6.713	3.452	1,94	4.702	1,43

Notas:

1. Alternativas.
2. Inversión por años de vida útil.
3. Índices de inversión, E₃ = 100.
- A. Ingresos brutos.
- B. Gastos (sin externalidades).
- C. A/B.
- E. Gastos (con externalidades).
- F. A/E.

Cuadro III.31

ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN Y LOS GASTOS CORRIENTES
(10³ ptas/ha) DE LAS DISTINTAS ALTERNATIVAS. CAMPAÑA 93/94

Agua	1	2	3	A	B	C	E	F
N	E ₁	476		10.834	3.494	3,10	4.119	2,63
	E ₂	676		10.834	3.494	3,10	4.119	2,63
	E ₃	1.401	100,0	10.834	3.494	3,10	4.119	2,63
	AR ₁	1.628	116,2	13.141	4.650	2,83	6.273	2,09
	AR ₂	1.949	139,1	13.141	4.650	2,83	6.273	2,09
	BR ₁	1.628	116,2	13.311	4.493	2,96	5.892	2,26
	BR ₂	1.949	139,1	13.311	4.493	2,96	5.892	2,26
	CR ₁	1.765	126,0	14.486	4.685	3,09	6.209	2,33
	CR ₂	2.086	148,9	14.486	4.685	3,09	6.209	2,33
	DR ₁	1.555	111,0	13.047	4.451	2,93	5.801	2,25
	DR ₂	1.876	133,9	13.047	4.451	2,93	5.801	2,25
S	E ₁	476		8.726	3.197	2,73	3.822	2,28
	E ₂	676		8.726	3.197	2,73	3.822	2,28
	E ₃	1.401	100,0	8.726	3.197	2,73	3.822	2,28
	AR ₁	1.628	116,2	11.397	4.006	2,84	5.252	2,17
	AR ₂	1.949	139,1	11.397	4.006	2,84	5.252	2,17
	BR ₁	1.628	116,2	11.666	4.157	2,81	5.567	2,10
	BR ₂	1.949	139,1	11.666	4.157	2,81	5.567	2,10
	CR ₁	1.765	126,0	9.803	4.028	2,43	5.666	1,73
	CR ₂	2.086	148,9	9.803	4.028	2,43	5.666	1,73
	DR ₁	1.555	111,0	9.951	4.070	2,44	5.742	1,73
	DR ₂	1.876	133,9	9.951	4.070	2,44	5.742	1,73

Notas:

1. Alternativas.
2. Inversión por años de vida útil.
3. Índices de inversión, E₃ = 100.
- A. Ingresos brutos.
- B. Gastos (sin externalidades).
- C. A/B.
- E. Gastos (con externalidades).
- F. A/E.

Cuadro III.32

COMPARACIÓN DE LAS TIR

Campaña	Alternativ.	Inversión (Agua N)				Inversión (Agua S)	
		Sustrato + riego	Total	Sustrato + riego*	Total*	Sustrato + riego	Total
92/93	E ₁	232,6	—	202,1	—		
	E ₂	114,5	—	99,2	—		
	E ₃	67,3	18,1	58,0	15,4		
	AR ₁	184,9	28,7	157,5	24,1		
	AR ₂	107,3	24,9	90,9	20,7		
	BR ₁	167,1	25,7	137,5	20,8		
	BR ₂	96,7	22,2	78,9	17,6		
	CR ₁	154,9	25,3	120,1	19,1		
	CR ₂	92,3	21,9	70,7	16,1		
	DR ₁	162,4	23,9	130,6	18,1		
	DR ₂	91,8	20,5	73,0	15,8		
93/94	E ₁	261,4	—	232,6	—	194,0	—
	E ₂	134,6	—	120,0	—	99,4	—
	E ₃	81,6	23,5	72,7	20,8	59,8	16,7
	AR ₁	199,6	33,1	166,0	26,7	128,7	22,3
	AR ₂	118,6	29,1	97,5	23,1	77,4	19,2
	BR ₁	189,3	32,1	156,0	26,0	134,4	23,3
	BR ₂	113,4	28,2	92,8	22,5	80,8	20,0
	CR ₁	182,2	33,5	144,9	26,4	134,2	22,1
	CR ₂	111,6	29,5	89,5	23,0	80,0	18,9
	DR ₁	186,7	30,9	151,2	24,6	112,7	18,0
	DR ₂	110,3	27,1	88,7	21,3	65,4	15,1

* Las TIR se han calculado incluyendo las externalidades.

2.4. Apéndice

Desglose de los gastos corrientes

Cuadro III.33

DESGLOSE DE LOS GASTOS CORRIENTES. AGUA N. CAMPAÑA 92/93

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E ₁	1.490	85	663	277	182	420	3.117	597	—	3714
E ₂	1.490	85	663	277	182	420	3.117	597	—	3714
E ₃	1.490	85	663	277	182	420	3.117	597	—	3714
AR ₁	1.870	122	565	277	634	420	3.888	855	10	4.753
AR ₂	1.870	122	565	277	634	420	3.888	855	10	4.753
BR ₁	1.778	130	565	277	673	420	3.842	909	22	4.773
BR ₂	1.778	130	565	277	673	420	3.842	909	22	4.773
CR ₁	1.834	162	565	277	838	420	4.096	1.137	37	5.270
CR ₂	1.834	162	565	277	838	420	4.096	1.137	37	5.270
DR ₁	1.696	128	565	277	658	420	3.744	893	58	4.696
DR ₂	1.696	128	565	277	658	420	3.744	893	58	4.696

Notas: La columna de transporte recoge el coste estimado de la recogida, compactación y traslado a vertedero de los sustratos contaminados. Para la estimación se ha supuesto un coste de 300 pta/(t km), para una distancia media de 20 km, lo que totaliza un gasto de 6.000 pta/t de sustrato desechado no incluyendo gastos adicionales de tratamiento y gestión del vertedero. Al ser la vida útil del sustrato de 2 años, el gasto anual se refiere a la mitad del sustrato instalado.

1. Alternativas. 2. Mano de obra. 3. Agua. 4. Productos fitosanitarios. 5. Plantas. 6. Fertilizantes. 7. Plástico. 8. Total (sin externalidades). 9. Desalación. 10. Transporte. 11. Total (con externalidades).

Cuadro III.34

DESGLOSE DE LOS GASTOS CORRIENTES. AGUA S. CAMPAÑA 92/93

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E ₁	1.255	—	663	277	182	420	—	—	—	—
E ₂	1.255	—	663	277	182	420	—	—	—	—
E ₃	1.255	—	663	277	182	420	—	—	—	—
AR ₁	1.325	181	565	277	863	420	3.632	1.269	10	4.911
AR ₂	1.325	181	565	277	863	420	3.632	1.269	10	4.911
BR ₁	1.338	157	565	277	747	420	3.504	1.101	22	4.627
BR ₂	1.338	157	565	277	747	420	3.504	1.101	22	4.627
CR ₁	1.755	222	565	277	1.050	420	4.288	1.551	37	5.876
CR ₂	1.755	222	565	277	1.050	420	4.288	1.551	37	5.876
DR ₁	1.215	170	565	277	805	420	3.452	1.191	58	4.702
DR ₂	1.215	170	565	277	805	420	3.452	1.191	58	4.702

1. Alternativas. 2. Mano de obra. 3. Agua. 4. Productos fitosanitarios. 5. Plantas. 6. Fertilizantes. 7. Plástico. 8. Total (sin externalidades). 9. Desalación. 10. Transporte. 11. Total (con externalidades).

Cuadro III.35

DESGLOSE DE LOS GASTOS CORRIENTES. AGUA N. CAMPAÑA 93/94

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E ₁	1.886	89	683	277	139	420	3.494	625	-	4.119
E ₂	1.886	89	683	277	139	420	3.494	625	-	4.119
E ₃	1.886	89	683	277	139	420	3.494	625	-	4.119
AR ₁	1.955	230	683	277	1.084	420	4.650	1.613	10	6.273
AR ₂	1.955	230	683	277	1.084	420	4.650	1.613	10	6.273
BR ₁	1.994	197	683	277	923	420	4.493	1.376	22	5.892
BR ₂	1.994	197	683	277	923	420	4.493	1.376	22	5.892
CR ₁	2.096	212	683	277	997	420	4.685	1.487	37	6.209
CR ₂	2.096	212	683	277	997	420	4.685	1.487	37	6.209
DR ₁	2.021	185	683	277	865	420	4.451	1.292	58	5.801
DR ₂	2.021	185	683	277	865	420	4.451	1.292	58	5.801

1. Alternativas. 2. Mano de obra. 3. Agua. 4. Productos fitosanitarios. 5. Plantas. 6. Fertilizantes. 7. Plástico. 8. Total (sin externalidades). 9. Desalación. 10. Transporte. 11. Total (con externalidades).

Cuadro III.36

DESGLOSE DE LOS GASTOS CORRIENTES. AGUA S. CAMPAÑA 93/94

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E ₁	1.589	89	683	277	139	420	3.197	625	-	3.822
E ₂	1.589	89	683	277	139	420	3.197	625	-	3.822
E ₃	1.589	89	683	277	139	420	3.197	625	-	3.822
AR ₁	1.687	177	683	277	763	420	4.006	1.236	10	5.252
AR ₂	1.687	177	683	277	763	420	4.006	1.236	10	5.252
BR ₁	1.722	198	683	277	857	420	4.157	1.388	22	5.567
BR ₂	1.722	198	683	277	857	420	4.157	1.388	22	5.567
CR ₁	1.431	229	683	277	989	420	4.028	1.601	37	5.666
CR ₂	1.431	229	683	277	989	420	4.028	1.601	37	5.666
DR ₁	1.464	231	683	277	996	420	4.070	1.614	58	5.742
DR ₂	1.464	231	683	277	996	420	4.070	1.614	58	5.742

1. Alternativas. 2. Mano de obra. 3. Agua. 4. Productos fitosanitarios. 5. Plantas. 6. Fertilizantes. 7. Plástico. 8. Total (sin externalidades). 9. Desalación. 10. Transporte. 11. Total (con externalidades).

Comparación de los resultados de las dos campañas estudiadas

En los cuadros III.37 y III.38 se comparan las campañas 92/93, y 93/94 para los tratamientos N y S. y en los epígrafes de rendimiento, precios, gastos unitarios e inversiones unitarias.

Resalta la gran variabilidad entre las dos campañas observadas en precios y rendimientos, con la peculiaridad de que en ambos casos esa variación va en el mismo sentido, aumentando por término medio, en la última de las campañas estudiadas, un 17,9% en los precios y un 16,2% en los rendimientos.

A su vez, esa variabilidad también se observa entre los sistemas de cultivo estudiados, siendo el enarenado el que mayor aumento en rendimientos presenta, mientras que los sustratos son los que muestran un mayor incremento en los precios percibidos.

El efecto acumulado de la variación de los rendimientos y de los precios se observa en los ingresos que presentan un incremento medio del 37,0%, siendo el sustrato C el más favorecido con un 43,4% de aumento de ingreso. Este efecto acumulado se refleja también en la disminución del gasto unitario y en los índices de rentabilidad. Así por ejemplo las TIR (cuadro III.39) aumentan por término medio un 57,3% para la columna de inversión parcial en sustrato y equipo de riego y un 63,0% para la columna de inversión total. A este respecto, el enarenado ha mejorado más que los sustratos A y B (con una variación de su TIR que oscila entre un 57 y un 66%) y menos que los sustratos C y D.

La gran variabilidad observada, en las dos campañas estudiadas, en rendimientos y precios, aconseja precaución a la hora de extrapolar conclusiones sobre la rentabilidad de una campaña particular.

Cuadro III.37

COMPARACIÓN ENTRE CAMPAÑAS. AGUA N

Alternativas	Campaña 93/94				Variación 92/93, 93/94			
	1	2	3	4	1	2	3	4
E ₁	171,1	63,3	20,4	2,8	26,7	9,2	-11,5	-21,0
E ₂	171,1	63,3	20,4	4,0	26,7	9,2	-11,5	-21,0
E ₃	171,1	63,3	20,4	8,2	26,7	9,2	-11,5	-21,0
AR ₁	186,2	70,6	25,0	8,7	4,4	21,6	14,5	-4,3
AR ₂	186,2	70,6	25,0	10,5	4,4	21,6	14,5	-4,3
BR ₁	189,9	70,1	23,7	8,6	13,1	20,9	3,4	-11,6
BR ₂	189,9	70,1	23,7	10,3	13,1	20,9	3,4	-11,6
CR ₁	199,6	72,6	23,5	8,8	14,5	25,2	-0,1	-12,7
CR ₂	199,6	72,6	23,5	10,5	14,5	25,2	-0,1	-12,7
DR ₁	192,4	67,8	23,2	8,1	21,4	16,9	-2,1	-17,6
DR ₂	192,4	67,8	23,2	9,7	21,4	16,9	-2,1	-17,6
Media	186,2	68,4	22,9	8,2	16,2	17,9	-0,4	-13,4

Notas: 1. Rendimiento (10³ kg/ha). 2. Precio (ptas/kg). 3. Gasto corriente por unidad de producto (ptas/kg). 4. Inversión por unidad de producto (ptas/kg).

Cuadro III.38

COMPARACIÓN ENTRE CAMPAÑAS. AGUA S

Alternativas	Campaña 93/94				Variación 92/93, 93/94			
	1	2	3	4	1	2	3	4
E ₁	144,2	60,5	22,2	3,3	—	—	—	—
E ₂	144,2	60,5	22,2	4,7	—	—	—	—
E ₃	144,2	60,5	22,2	9,7	—	—	—	—
AR ₁	160,7	70,9	24,9	10,1	27,3	22,3	-13,3	-21,4
AR ₂	160,7	70,9	24,9	12,1	27,3	22,3	-13,3	-21,4
BR ₁	164,0	71,2	25,4	9,9	28,7	22,7	-7,8	-22,3
BR ₂	164,0	71,2	25,4	11,9	28,7	22,7	-7,8	-22,3
CR ₁	136,3	71,9	29,5	12,9	-18,5	24,0	15,2	22,6
CR ₂	136,3	71,9	29,5	15,3	-18,5	24,0	15,2	22,6
DR ₁	139,4	71,4	29,2	11,2	20,5	23,0	-2,1	-17,0
DR ₂	139,4	71,4	29,2	13,5	20,5	23,0	-2,1	-17,0
Media	148,5	68,4	25,9	10,4	10,7	17,9	-7,4	-23,6

Notas: 1. Rendimiento (10³ kg/ha). 2. Precio (ptas/kg). 3. Gasto corriente por unidad de producto (ptas/kg). 4. Inversión por unidad de producto (ptas/kg).

Cuadro III.39

COMPARACIÓN DE LAS TIR. AGUA N

Alternativas	Campaña 92/93		Campaña 93/94	
	1	2	1	2
E ₁	232,6	—	365,2	—
E ₂	114,5	—	181,3	—
E ₃	67,3	18,1	107,4	30,0
AR ₁	184,9	28,7	248,8	39,3
AR ₂	107,3	24,9	145,5	34,7
BR ₁	167,1	25,7	259,0	41,0
BR ₂	96,7	22,2	151,5	36,2
CR ₁	154,9	25,3	265,2	44,9
CR ₂	92,3	21,9	160,2	39,8
DR ₁	162,4	23,9	266,0	40,5
DR ₂	91,8	20,5	152,3	35,7

Notas: 1. Sólo se considera la inversión en sustrato y en el equipo de riego. 2. Se considera la inversión total.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro II.1:	Composición química del agua utilizada para riego	167
Cuadro II.2:	Aporte (t/ha) adicional de Na y Cl en los tratamientos regados con agua S	167
Cuadro II.3:	Agua aportada (mm), antes del trasplante, a los distintos tratamientos	170
Cuadro II.4:	Cantidad de macronutrientes (g) aportados por cada 100 L de agua	179
Cuadro II.5:	Alternativas de inversión	183
Cuadro II.6:	Coste de la inversión (10 ³ ptas/ha) y vida útil (años) ..	184
Cuadro II.7:	Agua aportada (m ³ /ha) y coste (10 ³ ptas/ha) para cada tratamiento y salinidad. Campaña 92/93	185
Cuadro II.8:	Agua aportada (m ³ /ha) y coste (10 ³ ptas/ha) para cada tratamiento y salinidad. Campaña 93/94	185
Cuadro II.9:	Enarenado. Aporte de fertilizantes (kg/ha) y gasto (10 ³ ptas/ha) en cada campaña	186
Cuadro II.10:	Sustratos. Aportes de fertilizantes (t/ha) en el tratamiento N	186
Cuadro II.11:	Sustratos. Aportes de fertilizantes (t/ha) en el tratamiento S	187
Cuadro II.12:	Sustratos. Gasto de fertilizantes (10 ³ ptas/ha) en el tratamiento N	187
Cuadro II.13:	Sustratos. Gasto de fertilizantes (10 ³ ptas/ha) en el tratamiento S	188
Cuadro III.1:	Variación en peso (g) de cada contenedor	192
Cuadro III.2:	Características físicas e hidráulicas de los distintos sustratos a diferentes alturas antes de utilizarlos	193
Cuadro III.3:	Características físicas e hidráulicas de los distintos sustratos después de 2 años de cultivo	194
Cuadro III.4:	Salto térmico en °C en los sustratos y en el enarenado	195
Cuadro III.5:	Temperaturas máximas y mínimas alcanzadas en diferentes días	195

Cuadro III.6:	Valores medios y acumulados para los dos ciclos de: evaporación en tanque evaporímetro clase A dentro de invernadero, radiación solar exterior y dentro del invernadero	198
Cuadro III.7:	Evapotranspiración estacional del cultivo (mm) en los distintos sustratos y en los dos ciclos de cultivo ..	200
Cuadro III.8:	Coeficientes de cultivo (kc) para períodos quincenales en el primer y segundo ciclo de cultivo	201
Cuadro III.9:	Balance de fertilizantes en el primer ciclo de cultivo ..	204
Cuadro III.10:	Contenidos en nitrógeno total en los sustratos al final de los dos ciclos de cultivo	205
Cuadro III.11:	Aporte y extracción de nutrientes	206
Cuadro III.12:	Extracción de nutrientes por los órganos aéreos del tomate y cosecha	207
Cuadro III.13:	Valores de radiación PAR interceptada (%) por el cultivo, a los 27, 36 y 69 días desde el trasplante en cada tratamiento	208
Cuadro III.14:	Crecimiento, ritmo de aparición de hojas y número de inflorescencias en tres períodos del ciclo de cultivo	209
Cuadro III.15:	Biomasa producida por los órganos aéreos de la planta en cada tratamiento en los dos ciclos de cultivo	211
Cuadro III.16:	Cosecha precoz y total producida por los tratamientos en los dos ciclos de cultivo	213
Cuadro III.17:	Calibres (%) obtenidos por la cosecha en los distintos tratamientos	214
Cuadro III.18:	Contenido en macronutrientes de los frutos de tomate	216
Cuadro III.19:	Contenido en macronutrientes de los frutos	216
Cuadro III.20:	Contenido en azúcar, grasa y humedad de los frutos ..	217
Cuadro III.21:	Recursos y residuos por unidad de cosecha. Campaña 92/93	219
Cuadro III.22:	Recursos y residuos por unidad de cosecha. Campaña 93/94	220
Cuadro III.23:	Aproximación al balance de nutrientes de la media del conjunto de los sustratos y del enarenado, con agua N. Campaña 93/94	221
Cuadro III.24:	Flujos físicos anuales. Agua N. Campaña 92/93	224
Cuadro III.25:	Flujos físicos anuales. Agua S. Campaña 92/93	225
Cuadro III.26:	Flujos físicos anuales. Agua N. Campaña 93/94	226
Cuadro III.27:	Flujos físicos anuales. Agua S. Campaña 93/94	227
Cuadro III.28:	Balance energético. Agua N. Campaña 93/94	231

Cuadro III.29:	Balance energético. Agua S. Campaña 93/94	231
Cuadro III.30:	Análisis de la inversión y los gastos corrientes de las distintas alternativas. Campaña 92/93	240
Cuadro III.31:	Análisis de la inversión y los gastos corrientes de las distintas alternativas. Campaña 93/94	241
Cuadro III.32:	Comparación de las TIR	242
Cuadro III.33:	Desglose de los gastos corrientes. Agua N. Campaña 92/93	243
Cuadro III.34:	Desglose de los gastos corrientes. Agua S. Campaña 92/93	243
Cuadro III.35:	Desglose de los gastos corrientes. Agua N. Campaña 93/94	244
Cuadro III.36:	Desglose de los gastos corrientes. Agua S. Campaña 93/94	244
Cuadro III.37:	Comparación entre campañas. Agua N	245
Cuadro III.38:	Comparación entre campañas. Agua S	246
Cuadro III.39:	Comparación de las TIR. Agua N	246

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico II.1:	Curva de gasto del gotero del enarenado	169
Gráfico II.2:	Curva de gasto de los goteros de los sustratos	170
Gráfico II.3:	Programación del riego en el enarenado	171
Gráfico II.4:	Agua aportada a cada tratamiento (A, B, C y D)	173
Gráfico II.5:	Programación de la fertilización en el enarenado	176
Gráfico II.6:	Programación de la fertilización en los distintos sustratos para el primer ciclo	177
Gráfico II.7:	Programación de la fertilización en los distintos sustratos para el segundo ciclo	178
Gráfico III.1:	Temperatura del aire, del enarenado y de los sustratos en días fríos	196
Gráfico III.2:	Temperatura del aire, del enarenado y de los sustratos en días cálidos	197
Gráfico III.3:	Evolución de la radiación global y de la evaporación en tanque clase A en el primer y segundo ciclo de cultivo	199
Gráfico III.4:	Evolución de la temperatura y humedad relativa del aire durante el día y la noche en el primer y segundo ciclo de cultivo	199
Gráfico III.5:	Evolución de la ET _c y del lixiviado en cada sustrato, para las dos calidades de agua, en el primer ciclo de cultivo	202
Gráfico III.6:	Evolución de la ET _c y del lixiviado en cada sustrato, para las dos calidades de agua, en el segundo ciclo de cultivo	203
Gráfico III.7:	Balance de nitrógeno en el segundo ciclo	205
Gráfico III.8:	Altura de planta, número de hojas y aparición de inflorescencia en cada tratamiento, en el segundo ciclo	210
Gráfico III.9:	Porcentaje de frutos de cada una de las cuatro calidades	215
Gráfico III.10:	Distribución de la producción en los sustratos y en el enarenado. Agua N	234

Gráfico III.11: Distribución de la producción en los sustratos y en el enarenado. Agua S	234
Gráfico III.12: Evolución del rendimiento y del precio de la cosecha en los sustratos y en el enarenado. Agua N	235
Gráfico III.13: Evolución del rendimiento y del precio de la cosecha en los sustratos y en el enarenado. Agua S	235

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1: Situación de la estación experimental «Las Palmerillas»	162
Figura II.2: Alzado y planta del invernadero donde se ha realizado el experimento	163
Figura II.3: Esquema de la cabeza del sistema de riego	168
Figura II.4: Disposición de los goteros en cada tratamiento	168
Figura II.5: Esquema de los dispositivos automáticos de arranque y parada de la solución nutritiva	174

SÍNTESIS

CAPÍTULO I

CONCLUSIONES

J. López-Gálvez y J. M. Naredo

1. Metodológicas

Además de la posibilidad de concluir sobre la potencia del enfoque «ecointegrador» (propuesto en el apartado 6 del capítulo VII de la parte general) para analizar los sistemas agrarios, merece la pena subrayar la siguiente conclusión de índole metodológica: pese a la relativa simplicidad de los sistemas de cultivo analizados, éstos arrojan resultados ambivalentes que no cabe reducir a una única dimensión que permita seleccionar entre ellos un único óptimo. Las diferencias observadas en los ratios de rendimiento y de contaminación por unidad de superficie, de energía, de agua y de materiales empleados, no sólo se contraponen, a veces, entre ellos sino también con aquellos otros de rentabilidad monetaria. Incluso cuando se sintetiza en forma de costes energéticos el funcionamiento material de los sistemas objeto de estudio, en ocasiones, afloran discrepancias entre la eficiencia energética y la rentabilidad monetaria de los mismos. A su vez las diferencias de comportamiento de los sistemas ante las dos campañas y las dos calidades de agua consideradas en el experimento exigen matizaciones adicionales de los resultados. Ni siquiera las tres opciones de inversión del enarenado y las dos de los sustratos, para cada ciclo de cultivo y calidad de agua, tenidos en cuenta, permiten concluir que alguno de ellos aventaje en todo a los demás.

En suma que, aun este caso simple, la realidad es lo suficientemente compleja para que la información obtenida aconseje opciones diferentes para situaciones y propósitos diferentes y para que se detecten contradicciones entre la rentabilidad privada de los agricultores y el deterioro ambiental ocasionado, que demandan cambios institucionales y normativas correctoras que alteren las actuales reglas del juego del mercado. Como se subrayó en la introducción metodológica (parte general, capítulo VII) la clave de un análisis económico-ambiental correcto estriba precisamente en resaltar las posibles contradicciones observadas entre los distintos niveles y

dimensiones de la eficiencia de los procesos y muy particularmente entre sus rendimientos (y sus pérdidas) en términos físicos y su rentabilidad en términos monetarios. Es justamente la presentación rica y matizada de los resultados la que ofrece informaciones de gran utilidad para que agricultores y políticos tomen decisiones con conocimiento de causa.

2. Flujos físicos y contaminación

a) Cantidad de cosecha

– Con **agua de buena calidad** los sustratos dieron mayores cantidades de cosecha por unidad de superficie que el enarenado. Por ejemplo, la cosecha obtenida en los sustratos fue entre un 8 y un 16% mayor que la del enarenado en la campaña 93/94.

– Sin embargo, en esa misma campaña, los dos sustratos más productivos con agua de buena calidad (el C y el D) pasan a ser los menos productivos con **agua de mala calidad**, al disminuir su cosecha en un 30% respecto al tratamiento con agua de buena calidad, mientras que en el enarenado y en los otros sustratos esta disminución se situó sólo en torno al 15%.

– El rendimiento de cosecha por unidad de agua y de fertilizantes resulta en todos los casos mucho mayor en el enarenado que en los sustratos. Por ejemplo, con agua de buena calidad, los gramos de cosecha por litro de agua aplicada oscilaron desde 44 en el enarenado hasta 27 en el sustrato C, en la campaña 92/93, y desde 51 en el enarenado hasta 20 en el sustrato A, para la campaña siguiente. Los kilos de cosecha por gramo de fertilizante aplicado oscilaron, con agua de buena calidad, para los dos ciclos mencionados entre 21 (enarenado) y 14 (sustrato C) y entre 54 (enarenado) y 10 (sustrato A).

– La estimación de los balances energéticos para cada uno de los sistemas de cultivo analizados permiten advertir marcadas diferencias en el rendimiento energético de los mismos, que resultan en todo caso favorables al enarenado. Por ejemplo, con agua de buena calidad, en la campaña 93/94, por cada unidad de energía aplicada por el hombre en el proceso, se obtienen 1,40 unidades en forma de cosecha en el enarenado; 0,70 en el sustrato A; 0,57 en el B; 0,44 en el C y 0,38 en el D. Estas diferencias en el rendimiento energético vienen a reflejar la distinta eficiencia de los sistemas de cultivo considerados en el manejo de los recursos naturales utilizados.

b) Exigencia en recursos naturales

– El cultivo en sustrato reclama entre tres y cinco veces más energía por unidad de superficie que el enarenado. Mientras el gasto anual de este

último se cifra en unas 3 tep/ha, el de los sustratos oscila entre 7 y 15 tep/ha, para obtener por término medio sólo 1 tep/ha más de cosecha que el enarenado. Estas diferencias están condicionadas por el gran peso que tiene en el cultivo en sustrato el mayor gasto de energía en los procesos de obtención de los fertilizantes y de los propios sustratos.

– Hay que destacar la diferencia en peso y en composición de los materiales utilizados en el proceso de realización del enarenado y de los sustratos. La implantación del suelo enarenado exige disponer en zonas próximas a las de cultivo de cantidades importantes de materiales relativamente abundantes y, por lo tanto, de bajo valor unitario: suelo, arena y estiércol. Aunque el gasto energético medio anual que conlleva la extracción y el transporte de éstos resulta muy inferior al correspondiente a los sustratos, plantea en Almería mayores problemas de impactos territoriales locales a controlar mediante una ordenación adecuada del territorio. Por otra parte, los sustratos no son el resultado de una actividad extractiva directa ni constituyen un subproducto, sino que su fabricación requiere someter a las rocas volcánicas utilizadas como materia prima a procesos industriales muy exigentes en energía. Las marcadas diferencias de peso que se observan entre los cuatro tipos de sustrato considerados alcanzan, por unidad de superficie, de 1 a 8 y por unidad de cosecha de 1 a 6.

– El cultivo enarenado hace en todos los casos un uso más eficiente del agua, por unidad de superficie y de cosecha que los sustratos. Mientras que el agua aplicada en el enarenado se sitúa en torno a las 3.500 t/ha (= m³/ha) (para los dos ciclos de cultivo y calidades de agua considerados), en los sustratos oscila entre las 4.900 y las 9.200, mostrando también diferencias muy marcadas entre ellos que varían con la calidad del agua. El menor rendimiento en el uso del agua de los sustratos, se tradujo en una mayor exigencia de agua por kilo de cosecha: por ejemplo, en el ciclo de cultivo de la campaña 93/94, el enarenado requirió, respectivamente, para las dos calidades de agua consideradas, 21 y 25 litros (= kilos) de agua por kilo de tomate cosechado, cuando este requerimiento osciló en los sustratos entre 44 y 67 litros de agua por kilo de cosecha.

– El enarenado recibió en todos los casos menos fertilizantes por unidad de superficie y de cosecha que los sustratos. Por ejemplo, en la cosecha 93/94, al enarenado se le aportaron 1,2 t/ha de unidades fertilizantes, mientras que los sustratos recibieron entre 5,5 y 7,9 t/ha. Los fertilizantes aportados en los sustratos exceden a las extracciones del cultivo, necesitando lixiviar el exceso para evitar un incremento de concentración salina en la zona radical de la planta: el balance de nutrientes muestra cómo, en el experimento realizado, los sustratos lixivian en torno a la mitad de los fertilizantes aportados. Sin embargo, en el enarenado, los fertilizantes extraídos por las plantas superan a las cantidades aplicadas, compensándose este déficit.

cit con el estiércol aportado, la absorción del nitrógeno atmosférico (de alguna especie) o la movilización de los nutrientes del suelo.

c) Contaminación

– Los sistemas de cultivo en sustrato arrojan, en todos los casos, mayores ratios de contaminación que el enarenado. Las mayores exigencias en agua, fertilizantes y energía de los sustratos, originan problemas de contaminación cuantitativa y cualitativamente superiores a los del enarenado. La mayor cantidad de energía que reclaman los sistemas de producción en sustrato se traduce en contaminaciones derivadas de procesos previos a los de cultivo que no tendremos aquí en consideración (obtención de electricidad para el bombeo del agua de riego, fabricación de los fertilizantes, producción de los sustratos...). En lo que concierne a las diferencias en la contaminación originada por los procesos de cultivo estudiados cabe distinguir entre la procedente de la lixiviación de los fertilizantes aportados y la de los sustratos desechados.

– Los datos obtenidos experimentalmente muestran que el enarenado lixivia cerca de media tonelada por hectárea de fertilizantes (en producto comercial) debido básicamente al riego de presembrado, en tanto que los fertilizantes lixiviados por los sustratos han oscilado entre las 4 y las 11 toneladas por hectárea en los dos ciclos de cultivo y calidades de agua considerados. Así, mientras que la lixiviación del enarenado se estimó en torno a los 4 g de fertilizante comercial por kg de cosecha, este mismo ratio se movió en los sustratos entre 31 y 82 g de fertilizante por kg de cosecha. Se aprecia así, no sólo una marcada diferencia de comportamiento entre el enarenado y los sustratos, sino también entre los sustratos mismos.

– El sistema de cultivo en sustrato plantea el problema específico derivado de los residuos que se originan una vez desechados: tras sus dos años de vida útil, se convierten en residuos sólidos muy voluminosos que, además de no ser fácilmente degradables, están contaminados. Las marcadas diferencias observadas en el peso de los sustratos considerados se traducen en diferencias en la emisión de residuos sólidos. Como la vida de los sustratos es de dos años se calcula en la mitad del peso de éstos el flujo anual de residuos que genera su uso: flujo que oscila entre 6 y 10 toneladas por hectárea y 10 y 60 gramos de residuo por kilo de cosecha (recordemos que el residuo sólido hasta ahora más preocupante, el originado por el plástico de la cubierta, supone sólo 1 tonelada por hectárea y año).

– Por su parte la contaminación derivada del uso del suelo enarenado se limita a la lixiviación de determinados iones presentes en el estiércol, ya que la emisión de CO₂ es absorbida por los cultivos.

3. Calidad y precios de la cosecha

– La producción de los sustratos muestra generalmente mejor calidad comercial que la del enarenado. Por contra, los frutos del enarenado tienen una composición distinta a los de los sustratos en cuanto al contenido en nitrógeno, azúcares y otros elementos, siendo significativamente más ricos en azúcares.

– La precocidad es mayor en los sustratos que en el enarenado, pero la cosecha decae en ellos en cantidad y calidad al final del ciclo de cultivo, al menos, en el invernadero donde se ha realizado el experimento. Por contra, el enarenado entra más tarde en producción, pero mantiene mayor regularidad en el rendimiento en y la calidad a lo largo del ciclo de cultivo.

– Los precios del tomate evolucionan positivamente con las calidades comerciales de la cosecha, pero no con su precocidad y permanecen insensibles a las diferencias observadas en la composición química de los frutos.

– Como consecuencia de lo anterior, los precios medios percibidos por la cosecha de los sustratos fueron, en la campaña 93/94, un 10% superiores a los del enarenado en el tratamiento con agua de buena calidad y un 17% en el de agua de mala calidad.

4. Rentabilidad y «externalidades» ambientales

– Los mayores ingresos por unidad de superficie que por lo general observan los sustratos frente al enarenado exigen también mayores gastos corrientes y de inversión. Iluminar esta situación contradictoria exige evaluar los proyectos de inversión correspondientes al enarenado y a los cuatro sustratos considerados, calculando las Tasas Internas de Rendimiento (TIR) y sacando conclusiones sobre su rentabilidad. Los resultados de este cálculo ofrecen las conclusiones que se detallan a continuación:

– No resulta rentable sustituir por sustratos un enarenado que esté sólo pendiente de la labor de retranqueo, salvo problemas de salinidad o sanitarios.

– Sólo resultaría rentable sustituir un enarenado por sustratos si estuviera necesitado de retranqueo y de aportación de arena, siempre y cuando se opte, en los sustratos, por el equipo de riego más barato de los dos considerados en la experiencia (no sería rentable la sustitución con el equipo más caro).

– Si la finca carece de suelo fértil interesa más introducir sustratos que implantar el enarenado con aportación de tierra.

– Las conclusiones enunciadas en los tres puntos anteriores son válidas tanto para el tratamiento con agua de buena calidad como con agua salina, aunque en este último caso mejora la situación relativa del enarenado dado que soporta mejor la salinidad del agua.

– Comparando la rentabilidad de los sustratos se observa que el sustrato A aventaja a los demás, seguido del B, excepto en el tratamiento con agua salina, con el que repunta la rentabilidad relativa de los sustratos B y C.

– El agua tiene un peso muy reducido en los gastos de cultivo de los sistemas estudiados, aunque el precio que pagan por ella los agricultores del Campo de Dalías, a las comunidades de regantes, sea muy superior al de otras zonas de regadío (en el experimento se ha aplicado un precio de 25 ptas/m³, que puede considerarse normal en la zona). El poco peso del agua en los gastos de cultivo (que oscila entre el 2,5 y el 3% llegando en el peor de los casos al 4%) se explica tanto por tratarse de sistemas muy intensivos y capitalizados, como porque hacen un uso relativamente eficiente del agua, tanto en términos físicos como monetarios, sobre todo si se compara con el regadío extensivo al aire libre.

– El punto anterior explica la escasa incidencia que su precio tiene en motivar prácticas de ahorro entre los agricultores: «el agua representa un porcentaje mínimo en los gastos de cultivo y, en consecuencia, los regantes no son sensibles al pequeño ahorro monetario que podría resultar de sus esfuerzos para mejorar el rendimiento del agua en campo»¹. Y la eficiencia en el uso del agua de los sistemas de agricultura intensiva estudiados hace que esta situación se mantenga incluso con precios del agua muy elevados (no resultaría razonable situar el precio del agua por encima de los costes de desalación e impulsión del agua del mar: con un precio a todas luces extremado de 200 ptas/m³ de agua de buena calidad, su importación oscilaría, en los sistemas estudiados, entre el 15 y el 30% de los gastos de cultivo, con lo que un ahorro del 5% originaría una reducción de los gastos próxima al 1%).

– Las conclusiones indicadas se apoyan en rentabilidades derivadas de precios de mercado que no reflejan las «externalidades» ambientales negativas originadas por los sistemas de cultivo. Para paliar esta carencia se han recalculado los índices de rentabilidad incluyendo entre los costes una estimación de las «externalidades» correspondientes al agua y a los residuos de los sustratos, que constituyen el elemento ambiental en el que más difieren los procesos de cultivo estudiados. La introducción de las «externalidades» indicadas mejora la posición relativa del enarenado, pero no llega a alterar las conclusiones indicadas sobre su comparación con los sustratos: cuando se carece de suelo agrícola sigue siendo más rentable introducir sustratos que implantar el enarenado. Lo cual indica que, en el caso que nos ocupa, el aumento del precio del agua o el pago por el traslado a vertedero de los residuos de los sustratos, no son los instrumentos adecuados para reorientar

¹ LÓPEZ-GÁLVEZ, J. y LOSADA, A., «El uso del agua para riego en Almería», en NAREDO, J. M. ed. (1996), *La economía del agua en España*, Madrid: Fundación Argentaria y Visor Dis (en prensa).

las decisiones de inversión hacia usos más eficientes y menos contaminantes del agua y de los materiales en general.

– La fuerte variabilidad de precios y rendimientos, que se observa entre los dos ciclos de cultivo considerados, induce a tomar con cautela la información obtenida sobre la rentabilidad absoluta de estos sistemas de cultivo. De ahí que hayamos centrado las conclusiones sobre las diferencias de rentabilidad que se producen entre ellos, para las dos campañas estudiadas, y no a extraer conclusiones generales sobre su rentabilidad frente a otros cultivos o actividades.

5. Tecnología apropiada y sostenibilidad local de los sistemas de cultivo

– Terminaremos reflexionando sobre dos conceptos que, pese a que están devaluados a fuerza de manejarlos de forma banal e imprecisa, parece oportuno incidir sobre ellos: son los de «desarrollo sostenible» y «tecnología apropiada». Cuando hablamos de la aplicación de una tecnología apropiada y de la consecución de un desarrollo sostenible, se sobreentiende que nos referimos a la aplicación de innovaciones que adaptan la producción a las características de una zona de manera que permiten el mantenimiento estable de sus recursos naturales. El uso eficiente (y poco contaminante) del agua constituye así el principal requisito de una tecnología apropiada a zonas áridas, capaz de asegurar en ellas la viabilidad a largo plazo de una agricultura de regadío. Porque lo mismo que una sentencia popular dice que «cualquier finca puede ser mejorada hasta la total ruina de sus propietario», también la tecnología puede «mejorar» la producción agraria de un territorio hasta provocar la total ruina de los ecosistemas que la sostienen.

– A pesar de que el medio natural cuenta en Almería con temperaturas relativamente suaves y con una insolación excelente, se hace difícil el aprovechamiento agrícola de determinadas áreas por condiciones edafoclimáticas extremadamente hostiles. Este es el caso del Campo de Dalías (lugar en el que se ha realizado el trabajo experimental) donde a la mala calidad de los suelos hay que añadir la extrema escasez e irregularidad de lluvias, determinante de sus pocos recursos hídricos superficiales.

– Hay que decir que la escasez de agua, en cantidad y calidad adecuada para los cultivos, ha constituido el principal factor limitante para el desarrollo de la agricultura en el Campo de Dalías. En efecto, la gran insolación y aridez de esa zona barrida por vientos fuertes y frecuentes, su escasez de suelo fértil y de aguas superficiales (acentuada por la permeabilidad de sus suelos) explica que fuera inviable en ella la agricultura. Sin embargo, el riego a partir de aguas subterráneas, la técnica de suelo (artificial) «enarenado» y la protección de los cultivos bajo plástico con el esta-

blecimiento de unos invernaderos muy simples, aportaron la «tecnología apropiada» para convertir en ventajas, para la agricultura, los inconvenientes antes mencionados. El invernadero tipo parral aseguró un mejor aprovechamiento de la insolación y la temperatura de la zona en favor de la fotosíntesis, al tiempo que sirvió para proteger del viento al cultivo y reducir la demanda evapotranspirativa; la permeabilidad del suelo e incluso el viento, permitieron, respectivamente, ahorrar en obras de drenaje y ventilar sin coste adicional los invernaderos; a la vez que la implantación del sistema de cultivo «enarenado», con riego por goteo, permitió aprovechar la abundancia de arena para hacer un uso eficiente de los dos factores más limitantes en la zona: agua y suelo de calidad. De esta manera se creó un microclima favorable que dio como resultado la mejora del rendimiento y de la precocidad de los cultivos, que ha venido compitiendo con técnicas de invernaderos más complejas y costosas desarrolladas en otras latitudes.

– Hay que subrayar que la realidad actual ha superado todas las previsiones cuando, hacia 1950, se inició el desarrollo de la agricultura intensiva de la zona. Este desarrollo se apoyó en los avances experimentados en las técnicas de explotación de acuíferos, de riego, de preparación de suelo «enarenado» y de cultivo. Aunque los nuevos sistemas de captación, distribución y aplicación de agua han conseguido rendimientos muy estimables en el uso de ésta en los cultivos, el gasto de agua sigue aumentando debido al crecimiento incontrolado de la superficie regada, ocasionando problemas de sobreexplotación y contaminación de los acuíferos que la alimentan, hoy amenazados por el fenómeno de la intrusión marina.

– La información experimental ofrecida en este trabajo denota el uso más eficiente y menos contaminante del agua por el cultivo enarenado, mayoritario en la zona, y permite concluir que su sustitución por el sistema de cultivo en sustrato, tal y como hoy se está planteando, agravaría notablemente el deterioro actual de los acuíferos, al acentuar tanto el uso consuntivo del agua como su contaminación por la lixiviación de agroquímicos (véase figura I.1).

– Sorprende que en los países norteyuropeos de clima húmedo que fueron pioneros en la técnica de cultivo en sustrato, se haya impuesto por razones ambientales la obligación de recircular el agua lixiviada de los mismos, mientras que no existe normativa al respecto en las zonas áridas de nuestro país. Sobre todo cuando en ellas se añade, a las mencionadas razones ambientales la propia escasez del agua como recurso, con los consiguientes problemas de agotamiento de acuíferos o de intrusión marina en los mismos. En estas condiciones, con técnicas poco eficientes en el uso del agua, se hacen más necesarias tales normativas.

– Cuando la precipitación aporta en un territorio mucha menos agua por unidad de superficie de la que precisa la agricultura, parece claro que

la sostenibilidad de ésta exige ligar su extensión (en relación con el logro de objetivos de ahorro y mejoras en el rendimiento productivo) a las posibilidades de recarga de los embalses superficiales o subterráneos disponibles. Lo cual requiere el diseño de políticas tecnológicas y de marcos institucionales adecuados para gestionar el agua en condiciones de escasez que, por desgracia, no han tomado cuerpo todavía en nuestro país. En suma se trata de establecer los medios para que las poblaciones implicadas puedan velar por la sostenibilidad de los sistemas agrarios, poniendo coto a la extensión de tecnologías y prácticas de cultivo contrarias a ella. Problemática ésta que queda fuera del presente trabajo.

– Dada su proximidad al mar, el principal problema que se deriva de la sobreexplotación de los acuíferos del «Campo de Dalías» es la intrusión marina. Lo que abriría la posibilidad de seguir manteniendo la agricultura de regadío en la zona mediante desalación del agua del mar, siempre y cuando la elevada eficiencia en el uso agrícola del agua lo hiciera técnica y económicamente viable. En cualquier caso esta salida encarecería los costes y redundaría en contra de la competitividad de la agricultura de la zona, además de infringir una pérdida patrimonial para las generaciones futuras. Lo que atenta contra la noción al uso de agricultura «sostenible» divulgada por el Informe Brundtland² como aquella que permite «satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas».

² *Nuestro futuro común*, Madrid: Alianza Ed., 1988.

CAPÍTULO II

RECOMENDACIONES

J. López-Gálvez y J. M. Naredo

1. Institucionales

– El que los aspectos hídricos, ambientales y territoriales sean más competencia de las administraciones que de los propios agricultores, no quiere decir que éstos hayan de permanecer insensibles a ellos. Antes al contrario, una buena gestión de los mismos exige establecer puentes institucionales entre ambos extremos y revitalizar la vida social de las organizaciones permitiendo llenar un vacío hoy evidente: por ejemplo, entre los agricultores y las comunidades de regantes, entre éstas y la junta de usuarios de un acuífero, o entre éstas y la confederación hidrográfica correspondiente.

– En cualquier caso, las instituciones encargadas de velar por la sostenibilidad de los sistemas agrarios, por la calidad del medio ambiente y por el territorio, han de regular con conocimiento de causa los mercados del suelo, del agua y demás productos y medios de producción agrarios. Pues habida cuenta que todo mercado ha de tomar cuerpo en un marco institucional, mejor será que este marco se diseñe de acuerdo con los recursos naturales y el territorio de la zona. La finalidad debe ser conseguir un uso apropiado y eficiente de los mismos, que revalorice a la vez la calidad ambiental y la de sus productos, temas éstos que merece la pena enunciar aunque escapen al contenido específico de la presente investigación, que se limita a aportar información sobre el comportamiento físico y monetario de los sistemas de cultivo estudiados.

– En lo que concierne al mercado de productos, cabe observar que la tendencia de los consumidores a valorar más los productos de la agricultura «biológica» o «ecológica» frente a la «química», podría aprovecharse en favor del enarenado en la medida en la que se resalte el elevado componente orgánico de este sistema de cultivo. En este sentido interesa avanzar también en el control de la sanidad de los cultivos eliminando o reduciendo y precisando el tipo de tratamiento aplicado, así como profundizar en el análisis de las diferencias observadas en el contenido de los frutos del

enarenado almeriense y de los sustratos en esta u otras zonas, a fin de cuidar y promover la calidad diferenciada de sus productos para establecer, llegado el caso, denominaciones de origen.

2. Relativas al uso del agua

– La menor eficiencia en el uso del agua que muestra el cultivo en sustrato, tal y como se está aplicando en la zona, con relación al enarenado, aconseja la implantación de una normativa que obligue, al menos, a recircular el agua en los sustratos, a fin de mejorar el rendimiento y reducir la contaminación del agua que en ellos se origina, aspecto éste esencial en zonas áridas.

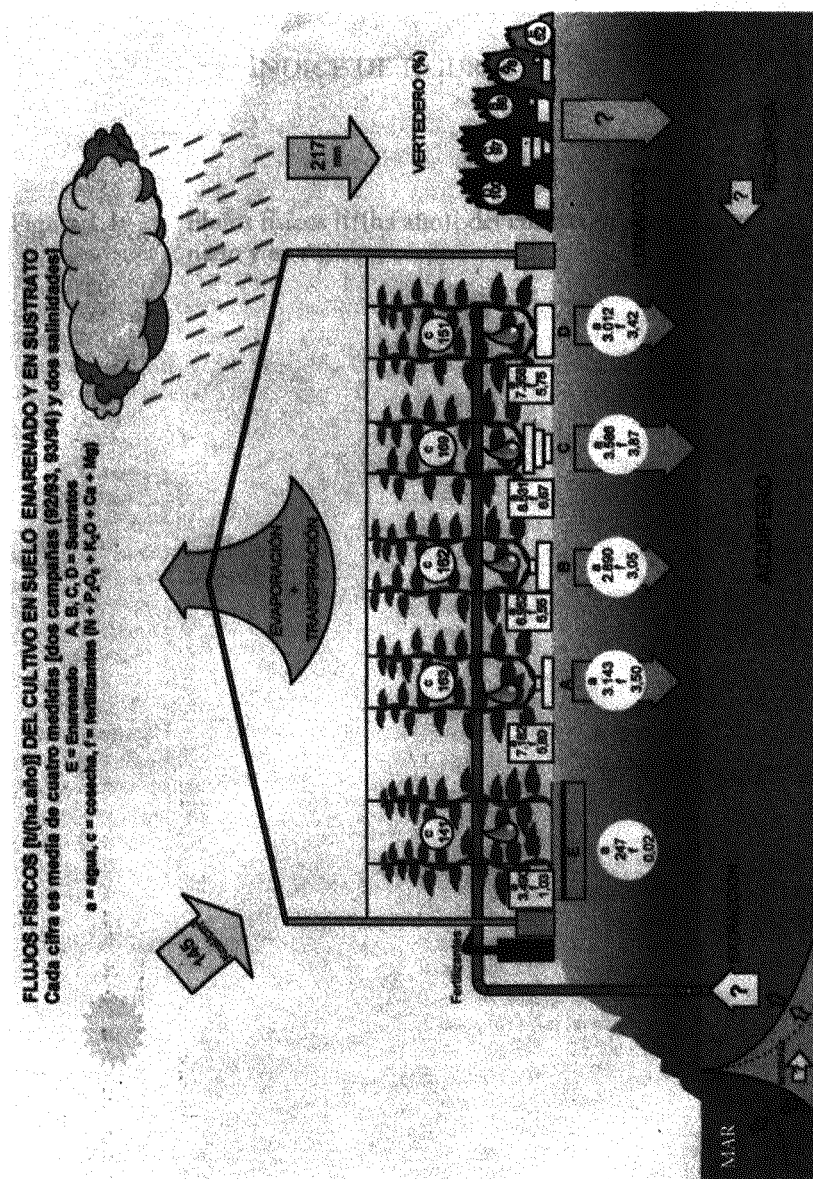
– En lo que concierne a los sustratos, además de la exigencia de recircular en ellos el agua, parecería razonable orientar la investigación, la normativa y la información en las dos direcciones siguientes tendentes a limitar su uso por razones ambientales. Una, apuntaría a evitar su extensión en áreas que ya disponen de suelo fértil en las que, como se ha indicado, resultan más dudosas las razones rentabilistas que apoyan su introducción. Otra, orientada a reducir las contaminaciones derivadas de la producción y el desecho de los propios sustratos, sustituyéndolos por la técnica del cultivo hidropónico, en sentido estricto, o por sustratos lo menos voluminosos posibles, ya que como se ha podido comprobar el sustrato de menor volumen (A) mostró un buen rendimiento productivo.

3. Relativas al ambiente y al territorio

– Hemos visto que el enarenado tiene un comportamiento globalmente más eficiente y menos contaminante que el cultivo en sustratos. Sin embargo, el enarenado requiere un tonelaje mucho más importante que los sustratos de recursos relativamente próximos a las zonas de cultivo (suelo, arena y estiércol). Por ello el cultivo enarenado reclama en mayor medida que los sustratos una política territorial que ordene tanto las extracciones de suelo y arena, como el mercado de estiércol o de compost requerido para asegurar su calidad. En caso contrario seguiremos asistiendo a una situación harto paradójica: estaremos en presencia de una agricultura de invernadero que (por ventajas climáticas y porque es capaz de cerrar mejor los ciclos de materiales) tiene un comportamiento más «ecológico» que la situada al norte de los Pirineos y sin embargo (por falta de política territorial) ofrece una imagen de deterioro ambiental mucho más grave.

– En cualquier caso, cabe advertir que un uso tan intensivo del suelo como el que impone la agricultura de invernadero, reclamaría una política de ordenación del territorio y un cuidado del paisaje mucho más estrictos que los actuales, si se quiere compatibilizar, no ya con el turismo, sino con la estética y habitabilidad más elemental.

Figura 1.1



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.1:	Flujos físicos [t/(ha año)] del cultivo en suelo enarenado y en sustrato	269
-------------	--	-----

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Acaricida	hídrico
Ácaro	térmico
Acetato de vinilo	Balancín
Acidez	Beneficio
Ácido húmico	Biomasa
Ácido fúlvico	Bomba dosificadora
Aditivo	Bromuro de metilo
Agente económico	
Agregación espacial y temporal	Cabeza del sistema de riego
Agricultura:	Cacharreo
biológica	Caja negra
forzada	Calandrado
química	Caldo
Agua:	Capacidad compensadora de agua
fácilmente utilizable	Características de los sustratos
difícilmente utilizable	Carga
de riego	Catión
Agua de drenaje	Caudal
Agua salina	Caudal nominal
Almería	Central hortofrutícola
Alternaria	Clima
Amortización	Clorado
Análisis económico	Coefficiente:
Análisis ambiental	de cultivo
Antigoteo	de déficit
Araña blanca	de gotero
Araña roja	de uniformidad
Arena	de variación
Asia	Coextrusión
Asimilabilidad	Colador
Aspiración directa	Coloide
Ayuntamiento	Compatibilidad
	Complejo de cambio
Bacteria	Composición de los frutos
Bactericida	Compostaje
Bacteriosis	Concentración salina
Balance:	Concentración
de nitrógeno	Conductividad eléctrica
de nutrientes o fertilizantes	Constante psicrométrica
energético	Contabilidad

Contaminación
Control:
 integrado
 químico
 sanitario
Copolímero de etileno
Corteza de pino
Cosecha:
 precoz
 total
 calibre
 aspecto
 calidad comercial
 precio
Coste:
 planta
 agua
 fertilizantes
 mano de obra
 productos fitosanitarios
 plástico
Coste-beneficio
Costes parciales
Crecimiento
Criptonol
Cuba
Cubierta asimétrica
Cucurbitácea
Cultivo hidropónico
Curva de gasto
Curva característica de humedad

Datalogger
Déficit
Densidad:
 aparente
 real
Depredador
Desarrollo sostenible
Desecho nuclear
Desinfección
Desinfectante de suelo
Despedregado
Diagnóstico
Dimensión:
 física
 monetaria
Dióxido de carbono
Diseño (experimental)
Distribución de gastos

Drenaje:
 perdido
 recirculado

Ecología
Economía-edafología
Economía ambiental
Económico
Ecuación funcional
Efecto:
 invernadero
 termoaislante
Eficacia (parcial)
Eficiencia
Ejercicio contable
Electrobombas
Elementos esenciales
Emisor:
 en el enarenado
 en los sustratos
Enarenado:
 implantación
 primer estrato
 segundo estrato
 tercer estrato
 cuarto estrato
Enfermedades
Equipo:
 de filtración
 de fertirriego
 de pulverización
 de tratamiento
Escorrentía superficial
Espolvoreadora
Espolvoreo
Estación agrometeorológica
Estado fenológico
Estructuras (invernadero):
 primera línea
 segunda línea
 tercera línea
Evaluación:
 agraria
 económica
 física
 financiera
Evaporación
Evapotranspiración:
 del cultivo
 de referencia

Evidencia empírica
Exceso
Exponente hidráulico
Experimento:
 diseño
 objetivo
 tratamientos
Externalidad (valoración)
Extracto de saturación
Extrusión soplada

Fábrica
Factor:
 de producción
 de rozamiento
 limitante
Fauna auxiliar
Fenología
Fertilidad
Fertilización:
 de fondo
 de lenta liberación

Fertirriego
Filtro
Fitotoxicidad
Flujo:
 de caja
 físico
 físico anual
 monetario
Fosforado
Fórmula de gasto
Fotoperíodo
Fracción de lavado
Francia
Fuerza de mercado
Función:
 de punto
 de producción
Fungicida

Gasto del gotero
Gestión
Giberelina
Gotero:
 autocompensante
 convencional
 de largo recorrido
 de orificio
 derivado
 interlínea

Herbicida
Hidrociclón
Hidroeléctrica
Hidroponía
Hidropónico
Holanda
Hongos:
 aéreos
 del suelo
Humedad relativa del aire

Impacto ambiental
Incidencia ambiental
Inercia térmica
Infiltración (velocidad)
Ingreso
Injerto:
 de aproximación
 de púa
Inmovilizado
Input
Insecticidas
 biológicos
Insectos
Inserción
Instalaciones fijas
Integral térmica
Intercambio iónico
Interés:
 compuesto
 de mercado
Intergeneracional
Intervalo de operación de regante
Inversión:
 alternativas
 coste
Inyector venturi
Iones
Islas Canarias

Japón
Justus von Liebig

Lana de roca
Lavoiser
Lepidóptero noctuido
Ley de mínimos
Ley de máximos
Ley de la entropía
Lisímetro

Lixiviación
 Lixiviado
 Lucha química
 Lucha biológica
 Llave

 Macronutrientes
 Malla
 Malla antitrip
 Manejo
 Manómetro
 Máquina de vapor
 Marco institucional
 Marruecos
 Masa atómica
 Materia activa
 Materia orgánica
 Materia prima
 Material:
 flexible
 rígido
 Material de cerramiento
 Material de cerramiento (característica)
 Material de cerramiento (propiedades):
 físicas
 ópticas
 químicas
 Material vegetal
 Medio ambiente
 Medio físico
 Medios culturales
 Mercado
 Metacrilato
 Método:
 de producción
 hidrológico
 micrometeorológico
 Penman-FAO
 radiación-FAO
 tanque clase a-FAO
 Metodología de análisis
 Micronutrientes
 Microtubo
 Mildiu
 Minador
 Mosca blanca
 Motor eléctrico
 Multicapa
 Murcia

 Nebulización
 Nebulizador térmico
 Necesidades de riego
 Necesidades hídricas
 Nematicida
 Nematodo
 Nuclear

 Obturación
 Oidio
 Oidiopsis
 Ordenación del territorio

 Parasitoide
 Patógeno
 Patrimonio
 Pérdidas
 Pérdidas de carga
 Perfil
 Perlita
 Peso:
 del enarenado
 de los sustratos
 Piretroides
 Plagas
 Plantas:
 de día corto
 de día largo
 Plazos de seguridad
 Plusidos
 Poda de:
 berenjena
 melón
 pimiento
 pepino
 tomate
 • Poder tampón
 Policarbonato
 Policloruro de vinilo
 Poliéster
 Polietileno:
 larga duración
 normal
 termoaislante
 Poliolefina
 Porosidad
 Potencial:
 hídrico
 osmótico
 Precio

Precipitación
 Presión:
 en cabeza
 nominal
 Principio de conservación
 Problemática ambiental
 Proceso:
 de fabricación
 productivo
 Producto:
 fitosanitario
 químico
 sistémico
 Programación de la fertilización:
 en el enarenado
 en los sustratos
 Programación del riego:
 en el enarenado
 en los sustratos
 Programador
 Pulgonos
 Pulverización
 Pulverizador

 Quebranto:
 patrimonial
 Quelato

 Radiación:
 solar
 infrarroja de onda larga
 infrarroja de onda corta
 interceptada
 ultravioleta
 Ramal portagoteros
 Ratios de:
 contaminación
 rendimiento

 Receta
 Rectangularidad
 Recursos:
 naturales
 disponibles
 Recursos por unidad de cosecha
 Red de riego
 Red de distribución
 Régimen de circulación
 Regulador de presión
 Relación agua-aire
 Relación C/N

 Rendimiento:
 de aplicación
 físico
 general
 Rentabilidad financiera
 Repicado
 Reposición (coste)
 Residuo artificial
 Residuos por unidad de cosecha
 Resistencias
 Resultado de riego
 Retranqueo
 Retribución
 Revalorización
 Revolución verde
 Riego deficitario
 Riego localizado
 Riego
 Rígidos
 Riqueza
 Rocas volcánicas
 Rotación de cultivos
 Rotámetro
 Roturado

 Saquillo
 Sector:
 productivo
 agrario
 Semillero
 Sensor lineal de radiación
 Siembra directa
 Sistema:
 de explotación
 radical
 agrario moderno
 agrario tradicional
 de riego
 Sobreexplotación
 Solanácea
 Solarización
 Solubilidad
 Solución nutritiva:
 macroelementos
 madre
 microelementos
 salina
 Subsector
 Suelo aportado
 Suministro de agua
 Sustrato

Tanque:
 fertilizador
 de fertirriego
 Tasa interna de rendimiento
 Tecnología apropiada
 Temperatura del aire
 Temperatura biológica
 Térmica
 Termodinámica
 Tiempo de riego
 Tipo de interés
 Tipo laberinto
 Toma
 Transacción mercantil
 Transferencia de calor
 Transmisividad
 Transparencia
 Transpiración
 Trasplante
 Tratamiento (experimental)
 Trips
 Tubería:
 principal
 secundaria
 terciaria

Turba
 Turbidez
 Tutorado
 Unidad de riego
 Unidad de gestión
 Unión Europea
 Valencia
 Valor actual neto
 Valor añadido
 Valor actualizado
 Valoración monetaria
 Variable de operación
 Vasates del tomate
 Vectores
 Ventilación cenital
 Venturis (succión en venturis)
 Vermiculita
 Viabilidad
 Vida útil
 Vidrio
 Viento
 Virosis
 Virus

SÍMBOLOS UTILIZADOS

A Sección de salida e identificación del sustrato.
 Å Angstron.
 A.D.U. Agua difícilmente utilizable.
 A.F.U. Agua fácilmente utilizable.
 AV Acetato de vinilo.
 B Identificación del sustrato.
 °C Grado centígrado.
 C Identificación del sustrato.
 c Factor de corrección.
 C.C.A. Capacidad compensadora de agua.
 Cd Coeficiente de déficit.
 C_d Coeficiente de gasto o de desagüe.
 CE Conductividad eléctrica.
 CEa Conductividad eléctrica del agua de riego.
 CEe Conductividad eléctrica del extracto de saturación.
 cm Centímetro
 C/N Relación carbono nitrógeno.
 CU Coeficiente de uniformidad.
 CuYV Virus del amarilleamiento del pepino.
 Cv Coeficiente de variación de fábrica.
 cv Cultivar.
 D Drenaje o ascenso capilar, diámetro e identificación del sustrato.
 Da Densidad aparente.
 Dr Densidad real.
 DPV Déficit de presión de vapor.
 E Identificación enarenado.
 Eo Evaporación.
 e_d Presión actual de vapor.
 e_s Presión de saturación de vapor.
 eq Equivalente.
 ET Evapotranspiración.
 ETc Evapotranspiración del cultivo.
 ET_o Evapotranspiración de un cultivo de gramíneas.

ETr	Evapotranspiración de un cultivo de alfalfa.
EVA	Etileno y acetato de vinilo.
F	Recursos.
f	Factor de rozamiento.
g	Constante gravitatoria y gramo.
ha	Hectárea.
HR	Humedad relativa.
hf	Pérdida de carga.
hp	Caballo de vapor.
I	Pérdidas.
i	Tipo de interés.
IRC	Radiación infrarroja de onda corta.
IRL	Radiación infrarroja de onda larga.
j	Año correspondiente al flujo de caja.
°K	Grado Kelvin.
K	Capital monetario.
k	Coefficiente de gotero.
k ₁	Constante de proporcionalidad.
Kc	Coefficiente de cultivo.
kg	Kilogramo.
kep	Kilogramo equivalente de petróleo.
km	Kilómetro
Kp	Factor de corrección del tanque.
kW	Kilowatio
kpa	Kilopascal.
L	Medida de longitud y medida de volumen (litro).
LD	Larga duración.
m	Metro.
mca	Metro de columna de agua.
meq	Miliequivalente.
mg	Miligramo.
mmol	Milimol.
MNSV	Virus del cribado del melón.
N	Máximas horas posibles de sol y agua de conductividad eléctrica de 0,5 dS/m.
n	Horas reales de sol y años de vida útil.
nm	Nanómetro.
NRB	Necesidades de riego brutas.
N/14	Normalidad dividido por 14.
P	Precipitación, presión atmosférica y productos.
p	Presión del agua.
Pm	Peso molecular.
PAR	Radiación fotosintéticamente activa.

PC	Policarbonato.
PE	Polietileno.
PMM	Metacrilato.
PP	Polipropileno.
P/P	Peso a peso.
ppm	Partes por millón.
Pt	Platino.
ptas	Pesetas
PVC	Policloruro de vinilo.
PVY	Virus Y de la patata.
PMMV	Virus del moteado suave del pimiento.
Q	Caudal, calor y peseta actual.
Q _n	Caudal nominal.
R	Agua de riego y residuos.
R	Número de Reynolds.
Ra	Rendimiento de aplicación.
Rb	Radiación neta de onda larga.
RCI	Regulador del crecimiento del insecto.
RL	Fracción de lavado.
Rn	Radiación neta.
Rs	Radiación solar.
R ₁ , R ₂ , ..., R _n	Flujos de caja.
S	Escorrentía superficial y agua de conductividad eléctrica de 3,0 dS/m.
s	Desviación típica.
SqMV	Virus del mosaico de la calabaza.
tep	Tonelada equivalente de petróleo.
T	Temperatura.
TIR	Tasa interna de rendimiento.
TMV	Virus del mosaico del tabaco.
ToMV	Virus del mosaico del tomate.
TSWV	Virus del bronceado.
TYLCV	Virus de la cuchara del tomate.
U	Velocidad media de flujo.
U ₂	Velocidad del viento a 2 m de altura.
U _d	Velocidad del viento durante el día.
U _n	Velocidad del viento durante la noche.
U.F.	Unidad fertilizante.
UV	Ultravioleta.
VAN	Valor actual neto.
Vb	Volumen de agua aportado.
Vd	Volumen deficitario.
Vi	Aportación del gotero i.

Vn	Volumen útil.
Vp	Volumen perdido.
Vr	Volumen requerido.
W	Watio y contenido de agua en suelo.
WMV-2	Virus del mosaico de la sandía-2.
x	Exponente de la fórmula de gasto de gotero.
ZYMV	Virus del mosaico del calabacín.

Otros símbolos

α	Albedo.
γ	Constante psicrométrica.
Δ .	Variación.
Δ	Inclinación de la curva de presión de vapor.
λ	Calor latente de vaporización.
μ	Micra.
ν	Viscosidad cinemática.
ρ	Densidad absoluta.
σ	Constante de Stefan-Boltzmann.
%	Por ciento.
$\varnothing$	Diámetro

DEFINICIONES

Ácidos fúlvicos

Es la fracción soluble en ácido y base. Tienen bajo peso molecular y un contenido mayor en grupo carboxilo. Son solubles en agua y tienen, en parte, propiedades reductoras y complejantes.

Ácidos húmicos

Es la fracción que, siendo soluble en álcali, precipita en medio ácido. Son poco solubles en agua y forman compuestos poco solubles con cationes polivalentes. Tienen mayor grado de polimerización, mayor peso molecular, menor acidez total, menor capacidad de intercambio catiónico, porcentajes de C y N superiores y menor porcentaje de H y O que los fúlvicos.

Albedo

Relación entre la radiación de onda corta recibida en la superficie de la tierra por un cuerpo (suelo, vegetación, mar, nieve, etc.) y las que refleja dicho cuerpo.

Angstrom

Unidad de longitud equivalente a 10^{-10} metros.

Cacharreo

Es una forma de aplicación de los productos fitosanitarios. Consiste en aplicar, sin presión, un caldo fitosanitario (compuesto por productos mezclados con agua), que se aporta en la parte de la planta próxima al suelo.

Calor

De condensación: calor liberado por la unidad de masa de una sustancia al pasar, a presión y temperatura constante, del estado gaseoso al líquido.

De evaporación: calor que debe suministrarse a una sustancia determinada, a presión y temperatura constante, para que pase de estado líquido al gaseoso.

Propagación por conducción: se establece en los sólidos y los líquidos como consecuencia de una diferencia de temperatura entre los cuerpos o parte de un mismo cuerpo. Consiste en un transporte de energía que se realiza de molécula a molécula como consecuencia de la agitación cinética.

Propagación por convección: se da únicamente en fluidos. Cuando un sólido caliente se sumerge en un fluido se producen en éste cambios de densidad que dan lugar a flujos de corriente. Tales flujos trasladan la energía calorífica de un punto a otro de la masa fluida. En este tipo de propagación, el transporte de energía se realiza solidariamente con un transporte de masa. La convección puede ser debida solamente a diferencias de densidad en la masa fluida, o bien obedecer a la acción de fuerzas exteriores.

Propagación por radiación: todos los cuerpos, por encima de la temperatura cero absoluto, emiten energía en forma de radiaciones electromagnéticas, no precisando de ningún vehículo material para su transporte. La energía se emite principalmente en ondas de longitud larga (emisión infrarroja).

Ciclo del agua (llamado hidrológico)

Circulación del agua por escorrentía, desde montañas y valles, hacia ríos, lagos y mares; por evaporación, desde masas de agua libre y desde superficies húmedas, hacia la atmósfera; y, por precipitación, desde las nubes, de nuevo hacia masas superficiales. Este agua que precipita se puede integrar a las que escurren, en su camino hacia ríos, lagos o mares, bien directamente bien mediante su propia escorrentía, pero también puede hacerlo, previa infiltración, tras su paso a través de poros, vanos o resquicios de acuíferos que alimentan manantiales.

Coefficiente de cultivo

Relación entre la evapotranspiración del cultivo (ETc) y la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo o ETr).

Coefficiente de déficit

Es la fracción representada por el volumen de agua no aplicado, pero requerido y el volumen total requerido.

Coefficiente de tanque

Relación entre la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo o ETr) y la pérdida de agua por evaporación en el tanque (Eo).

Coefficiente de uniformidad

Indica la regularidad con que el sistema de riego distribuye el agua en el campo de cultivo. Uno de los indicadores de esta magnitud es el coeficiente de uniformidad de Christiansen.

Compostaje

Es un proceso de biooxidación de la materia orgánica en el que tiene lugar su mineralización y humificación. Los residuos orgánicos biodegradables se transforman en sustancias húmicas estabilizadas. La legislación vigente en España define como *compost* a todo producto final obtenido por fermentación de residuos orgánicos que cumplen con las especificaciones que se señalan en la O.M. de 10 de junio de 1970 B.O.E. de 20 de junio de 1970 y que son las que siguen:

Materia orgánica (en % sobre materia seca) > 25.

Nitrógeno orgánico (en % sobre materia seca) > 0,5 (80% insoluble en agua).

Límite de humedad 40%.

Condensación

Proceso por el cual el agua contenida en la atmósfera en estado de vapor pasa a estado líquido. Consiste en la agrupación de moléculas hasta que el conjunto resultante presenta las propiedades del agua líquida. Este proceso va acompañado de liberación de calor latente.

Conductividad eléctrica

Es una forma de expresar la salinidad de una solución. Una solución conduce la electricidad tanto mejor cuanto mayor sea su concentración en sales. Esta propiedad se aprovecha para medir la salinidad en términos de conductividad eléctrica. Se fundamenta en la resistencia eléctrica de un conductor que viene definido mediante la ecuación:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Siendo:

ρ = resistividad eléctrica.

L = longitud del conductor.

S = sección del conductor.

La conductividad eléctrica (C.E.) es la inversa de la resistividad (ρ).
Las unidades más empleadas son: milimho/cm = decisiemen/m.

$$C.E. = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{R} \times \frac{L}{S}$$

Conductividad hidráulica

Intensidad de filtración por unidad de área y por unidad de gradiente hidráulico (o de pendiente motriz).

Clasificación de agua (C_2 - S_1)

C_2 = agua de salinidad media, apta para el riego.

S_1 = agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos (Normas de Riverside. Clasificación de las aguas de riego).

Ecuación funcional

Es aquella que establece la correspondencia entre dos variables que son funciones, de forma que a cada número de la considerada independiente corresponda al menos uno de la segunda. Su ámbito de estudio no es el campo numérico que abarca una función aislada, sino toda una colección de funciones caracterizadas por una u otra propiedad; por ejemplo, todas las curvas que sobre una superficie engendra un determinado movimiento mecánico o, en el caso que nos ocupa, todas las funciones de producción de tomate. La versión geométrica de tal colección de funciones escapa del espacio euclidiano para constituir lo que se denomina espacio funcional.

Espacio euclidiano y función de punto

Así se llama a los espacios ordinarios de dos o tres dimensiones, compuestos por puntos representables en coordenadas cartesianas, por dos o tres números (x,y) o (x,y,z) respectivamente. Cada punto relaciona dos o más números y esta relación puede ser objeto de representación geométrica o analítica a través de una función que, al ser representable por uno o más puntos, se denomina función de punto del espacio euclidiano. Esta noción de espacio se puede generalizar para n dimensiones, estando constituido por todos los puntos de n números ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) donde se pueden representar mediante funciones ordinarias, que relacionan números, determinados conjuntos de puntos o de distancia entre ellos.

Elemento asimilable

Un elemento es «asimilable» cuando se encuentra en estado soluble en la disolución del suelo, o cuando está incorporado en forma cambiable en el complejo adsorbente y son liberados progresivamente en las soluciones del suelo, mediante un fenómeno de cambio de iones. Este elemento está disponible para ser tomado la planta.

Equivalente gramo

Es la cantidad de masa atómica de un átomo o de masa molar de un radical iónico, expresada en gramos, dividida por la valencia del átomo o radical. El miliequivalente es la milésima parte del equivalente gramo.

Ej: eq $Ca^{2+} = 40,08/2 = 20,04$ g Ca^{2+} 1meq $Ca^{2+} = 20,04$ mg Ca^{2+}

Escorrentía

Agua que discurre por la superficie, fuera de un área determinada, en un cierto tiempo, como balance de la precipitación (o riego), de la infiltración y de la evaporación.

Evaporación

Proceso físico por el que un líquido pasa a estado gaseoso.

Evapotranspiración

Se refiere tanto al agua evaporada desde el suelo como a la transpirada en la parte aérea de las plantas. Es identificado como uso consuntivo útil, ya que contribuye a satisfacer una función de los cultivos necesaria para producir.

Evapotranspiración del cultivo

Es la demanda evapotranspirativa de un cultivo exento de enfermedades, en óptimas condiciones de suelo, agua y nutrientes para que alcance su máximo potencial productivo.

Evapotranspiración de referencia

Es la evapotranspiración de un cultivo tipificado, de gramíneas (ET_o) o de alfalfa (ET_r), donde ésta sólo condicionada por factores meteorológicos. Su estimación se basa en expresiones empíricas que relacionan todas o parte de las variables climáticas o en su relación con la evaporación desde una superficie libre de agua.

Fertirriego ó fertirrigación

Aportación de los elementos fertilizantes con agua de riego.

Fetch

Distancia o espacio de terreno medido en la dirección del viento, desde el lado o punto de referencia hasta el tanque.

Filtración

Paso del agua a través de materia porosa.

Fracción de lavado de sales

Mínima cantidad de agua a aplicar para mantener en el suelo una determinada concentración de sales.

Humus

Es la totalidad de materias orgánicas que, por ser difícilmente degradables, se acumulan en el suelo, después de un conjunto de descomposiciones y transformaciones químicas y bioquímicas. Tienen alto peso molecular y presentan colores generalmente oscuros. Para su extracción del suelo y su fraccionamiento se emplean tres tipos de reactivos: neutros, alcalinos y ácidos.

Infiltración

Introducción de agua de lluvia o de riego entre los poros del suelo, como proceso hidrológico opuesto a la escorrentía que da lugar a flujo subterráneo.

Intercambio iónico

Los materiales constitutivos del suelo pueden encontrarse en estado disperso o floculado (arcilla y humus), la presencia de cargas negativas en su superficie hace que cada partícula se rodee de un número de cationes que están en equilibrio con los iones de la solución, compensado total o parcialmente los elementos que absorbe la planta. Igual sucede con los aniones. Al conjunto de estos procesos se designa con el nombre de intercambio iónico. Tiene influencia sobre las propiedades físico-químicas del suelo, en la nutrición de las plantas, en las enmiendas y en el modo de retener los fertilizantes aportados.

Invernadero pasivo

Se ha denominado así a aquellos invernaderos que no cuentan con aporte energético externo para modificar sus condiciones ambientales.

Ley de máximos y ley de mínimos

La *ley de mínimos*, con referencia a la nutrición de las plantas, presupone que su desarrollo está afectado por algún 'factor limitante' que se debe identificar, en cada caso, para poderlo suplir con una adecuada fertilización. Esta idea se extendió a mediados del siglo pasado con los trabajos de

Liebig y Boussingault, que estaban orientados a identificar las extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio de las plantas con el fin de reponerlos en la reserva del suelo. El avance de la agronomía permitió ampliar el anterior enfoque y, además, de los macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S), consideró los micronutrientes. La conveniencia de mantener equilibrios entre los distintos elementos empezó a tenerse en cuenta y se advirtió que cuando la presencia de algunos macro o micronutrientes superan determinados umbrales, son tóxicos para las plantas, llegando incluso a contaminar los suelos y las aguas. Ante esta problemática es evidente la necesidad de establecer una *ley de máximos* que pongan techo a la aportación de fertilizantes para conseguir, no sólo el buen desarrollo de las plantas, sino para evitar también daños ambientales.

Masa atómica o masa molar

Se expresa en gramos. Es la masa de $6,02 \times 10^{23}$ átomos o moléculas (Nº de Avogadro).

Ejemplo: La masa de un átomo de $K^+ = 39,102$. La masa de una molécula de $K_2O = 94,203$ (es la suma de los pesos atómicos en la molécula, tiene dos átomos de potasio cada uno de los cuales tiene un peso de 39,102 y un átomo de oxígeno que tiene un peso atómico de 16: $39,102 \times 2 + 16 = 94,203$).

Materia activa

El producto fitosanitario está formado por distintos compuestos, denominándose materia activa a la sustancia específica que actúa contra la plaga o enfermedad determinada.

Milimoles o micromoles

La masa de un milimol es igual a la masa atómica del átomo o la masa molar de un radical expresada en miligramos.

Necesidad o requerimiento de lavado

Se aplica al manejo idóneo de un agua de riego determinada para un cultivo dado, y se define como la fracción entre el volumen de agua consumida por el cultivo y el volumen mínimo de agua total del riego que se aplica con el objeto de mantener en el suelo una salinidad que no produzca reducción en los rendimientos del cultivo en cuestión. Por tanto, es la fracción mínima de lavado para obtener rendimientos del cultivo no afectados por la salinidad del suelo.

Necesidades de riego brutas

Se refiere a la aportación de agua que el cultivo consume por ET más la requerida para mantener una salinidad en el suelo que no reduzca los rendimientos del cultivo.

Partes por millón (ppm)

Expresa los miligramos de una sustancia considerada por cada litro de agua, es decir, es una relación de masa/volumen.

Poder tampón

Se denomina poder tampón o amortiguador del suelo a la resistencia que presenta a modificar su pH cuando se le añaden ácidos o bases. Esta propiedad permite mantener el pH dentro de límites muy estrechos, evitando modificaciones radicales. Está directamente relacionado con su contenido coloidal y con la capacidad de intercambio que posea: cuanto mayor sea ésta, mayor será su poder de amortiguación (húmico>arcilloso>franco>arenoso).

Porosidad

Una consecuencia importante de la estructura del suelo es el espacio que queda entre los agregados y entre las partículas dentro de los mismos. Estos espacios, llamados poros, forman, en su conjunto, el espacio total del suelo disponible para el agua y el aire. A este espacio total se le denomina porosidad.

Precipitación

Caída de agua como lluvia, nieve, granizo o rocío. Suele ser expresada como altura o volumen por unidad de superficie.

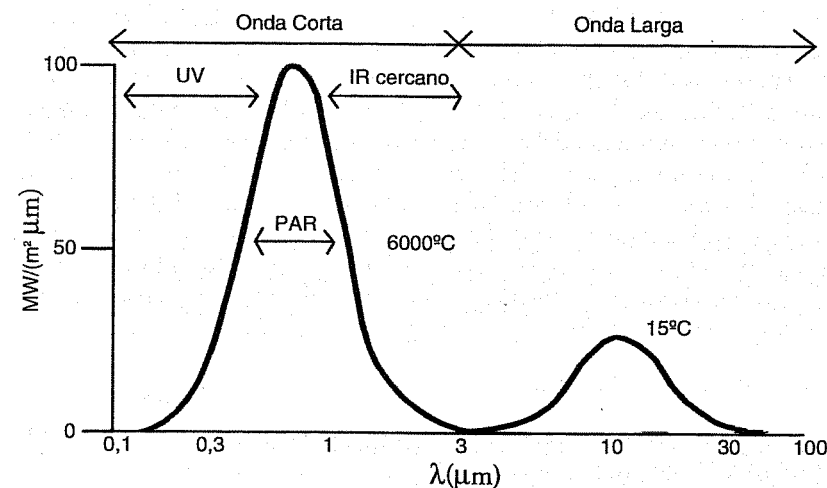
pH

Es un indicador de la presencia de H^+ en el complejo absorbente o en la solución del suelo. En éstos suele oscilar entre 3 y 11. El pH del suelo condiciona de forma decisiva, no sólo la vida de los microorganismos y de los procesos en los que ellos intervienen, sino también en la mayor o menor asimilación de muchos elementos esenciales para la planta, y en la de otros que en determinadas concentraciones pueden resultar tóxicos y producir graves alteraciones. Así, a pH inferior a 6,5 el hierro y el aluminio se encuentran solubilizados tanto más cuanto menor es este valor y provoca la precipitación del fósforo; cuando su valor se encuentra entre 6,5-7 la utilización del fósforo es máxima, valores superiores a 7,5 provocan la precipitación del calcio.

Radiación Solar.

El Sol emite, continuamente, radiación de onda corta fuera de la atmósfera con un valor medio de 1360 W/m^2 (Constante Solar). En la proximidad del suelo, dicha radiación se reduce a consecuencia de la absorción y reflexión que produce la atmósfera.

La tierra emite radiación de onda larga. Como un cuerpo negro que emite radiación infrarroja alcanzando el máximo (para 15°C) a una longitud de onda de $10 \mu\text{m}$. La mayor parte de dicha radiación es absorbida por los gases existentes en la atmósfera (principalmente vapor de agua y dióxido de carbono), quedando una franja de longitud ($7 - 14 \mu\text{m}$) donde la absorción es escasa, denominada *ventana de la atmósfera*.



Radiación ultravioleta

Radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre $4.000\text{\AA}$ y $50\text{\AA}$. Abarca desde el límite de la luz visible hasta los rayos X.

Relación C/N

Índice que informa sobre la riqueza en nitrógeno del humus, que puede variar bastante, a la inversa del contenido en carbono de la materia orgánica del suelo, que sólo varía dentro de pequeñas proporciones. La significación práctica de este índice es muy diferente, según el horizonte o el tipo de materia orgánica considerado. Para la materia orgánica fresca indica, aproximadamente, la capacidad mineralizadora anual del nitrógeno, siendo ésta tanto más elevada cuanto más bajo es C/N.

En humus débilmente transformados y no incorporados al suelo mineral, la relación C/N informa sobre su actividad, es decir, el tanto por ciento de nitrógeno susceptible de mineralizarse anualmente (por encima de 30, esta actividad es casi nula y aumenta progresivamente cuando la relación C/N desciende hasta alcanzar un valor próximo a 20).

En humus transformados este índice indica la actividad biológica 'global' que puede dar lugar, según las estaciones, tanto a procesos de reorganización del nitrógeno y de humificación como de mineralización de este elemento.

Relación de aireación

El oxígeno es indispensable tanto para la respiración de las raíces de las plantas como para la de los microorganismos. La circulación del oxígeno de la atmósfera del suelo es tanto mejor cuanto mayor es el volumen de poros gruesos. En suelos con poco contenido en agua, los poros llenos de aire están interconectados de forma que el flujo de masa y la difusión hacen que la composición del aire del suelo sea parecida a la del aire atmosférico. Con la humectación del suelo los poros llenos de aire se llenan de agua y la conexión con la atmósfera se hace más difícil. En estas condiciones la actividad respiratoria de las raíces y de los organismos del suelo hace que el oxígeno inicial sea sustituido, en parte, por anhídrido carbónico, cuya proporción suele aumentar en profundidad (casos de encharcamiento prolongado la sustitución del O_2 por el CO_2 puede ser casi total).

Rendimiento de aplicación

Es la fracción representada por el agua útil en relación con la recibida en cabeza de cantero o unidad de riego.

Rendimiento de conducción

Es la relación entre las aportaciones de agua en cola y en cabeza.

Repicado

Consiste en la operación de trasplante realizada en el semillero, que se efectúa para dotar a las plantas de mayor volumen de cepellón y/o de más espacio entre ellas.

Retranqueo

Operación que se hace en el enarenado y consiste en aportar la arena e incorporar 10 kg/m^2 de estiércol, la mitad se aporta al suelo y el resto se extiende encima, formando una capa de unos 2 cm, colando a continuación la arena.

Riego deficitario

También llamado parcial u óptimo se fundamenta en la aplicación de liberada de una aportación de riego inferior a la de referencia.

Solución madre

Mezcla de nutrientes utilizada para fertilizar los cultivos, empleada en programas de fertirriego.

Tanque evaporimétrico clase A

Es un tanque cilíndrico fabricado en hierro galvanizado de 121 cm de diámetro y una profundidad de 25,5 cm. El tanque se coloca sobre una plataforma horizontal abierta formada por listones de madera, quedando a una altura total sobre el suelo de 41 cm. El nivel de agua dentro del tanque debe variar entre 5 y 7,5 cm del borde. La medida del agua evaporada se realiza con un tornillo micrométrico donde se puede apreciar hasta una décima de milímetro.

Tasa interna de rendimiento (TIR)

Es el tipo de interés al que el proyecto es capaz de remunerar el capital invertido en su puesta en marcha de modo que actualizando el valor de los ingresos netos del proyecto con ese tipo de interés, este valor coincida con el de la inversión, obteniéndose así un VAN nulo.

Termodinámica

Rama de la física que se ocupa de estudiar los fenómenos relacionados con la energía. Esta se define como *una abstracción matemática que no tiene existencia aparte de su relación funcional con otras variables o coordenadas que tienen una interpretación física y pueden medirse*. Así, las distintas manifestaciones de la energía se relacionan, a través de la teoría de la medida, con los 'patrones' del Sistema Internacional (SI) de unidades, sobre el que se apoya la ciencia cuantitativa. Estas unidades son el kilogramo, el metro, el segundo, el amperio, el kelvin, la candela y el mol. La relación entre estas unidades (p.e.: la capacidad para desplazar un kilogramo un metro en un segundo) permite medir la energía disponible en un sistema en forma de trabajo, electricidad, luz, diferencias de temperatura,... y establecer la conexión formal entre tales manifestaciones de la energía. Hay que subrayar así que, como ocurre en otras ramas de la física, el objeto de estudio de la termodinámica resulta de la aplicación de su propia estructura conceptual y no de definiciones explícitas arcaicas que, por ejemplo, la definían como la disciplina que se ocupa del calor (término éste que curiosamente carece hoy de contenido científico, al referirse implícita e imprecisamente

a ciertas temperaturas con relación a algún referente, como puede ser el cuerpo humano). El armazón teórico de la termodinámica descansa sobre cuatro principios, de los que los dos primeros son los más importantes, que podemos resumir de la siguiente forma:

El *Primer principio* de la Termodinámica, también conocido como *ley de conservación de la energía*, postula que la energía no se crea ni se destruye, sino que solamente se transforma. Principio que permite recurrir a la técnica del balance para completar con la estimación de saldos las mediciones directas en el seguimiento de las transformaciones de la energía.

El *Segundo principio* de la Termodinámica, también conocido como *ley de la entropía*, viene a indicarnos el sentido hacia el que fluye la energía, indicando que todas sus transformaciones conllevan pérdidas de calidad: la cantidad de energía se conserva en sus transformaciones, pero la energía útil o disponible tiende siempre a disminuir. Este principio nos sitúa ante el problema insalvable de la escasez económica, al negar la posibilidad del movimiento perpétuo y otras quimeras que ofrecía la esperanza, e incluso la fe, en que los logros técnico-científicos podrían algún día desterrar definitivamente el fantasma de la escasez económica.

Transpiración

El proceso por el cual el agua es transferida por la planta como vapor a la atmósfera.

Valencia

Es el número de electrones que un átomo o radical puede dar o tomar a otro elemento o radical para formar un determinado compuesto. Se simboliza por los signos + ó -; el número de signos que sigue al radical indica la valencia.

Ej: Na^+ , K^+ son monovalentes; Mg^{2+} , SO_4^{2-} son divalentes.

Valor actual neto

Llamado también plusvalía o valor capital de la inversión, es el resultado de restar el importe de la inversión a la suma de los ingresos netos o flujos netos de caja, convenientemente actualizados, que se genera a lo largo de la vida del proyecto. Al expresar la ganancia neta actualizada, un VAN mayor que cero indica que el proyecto es financieramente viable, para el tipo de interés aplicado en la actualización, y resultaría tanto más interesante cuanto mayor fuera el valor del VAN.



1. *Hacia una estrategia española de competitividad*
Álvaro Espina Montero

2. *La economía española en un escenario abierto*
Varios autores

3. *El empleo en España y Europa.*
Un análisis comparado por sectores
Centro de Estudios Económicos Fundación Tomillo



1. *Desigualdad y clases sociales.*
Un seminario en torno a Erik O. Wright
Varios autores

2. *Pensar la igualdad y la diferencia. Una reflexión filosófica*
Manuel-Reyes Mate (ed.)

3. *Las desigualdades en España. Síntesis estadística*
Varios autores

4. *Perspectivas teóricas y comparadas de la igualdad*
Varios autores

5. *Pobreza, necesidad y discriminación*
Varios autores

6. *La desigualdad de recursos*
Varios autores

7. *Las políticas redistributivas*
Varios autores



1. *Los principios de la economía ecológica*
Joan Martínez Alier (ed.)
2. *Economía de los recursos naturales: un enfoque institucional*
Federico Aguilera Klink (ed.)
3. *La Ley de la Entropía y el proceso económico*
Nicholas Georgescu-Roegen
4. *La fertilización en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica*
Ramón Garrabou y José Manuel Naredo (eds.)



1. *Mecenazgo y conservación del patrimonio artístico:
reflexiones sobre el caso español*
Varios autores
2. *Palacios Reales en España.
Historia y arquitectura de la magnificencia*
Varios autores