

Los invernaderos de Almería

Análisis de su tecnología y rentabilidad

Serie **Economía** [21]

Los invernaderos de Almería

Análisis de su tecnología y rentabilidad

Diego Luis Valera Martínez
Luis Jesús Belmonte Ureña
Francisco Domingo Molina Aiz
Alejandro López Martínez

Consejo Asesor de la Cátedra Cajamar de Economía y Agroalimentación de la Universidad de Almería

Director:	Francisco Camacho Ferre
Subdirector:	Diego Luis Valera Martínez
Secretario:	Luis Jesús Belmonte Ureña
Vocal:	José Antonio Guerrero Villalba
Vocal:	Francisco Javier de las Nieves López
Vocal:	Roberto García Torrente
Vocal:	David Uclés Aguilera
Vocal:	Ana Cabrera Sánchez

LOS INVERNADEROS DE ALMERÍA. ANÁLISIS DE SU TECNOLOGÍA Y RENTABILIDAD

© 2014 del texto y las imágenes que se reproducen (excepto mención expresa): los autores

© de la edición: Cajamar Caja Rural

Edita: Cajamar Caja Rural

www.publicacionescajamar.es

publicaciones@cajamar.com

Diseño y maquetación: Beatriz Martínez Belmonte

Imprime: Publidisa

ISBN-13: 978-84-95531-61-2

Depósito Legal: AL-256-2013

Fecha de publicación: junio 2014

Impreso en España / Printed in Spain

Cajamar Caja Rural no se responsabiliza de la información y opiniones contenidas en esta publicación, siendo responsabilidad exclusiva de sus autores.

© Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación, así como la edición de su contenido por medio de cualquier proceso reprográfico o fónico, electrónico o mecánico, especialmente imprenta, fotocopia, microfilm, offset o mimeógrafo, sin la previa autorización escrita de los titulares del Copyright.

PRÓLOGO.....	11
AGRADECIMIENTOS.....	13
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	15
2. LA HORTICULTURA INTENSIVA EN INVERNADEROS	22
2.1. Breve reseña histórica	22
2.2. Situación actual de la horticultura intensiva almeriense	24
2.3. Cultivos.....	29
2.3.1. <i>El cultivo de tomate</i>	30
2.3.2. <i>El cultivo de pimiento</i>	33
2.3.3. <i>El cultivo de calabacín</i>	35
2.3.4. <i>El cultivo de sandía</i>	37
2.3.5. <i>El cultivo de pepino</i>	39
2.3.6. <i>El cultivo de melón</i>	41
2.3.7. <i>El cultivo de berenjena</i>	44
2.3.8. <i>El cultivo de judía verde</i>	46
2.4. Manejo del suelo	48
2.4.1. <i>Arenado</i>	48
2.4.2. <i>Acolchado plástico</i>	52
2.4.3. <i>Cultivos sin suelo</i>	53
2.5. Estructuras de invernadero	58
2.5.1. <i>Invernadero tipo Almería</i>	60
2.5.2. <i>Invernadero multitúnel</i>	69
2.5.3. <i>Invernadero tipo venlo</i>	73
2.5.4. <i>Invernadero con cubierta de malla</i>	74
2.5.5. <i>Invernadero con cubierta plástica «a dos aguas»</i>	75
2.5.6. <i>Características geométricas del invernadero</i>	76
2.5.7. <i>Materiales de cubierta</i>	79
2.6. Sistemas de ventilación natural utilizados en los invernaderos de Almería	86
2.6.1. <i>Principales sistemas de ventilación lateral</i>	87
2.6.2. <i>Principales sistemas de ventilación cenital</i>	91
2.6.3. <i>Eficiencia de la ventilación natural</i>	98
2.6.4. <i>Mallas antiinsectos utilizadas en las ventanas de los invernaderos</i>	103
2.7. Sistemas de ventilación forzada.....	114
2.7.1. <i>Recomendaciones de diseño</i>	115
2.7.2. <i>Sistemas de ventilación forzada instalados en los invernaderos de «Almería»</i>	118

2.8. Sistemas de refrigeración por evaporación de agua.....	119
2.8.1. Paneles evaporadores.....	120
2.8.2. Refrigeración mediante nebulización.....	124
2.9. Sistemas de calefacción.....	132
2.9.1. Sistemas de calefacción por aire caliente.....	132
2.9.2. Sistemas de calefacción por agua caliente.....	139
2.9.3. Sistemas de calefacción por suelo radiante.....	151
2.9.4. Eficiencia de los sistemas de calefacción.....	152
2.10. Mallas de sombreo, pantallas térmicas y de oscurecimiento.....	158
2.10.1. Mallas de sombreo.....	160
2.10.2. Pantallas térmicas.....	161
2.10.3. Accionamiento.....	164
2.10.4. Pantallas de oscurecimiento.....	165
2.11. Métodos sencillos de ahorro energético.....	167
2.11.1. Invernaderos con paredes dobles.....	167
2.11.2. Túneles de semiforzado.....	168
2.11.3. Mantas térmicas.....	169
2.11.4. Compartimentación del invernadero.....	170
2.12. Perspectivas de futuro. A modo de conclusión.....	170
2.12.1. Distribución del CO ₂ en el invernadero.....	171
2.12.2. Control del aporte de CO ₂	174
2.12.3. Optimización del enriquecimiento carbónico.....	175
2.13. Gestión de los sistemas de control climático.....	177
2.14. Equipos de fertirrigación.....	180
2.14.1. Tanques de abonado.....	180
2.14.2. Depósitos de aspiración directa mediante bomba.....	181
2.14.3. Equipos con succión en Venturi.....	182
2.14.4. Dosificadores de abono mediante inyección.....	183
2.14.5. Equipos automáticos.....	183
2.14.6. Control de la fertirrigación.....	186
2.15. Equipo de desalinización.....	189
2.16. Maquinaria disponible de la instalación.....	190
2.16.1. Mecanización de las labores culturales.....	190
2.16.2. Maquinaria para la aplicación de productos fitosanitarios.....	195
2.17. Impacto ambiental de los invernaderos de Almería.....	214

3. PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE LOS DATOS DE CAMPO	218
3.1. Cuestionario a los agricultores	219
3.2. Bondad de la muestra	222
3.3. Obtención de datos procedentes de las empresas comercializadoras	227
4. ANÁLISIS DE LAS INFRAESTRUCTURAS PRODUCTIVAS DE INVERNADEROS Y SU IMPACTO ECONÓMICO	229
4.1. Datos personales.....	229
4.2. Cultivos.....	234
4.3. Maquinaria.....	249
4.4. Suelo	252
4.5. Edificaciones auxiliares y sistemas de riego.....	264
4.6. Comercialización.....	275
4.7. Características auxiliares del invernadero	279
4.8. Sistemas de control climático.....	308
4.9. Análisis de costes y beneficios	314
4.10. Mano de obra.....	316
5. PERFILES MÁS RENTABLES	318
5.1. Perfil medio de la explotación con mayores ingresos medios estimados, por comarcas.....	319
5.2. Perfil medio de la explotación con mayores rendimientos productivos por campaña, en función de la combinación de cultivos y ciclos utilizados	320
6. CONCLUSIONES	353
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	354
ANEXO I. MODELO DE ENCUESTA	382
ANEXO II. DETALLE POR COMARCA Y PREGUNTA.....	414

Prólogo

Dentro de los objetivos clave que se planteó la Cátedra Cajamar de Economía y Agroalimentación de la Universidad de Almería, al instaurarse en 2009, estaba el del aporte al sector agroalimentario de trabajos de investigación y experimentación que valiesen para conocer mejor nuestro sistema productivo, el «sistema de producción hortícola de alto rendimiento de Almería», de modo que fuesen herramientas que nos ayudasen a la toma de decisiones para la mejora técnica, social y económica de este sector y, además difundir las bondades del modelo a nivel mundial.

Ese es el motivo por el que la Cátedra presenta esta publicación, habiéndose marcado los siguientes objetivos con la realización de la misma:

- 1. Caracterizar el sistema de producción hortícola de alto rendimiento de la provincia de Almería.*
- 2. Evaluar los diferentes niveles tecnológicos del sistema.*
- 3. Obtener datos de rentabilidad económica en diversos tipos de explotaciones agrícolas del sistema.*
- 4. Clasificar los diferentes niveles tecnológicos en función de la rentabilidad.*

A través de los diversos capítulos del libro que les presento, se analiza la horticultura almeriense bajo invernadero, partiendo de una breve reseña histórica, la situación actual, los cultivos que está utilizando y los diferentes elementos que componen la tecnología de las estructuras productivas. A continuación los autores describen el proceso seguido para la obtención de datos, muestran los resultados de la evolución tecnológica y su impacto económico. Posteriormente describen el perfil de explotación hortofrutícola más rentable del sistema por comarcas y cultivos, terminando con las conclusiones a las que llegan tras el desarrollo del trabajo.

Me gustaría resaltar una de las frases que incluyen los autores en el texto de la publicación: «la combinación del invernadero tipo Almería con suelo arenado, continúa, después de cincuenta años, gozando de una excelente salud por su rentabilidad y por su eficiencia en el uso de la energía».

Desde la Cátedra Cajamar de Economía y Agroalimentación de la Universidad de Almería agradecemos el esfuerzo realizado por los autores de este estudio y, sobre todo, el enfoque con el que se ha planteado la publicación, ya que nos ayudará a conocer mejor muchísimos detalles de nuestro sistema de producción. Las dos instituciones que soportan la Cátedra, esperan que este texto sea de utilidad al sector económico más importante de la provincia, y desean que sea una herramienta efectiva para planteamientos de mejora del mismo.

Francisco Camacho Ferre
*Director de la Cátedra Cajamar de Economía y Agroalimentación
de la Universidad de Almería*

Agradecimientos

En primer lugar, queremos agradecer la inestimable colaboración que hemos recibido de los 212 agricultores que han participado en este proyecto, así como de las 18 empresas comercializadoras hortofrutícolas más importantes de la provincia. Sin su ayuda desinteresada este manual no hubiera visto la luz, y no reflejaría la realidad actual de los cultivos de primor en los invernaderos de Almería.

Asimismo, hacemos extensivo nuestro agradecimiento a los miembros del Consejo Asesor de la Cátedra Cajamar de Economía y Agroalimentación de la Universidad de Almería; especialmente a su Director D. Francisco Camacho Ferrer, por los ánimos que siempre hemos recibido de él y por la paciencia, entrega y sabiduría que nos ha dispensado a la hora de resolver nuestras dudas.

El Catedrático D. Francisco Camacho nos ha mostrado, nuevamente de manera generosa y altruista, su profundo conocimiento del Modelo Agrícola de Almería, y hemos tenido la gran suerte de contar desde el inicio con su siempre acertada orientación, apoyo y asesoramiento, así como con su inestimable revisión del manuscrito.

Finalmente, agradecemos la labor de nuestro equipo de investigación, especialmente de los compañeros que nos han acompañado en el desarrollo del trabajo de campo: Patricia Marín, María de los Ángeles Moreno y María del Carmen Márquez, así como a nuestros respectivos Departamentos de la Universidad de Almería. Merece una mención especial la en breve Doctora Ingeniero Agrónomo, Patricia Marín Membrive, que nos ha ayudado de manera intensa y muy acertada en todo el desarrollo del trabajo de investigación.

Los autores

1. Introducción y objetivos

Está perfectamente documentado que los invernaderos de Almería son desde hace décadas el principal del desarrollo socioeconómico y demográfico de la provincia de Almería (España). Las producciones y el valor de las mismas reflejan, campaña tras campaña, ser el núcleo central de la economía provincial. Además, las 28.576 ha invernadas (CAPMA, 2013b) tienen un marcado carácter exportador, aportando la mayor cuota al comercio internacional agroalimentario de Andalucía.

No obstante, continúa la pérdida de renta de los agricultores debido a que los precios reales percibidos, descontando la inflación, siguen una tendencia estructural descendente mantenida en el tiempo, a lo que hay que sumar el continuo incremento de los costes de explotación. Es por ello de gran utilidad para el sector establecer el nivel tecnológico que hace a cada cultivo más rentable. El núcleo central de este nuevo enfoque es el cultivo, y es la tecnología la que se adapta a él. Claramente la planificación de los cultivos en función de las tendencias de los mercados juega un papel clave desde el inicio del proceso productivo.

En este sentido, bajo la dirección de los Catedráticos de la Universidad de Almería Eduardo Fernández Rodríguez[†], Luis Fernández-Revuelta y Francisco Camacho Ferre; se realizó en 2004 una primera aproximación aplicando la filosofía de trabajo anterior, a una empresa del Campo de Níjar. Obtuvieron interesantes conclusiones, entre ellas que la gestión de cultivos realizada bajo estructuras de mayor nivel tecnológico, no siempre redundaba en una mayor productividad comercial y un superior rendimiento económico en términos generales. De manera, que la gestión de la explotación y el tipo de cultivo son también de gran importancia. Así, dicho trabajo apuntaba el interés de la especialización en determinadas producciones que sí rentabilizan las inversiones efectuadas: es el caso del tomate de ciclo largo, con el que se alcanzó un mayor rendimiento económico.

Éste ha sido el origen del trabajo actual, en el que se ha ampliado el universo de la muestra a las cuatro comarcas agrícolas de la provincia de Almería: Campo de Dalías, Bajo Andarax, Campo de Níjar y Bajo Almanzora (Mapa 1). Se han entrevistado a 212 agricultores y a 18 empresas comercializadoras, obteniendo así una superficie muestreada de 685 ha de invernaderos, un 2,4 % del total provincial.

También nos ha sido de utilidad el Proyecto de Investigación, dirigido en 1997 por Diego Luis Valera Martínez y Jesús Antonio Gil Ribes, para la carac-

terización tecnológica de las explotaciones, que fue financiado por la Diputación Provincial de Almería (Molina-Aiz, 1997). En este trabajo se realizaron encuestas a agricultores *in situ* en 526 invernaderos distribuidos por toda la provincia (69,8 % en el Campo de Dalías, 7,4 % en el Bajo Andarax, 20,8 % en el Campo de Níjar y un 1,9 % en el Bajo Almanzora). La superficie real muestreada fue de 340 ha, lo que representaba una tasa de muestreo del 1,4 % de la superficie total invernada de la provincia. Este trabajo previo ha servido como fuente de datos, algunos de ellos que fueron publicados por Valera *et al.* (1999b) y otros inéditos, para analizar la evolución que han experimentado los invernaderos de Almería en los últimos 16 años (de 1997 a 2013).

Mapa 1. Principales comarcas agrícolas de Almería



Mediante personal especializado se ha realizado la encuesta a cada agricultor. Debido a la extensión de la misma, cada una de ellas ha requerido cuarenta y cinco minutos. Básicamente ha constado de los siguientes apartados:

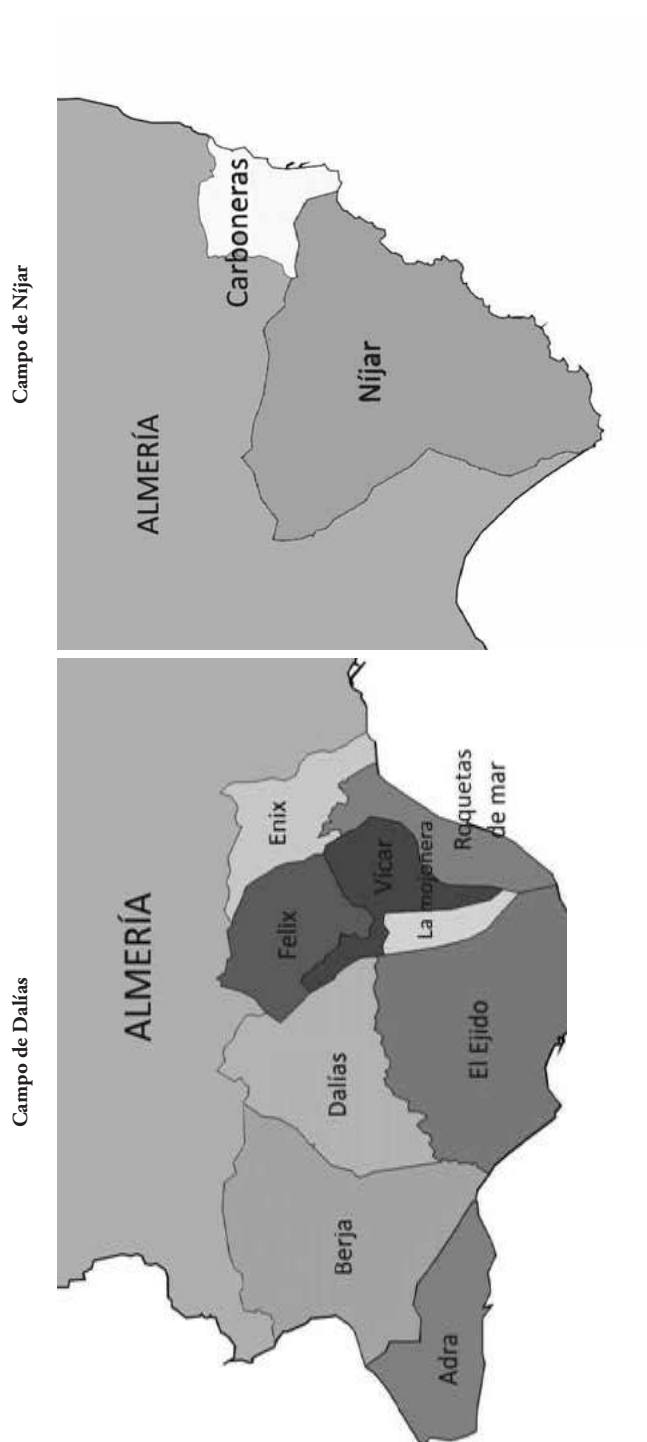
- a) *Datos personales y aspectos socioeconómicos*, tales como: edad del agricultor, procedencia geográfica del productor, años dedicados a la agricultura, nivel de estudios, ocupación laboral si la hubiere además de la producción de hortalizas, procedencia laboral del titular, superficie y número de invernaderos de la explotación, así como mano de obra necesaria y origen de la misma.
- b) *Cultivos*: modo de eliminación de malezas, tipos de siembra-plantación y método, plántulas (tipo de cepellón empleado), realización de análisis foliares, cultivos en las últimas campañas, marcos de plantación y rendimientos de los mismos, aplicación de sistemas alternativos a la aplicación de fitosanitarios, métodos de polinización, empleo de injertos, etc.
- c) *Maquinaria*: tipo de maquinaria empleada para la aplicación de tratamientos fitosanitarios, vehículos utilizados en la explotación, frecuencia y tipo de labores realizadas para preparar el terreno, contratación de maquinaria u operarios para dichas labores, etc.
- d) *Suelo*: realización de análisis de suelo, tipo y frecuencia de la desinfección del mismo, tipo de suelo de la superficie invernada, realización y frecuencia de retranqueo, superficie, tipo de producto, coste aproximado, cantidad aportada y jornales medios requeridos en el mismo, aportación de ácidos húmicos en caso de que se dieran.
- e) *Edificaciones auxiliares y sistemas de riego*: superficie de almacenes, casetas, número de balsas y volumen de las mismas, así como el tipo de material empleado para su fabricación y forma de la balsa. Sistemas de recogida de agua. Tipo de cabezal de riego, filtros, sistema de fertirrigación, tipo de goteros y densidad de los mismos. Realización de análisis de agua, origen, costo, conductividad eléctrica (C. E.), empleo de utensilios de medida tales como tensiómetros, existencia de programador de riego (tipo en el caso de que exista), número de tanques existentes y potencia del motor del sistema.

- f) *Comercialización*: empresa a través de la cual comercializan sus productos, número de años que lleva de socio, tipo de asesoramiento técnico recibido, preparación previa o no de los productos antes de la entrega a almacén, sistemas de certificación a los que se acoge, ingresos, gastos y rendimientos.
- g) *Estructura*: número de invernaderos, tipo de estructuras y material del que están fabricadas, superficie de la mismas, orientación, elementos auxiliares utilizados en la producción, tales como dobles techos, dobles puertas, esquineros forrados, mallas de sombreado, mallas antiinsectos, etc. Altura del invernadero, si se ha hecho alguna modificación en la misma a lo largo de la vida de éste, edad y coste de su construcción, superficie de ventanas tanto laterales como cenitales, grado de ocupación de superficie destinada a los pasillos. Tipo de plástico empleado, duración, coste de mano de obra en la reposición del plástico, blanqueo, limpieza del blanqueo, etc.
- h) *Sistemas de control climático*: disponibilidad de controlador climático, tipo de pantalla utilizada, sistemas de ventilación forzada, sistemas de refrigeración por evaporación de agua, sistemas de calefacción, combustible empleado, técnicas de ahorro energético, otros sistemas avanzados de control climático.
- i) *Análisis de costes y beneficios*: ingresos, gastos, cultivos más rentables, cultivos que requieren más inversión inicial, subvenciones, créditos, etc.
- j) *Mano de obra*: tipo, para qué labores se contrata, número, etc.

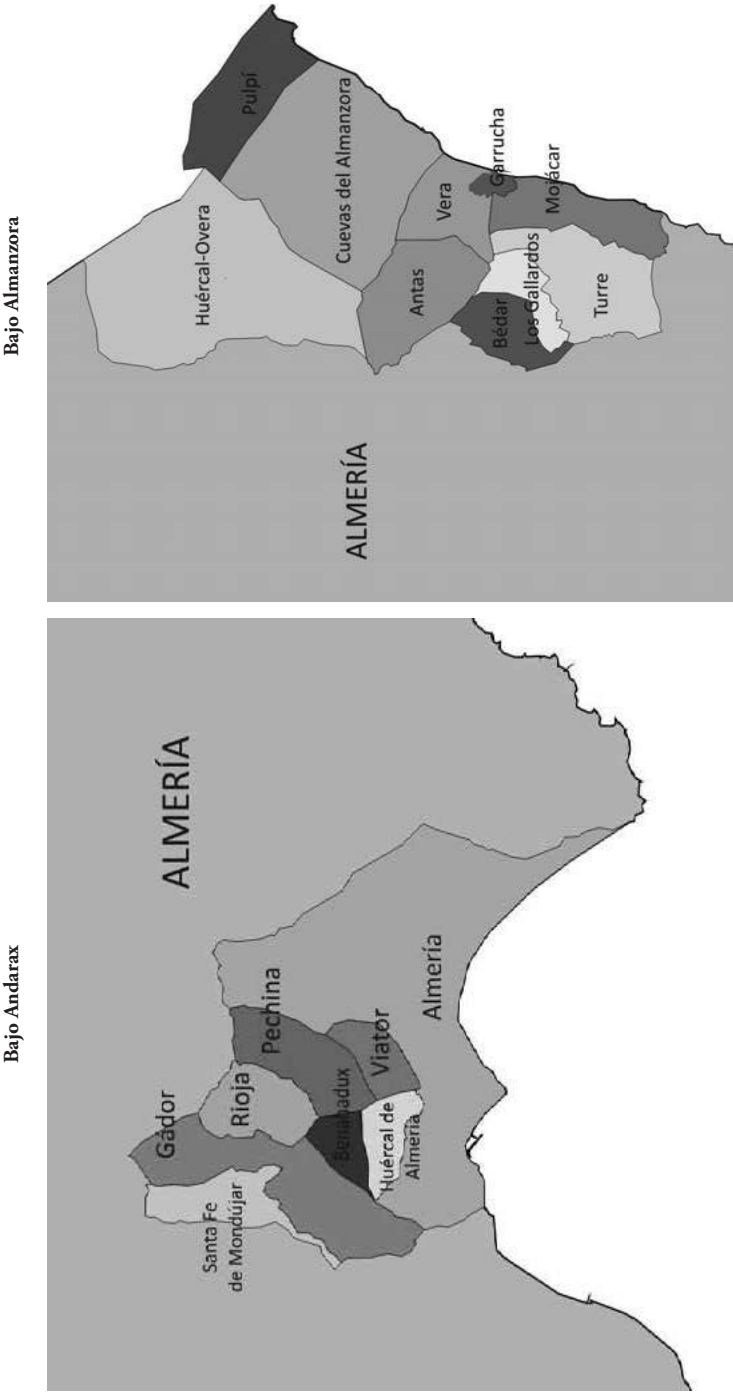
Los parámetros obtenidos con las encuestas realizadas a los agricultores se han complementado con los datos de ingresos de sus explotaciones en las últimas 6 campañas agrícolas (desde 2006/07 hasta 2011/12). Estos últimos los han facilitado las empresas de comercialización, que además han aportado por agricultor otros parámetros como producto y variedad, volumen comercializado, superficie de la finca, tipo de invernadero, así como otros cualitativos de especial interés para el estudio.

En el Mapa 3 podemos apreciar los términos municipales que conforman las cuatro zonas de estudio.

Mapa 3. Municipios por comarcas



Mapa 3 (cont.). Municipios por comarcas



Fuente: Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (CAPMA, 2013b).

De esta manera, los objetivos generales de este estudio podemos resumirlos en los siguientes puntos:

1. Caracterizar los sistemas de producción en invernadero del campo almeriense.
2. Evaluar los diferentes niveles tecnológicos del Modelo Agrícola de Almería.
3. Extraer datos de rentabilidad económica de las explotaciones.
4. Determinar el perfil medio de la explotación con mayores ingresos medios estimados por campaña.
5. Establecer el perfil medio de la explotación con mayores rendimientos productivos por campaña, en función de la combinación de cultivos y ciclos utilizados.

2. La horticultura intensiva en invernadero de Almería

2.1. Breve reseña histórica

Aunque las primeras referencias de las ventajas que se obtienen de incorporar una capa de arena al suelo son del almeriense Ibn Luyun en su Tratado de Agricultura escrito alrededor de 1248 (Eguaras, 1988), en la horticultura moderna se atribuye el origen del cultivo en suelo arenado a 1880, en la costa granadina, en La Rábita y El Pozuelo pertenecientes al término municipal de Albuñol, justo en el límite con la provincia de Almería. De ahí pasó a la zona de Adra y Guardias Viejas, aunque el impulso definitivo fue posterior, gracias a las experiencias del Instituto Nacional de Colonización (INC). Varios informes de dicho Instituto, redactados por los ingenieros agrónomos Leandro Pérez de los Cobos y Bernabé Aguilar Luque, reflejan las ventajas de la técnica del arenado para paliar la elevada salinidad del agua, al tiempo que mejora la producción y reduce los ciclos de cultivo.

En torno a 1940, agricultores procedentes de La Rábita abancalaron y enarenaron una finca cerca de la playa en la zona de La Romanilla en Roquetas de Mar.

De acuerdo con Rivera (2010) los enarenados no se extendieron hasta que en las parcelas tuteladas por el INC se demostró su rentabilidad, y lo

mismo pasó con los invernaderos, para cuya implantación fueron precisas las subvenciones y auxilios del INC, posteriormente denominado IRYDA (Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario). Las primeras 20 ha se entregaron a los colonos en el verano de 1956 y se enarenaron ese mismo año, instalándose desde esa fecha hasta principios de la década de 1980.

En 1956, según recogen los informes redactados por el ingeniero agrónomo del INC Bernabé Aguilar Luque, los técnicos del INC deciden crear dos unidades piloto de explotación, una sin arena y otra arenada. La que no tiene arena es la parcela 24 del sector regable de Aguadulce, de 3,13 ha y el colono encargado de la parcela bajo las directrices del INC a partir de agosto de ese año es Francisco Fuentes Sánchez, más conocido en la zona como «Paco el piloto». Los sucesivos ensayos en varios años sobre esta parcela sin arena no fueron muy exitosos. La parcela arenada, de 3,4 ha, fue la número 74; y el colono seleccionado fue Francisco López Fernández, agricultor procedente de Adra, donde había explotado el sistema enarenado en los cuatro años anteriores. Los ensayos con esta técnica fueron muy satisfactorios y se expandió rápidamente por la zona. Los técnicos del INC demostraron su sobrada mentalidad innovadora y a ellos se debe el germen de la explosión de la agricultura intensiva en España.

En 1960, en la misma parcela 24 donde años antes se realizaron ensayos en suelo sin arenar, se realizaron los primeros abrigos de plástico. Se comenzó con acolchados con láminas de polietileno transparente, también se rodearon plantas con polietileno adosándoles una pequeña armadura de alambre, y con pequeños túneles. Todo ello con éxito limitado.

Pero el gran salto se efectuó en 1963, cuando después de los ensayos anteriores, se pensó en disponer una protección de película de polietileno a una estructura sencilla y ligera, como la que se utilizaba para guiar las parras de uva de mesa (Aguilar, 1981). Los padres más claros de esta idea (el invernadero tipo Almería) fueron los ingenieros Aarónomos Leandro Pérez de los Cobos y Bernabé Aguilar. Se instaló en la parcela 24 en una superficie de 500 m², una estructura tipo parral a base de rollizos de eucalipto, dejando 100 m² como testigo con arenado al aire libre protegido por setos cortavientos. Para ello se trajo a operarios del INC que estaban trabajando en parrales en el Campo de Níjar (Rivera, 2000). El éxito de la combinación de arenado e invernadero fue tal, que al año siguiente ya se estaban construyendo cuatro nuevos invernaderos para que sirvieran de núcleo de información.

Los resultados de la combinación de arenado e invernadero fueron muy satisfactorios, y han sido el origen del espectacular desarrollo socioeconómico y demográfico que en las últimas décadas ha experimentado Almería.

2.2. Situación actual de la horticultura intensiva almeriense

Los invernaderos Almería son desde hace décadas el principal motor del desarrollo socioeconómico y demográfico de la provincia de Almería. Precisamente en 2013 se celebró el 50 aniversario de la construcción del primer invernadero en la zona. Conforman la mayor concentración de invernaderos del mundo y las producciones y el valor de las mismas reflejan, campaña tras campaña, ser el núcleo central de la economía provincial.

Según la Agencia Andaluza de Promoción Exterior (EXTENDA), Andalucía se ha situado en la primera mitad de 2013 como líder de España en las exportaciones agroalimentarias, gracias al músculo de la horticultura almeriense, que aporta la mayor cuota al comercio internacional agroalimentario andaluz.

Actualmente, en las empresas comercializadoras se da una clara segmentación entre un grupo reducido de empresas que cuentan con un volumen importante de facturación y un numeroso grupo de empresas con pequeña dimensión. Pero en los últimos años se están produciendo procesos de fusión y absorción y, los diez primeros grupos de comercialización hortofrutícola representan ya el 75 % de toda la facturación del sector en Almería (Aznar *et al.*, 2013). No obstante, la distribución en destino está muy concentrada y mantiene una posición negociadora de dominio que impone precios a la baja e incrementa los protocolos exigibles en origen.

Los rendimientos económicos son muy superiores al resto de la agricultura de España, además el tamaño medio de la explotación es muy pequeño, lo que históricamente le ha otorgado un marcado carácter social y ha propiciado el reparto de la riqueza. Actualmente la superficie invernada por explotación está en aumento para tratar de contener la caída de renta de los agricultores.

Además, la producción bajo plástico destaca sensiblemente por su elevada eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes. Con respecto al consumo energético, gracias al clima favorable, es muy inferior a otras zonas de cultivo. Por ejemplo, es 22 veces inferior al de los invernaderos holandeses.

En los últimos años se ha hecho un esfuerzo inversor sostenido para mejorar la seguridad alimentaria. Almería es la zona con mayor densidad de labora-

torios acreditados y la gestión de residuos ha mejorado sustancialmente gracias a los Planes de Higiene Rural y a los Protocolos de Buenas Prácticas Agrícolas.

Desde el punto de vista medioambiental los invernaderos tienen efectos positivos no suficientemente puestos en valor. Uno de ellos es la bajada de la temperatura de la zona al ser reflejados los rayos solares en las cubiertas de los invernaderos, incrementando así el albedo las miles de hectáreas concentradas de invernaderos de Almería. Según Campra *et al.* (2008) el reciente desarrollo de la horticultura intensiva en la zona estaría amortiguando el calentamiento local de la temperatura asociado al incremento global de gases de efecto invernadero.

En este sentido, merece la pena resaltar el efecto como sumidero de CO₂ que tienen los invernaderos, debido a la enorme densidad de plantas y la gran extensión que ocupan. Es algo parecido a un bosque no visible porque está cubierto de plástico. Disminuyen en gran medida la concentración de CO₂ en la zona, que es uno de los principales gases con efecto invernadero que provoca el calentamiento del planeta. Sólo en la campaña 2012/13 los cultivos de pimiento y tomate bajo invernadero en Almería fijaron la nada despreciable cifra de 515.672 toneladas de CO₂.

Pero lo más destacable en los últimos años es la auténtica «Revolución Verde» que se ha experimentado con el Control Biológico, usando enemigos naturales para el control de aquellos organismos que resultan perjudiciales para las plantas. Esta eliminación de plagas de forma natural, mediante insectos beneficiosos, mejora la productividad del cultivo y la protección del medio ambiente, disminuyendo drásticamente el uso de productos fitosanitarios y trabajando para alcanzar el «Residuo Cero». El origen en la zona es de 2005 y los resultados durante estos años han sido excelentes.

Según la Delegación Territorial de la Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente (CAPMA) de la Junta de Andalucía, 26.720 ha en la campaña 2013/14 utilizarán en Almería técnicas de control biológico, lo que representa el 93 % de la superficie y el 65 % de la producción. Situando a Almería como líder mundial en volumen cultivado mediante control biológico, lo que supone una amplia ventaja competitiva frente a otras zonas de producción.

En el entorno actual de crisis general, la agricultura se está comportando como el único sustento firme de la economía almeriense. Han vuelto propietarios y familias a dedicarse más intensamente a las explotaciones. Además desde la campaña 2011/12 ha aumentado la superficie invernada, situación que no se producía desde 2006 (Fundación Cajamar, 2012).

En la pasada campaña agrícola (2012/13) la producción de cultivos bajo invernadero en Almería ascendió a 2,6 millones de toneladas, con un valor de 1.528 millones de euros; la disminución del 3 % del volumen comercializado se ha compensado con un incremento medio del 17 % en los precios y del 13 % en los ingresos totales (COEXPHAL, 2013). La horticultura intensiva de Almería tiene un marcado carácter exportador. Las ventas en los mercados exteriores se aproximan al 70 % (Aznar *et al.*, 2013) siendo nuestros principales mercados los de Alemania, Francia, Países Bajos y Reino Unido.

No obstante, observamos una pequeña desviación con respecto a la información proporcionada por la Delegación Territorial de Almería de la Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente (CAPMA), centrada únicamente en hortalizas. Según la CAPMA (2013b) la superficie física total invernada en Almería en la campaña 2012/13 ascendió a 28.576 ha; y la superficie cultivada (considerando los ciclos) de hortalizas (no frutas y hortalizas) se incrementó un 11 % con respecto al periodo 2011/12, sumando dos campañas de crecimiento consecutivo. La campaña 2012/13 ha marcado un nuevo récord productivo superando en un 2 % los resultados del periodo precedente. Calabacín, pimiento y tomate, fueron junto con la judía verde, los productos que incrementaron en mayor medida su producción con respecto a la media del periodo 2009/12 (CAPMA, 2013a).

Para analizar con detalle los principales parámetros por cultivos, tenemos que recurrir a la última campaña completamente analizada, es decir la 2011/12 (Tabla 1). Las exportaciones de tomate se incrementaron en volumen y valoración económica en un 14 % respecto a la media de las tres campañas anteriores. El pimiento incrementó un 13 % su exportación respecto a la campaña 2010/11. El pepino incrementó un 25 % las exportaciones con respecto a las tres anteriores y el calabacín un 17 % con respecto a la última. Sin embargo, el volumen exportado de melón descendió en un 16 % con respecto a la campaña 2010/11, mientras que la sandía aumentó levemente las exportaciones (2 %). Finalmente, la berenjena obtuvo una gran subida del precio medio (61 %) y la judía incrementó un 16 % las exportaciones con respecto a la campaña 2010/11 (CAPMA, 2013a).

Tabla 1. Parámetros relevantes de los principales cultivos de la campaña 2011/2012

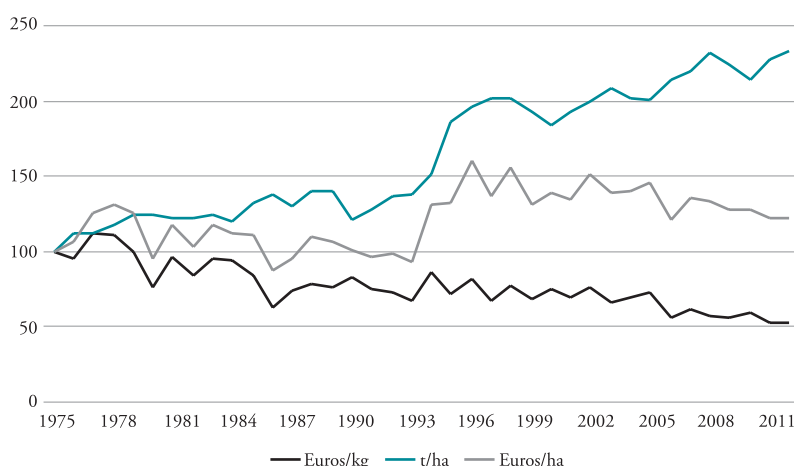
Cultivo	Superficie (ha)	Producción (miles t)	Rendimiento (kg m ⁻²)	Precio medio (€/kg)	Valor Prod. (millones €)	Exportación (%)
Tomate	7.850	750	9,56	0,56	420	64
Pimiento	7.388	513	6,94	0,63	323	69
Pepino	4.500	407	9,05	0,42	171	87
Calabacín	5.100	348	6,82	0,44	153	64
Sandía	5.665	350	6,18	0,28	98	41
Melón	3.740	135	3,61	0,40	54	44
Berenjena	1.890	187	9,92	0,38	71	59
Judía	1.170	21	1,80	1,41	30	36

Fuente: Observatorio de Precios y Mercados (CAPMA). Elaboración propia.

En la campaña 2011/12 los principales tipos de tomate comercializados procedentes de los invernaderos de Almería fueron: larga vida (38 %), rama (28 %), pera (15 %), *cherry* (8 %), liso (6 %), asurcado (4 %), otros (1 %). De pimiento: california (63 %), lamuyo (17 %), italiano (9 %) y un 11 % de otros tipos. De pepino: almería (88 %), corto (7 %), francés (5 %). El 98 % del calabacín comercializado fue del tipo verde y, las sandías más vendidas fueron la rayada (35 %), la negra sin semillas (27 %) y la negra con semillas (23 %). Con respecto al melón, destaca el piel de sapo (40 %), seguido del galia (28 %), *Cantaloup* (17 %) y amarillo (12 %). Además, con gran diferencia la berenjena más vendida se correspondió al tipo semilarga, con un 92 % del total comercializado; seguida a mucha distancia de la rayada (3 %) y de la redonda (2 %). Con la judía ocurre lo mismo, hay un tipo que destaca claramente, en este caso la plana con un 86 % del total; seguida de la redonda (11 %), el 3 % restante pertenece a otros tipos (CAPMA, 2012).

A pesar de todos estos valores de rendimientos y de gran exportación, continúa el proceso de pérdida de renta de los agricultores (Gráfico 1). Los ingresos medios por hectárea caen a largo plazo, principalmente a causa del descenso de los precios en términos reales (Fundación Cajamar, 2012). Existe una creciente competencia desde el Norte a base de tecnología y desde el Sur reduciendo costes, sobre todo el de mayor peso: la mano de obra.

Gráfico 1. Rendimientos y rentabilidad de la producción hortícola en términos medios. Índice 1975=100



Fuente: Fundación Cajamar. Estimación realizada a partir de datos facilitados por CAP, SOIVRE, DGA y datos aportados por empresas comercializadoras del sector.

Ante esta situación resulta imprescindible continuar trabajando intensamente los siguientes aspectos:

- Comercialización. Hay que procurar mejorar los precios percibidos por los agricultores. Esto se podría lograr mediante la reducción de los costes de distribución acortando el canal, estableciendo plataformas de comercialización en destino y fomentando el transporte intermodal para evitar las ecotasas al transporte por carretera en Francia o Alemania.
- Reducción y control de los costes de producción.
- Incremento de la productividad física, mejorando las explotaciones e incorporando, en su justa medida, tecnología a los invernaderos.
- Incremento del tamaño de las explotaciones para evitar la pérdida de renta de los agricultores.
- Especialización. Ajustando además cada cultivo al nivel tecnológico correspondiente.

- Diferenciación con respecto a nuestros competidores. En este sentido, se debe continuar con los esfuerzos actuales en Control Biológico, Residuo Cero, seguridad alimentaria, etc.
- Gestión de residuos. Hay que solucionar el problema de todos los residuos de la agricultura intensiva (residuos vegetales, plásticos, etc.).
- Mejora de la imagen de nuestras explotaciones mediante campañas en destino que resalten los aspectos positivos.
- Sabor. Es necesario hacer un esfuerzo en mejora vegetal para generalizar el uso de variedades más sabrosas, sin perder las propiedades de las variedades actuales y, fomentar el conocimiento entre los consumidores de los excelentes efectos para la salud de las sustancias bioactivas que contienen las frutas y hortalizas.

2.3. Cultivos

Según los resultados obtenidos en la encuesta de superficies y rendimientos de cultivos (ESYRCE) para el año 2012, publicados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), en la Comunidad de Andalucía existen un total de 42.823 ha destinadas a invernaderos, de las cuales el 68,1 % (29.152 ha) se encuentran en la provincia de Almería, representando el 47,9 % de la superficie destinada a invernaderos en España (60.842 ha). Este dato de superficie invernada es ligeramente inferior al indicado en el *Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2011/2012*, editado por la Fundación Cajamar, en el que se habla de 29.991 ha destinadas a invernaderos en la provincia de Almería que, teniendo en cuenta los diferentes ciclos de cultivo, se estima un total de 46.140 ha cultivadas en invernaderos. Por otro lado, la CAPMA de la Junta de Andalucía establece una cifra levemente inferior de superficie física de invernaderos en Almería en la campaña 2012/13: 28.576 ha (CAPMA, 2013b).

Hemos consultado a las principales empresas de semillas y se ha realizado una estimación de la superficie cultivada bajo invernadero en la provincia de Almería (no superficie física de invernadero) durante la campaña pasada 2012/2013. Los resultados son: tomate, 8.716 ha; pimiento, 7.588 ha; calabacín, 5.120 ha; sandía, 2.500 ha; pepino, 4.180 ha; melón, 3.220 ha; berenjena, 1.900 ha, y judía verde, 1.200 ha.

De acuerdo con el informe de campaña de la Fundación Cajamar, citado anteriormente, como resultado de la venta de lo producido durante la campaña 2011/2012 se alcanzó la cifra de 1.413 millones de euros, un 6,1 % más que en el ejercicio precedente. Los cultivos de mayor importancia económica fueron el tomate (377 millones de euros) y el pimiento (353 millones de euros), seguidos del pepino (169 millones de euros) y del calabacín (151 millones de euros). Otro dato económico de importancia es que durante la campaña 2011/2012 las exportaciones alcanzaron un valor de 1.741 millones de euros, alcanzando el 69,5 % de la producción. Las exportaciones aumentaron un 9,2 % con respecto a la campaña 2010/2011. En cuanto a los gastos en las explotaciones hortícolas intensivas, la partida más importante se corresponde con la mano de obra (40 % del gasto anual), seguida del gasto en semillas y plantones (8,4 %), fertilizantes (7 %), fitosanitarios (5,9 %), control químico (4,1 %) y control biológico (1,7 %), etc. La amortización de las instalaciones supone de media un 23,7 % de los gastos anuales (Fundación Cajamar, 2012).

A continuación pasaremos a describir brevemente las principales características de las ocho especies cultivadas de mayor relevancia en los invernaderos de Almería.

2.3.1. El cultivo de tomate

La provincia de Almería cuenta con 10.232 ha de invernaderos destinadas al cultivo de tomate con una producción de 958.462 toneladas (CAPMA, 2013a), que representa el 83,2 % de la superficie y el 61 % de toda la producción en Andalucía (Junta de Andalucía, 2010). El tomate es, junto con el pimiento, uno de los principales cultivos de la provincia, con un impacto económico durante la campaña 2011/2012 de 377 millones de euros (Fundación Cajamar, 2012).

El tomate *Solanum lycopersicum* pertenece a la familia *Solanaceae*. Aunque es de origen andino su domesticación parece ocurrir en México (Camacho, 2003). Es una planta herbácea plurianual, que se cultiva como anual (ciclos cortos de 4-5 meses o ciclos largos de 8-9 meses), presenta un tallo rastrero capaz de emitir raíces, aunque normalmente se cultiva tutorado. El marco de plantación suele mantener distancias de 80-100 cm entre líneas y 30-50 cm entre plantas (Marín, 2013), dependiendo su elección de la variedad, ciclo de cultivo, tipo de invernadero y suelo o sustrato (Camacho, 2003). Los ciclos de cultivo pueden ser: (i) ciclos cortos de otoño, en los que el trasplante

se realiza a finales de agosto o inicios de septiembre y la recolección suele ir desde noviembre a enero o febrero; (ii) ciclos cortos de primavera, en los que el trasplante se realiza en enero o febrero y la recolección suele ir desde mayo a julio; (iii) o ciclos largos otoño-invierno-primavera, en los que el trasplante se realiza a finales de agosto o inicio de septiembre y la recolección suele iniciarse a mediados de diciembre y se mantiene hasta el mes de julio (Camacho, 2003). Las diferentes variedades de tomate, para consumo en fresco, podemos clasificarlas según su porte (Marín, 2013):

- *Porte indeterminado*: variedades con tallo de crecimiento continuo, a las que cuando alcanzan la altura deseada se despunta la planta para detener su crecimiento. (i) tomate de calibre grueso (G y GG, peso medio del fruto ≥ 180 g), con hasta 182 variedades y 17 ecológicas (ej. Amaral, Abigail F₁, Galo...); (ii) tomate corazón de buey, con hasta once variedades (ej. Corazón F₁, Borsalina F₁...); (iii) tomate de calibre medio (M y G, peso medio del fruto entre 100-180 g), con hasta 67 variedades y once ecológicas (ej. Gabriela, Martina F₁...); (iv) tomate tipo marmande o asurcado, con 18 variedades y una ecológica (ej. marmande, RAF...); (v) tomate de calibre pequeño (los frutos no superan los 100 gramos), con diez variedades, que incluyen principalmente variedades de tomate tipo canario; (vi) tomates de colgar, tomates tipo pera u ovalados, el tipo san marzano, el tipo mini san marzano, el tipo *cherry*, minipera y *minicherry*, pudiendo encontrar entre todas ellas hasta 193 variedades y 23 ecológicas; (vii) variedades tipo ramillete: ramillete de tamaño medio con hasta 45 variedades y nueve ecológicas (ej. Pirata F₁, Paladium F₁...), ramillete tipo pera con diez variedades (ej. Cencara F₁, Royalty...) y ramillete minis con hasta 56 variedades (ej. Imola F₁, Messina RZ F₁...).
- *Porte semideterminado*: se incluyen algunas variedades indeterminadas pero que, por sus condiciones de cultivo, no llegan a ser demasiado altas. Son variedades de calibre medio o grueso (ej. América-3, ...).
- *Porte determinado*: la yema apical termina transformándose en un racimo, deteniendo el crecimiento de la planta. En este caso se diferencia entre cultivos de tomate tutorado, con cuatro variedades (ej. Ace, Dalmonte F₁...), y cultivos de tomate rastreros, con hasta 44 variedades (ej. Acclaim F₁, Excalibur F₁...).

También podemos clasificar los tipos comerciales de tomate en (CAPMA, 2012):

- *Larga vida*. Fruto redondo liso y de color rojo intenso y prolongada vida útil.
- *Ramo*. Fruto de calibre mediano recolectado en ramo. Buen sabor, color y elevada firmeza del fruto.
- *Cherry*. Fruto de color rojo muy oscuro, brillante y calibre pequeño.
- *Asurcado*. Fruto de forma achatada y hombros muy marcados de color verde oscuro. Destaca por su excelente sabor y corta vida útil.
- *Liso o ensalada*. Fruto ligeramente globoso de hombros oscuros que se recolecta pintón antes de virar a rojo.
- *Pera*. Fruto de forma alargada de calibre medio y color rojo intenso.

Figura 1. Tipos comerciales de tomate



Fuente: CAPMA (2012).

2.3.2. El cultivo de pimiento

El pimiento es el segundo cultivo en importancia, muy cercano al tomate, en la economía de la provincia de Almería, con 8.406 ha de invernaderos y una producción de 540.590 toneladas (CAPMA, 2013a), el 92,8 % de la superficie y el 87,9 % de la producción total en Andalucía (Junta de Andalucía, 2010). En la campaña 2011/2012 se estimó un impacto económico de 353 millones de euros (Fundación Cajamar, 2012).

El pimiento *Capsicum annuum* L. pertenece a la familia *Solanaceae*, es una planta herbácea anual. El ciclo de cultivo suele ser de 6-9 meses. El marco de plantación suele mantener distancias de 80-100 cm entre líneas y 40-50 cm entre plantas (Marín, 2013), siendo los más comunes: $1 \times 0,5$; $1 \times 0,3$ m² (líneas individuales) y $2 \times 0,5$; $2 \times 0,3$; $1,5 \times 0,5$ y $2 \times 0,5$ m² (líneas dobles) (Camacho, 2003). En cuanto a los ciclos de cultivo, la fecha de trasplante depende de la variedad seleccionada; podemos diferenciar entre: (i) ciclo extratemprano, trasplante a finales de mayo o inicio de junio; (ii) ciclo temprano, trasplante en julio o mediados de agosto; (iii) ciclo semitardío, trasplante a finales de agosto o mediados de septiembre y, (iv) ciclo muy tardío, trasplante a finales de diciembre o finales de enero. Las diferentes variedades de pimiento, para su consumo en fresco, podemos clasificarlas según la forma y el color de maduración de los frutos (Marín, 2013):

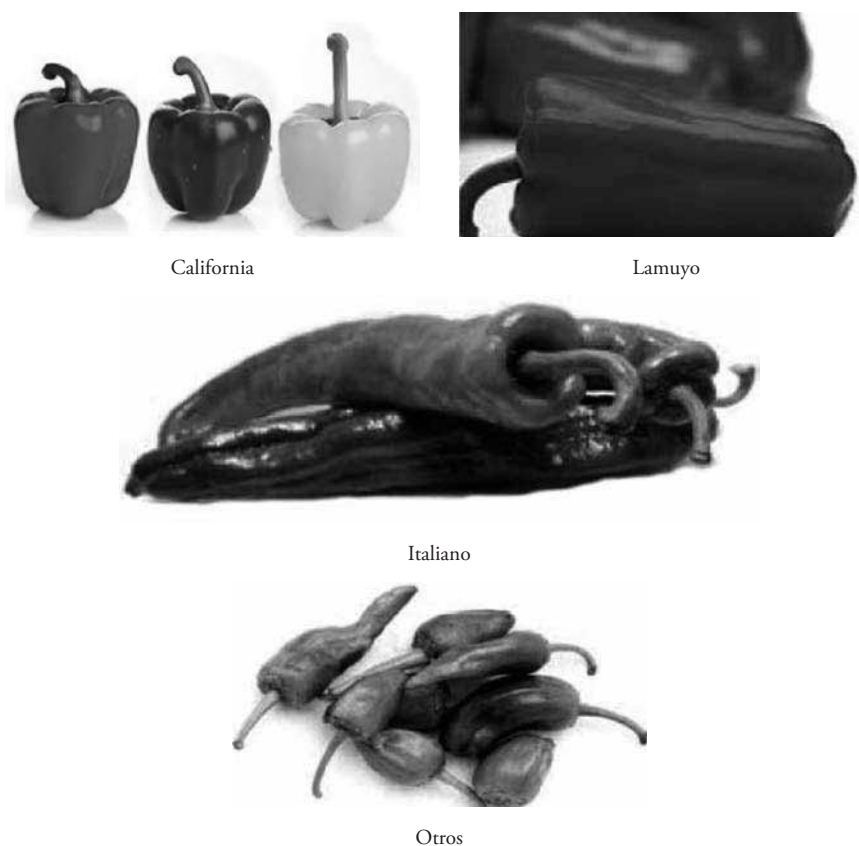
- *Tipo rectangular o lamuyo*: frutos de perfil rectangular, variando a troncocónico según la variedad. Longitud entre 15-20 cm y diámetro entre 7-12 cm. Las variedades se clasifican en función del color del fruto maduro, rojo o amarillo. Podemos hablar de 88 variedades (una ecológica) con maduración en rojo (ej. Alcazaba F₁, Daimos F₁...) y 11 variedades en amarillo (ej. Tenor F₁, Plinio RZ F₁...).
- *Tipo cuadrado o californiana*: frutos de perfil cuadrado o ligeramente troncocónico según la variedad. Longitud entre 8-12 cm y diámetro entre 8-14 cm. Las variedades se clasifican en función del color del fruto maduro, rojo, amarillo, naranja, violeta o blanco. En el mercado podemos encontrar hasta 117 variedades (16 ecológicas) con maduración en rojo (ej. Balboa, Coimbra, Mustang F₁...), 62 variedades (cuatro ecológicas) en amarillo (ej. Giacomo, Goldix F₁...) y nueve variedades (tres ecológicas) en naranja (ej. Caspio F₁, Quirón F₁...).

- *Tipo cónico-largo*: la forma del fruto es alargada y con perfil triangular. En este caso nos encontramos con diez subtipos: (i) pimientos rojos, con 15 variedades (ej. Adriático F₁, Peleus...); (ii) pimientos amarillos, con dos variedades (Cuerno de Toro Amarillo y Goleen Horn F₁); (iii) pimiento dulce italiano, con 52 variedades y tres ecológicas (ej. Abdera F₁, Zanetti, Dulce Italiano...); (iv) pimiento húngaro, con dos variedades (Agio F₁ y Avana F₁); (v) pimiento kaypa, con cuatro variedades (ej. Martinet F₁...); (vi) pimiento mallorquín, con cuatro variedades (ej. Amarillo de Mallorca-Ros...); (vii) pimiento mediterráneo, con una variedad (Plantet F₁); (viii) pimiento padrón, con ocho variedades y una ecológica (ej. Celta F₁, Padrón Teira...); (xix) pimiento mini, con cuatro variedades (ej. Petit Marseillais...); (xx) pimiento picante, con 36 variedades (Furila F₁, Troner Hot F₁...).

También podemos clasificar los tipos comerciales de pimiento en (CAPMA, 2012):

- *Pimiento californio*. Frutos de perfil cuadrado o ligeramente troncocónico, que al madurar viran de color verde al color propio de la variedad.
- *Pimiento lamuyo*. Frutos de perfil rectangular más o menos pronunciado, variando a troncocónico. Existen variedades de maduración en rojo o amarillo.
- *Pimiento italiano*. Fruto de perfil cónico más o menos deformado. Sabor dulce y maduración en rojo.
- *Otros tipos comerciales*. Pimientos que se comercializan minoritariamente, como el pimiento del padrón, el pimiento picante, otros pimientos dulces, etc.

Figura 2. Tipos comerciales de pimiento



Fuente: CAPMA (2012).

2.3.3. El cultivo de calabacín

El calabacín es un cultivo de menor importancia en comparación con el tomate y el pimiento. En la provincia de Almería se han cuantificado 6.358 ha de invernaderos destinadas al cultivo de calabacín y una producción de 371.294 toneladas (CAPMA, 2013a), el 94,3 % de la superficie y el 88,9 % de la producción total en Andalucía (Junta de Andalucía, 2010). En la campaña 2011/2012 se estimó un impacto económico de 151 millones de euros (Fundación Cajamar, 2012).

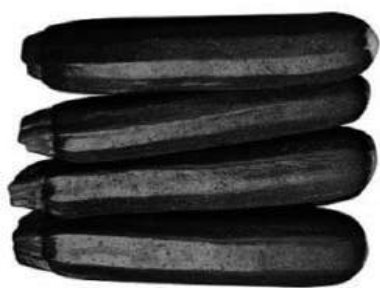
El calabacín *Cucurbita pepo* L. pertenece a la familia *Cucurbitaceae*, es una planta anual, de crecimiento compacto, con tallo de sección pentagonal (Marín, 2013), de crecimiento indeterminado y porte rastroso (Camacho, 2003). El ciclo de cultivo suele ser de 4-6 meses. El marco de plantación suele mantener distancias de 100-200 cm entre líneas y 60-150 cm entre plantas (Marín, 2013), siendo los más comunes: $2 \times 0,75$; 1×1 ; $1,33 \times 1$; $1,5 \times 0,75$ m², a veces se sitúan a tresbolillo. En cuanto a los ciclos de cultivo podemos diferenciar entre: (i) ciclos de otoño-invierno (trasplante desde agosto hasta octubre) y (ii) ciclos de primavera (trasplante desde diciembre hasta febrero) (Camacho, 2003). El fruto es un pepónide, alargado, cilíndrico y ligeramente mazudo, de colores verde, amarillo o blanco. Podemos encontrar 149 variedades y 16 ecológicas, la mayoría de color verde con diferentes tonalidades (Marín, 2013). Las variedades podemos clasificarlas en función de su ciclo de cultivo (Camacho, 2003):

- *Ciclo de otoño.* Cultivos extratempranos con fecha de siembra entre el 1 y el 15 de agosto (Cora F₁, Tosca F₁...); cultivo temprano con fecha de siembra entre el 5 y el 10 de septiembre (Cónsul, Chapin F₁...); cultivo medio con fecha de siembra del 5 al 10 de octubre (Stor's Green F₁, Diamante F₁...); cultivo tardío con fecha de siembra del 25 de octubre al 5 de noviembre (Milenio... F₁).
- *Ciclo de primavera.* Destacamos las variedades Cónsul y Otel F₁, con fecha de siembra del 1 al 10 de diciembre, y Cora F₁ y Tosca F₁, con fecha de siembra en enero o febrero.

También podemos clasificar los tipos comerciales de calabacín en (CAPMA, 2012):

- *Calabacín verde.* Fruto pepónide no hueco, de forma alargada y cilíndrica, de color verde más o menos claro.
- *Otros tipos comerciales.* Calabacines que se comercializan minoritariamente, como los tipos redondo o blanco.

Figura 3. Tipos comerciales de calabacín



Verde



Otros

Fuente: CAPMA (2012).

2.3.4. El cultivo de sandía

Según los últimos datos disponibles, en la provincia de Almería tenemos 5.665 ha de invernaderos (CAPMA, 2012) y una producción de 331.811 toneladas, el 89,5 % de la superficie y el 73 % de la producción total en Andalucía (Junta de Andalucía, 2010). En la campaña 2011/2012 la Fundación Cajamar cuantificó un impacto económico para este cultivo de 102 millones de euros.

La sandía *Citrullus lanatus*, *Citrullus vulgaris* o *Colocynthis citrullus* pertenece a la familia *Cucurbitaceae*, es una planta herbácea anual, de porte rastrero o trepador, con tallos delgados, cubiertos de pelos y longitud variable (Marín, 2013). El 95 % se cultiva injertada sobre patrón *C. maxima* × *C. moschata*. Estos patrones son compatibles con la sandía, dándole a la parte aérea gran vigor con un sistema radicular muy desarrollado (Camacho, 2003). El ciclo de cultivo suele ser de 3-5 meses. El marco de plantación suele mantener distancias de 200-400 cm entre líneas y 50-100 cm entre plantas (Marín, 2013), en Almería puede ser de 2 × 2; 1 × 1 o 4 × 1 m². El trasplante se suele realizar desde mediados de noviembre hasta finales de marzo (Camacho, 2003). Las diferentes variedades de sandía podemos clasificarlas en dos grupos: sandías diploides y sandías triploides (Marín, 2013):

- *Sandías diploides (o con semilla)*. Incluimos todas las variedades, ya sean lisas o ralladas, que tengan las semillas bien formadas: (i) piel lisa y carne roja, 39 variedades y una ecológica (ej. Perla Negra F₁...); (ii) piel rayada y carne roja, 40 variedades y una ecológica (ej. La Bestia F₁...); (iii) piel lisa y carne amarilla, una variedad (Sorpresa F₁); (iv) piel rayada y carne amarilla, una variedad (Angela F₁).
- *Sandías triploides*. Se caracterizan por no producir semillas viables, ya que dejan de crecer tras iniciar su desarrollo, quedándose blancas y tiernas. A su vez, se pueden distinguir: (i) piel lisa y carne roja, 17 variedades (ej. Pasión F₁...); (ii) piel rayada y carne roja, 43 variedades (ej. Reina de Corazones F₁...); (iii) piel lisa y carne amarilla, una variedad (S-10319 F₁); (iv) piel rayada y carne amarilla, dos variedades (Graciosa F₁ y Volga F₁).

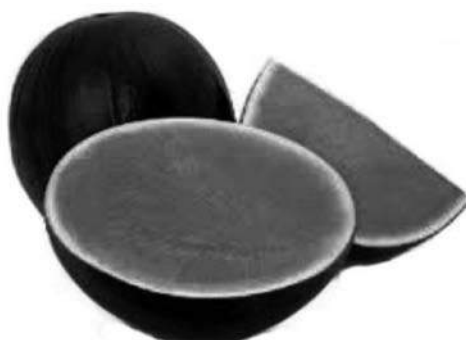
También podemos clasificar los tipos comerciales de sandía en (CAP-MA, 2012):

- *Sandía negra con semillas*. Fruto de forma esférica oval de piel negra, carne roja y semillas de color negro.
- *Sandía negra sin semillas*. Fruto de forma esférica oval, de piel negra y carne roja.
- *Sandía rayada*. Fruto de forma esférica oval, de piel rayada y pulpa crujiente que puede tener semillas pequeñas o carecer de ellas.
- *Otros tipos comerciales*. Sandías que se comercializan minoritariamente, como las mini, amarillas, ovaladas, etc.

Figura 4. Tipos comerciales de sandía



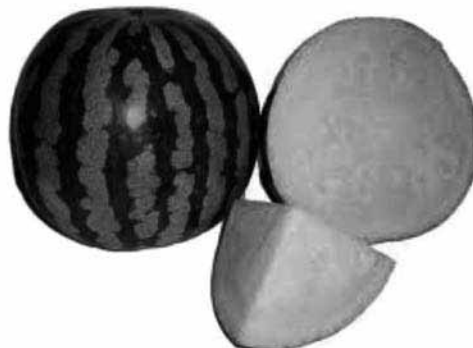
Negra con semillas



Negra sin semillas



Rayada



Otras

Fuente: CAPMA (2012).

2.3.5. El cultivo de pepino

En la provincia de Almería en la pasada campaña 2012/13 se contabilizaron 4.920 ha de cultivo de pepino bajo invernadero y una producción de 411.189 toneladas (CAPMA, 2013a). Esto supone el 64,9 % de la superficie y el 62,9 % de la producción total en Andalucía (Junta de Andalucía, 2010). En la campaña 2011/2012 se estimó un impacto económico de 169 millones de euros (Fundación Cajamar, 2012).

El pepino *Cucumis sativus* L. pertenece a la familia *Cucurbitaceae*, es una planta herbácea anual, de crecimiento rápido, es de porte rastroso o trepador, emite zarcillos en los nudos, en el lado opuesto a las hojas. El ciclo de cultivo suele ser de 4-6 meses. El marco de plantación suele mantener distancias de 100-200 cm entre líneas y 50-100 cm entre plantas (Marín, 2013). El marco de plantación en los invernaderos de Almería suele depender del ciclo de cultivo, para cultivos tempranos se emplean marcos más pequeños para aumentar la densidad ($1,5 \times 0,4$ o $1,2 \times 0,5$ m²); en ciclos de cultivo tardíos, o cuando se quiere producir en invierno, se amplía el marco de plantación para evitar la competencia de las plantas por la luz ($2 \times 0,4-0,5$ o $1,5 \times 0,5-0,6$ m²) (Camacho, 2003). Los ciclos de cultivo de otoño serían tres: (i) otoño temprano, siembra en agosto, recolección desde septiembre-octubre hasta diciembre-enero; (ii) otoño medio, siembra en agosto-septiembre, recolección desde octubre hasta enero y, (iii) otoño tardío, siembra en septiembre-octubre, recolección desde noviembre hasta marzo. Luego tenemos (iv) el ciclo de primavera, con siembra en enero y recolección desde marzo hasta junio, (v) ciclo extra temprano de otoño, que siembra en julio, recolectando en septiembre y octubre y (vi) ciclo extra tardío de otoño, con siembra a finales de septiembre y recolección desde noviembre hasta finales de marzo (Camacho, 2003).

Las diferentes variedades de pepino podemos clasificarlas según el tamaño del fruto: pepino tipo *snack*, pepino corto y pepinillo, pepino medio largo y pepino largo (Marín, 2013):

- *Pepino tipo snack*. Frutos muy crujientes, una variedad (Unistars F₁).
- *Pepino corto y pepinillo (tipo español)*. Se incluyen todas las variedades de pepino pequeño, de piel verde o rayada de amarillo o blanco, longitud inferior a 15 cm, para consumo en fresco o encurtidos, 31 variedades y una ecológica (ej. Manolete...).
- *Pepinillo medio largo (tipo francés)*. Longitud media entre 20-25 cm, similares al tipo holandés pero más cortos, 56 variedades y once ecológicas (ej. Danito, Victory F₁...).
- *Pepinillo largo (tipo Almería o tipo holandés)*. Frutos de más de 25 cm de longitud, de piel lisa, más o menos asurcada, 176 variedades y veinte ecológicas (ej. Alcazaba, Galeón...).

También podemos clasificar los tipos comerciales de pepino en (CAPMA, 2012):

- *Pepino Almería*. Fruto que supera los 25 cm de longitud, oscuro, recto y de piel lisa, más o menos asurcada.
- *Pepino francés*. Frutos de longitud media (20-25 cm), diferenciándose las variedades cuyos frutos tienen espinas y aquellas de piel lisa.
- *Pepino corto*. En este tipo comercial se incluyen variedades de fruto pequeño (longitud máxima de 15 cm), de piel verde y rayada de color amarillo o blanco.

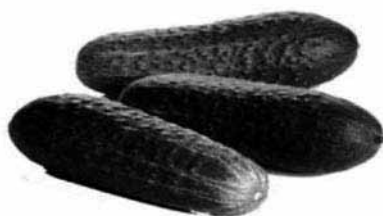
Figura 5. Tipos comerciales de pepino



Almería



Francés



Corto

Fuente: CAPMA (2012).

2.3.6. El cultivo de melón

Aun con un impacto económico menor en nuestra provincia en comparación con otros cultivos, 51 millones de euros en 2011/2012 (Fundación Cajamar, 2012), el cultivo de melón tiene bastante presencia en el campo alme-

riense. En la campaña 2011/2012 se destinaron 3.740 ha de invernaderos a su cultivo (CAPMA, 2012), dando lugar a una producción de 141.965 toneladas, el 90,4 % de la superficie y el 99,4 % de la producción total en Andalucía.

El melón *Cucumis melo* L. pertenece a la familia *Cucurbitaceae*, es una planta anual de porte rastrero, con tallos herbáceos muy ramificados, que emite zarcillos, susceptible de poda y tutorado. El ciclo de cultivo suele ser de 3-5 meses. El marco de plantación suele mantener distancias de 100-200 cm entre líneas y 50-100 cm entre plantas (Marín, 2013), dependiendo su elección de la variedad, del ciclo productivo y de las características del invernadero. La distancia entre filas puede ir de 200 a 250 cm y la distancia entre plantas de 50 a 100 cm (Camacho, 2003). En cuanto a los ciclos de cultivo tenemos: (i) ciclo extratemplano, trasplante en diciembre/enero, incluso antes, y recolección de marzo a mayo; (ii) ciclo temprano, trasplante desde finales de enero a finales de marzo, recolección desde mediados de abril a finales de junio; (iii) ciclo tardío, trasplante desde mediados de febrero a finales de abril, recolección desde inicio de mayo hasta finales de julio (Camacho, 2003).

Las diferentes variedades de melón podemos clasificarlas según los siguientes tipos (Marín, 2013):

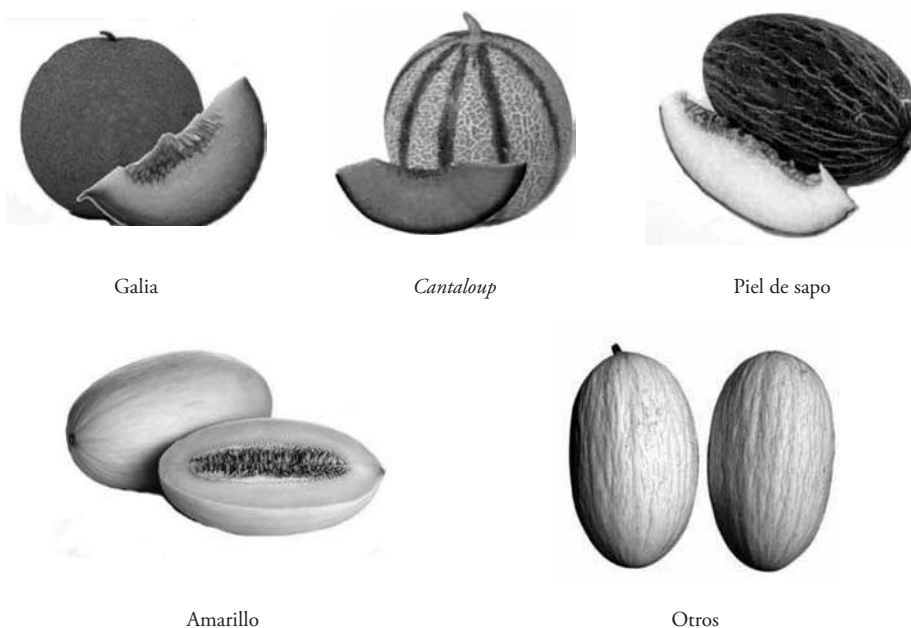
- *Tipo amarillo*. Frutos ovalados o redondos, de piel lisa y de color amarillo en la madurez, sin escriturado, carne blanca; 43 variedades y una ecológica (ej. Amarillo Canario, Indálico F₁...).
- *Tipo ananas*. Frutos de piel naranja o verde grisácea/amarilla escriturada, carne blanca; tres variedades (ej. Ananas F₁...).
- *Tipo branco (blanco)*. Frutos blancos con piel lisa o rugosa, carne blanca o blanquecina; siete variedades (ej. Divor F₁...).
- *Tipo Cantalup*. Frutos redondos o elípticos, marcando los meridianos en color verde y el resto en verde grisáceo, carne de color naranja. Podemos diferenciar entre variedades de piel lisa, semiescriturada y escriturada. En total encontramos 74 variedades y once ecológicas (ej. Charentais como liso, Bosito F₁ como semiescriturado y Pistolero F₁ como escriturado).

- *Tipo galia*. Frutos esféricos de color verde, cambia a amarillo anaranjado durante la maduración, presenta un escriturado denso, carne blanca ligeramente verdosa; 78 variedades y dos ecológicas (ej. Gaio, Galante...).
- *Tipo Honeydew*. Frutos con carne de color salmón, dos variedades (Casca de Carvalho y Uncle Sam F₁).
- *Tipo mallorquín*. Frutos redondos, escriturados, carne amarillenta o color crema; cuatro variedades (ej. Majorca F₁...).
- *Tipo piel de sapo*. Frutos ovalados, ligeramente asurcados, verdes con manchas oscuras, carne blanca; 73 variedades y cinco ecológicas (ej. Celta, Piñonet Piel de Sapo...).
- *Tipo Rochet*. Fruto ovalado de piel lisa y color verde claro, carne blanca; cinco variedades (ej. Futuro F₁...).
- *Tipo Tendral*. Frutos ovalados, piel asurcada y gruesa, color verde oscuro, sin escriturado, carne blanca; cinco variedades y una ecológica (ej. Tendral Tardío...).

También podemos clasificar los tipos comerciales de melón en (CAPMA, 2012):

- *Melón galia*. Fruto esférico de color verde que vira a amarillo anaranjado en la madurez, con un denso escriturado. Carne blanca ligeramente verdosa.
- *Melón Cantaloup*. Fruto redondo o elíptico, marcando los meridianos en color verde y cascos verdes grisáceos. Los hay de piel lisa o piel reticulada.
- *Melón piel de sapo*. Fruto de forma elíptica alargada. Carne blanca, crujiente y dulce.
- *Melón amarillo*. Fruto más o menos ovalado, de piel lisa y color amarillo en la madurez, sin escriturado.
- *Otros tipos comerciales*. Melones que se comercializan minoritariamente, como el melón blanco.

Figura 6. Tipos comerciales de melón



Fuente: CAPMA (2012).

2.3.7. El cultivo de berenjena

Cultivo que alcanzó las 2.006 ha de superficie cultivada en Almería durante la campaña 2012/2013, con una producción de 145.973 toneladas (CAPMA, 2013a), representa 91,9 % de la superficie y el 86,5 % de la producción total en Andalucía (Junta de Andalucía, 2010). Su impacto económico en nuestra provincia, durante la campaña 2011/2012, fue de 70 millones de euros (Fundación Cajamar, 2012).

La berenjena *Solanum melongena* L. pertenece a la familia *Solanaceae*, es una planta cultivada como anual, con tallo semileñoso, erecto, ramificado y de crecimiento indeterminado. El ciclo de cultivo suele ser de 6-11 meses. El marco de plantación suele mantener distancias de 100-200 cm entre líneas y 50-100 cm entre plantas (Marín, 2013), los más usuales en la provincia de Almería suelen ser $2 \times 0,5$; $1,75 \times 0,5$ y $1,5 \times 0,75$ m² (Camacho, 2003). Podemos diferenciar tres ciclos de cultivo según la fecha de trasplante: (i) del 15 de agosto al 15 de septiembre, la recolección iría de octubre a junio; (ii) del 1 al 15 de agosto, la recolección iría de finales de septiembre a diciembre; (iii) del 15 al 31 de diciembre, la recolección iría de marzo a junio (Camacho, 2003).

Las diferentes variedades las podemos clasificar según la longitud de sus frutos (Marín, 2013): (i) minis, tres variedades (ej. Berenjena de Almagro...); (ii) redonda/oval, 21 variedades y una ecológica (ej. Black Bell, Bonica F₁...); (iii) semilargas, 39 variedades y siete ecológicas (ej. Paula F₁, Tizona...); (iv) largas, 23 variedades y dos ecológicas (ej. Blanca Snowy, Larga Morada...).

También podemos clasificar los tipos comerciales de berenjena en (CAP-MA, 2012):

- *Berenjena larga*. Fruto alargado y más estrecho, que destaca por su consistencia y color prácticamente negro.
- *Berenjena rayada*. Fruto con piel jaspeada de color morado sobre blanco.
- *Berenjena redonda*. Fruto globoso de color oscuro, negro o violeta, y muy brillante.
- *Otros tipos comerciales*. Tipos de berenjenas que se comercializan minoritariamente, como la berenjena melón blanco.

Figura 7. Tipos comerciales de berenjena



Larga



Rayada



Redonda



Otras

Fuente: CAPMA (2012).

2.3.8. El cultivo de judía verde

Con 1.283 ha cultivadas en 2012/13 y una producción de 24.123 toneladas (CAPMA, 2013a) encontramos el cultivo de la judía verde; que en la campaña 2011/2012 tuvo un impacto económico en la provincia de Almería de 24 millones de euros (Fundación Cajamar, 2012). Se estima que representa el 31,1 % de la superficie y el 22,9 % de la producción total en Andalucía (Junta de Andalucía, 2010), siendo el único de los cultivos descritos con tan bajo porcentaje respecto al resto de Andalucía.

La judía *Phaseolus vulgaris* L. pertenece a la familia *Leguminosae*, es una planta anual de desarrollo rápido, con el tallo delgado, de crecimiento determinado o indeterminado. El ciclo de cultivo suele ser de 3-5 meses. El marco de plantación suele mantener distancias de 50-100 cm entre líneas y 50 cm

entre plantas, para mata baja, y de 100-200 entre líneas y 50-100 entre plantas, para mata alta (Marín, 2013). Tradicionalmente en los invernaderos de Almería era de $1 \times 0,5 \text{ m}^2$ con 4-5 semillas por golpe, pero actualmente es de $2 \times 0,5 \text{ m}^2$ con 2-3 semillas por golpe, suele tutorarse e incluso dejar una semilla por golpe (Camacho, 2003). En cuanto a los ciclos de cultivo tenemos tres: (i) siembra en agosto-septiembre y recolección de noviembre a enero; (ii) siembra en noviembre-diciembre y recolección de marzo a abril; (iii) siembra en febrero-marzo y recolección de mayo a julio (Camacho, 2003).

Las diferentes variedades para consumo en fresco, las podemos clasificar según el tipo de mata y vaina (Marín, 2013): (i) mata baja y vaina verde plana; (ii) mata baja y vaina verde redonda; (iii) mata baja y vaina amarilla plana; (iv) mata baja y vaina amarilla redonda; (v) mata baja y vaina violeta redonda; (vi) enrame y vaina verde plana; (vii) enrame y vaina amarilla plana; (viii) enrame y vaina verde redonda (en total 156 variedades y 24 ecológicas). En la provincia de Almería se cultivan principalmente las variedades de enrame y vaina plana verde.

También podemos clasificar los tipos comerciales de judía verde en (CAPMA, 2012):

- *Judía plana*. Presenta una vaina gruesa plana o aplastada.
- *Judía redonda*. Presenta una vaina más estrecha, redonda o cilíndrica.
- *Otros tipos comerciales*. Existen otros tipos de judías que se comercializan de forma minoritaria, comunmente de forma plana y apreciadas en el mercado.

Figura 8. Tipos comerciales de judía verde



Fuente: CAPMA (2012).

2.4. Manejo del suelo

Uno de los factores fundamentales para el buen desarrollo de los cultivos en invernadero es el manejo del suelo. Los cultivos hortícolas intensivos se han desarrollado en la provincia de Almería gracias a la excelente combinación entre el invernadero y el sistema enarenado.

El uso de suelos arenados en los invernaderos almerienses es una práctica habitual hoy día. De hecho, los agricultores que cultivan en ecológico en invernadero están descubriendo las excelentes ventajas de este sistema (Carmacho y Cortés, 2009). También son frecuentes los acolchados plásticos, que utilizan diversos materiales en función del objetivo del mismo. Por otro lado, propiciado por las dificultades que se presentan para la obtención de arenas, cuando hay problemas de patógenos en el suelo, o cuando se quiere realizar un control muy preciso de los aportes nutricionales a la planta; han surgido técnicas alternativas al sistema enarenado, como son los cultivos en sustratos o el cultivo hidropónico.

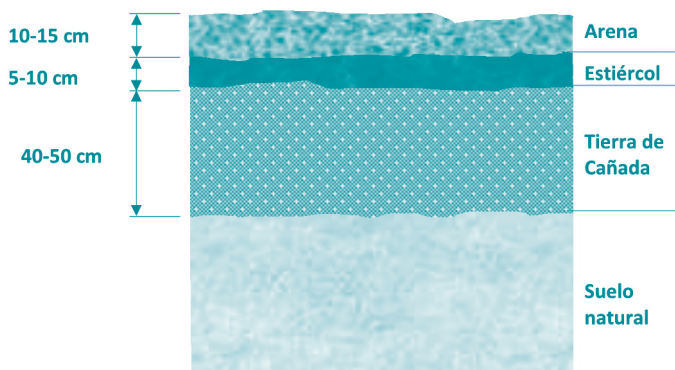
2.4.1. Arenado

El sistema enarenado (o arenado de suelos) consiste en cubrir la superficie del terreno de cultivo con una capa de arena silíceo que actúa reteniendo la humedad. En los invernaderos almerienses la elaboración de este tipo de suelo es algo más compleja.

Una vez que se ha realizado el desmonte y la nivelación del terreno natural de la parcela, se cubre con una primera capa de aproximadamente medio metro de profundidad, de tierra con un alto contenido de arcilla, procedente de extracciones en lugares de acumulación de sedimentos fluviales (tierra de cañada); si estas cualidades se encuentran en el terreno base, esta capa no se añade. Esta capa impedirá que se produzcan pérdidas importantes de agua de riego por percolación profunda, al ser bastante impermeable y tener una alta capacidad de retención de la humedad. Este estrato sirve también para evitar que las raíces del cultivo lleguen hasta la zona de suelo natural.

Sobre la tierra arcillosa se coloca una segunda capa de estiércol o materia orgánica que constituirá el hábitat donde se desarrollará el sistema radical de la planta. Este estrato realiza además la función de elemento tampón al corregir posibles deficiencias en la fertilización.

Figura 9. Esquema de un suelo arenado



Por último, se cubre la parcela con una pequeña capa de arena fina, con una granulometría media inferior a los 3 mm de diámetro, procedente originalmente de rompeolas de playas o de dunas; y que actualmente se extrae de canteras.

Camacho y Cortés (2009) resumieron las ventajas que aporta el sistema enarenado:

- Hace más intensa la actividad microbiana, dando precocidad a las cosechas.
- Mejora el aprovechamiento de la fertilización mineral por las plantas.
- Mejora la solubilización de los elementos fertilizantes contenidos o aportados al suelo.
- Contribuye a elevar la concentración de CO_2 cerca del suelo, actuando como abonado carbónico.
- La humedad del suelo se conserva durante un tiempo más prolongado, con el consiguiente ahorro de agua de riego.
- Evita la ascensión de las sales a los niveles inferiores del suelo, consiguiéndose una desalinización permanente de los mismos.
- La estructura se mantiene en condiciones excelentes durante un periodo más largo de tiempo.
- Favorece el desarrollo superficial de las raíces.

Los principales inconvenientes que presenta el uso del enarenado son:

- Supone un coste adicional del suelo, al ser necesario un aporte externo de tierra.
- Dificulta la mecanización de las labores del suelo, que han de hacerse de forma manual para evitar que se mezclen los diferentes estratos que constituyen el suelo.
- Al mejorar las condiciones del suelo se favorece el desarrollo de patógenos.
- El enarenado favorece la aparición de malas hierbas, y dificulta y encarece su eliminación al realizarse la escarda de forma manual.

La fertilidad del suelo arenado va disminuyendo con el tiempo, conforme las plantas van extrayendo los nutrientes contenidos en la capa de materia orgánica, por lo que es necesaria su reposición cada cierto tiempo. En los invernaderos de Almería se realizan dos técnicas diferentes para la sustitución o renovación del estiércol: retranqueo y carillado.

Figura 10. Cultivo de tomate enarenado en invernadero tradicional



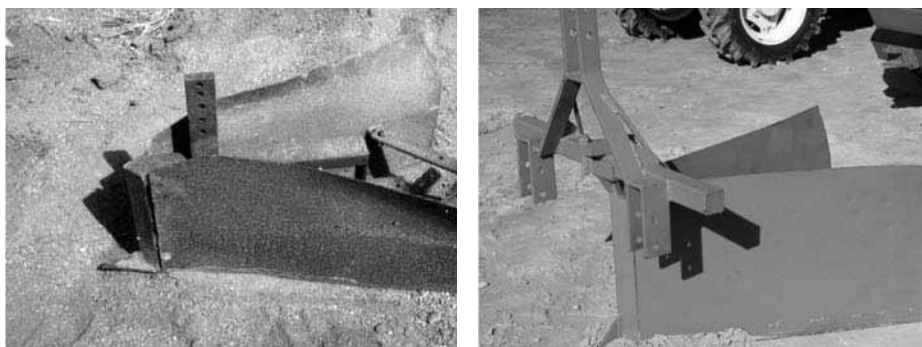
Retranqueo

En los invernaderos con arenado es corriente realizar la sustitución del estiércol en toda la superficie del invernadero cada 5 o 6 años. A esta labor se le denomina retranqueo. En un primer paso se retira la arena que cubre la capa fértil del suelo en franjas o calles de aproximadamente un metro, y se acumula a los lados en cordones. Este proceso debe realizarse con cuidado para no mezclar los estratos y que la arena no se contamine con impurezas. Esta labor que se suele realizar de forma manual mediante azadones de hoja ancha; en algunos casos se realiza mediante tractores con caballonadora (Figura 11), aporro denominado en la zona como «aparta-arenas», que permite abrir la capa de arena sin que llegue a mezclarse con el estrato inferior.

Una vez que se ha retirado parte de la arena y queda al descubierto el suelo de las calles se labra para mezclar la capa de estiércol con la tierra de cañada favoreciendo su aireación. Esta labor se suele realizar con motocultores o tractores con fresadora que permiten desmenuzar la tierra facilitando la incorporación de materia orgánica.

Después de labrar el suelo se procede a depositar y extender el estiércol en las calles, para lo cual algunos agricultores disponen de una pequeña pala que se acopla al tractor y facilita la labor. En algunos casos los agricultores aprovechan el estercolado para efectuar también un abonado de fondo con compuestos de fósforo o potasio. Posteriormente se recoge la arena de los caballones y se extiende sobre la zona estercolada. De esta forma se ha renovado la mitad de la parcela, siendo necesario volver a repetir todo el proceso, retirando la arena de las calles donde antes se hicieron los cordones y amontonándola en las hileras en las que ya se ha renovado el estiércol.

Figura 11. Caballonadoras o aparta-arenas



Carillado

Debido al elevado coste que supone retranquear toda la parcela y el excesivo tiempo necesario para su realización, algunos agricultores optan por el «carillado» en bandas. Esta técnica es muy similar a la anterior, ya que consiste también en sustituir el estiércol, pero únicamente en las líneas donde se situarán las plantas. Para ello sólo es necesario abrir una pequeña zanja de 30-50 cm de anchura, situada en la zona donde se colocarán las plantas al realizar su trasplante.

En cada ocasión que se lleva a cabo esta labor, se van alternando las calles donde se plantará el cultivo y en las que se efectúa el carillado, con lo cual se reduce el periodo de renovación del estiércol, así como el costo y el tiempo invertidos. Otra tendencia actual es realizar un aporte de materia orgánica de origen vegetal, en lugar de aplicar estiércol, debido a los problemas que presenta cuando es demasiado fuerte o su estado de fermentación no es el adecuado. Esta práctica se suele realizar cada 2 o 3 años, aunque es menos frecuente que el retranqueo.

2.4.2. Acolchado plástico

El empleo de acolchado plástico es una práctica muy utilizada para provocar un aumento de la cosecha, cuantitativa y cualitativamente; favorece la precocidad, la lucha contra las malezas e insectos y el aumento en la eficiencia de uso del agua y los fertilizantes (Lamont, 1993). También es relevante la radiación reflejada por el acolchado que incrementa la radiación disponible a nivel de la planta, siempre que se utilice el material plástico adecuado, en función del objetivo que se pretenda con el acolchado.

El empleo de una cubierta impermeable es fundamental para disminuir las pérdidas de agua del suelo por evaporación, que además de aumentar el consumo de agua de riego producen un aumento de la humedad relativa en el interior del invernadero. Dada la necesidad de controlar la humedad interior en invierno para evitar el desarrollo de hongos y enfermedades, y al estar la ventilación restringida por las pérdidas de calor, a veces es muy recomendable la técnica del acolchado plástico.

Además de evitar la evaporación del agua presenta otra serie de ventajas, como impedir la proliferación de malezas, y dirigir la salida del CO₂ procedente de la descomposición de la materia orgánica, hacia los agujeros por donde salen las plantas, facilitando su absorción por éstas.

Como materiales de acolchado se suelen utilizar láminas de PE con espesores de 150 o 200 galgas de color negro y en algún caso transparente. Los acolchados pueden cubrir todo el invernadero, o sólo las líneas donde se sitúan las plantas.

Figura 12. Invernadero con acolchado de polietileno negro en toda la superficie



2.4.3. Cultivos sin suelo

Los límites de los denominados cultivos sin suelo son bastante amplios, incluyen a todos aquellos métodos y sistemas que hacen crecer a las plantas fuera de su ambiente natural: el suelo (Urrestarazu, 2000). Debido a la necesidad de mantener un control más estrecho de las condiciones de cultivo, actualmente tienen aceptación en los invernaderos almerienses las técnicas de cultivo sin suelo. Bien gestionados, y aunque suponen un riesgo adicional ante cualquier fallo, por ejemplo del sistema eléctrico, pueden conseguir aumentos en la producción, reduciendo las necesidades de mano de obra al eliminarse las labores culturales del suelo. Además, permiten una completa automatización de la fertirrigación, aunque se requiere un control muy preciso del manejo de la misma debido a que cualquier mínimo error, por carencias o excesos de elementos nutritivos, puede causar daños considerables en la plantación, al suprimirse el efecto regulador que ejerce el suelo.

El cultivo en sustratos consiste en la sustitución del suelo por un medio material poroso donde se desarrolla el sistema radicular de las plantas, que recibe los nutrientes de una solución nutritiva que presenta las concentraciones más idóneas de cada uno de los elementos esenciales para el crecimiento óptimo de las mismas.

A continuación describiremos brevemente algunos de los sustratos más utilizados, finalizando con la hidroponía, donde las raíces están directamente en la solución nutritiva.

Turbas

Uno de los primeros sustratos que se comenzaron a utilizar como medio de cultivo es la turba, que se forma por descomposición incompleta de una gran masa vegetal, causada por un exceso de agua y la falta de oxígeno. Es un sustrato natural que presenta excelentes propiedades físico-químicas y biológicas, y que tiene efectos de estimulación del crecimiento, debido posiblemente a la presencia de sustancias húmicas solubles y compuestos hormonales procedentes de los restos vegetales no descompuestos. Su uso tiene la limitación que supone su origen biológico y natural, lo que hace que las zonas de extracción puedan agotarse, teniendo graves efectos sobre el medioambiente su extracción continuada. Otros inconvenientes son su heterogeneidad y la posibilidad de interacciones negativas con los elementos disueltos en la solución nutritiva, lo que puede dar lugar a excesos o carencias, por liberación o retención de algunos compuestos.

Lana de roca

Este sustrato está compuesto por fibras de lana de roca, que se fabrican a partir de rocas diabasas que se mezclan en un proceso de fundición a alta temperatura (1.600 °C) con piedras calizas y carbón. La lana de roca (Figura 13) presenta una estructura física compacta, que depende de la disposición de las fibras que la forman y de su densidad.

Este producto se comercializa en tablas, cuyas dimensiones son normalmente de 100 x 15 x 10 cm, con las fibras en sentido horizontal y en sentido vertical. Estas últimas presentan mejores características que las primeras ya que presentan mayor densidad y rigidez y una gran capilaridad, que se traducen en una mejor distribución del agua en toda la tabla, mejor capacidad de saturación y menor drenaje.

Figura 13. Cultivo de pimiento en tablas de lana de roca



Perlita

La perlita es un silicato de aluminio que proviene de rocas volcánicas. Mediante un proceso de fragmentación en pequeñas partículas por medio de molinos, y un tratamiento a alta temperatura en hornos (a 1.000 °C), se elimina el agua cambiada (2-5 %) que contiene la roca natural, produciéndose una expansión de las partículas que puede llegar a ser de hasta 20 veces su volumen inicial.

Este sustrato es un material inerte, de una alta porosidad y con una elevada capacidad de retención de agua y nutrientes, lo que le hace ser un medio idóneo para el crecimiento de las plantas y el desarrollo de sus raíces. Su comercialización se suele realizar en bolsas de plástico, de entre 28 y 40 litros de capacidad, con microperforaciones en su parte superior para favorecer su aireación. También se puede utilizar en pequeños contenedores, que permiten una estratificación granulométrica de las partículas, o dispuesta a granel en canaletas de cultivo donde circula la solución nutritiva.

Arcilla expandida

La arcilla expandida (Figura 14) se obtiene a partir de arcillas naturales seleccionadas que se cuecen en un horno giratorio a 1.200 °C para que en el proceso de evaporación forzada el agua genere una expansión de la estructura de la arcilla. De esta forma la arcilla adquiere una gran capacidad para absorber agua, mejora su durabilidad, y además reduce su peso específico.

Este tipo de sustrato presenta un buen drenaje que disminuye la acumulación de sales y residuos, lo que permite su uso con aguas de baja calidad.

Figura 14. Cultivos de pimiento en sacos de arcilla expandida

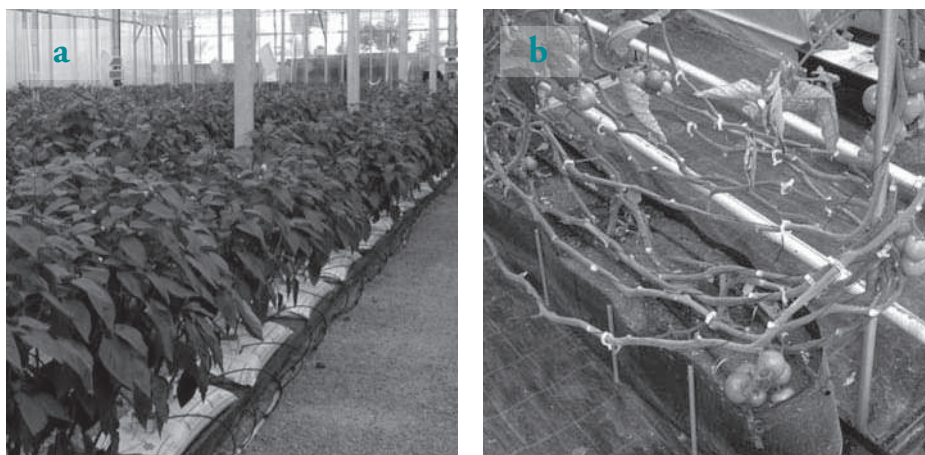


Fibra de coco

Este es un sustrato que está constituido por las fibras de la cáscara del coco. Estas tienen una gran porosidad, una alta capacidad de retención del agua presentando un buen drenaje y, a diferencia de la lana de roca o la perlita, presentan una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC). Su presentación es similar a la perlita, estando disponible tanto en sacos (Figura 15a) como a granel para utilizar en contenedores o en canaletas (Figura 15b).

La principal ventaja de este sustrato es su escaso impacto ambiental ya que se obtiene como subproducto de los cocos y al ser biodegradable su eliminación no es tan problemática como en el caso de los sustratos de origen mineral.

Figura 15. Cultivos de pimiento en sacos de arcilla expandida (a) y de tomate en contenedores de fibra de coco (b)



Hidroponía

La hidroponía realmente es la técnica utilizada para cultivar sin ningún tipo de sustrato sólido, al desarrollarse el sistema radical en un medio acuoso en el que están disueltos los nutrientes y elementos necesarios para el correcto desarrollo de las plantas. Existen varios métodos de cultivos hidropónicos de entre los cuales cabe destacar el denominado NFT (*Nutrient Film Technique*) que consiste en mantener la planta sobre un canal por el que fluye una delgada lámina de solución nutritiva, de forma que las raíces se desarrollan entrando en contacto con el líquido. Al distribuirse el sistema radicular sobre un volumen muy pequeño de líquido con relación a su superficie se produce una perfecta aireación de las raíces.

Los canales más utilizados suelen ser de polietileno de 200 galgas, que deben ser opacos a la luz para evitar el desarrollo de algas en la superficie. Este sistema presenta algunas ventajas con respecto a otros tipos de cultivo sin suelo, como son la sencillez de su estructura, constituida por simples canales de plástico y la de permitir una buena aireación de las raíces. Sin embargo, las principales diferencias son consecuencia de que en este sistema se realiza una recirculación continuada de la solución nutritiva, aunque esto es posible realizarlo también en los cultivos en sustrato.

La recirculación de la solución nutritiva es una alternativa eficaz ante la escasez de agua y los problemas medioambientales que conlleva la eliminación de las aguas de drenaje con altos contenidos en elementos químicos. Este sistema redonda en un mayor aprovechamiento de los recursos: el espacio físico, el agua, los fertilizantes e incluso algunos de los tratamientos fitosanitarios que puedan aplicarse en la solución.

Los cultivos sin suelo tienen otras ventajas adicionales, ya que facilitan las labores de cultivo, permiten disponerlos a varias alturas, optimizando así el aprovechamiento del terreno, y posibilitan técnicas avanzadas para cultivar en un mismo invernadero plantas con distinto estado de desarrollo. Todo ello aumentando el control sobre el aporte de agua y nutrientes a la planta y permitiendo la gestión adecuada de los lixiviados.

2.5. Estructuras de invernadero

El rápido desarrollo de los cultivos bajo plástico se ha visto acompañado por un paulatino avance en materia fitosanitaria, mejora vegetal, técnicas de cultivo y comercialización. Sin embargo, hasta finales de los años noventa este auge no se tradujo en una mejora de las estructuras y del control climático de los invernaderos, debido fundamentalmente al largo periodo de tiempo necesario para renovar las estructuras, y a la fuerte inversión necesaria para ello (Valera *et al.*, 1999b). Hoy día continúa habiendo mucho trayecto de mejora en estructuras y en el control climático de invernaderos; sin olvidar la mejora vegetal orientada al sabor, la gestión de los residuos, y el esfuerzo necesario para cambiar la tendencia de caída continuada de la renta de los agricultores.

Sin embargo, en los últimos diez años la incorporación de tecnología a los invernaderos ha experimentado un avance significativo, aunque muy lento, con la suma, puesta en funcionamiento de sistemas activos de control del clima, y en mucha menor medida, de equipos de análisis de la producción y gestión laboral. En todo este proceso, y de manera también lenta, se están realizando mejoras en la estructura de los invernaderos. Así, se ha producido un progresivo abandono de las estructuras tradicionales tipo parral. Actualmente se construyen derivaciones mejoradas de los invernaderos tradicionales, con mayor volumen interior, más herméticos, con inclinación a dos aguas de la cubierta de cada módulo: los tipo Almería en su variante de raspa y amagado, que permiten la instalación de ventilación cenital y otras mejoras. Además, continúa en ascenso la superficie cubierta con invernaderos de tipo multitúnel, con

más volumen interior, incrementando la superficie de ventilación con ventanas tanto cenitales como laterales en las cuatro bandas, más herméticos, y por ello con mayores posibilidades de incorporar sistemas activos de control climático. No obstante, cada mejora tecnológica debe justificarse con un incremento previsto de la rentabilidad de la explotación, donde juega también un papel central el cultivo y la comercialización; de ahí el interés especial de este estudio.

Como hemos comentado, en menor medida también ganan terreno invernaderos procedentes de otros países europeos, como son los multitúnel utilizados en Francia, y los invernaderos *venlo* procedentes de Holanda. Estas estructuras en su diseño original estaban menos adaptadas a las condiciones climáticas de la zona que el invernadero tipo Almería. Los invernaderos *venlo*, o de cristal, están siendo introducidos en el Sudeste peninsular en las últimas campañas agrícolas fundamentalmente por empresas con capital holandés. El problema esencial de este tipo de estructuras es su elevado coste, que está en otro orden de magnitud que los tradicionales tipo Almería y los de tipo industrial o multitúnel.

Todas las nuevas estructuras son más herméticas, más altas, con mayor inercia térmica, poseen mayor separación entre apoyos; por lo que permiten incorporar nuevos equipos y tecnologías, y así controlar parámetros ambientales y mecanizar las labores culturales.

Como consecuencia de la aparición de normas europeas sobre la construcción de invernaderos y de las ya aplicables en España, como la de invernaderos de estructura metálica (UNE 76-208/92), deben adaptarse a ellas las estructuras, de forma que sean más seguras frente a la acción eólica y permitan un mayor control del clima. También ha habido intentos, sin el éxito esperado, de creación de la Norma UNE para la construcción de invernaderos tipo Almería, principalmente de cara a mejorar los elementos resistentes que conforman la estructura a garantizar su calidad y a facilitar su exportación hacia otros países y zonas climáticas (Sudamérica, Norte de África y Este de Asia). La normalización debe aportar mayor homogeneidad en los diseños, mayor seguridad estructural y, como consecuencia de ello, una mayor facilidad para incorporar tecnología, fundamentalmente orientada al control climático.

En Holanda se están empezando a comercializar nuevos diseños de invernaderos de tipo *venlo* con dos plantas, y con una altura superior a 8 m, en los que mediante sistemas de control climático muy sofisticados, se puede mantener el invernadero cerrado. En estos invernaderos se puede prácticamente conseguir duplicar la densidad de plantación, al disponer el cultivo a dos

alturas diferentes. En la planta inferior se utiliza de forma continua iluminación artificial, mientras que en la planta superior se utiliza la radiación solar; además la temperatura se controla mediante calefacción y la recirculación del aire caliente de la planta superior a la inferior.

En todo caso, para todos los tipos de invernadero, su microclima dependerá de factores inherentes a la propia estructura, al clima exterior, y al cultivo que hay en su interior.

El primer factor que hay que considerar a la hora de construir un invernadero es su orientación, ya que determina la disponibilidad de luz para las plantas y condiciona la eficacia del sistema de ventilación y la seguridad de la estructura frente al viento. El tipo de invernadero y la forma de la cubierta influyen principalmente en la captación de energía solar.

Una de las características geométricas más importantes de un invernadero es su anchura, ya que ésta afecta directamente a la circulación de aire en el interior. También es importante considerar en el diseño del invernadero su altura, puesto que determina su volumen unitario. En los invernaderos mediterráneos el parámetro de diseño que mayor importancia tiene en el control climático es la superficie y el tipo de ventanas utilizadas.

2.5.1. Invernadero tipo Almería

El invernadero tipo Almería posee varios subtipos como son: parral, raspa y amagado y asimétrico, cuyas diferencias estructurales son muy pequeñas y, en realidad se denominan los tres bajo el mismo término: tipo Almería, ya que fue allí su origen, y es desde donde comenzó su expansión a otras zonas de la Península Ibérica así como de fuera de ella, como el norte de África, América y algunas zonas de Asia.

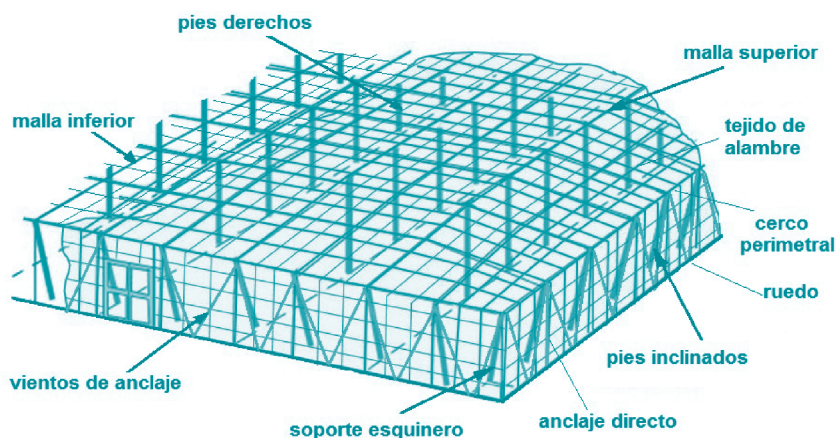
La mayoría de los invernaderos de la provincia son de tipo Almería, también conocido como tipo parral, caracterizados porque gran parte de los elementos estructurales son flexibles y están formados por alambres individuales o trenzas, sometidas a una tensión inicial durante el proceso de construcción (Valera *et al.*, 2004). El cerramiento de la cubierta está formado por láminas flexibles de plástico situadas entre dos mallas de alambre, extendiéndose éste a los cerramientos laterales de la estructura. Actualmente continúan siendo los más utilizados, con mucha diferencia, en el Sureste de España. Como ya se ha comentado, existen tres subtipos del invernadero tipo Almería en función de la forma de su cubierta:

- *Parral plano*: invernadero Almería cuya cubierta es plana y el plástico del cerramiento de la cubierta está perforado para evacuar el agua de lluvia.
- *Raspa y amagado*: invernadero Almería formado por módulos a dos aguas adosados cuyos módulos interiores presentan simetría con respecto a la cumbre, y en los perimetrales la pendiente del faldón exterior es diferente a la del interior.
- *Asimétrico*: invernadero Almería formado por módulos a dos aguas adosados cuyos módulos interiores presentan asimetría con respecto a la cumbre.

Invernadero parral plano

El primer subtipo es el denominado plano o parral plano, derivado de los antiguos parrales dedicados al cultivo de la uva de mesa. Está compuesto por dos elementos básicos: una estructura vertical y otra horizontal (Figura 16). La estructura vertical está constituida por soportes rígidos que se pueden diferenciar según sean perimetrales (soportes de cerco situados en las bandas y los esquineros) o interiores (denominados pies derechos).

Figura 16. Estructura de un invernadero parral plano



Los soportes verticales del interior son los encargados de transmitir a la cimentación las cargas que recibe. Los postes centrales definen la altura del invernadero. Los pies derechos intermedios suelen estar separados 2 m en sentido longitudinal y 4 m en dirección transversal, aunque también abundan separaciones de 2 x 2 y 3 x 4 m. En algunas ocasiones los postes están colocados al tresbolillo, es decir, alternando la disposición de los apoyos en cada línea.

Los soportes inclinados situados en el perímetro del invernadero definen la altura de las bandas. Estos apoyos perimetrales tienen una inclinación hacia el exterior de aproximadamente 30° con respecto a la vertical y junto con los vientos, que sujetan su extremo superior al suelo, sirven para tensar las cordadas de alambre de la cubierta. Estos apoyos generalmente tienen una separación de 2 m aunque en algunos casos se utilizan distancias de 1,5 m.

Tanto los apoyos exteriores como los interiores pueden ser rollizos de pino o eucalipto, tubos de hierro galvanizado o perfiles laminados de hierro y, excepcionalmente, postes de hormigón pretensado. El cerramiento vertical del invernadero lo constituyen las bandas cuyo principal elemento estructural es el ruedo.

La estructura horizontal (plana) flexible está constituida por dos mallas de alambre galvanizado superpuestas, tejidas manualmente de forma simultánea a la construcción del invernadero (Figura 17). Estas dos mallas, conocidas como tejidos, están constituidas por un conjunto de hilos y cordadas que conforman cuadriláteros que constituyen los elementos resistentes de la estructura de cubierta y de las bandas. Se realizan dos tejidos (superior e inferior) que permiten sostener y sujetar la lámina de plástico entre ellas (Figura 18a).

El principal elemento resistente del tejido de cubierta son las cordadas (Figura 17) constituidas por un alambre grueso, por trenzas o cables. Las cordadas se sujetan a los postes centrales mediante un nudo de alambre con un mínimo de cuatro vueltas denominado garrotera (Figura 18a).

Los tejidos superior e inferior entre los que se sitúa la lámina plástica, se unen mediante un punto de alambre que perfora la misma (Figura 17b), reduciendo así la estanqueidad del invernadero, lo que constituye uno de los principales inconvenientes de este tipo de estructuras.

Además de estas dos partes de la estructura, existen otros elementos del invernadero como son los bloques prefabricados de hormigón, cuya cara superior presenta una oquedad donde se apoya el poste central del invernadero (*pies derechos*), transmitiendo los esfuerzos de compresión a la cimentación o

directamente al terreno. Actualmente se construyen sobre pilotes de hormigón fabricados *in situ*, con la armadura de la cimentación terminada en «U», dentro de la cual se asienta el dado de hormigón sobre el que apoya el pie derecho. Con un alambre que se fija el pie derecho a la prolongación de la armadura de la cimentación (Figura 18b).

Figura 17. Estructura de un invernadero tipo Almería con la doble malla de alambre (a) y detalle de la unión de las cordadas longitudinal y transversal (b)

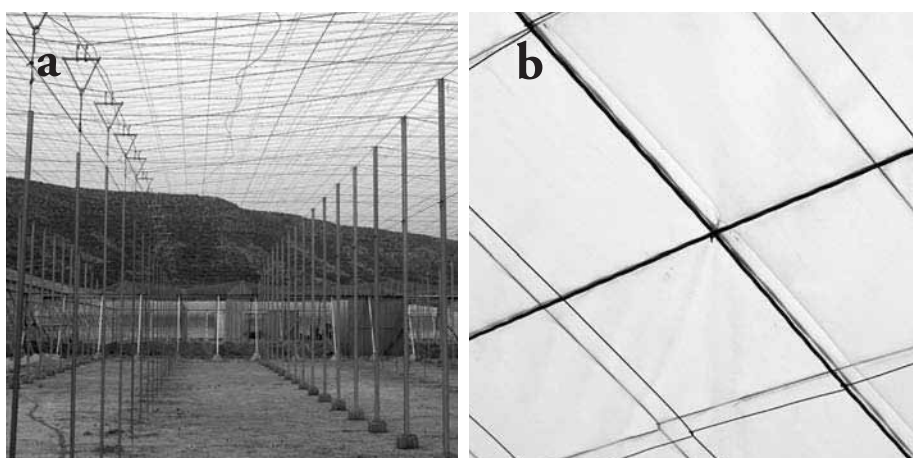
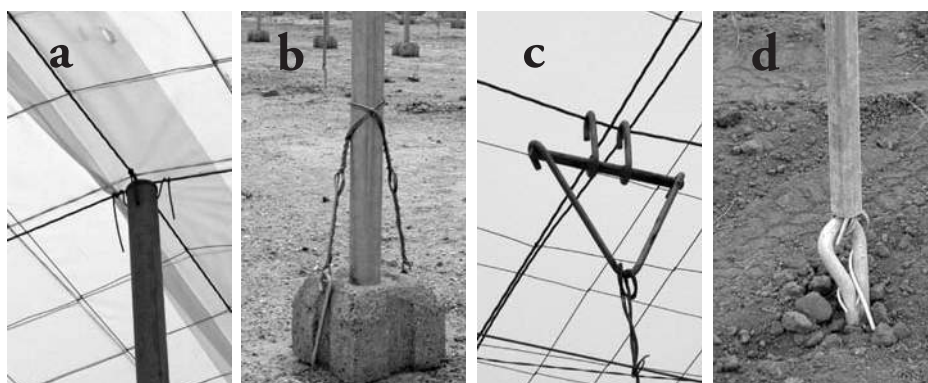


Figura 18. Elementos estructurales de un invernadero tipo Almería con unión de las cordadas longitudinales y transversales a un poste central mediante garroteras (a), anclaje de los pies derechos (b), sujeción de las canaletas a las cordadas transversales (c) y anclaje de los amagados a los «muertos» (d)



La mayoría de los invernaderos que se construyen hoy día se refuerzan con vientos de anclaje, mediante redondos de hierro soldados a la parte superior de los pilares del perímetro, en sustitución de la tradicional cordada de alambre y, con un cerco perimetral realizado soldando ángulos de acero en la parte superior de los apoyos (Figura 19a). Los vientos son el elemento resistente que actúa como tensores uniendo la parte superior de los pies inclinados y la cimentación de anclaje perimetral (muertos). Suele haber dos tensores o vientos formando un ángulo agudo con la vertical (Figura 19a), a los que se puede añadir otro adicional perpendicular al suelo, demonimado directo. Todos los vientos se anclan a la cimentación, conociéndose el conjunto de tensores de un mismo soporte perimetral como abanico (Figura 19b).

Figura 19. Estructura de la banda lateral de un invernadero tipo Almería con cerco perimetral con ángulos de acero y vientos de acero (a) y detalle de un anclaje directo entre dos vientos (b)



Es mencionable un tipo particular de invernadero plano muy antiguo que está constituido por una estructura de tuberías de hierro galvanizado con una separación de 3 x 3 m (Figura 20). Los apoyos perimetrales se sitúan verticalmente, siendo la altura del invernadero de unos 2,5 m. Actualmente, no se suelen construir pero todavía se puede ver este tipo de estructura en el campo almeriense.

Figura 20. Interior de un antiguo invernadero plano con estructura metálica



Las principales ventajas de este tipo de invernadero son:

- Es muy económico, estando su precio comprendido entre 4 y 10 €/m², dependiendo del tipo de apoyos.
- Tiene una gran adaptabilidad a las diferentes formas de las parcelas así como a los desniveles del terreno.
- Presenta una gran uniformidad luminosa.

Las desventajas de este tipo de invernadero son:

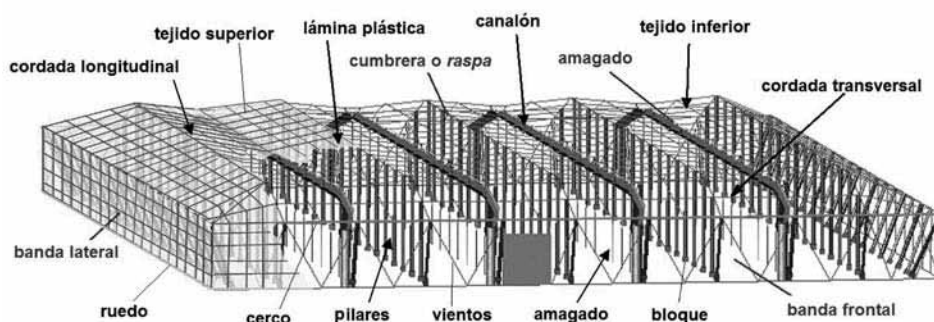
- Presenta un gran número de obstáculos en su interior, con lo que el espacio libre es escaso.
- La ventilación es deficiente cuando la anchura es superior a 30 m, lo que ocurre en la mayor parte de los casos.
- La instalación de ventanas cenitales es bastante difícil.
- Es poco estanco al agua de lluvia y al aire, lo que provoca una elevada humedad en el interior y posibles daños en el cultivo por goteo en periodos de lluvia, así como elevadas pérdidas de calor por filtración del aire interior.
- La falta de hermeticidad imposibilita la incorporación de técnicas de control climático.

Invernadero en *raspa y amagado*

Este invernadero es el que más se ha extendido en los últimos años en detrimento del tipo plano. Su estructura es muy similar a la de este último, variando principalmente la forma de la cubierta que presenta un ángulo que oscila entre 6° y 20° . Cuanto mayor es dicho ángulo mejor intercepta la radiación solar, pero requiere mayor solidez estructural debido a los esfuerzos que le provoca la acción del viento. La cubierta se compone de dos partes (Figura 21):

- La *raspa*, que es la intersección de las dos vertientes de la cubierta de un módulo en su parte más alta.
- El *amagado* que es la intersección de la parte inferior de las vertientes de cubierta entre módulos adyacentes donde se instalan las canaletas de evacuación de aguas pluviales.

Figura 21. Estructura de un invernadero tipo Almería



Con respecto a los invernaderos planos se aumenta la altura máxima del invernadero en la cumbre, que oscila entre 3 y 4,2 m, formando la «raspa». En el «amagado» se unen las mallas de la cubierta al suelo mediante vientos y horquillas de hierro que permiten colocar el tubo de desagüe del agua de lluvia. La altura del amagado oscila de 2 a 2,8 m y la de las bandas entre 2 y 2,5 m.

En el subtipo raspa y amagado la separación entre los apoyos y los vientos del amagado suele ser de 2 x 4 m, utilizándose también separaciones como 2,5 x 4; 2 x 6 o 2 x 8 m. En la estructura de estos invernaderos se pueden distinguir una cordada longitudinal paralela a las raspa del invernadero que

se apoya sobre los pies derechos y una cordada transversal, perpendicular a las raspas del invernadero que se apoya sobre las cordadas longitudinales. También se pueden distinguir en el tejido de la malla de alambres, los hilos de llaneo paralelos a las raspas del invernadero y los de tejido perpendiculares a las raspas del invernadero que se tejen dándole una vuelta sobre los hilos de llaneo.

Figura 22. Invernadero tipo Almería en su variante raspa y amagado



Entre otros aspectos, como su gran adaptación a las condiciones de Almería, su expansión se ha debido a que:

- Es económico, siendo su precio de construcción de 4,5-15 €/m².
- Tiene un buen volumen unitario y como consecuencia mayor inercia térmica que aumenta la temperatura nocturna con respecto a los invernaderos planos, frente a los que también es más hermético.
- La mayor altura de estos invernaderos facilita la circulación del aire.
- Permite la instalación de ventilación cenital situada a sotavento, junto a la arista de la cumbrera, lo que permite una buena ventilación por *efecto chimenea*.
- Resiste muy bien la acción del viento.
- Permite geometrías irregulares de la superficie en la planta del invernadero (descuadres).
- Está muy bien adaptado a determinados cultivos, por ejemplo, los no tutorados.

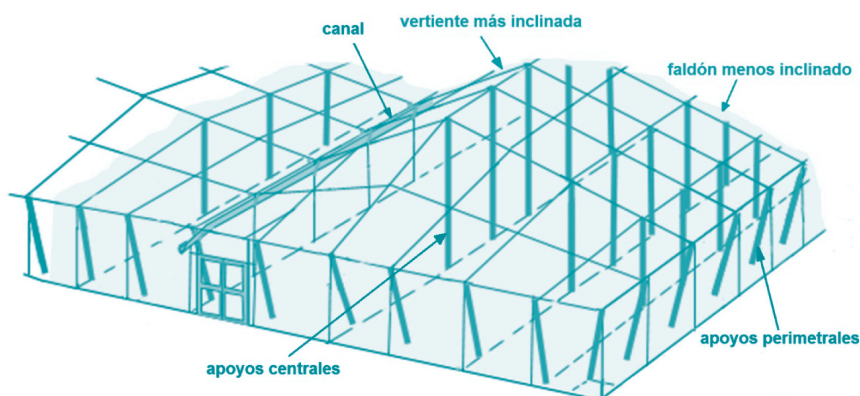
Figura 23. Invernadero en raspa y amagado en construcción



Invernadero asimétrico

La variante asimétrico (Figura 24) difiere del subtipo raspa y amagado en que las vertientes de la cubierta tienen distinta inclinación, con objeto de aumentar su capacidad de captación de energía solar. En este subtipo la altura máxima de la cubierta varía entre 3 y 5 m, y su altura mínima de 2,3 a 3 m. La altura en las bandas oscila entre 2,15 y 3 m. La separación de los apoyos interiores suele ser de 2 x 4 m, aunque también pueden encontrarse valores de 3 x 4 y 2 x 8 m.

Figura 24. Estructura de un invernadero asimétrico



2.5.2. Invernadero multitúnel

El invernadero multitúnel, también llamado de tipo industrial, se caracteriza por la forma semicilíndrica de su cubierta y por su estructura totalmente metálica (Figuras 25 y 26). Este tipo de invernadero se está extendiendo en la actualidad en explotaciones tecnificadas, por su mayor capacidad para el control de las variables microclimáticas.

Los actuales modelos de invernaderos multitúnel están constituidos en su totalidad por tubos de acero galvanizado, en su mayor parte de sección cilíndrica, con diámetros entre 25 y 60 mm y con espesores de 1,5-3 mm. La unión entre las diferentes piezas se realiza mediante bridas o abrazaderas, conformadas en frío mediante corte y prensado de chapas galvanizadas con espesores de 1,5-2,5 mm, y fijados con tornillos.

En estos invernaderos el plástico se sujeta a la estructura mediante unos perfiles denominados omegas, debido a la forma de su sección (Figura 27). Los extremos del plástico se introducen en la parte hueca de la pieza y se sujetan mediante tacos de polietileno que ejercen una fuerte presión en la parte interna del perfil metálico.

Figura 25. Invernaderos multitúnel de la Universidad de Almería



Figura 26. Estructura de un invernadero tipo multitúnel

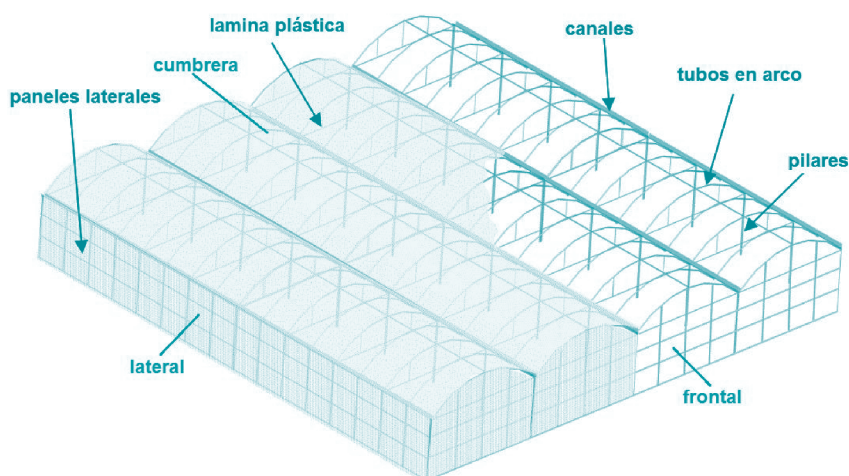


Figura 27. Perfiles para la sujeción del plástico en invernaderos multitúnel



En estos invernaderos se han eliminado los entramados de alambre típicos del resto de estructuras. Para realizar una mejor sujeción del plástico se pueden utilizar cintas o hilos de material plástico que se colocan en la parte externa para mantener siempre pegada la cubierta a la estructura. Así se impide que en días de fuertes vientos se produzca el aleteo del film sobre la estructura metálica, lo que suele ocasionar cortes en el mismo facilitando su rotura.

Los túneles presentan anchuras que varían de 6,5 a 9 m y la separación entre apoyos bajo las canales suelen ser de 4 o 5 m. El marco más utilizado es de 8 x 5 m de separación de los soportes interiores y en los invernaderos antiguos de 3 x 5 m. La altura máxima de este tipo de invernaderos suele oscilar entre 3,5 y 6 m. En las bandas laterales se adoptan alturas de 2,5 a 4 m. La tendencia es a construirlos cada vez más altos y con ventilación tanto cenital (en todos los módulos) como lateral en todo el perímetro.

Muchos de los invernaderos de este tipo se construyen con cerramiento lateral rígido de policarbonato ondulado, por lo que presentan una mayor resistencia al viento en los laterales y frontales, donde los esfuerzos son mayores. La cubierta es de polietileno de baja densidad, similar a la utilizada en los invernaderos tipo Almería.

Figura 28. Estructura de un invernadero multitúnel de cubierta cilíndrica



Las ventajas de los invernaderos con cubierta semicilíndrica son:

- La gran separación de los apoyos permite el trabajo y la entrada de maquinaria en el invernadero.
- La elevada altura de estos invernaderos facilita la circulación del aire.
- Presentan una buena estanqueidad a la lluvia y al aire, lo que permite utilizar métodos de control activo del clima, como calefacción, paneles evaporadores o enriquecimiento carbónico.

- Permite la instalación de ventilación cenital situada a sotavento (que aumenta la tasa de ventilación) y facilita su accionamiento mecanizado.
- La cubierta curva proporciona un buen reparto de la luminosidad en el interior del invernadero.
- Permite utilizar una parte de la estructura como zona de recepción o de almacén.

Sus principales inconvenientes son:

- Su elevado precio de construcción, alrededor de 12-25 €/m².
- El plástico requiere mayores exigencias mecánicas, ya que está poco sujeto a la estructura.

Una variante de los invernaderos multitúnel de cubierta circular, la constituyen los invernaderos ojivales o de tipo gótico, en los que los arcos están constituidos por dos arcos de circunferencia que se sueldan en la cumbrera (Figura 29).

Figura 29. Invernadero multitúnel gótico con ventanas supercentritas en cumbrera



2.5.3. Invernadero tipo *venlo*

Los invernaderos *venlo* o de cristal (Figura 30), son las estructuras típicas utilizadas en Holanda, y se pueden apreciar algunas de ellas también en Almería.

Están conformados por una estructura metálica y una cumbrera en forma de capilla múltiple con una inclinación de 22° en la mayoría de los casos. Estos invernaderos disponen de una sólida estructura capaz de soportar el elevado peso de las placas de vidrio que constituyen los cerramientos.

El espesor del vidrio es estándar, de 4 mm y se sujeta por los cuatro lados, con un ancho máximo de 1,125 metros. Mediante vigas de celosía se consigue aumentar la anchura de los módulos, generalmente entre 6,4 y 12 m. Las columnas pueden tener una separación de 3,4 o 4,5 m, y la altura en cumbrera de la cubierta puede llegar a los 6,5 m. El problema esencial de este tipo de invernaderos es su elevado coste, que está en otro orden de magnitud que los tradicionales parrales y los de tipo industrial o multitúnel. Está además especialmente diseñado para zonas muy frías.

Estos invernaderos se han mostrado muy efectivos en los climas fríos de Centroeuropa, área de donde proceden, pero su adaptación a las duras condiciones climáticas estivales de zonas áridas como Almería (España), así como la amortización de la instalación, de precio muy superior a las anteriores (en torno a 30-40 €/m²), condiciona su expansión en las mismas.

Figura 30. Estructura de un invernadero de cristal tipo *venlo*

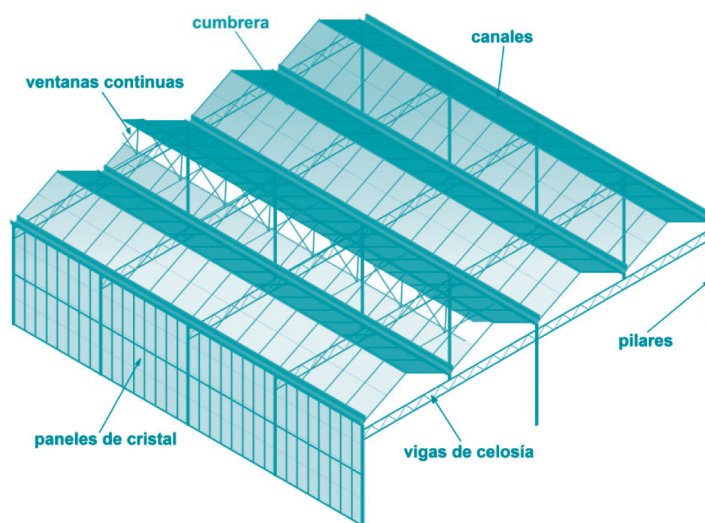


Figura 31. Invernadero de cristal tipo *venlo* en Almería

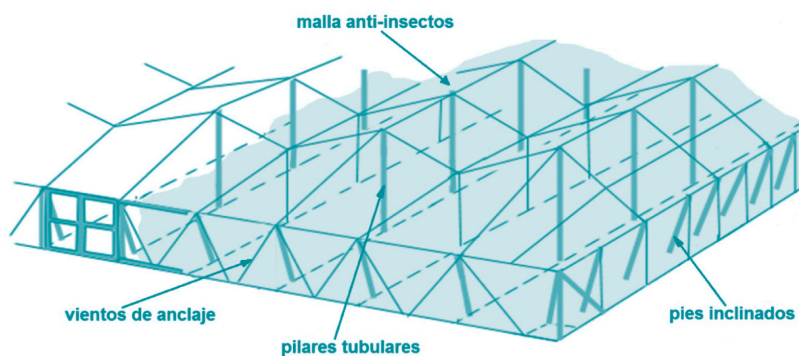


2.5.4. Invernadero con cubierta de malla

Este tipo de invernadero ha sido utilizado con gran éxito en el cultivo de tomate en Canarias y en nuestros días está también implantado en la comarca del Bajo Almanzora, especialmente para el cultivo del tomate.

Estos invernaderos, que tienen una estructura similar a los invernaderos en raspa y amagado, tienen todos los apoyos de tubo de hierro galvanizado, con una mayor altura en la cumbrera, 4 m y una mayor separación interior, 3×4 m. El ángulo de la cubierta es de unos 22° .

Figura 32. Estructura de un invernadero de malla



Los puntos fuertes de los invernaderos de malla son:

- La elevada altura de estos invernaderos y la permeabilidad de cubierta facilita la circulación del aire.
- Se aprovecha el agua de lluvia.
- La gran separación de los apoyos facilita el trabajo y la entrada de maquinaria en el invernadero.
- Gran resistencia a fuertes vientos.
- Bajo coste de construcción, alrededor de 10-14 €/m².

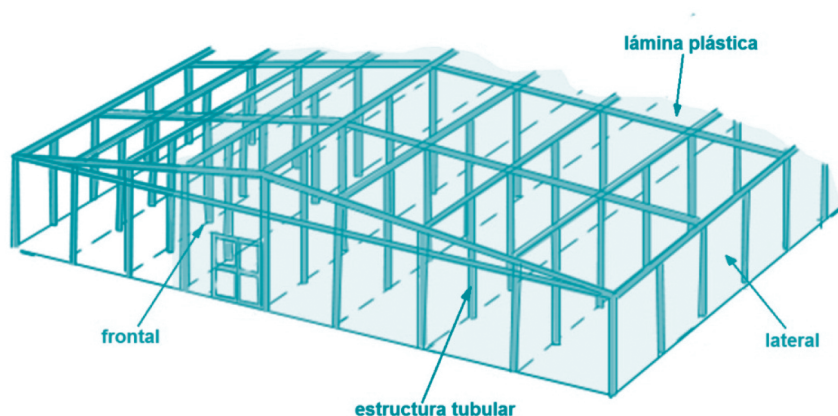
Figura 33. Invernadero de malla con cultivo de tomate



2.5.5. Invernadero con cubierta plástica «a dos aguas»

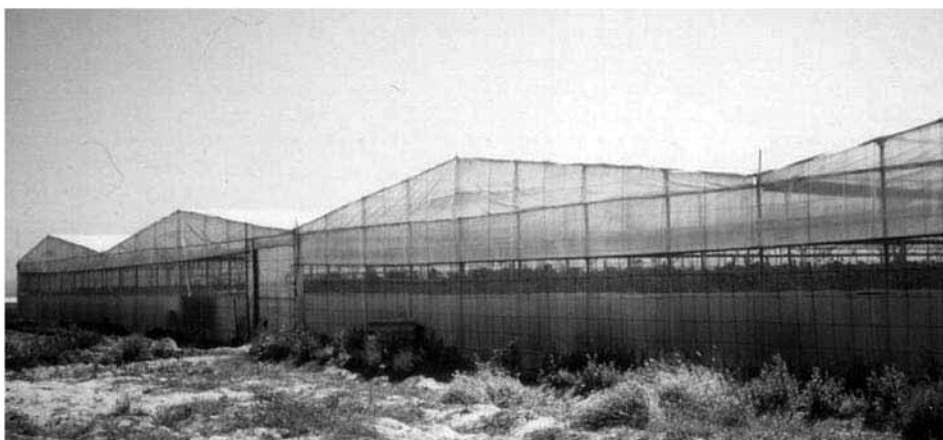
Este tipo de invernadero es muy antiguo, tendiendo a desaparecer desplazado por otros tipos. Este invernadero se ha construido tanto con palos y alambres, como mediante tubos de hierro galvanizado. A este último se le conoce como invernadero tipo Canarias debido a que ha sido una de las estructuras de invernadero más extendida en las Islas.

Figura 34. Estructura de un invernadero de tubos de hierro galvanizado y con cubierta «a dos aguas»



La separación de los apoyos interiores suele ser de 2×4 m para apoyos de madera y de 3×3 m en los invernaderos con estructura metálica. La altura de estos invernaderos es de 2,3 a 4 m en la cumbre, y 1,8-2,2 m en las bandas. El ángulo de inclinación de la cubierta oscila entre 2 y 10° .

Figura 35. Invernadero con cubierta «a dos aguas»



2.5.6. Características geométricas del invernadero

El microclima que se genera en el interior de un invernadero depende tanto de las condiciones climáticas exteriores y del cultivo que hay en un

determinado momento en su interior, como de una serie de factores y de características del propio invernadero que dependerán de su diseño y permanecerán invariables a lo largo de toda su vida útil. Entre ellas podemos destacar las siguientes:

Situación

El primer factor que hay que considerar a la hora de construir un invernadero es su situación geográfica. Deben evitarse zonas sombrías y húmedas, aquellas excesivamente expuestas a la acción directa de fuertes vientos y las zonas donde la presencia de otros invernaderos puede dificultar la ventilación, ya que este es el principal método de control climático en los invernaderos almerienses. A estas consideraciones habrá que añadir otras, relacionadas con la proximidad a carreteras, la disponibilidad de agua y electricidad, el coste del terreno, etc.

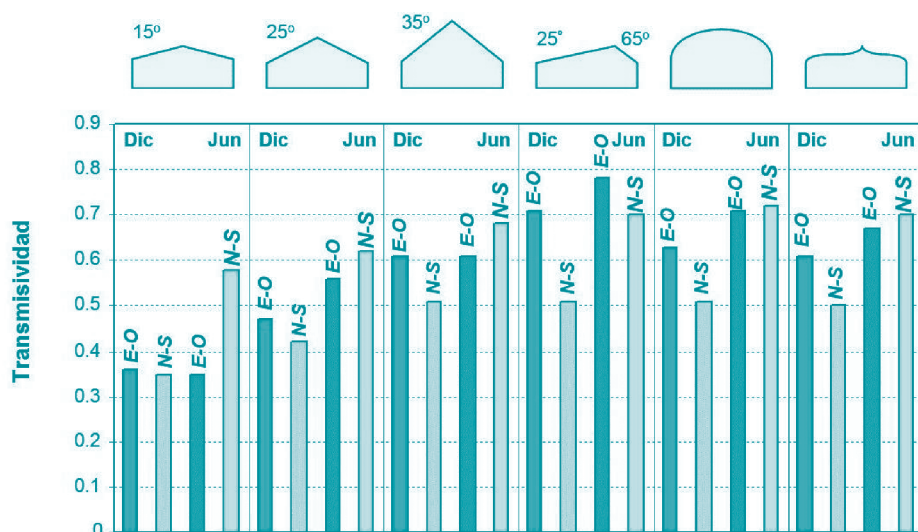
Orientación

Otro de los factores que hay que considerar a la hora de construir un invernadero es su orientación, ya que determina la disponibilidad de luz para las plantas y condiciona la eficacia del sistema de ventilación y la seguridad de la estructura frente al viento. Comparando solo la estación invernal, que es el periodo del año en el que hay menor intensidad luminosa y en el que los días son más cortos, en latitudes mayores de 30° como es el caso de Almería, una orientación este-oeste (Figura 36) garantiza una mayor transmisividad de la cubierta a la radiación solar que la orientación norte-sur (Giacomelli y Ting, 1999; Urban, 1997). En los invernaderos con una elevada pendiente de la cubierta (30°) se observa una transmisividad de la radiación global en otoño-invierno hasta un 10 % superior con la orientación E-O que con la N-S (Castilla, 2005). Éste es el caso de los invernaderos de tipo *venlo* en los que Bot (1983) observó transmisividades del 45 % para la orientación E-O y del 35 % para la N-S, en diciembre. Sin embargo, para invernaderos tipo Almería, cuya pendiente media es de unos 7,2° (Molina-Aiz, 1997; Valera *et al.*, 1999b), se observa que prácticamente no existen diferencias en la transmisividad entre las orientaciones E-O o N-S (Papadakis *et al.*, 1998; Castilla, 2001).

Desde el punto de vista de la ventilación, la mejor orientación es la perpendicular a los vientos dominantes en primavera y verano, cuando la ventilación se hace más necesaria. Por ello en Almería lo usual es disponer, siempre que

la parcela lo permita, el eje de las cumbreras del invernadero en la dirección Norte-Sur. Así, las ventanas cenitales se sitúan perpendiculares a los vientos de *Poniente* y *Levante* predominantes en la zona. El ángulo de incidencia del viento sobre las ventanas, no parece tener una importancia significativa, tanto en los invernaderos de tipo *venlo*, con ventanas discontinuas (Fernández y Bailey, 1993; Campen, 2003) como en los invernaderos multitúnel (Boulard y Draoui, 1995) o tipo Almería (Campen y Bot, 2003), con ventanas continuas a lo largo de todo el invernadero. Sin embargo, si suele ser importante el sentido del viento, puesto que la efectividad de las ventanas varía según se encuentren a barlovento o sotavento.

Figura 36. Transmisividad de varios tipos de invernaderos orientados este-oeste y norte-sur en Diciembre y Junio



Fuente: Nisen (1969).

Tipo y dimensiones

El tipo de invernadero y la forma de la cubierta influyen principalmente en la captación de energía solar (Von Elsner *et al.*, 2000a). Una inclinación del techo adecuada (por encima del 25 %), para evitar la condensación del agua y el goteo sobre las plantas, es un requisito necesario en los invernaderos mediterráneos (Von Zabeltitz, 1992).

Una de las características geométricas más importantes de un invernadero es su anchura ya que ésta afecta directamente a la circulación de aire y su capacidad de ventilación al determinar directamente la distancia entre las ventanas laterales de barlovento y sotavento. Así, no son recomendables anchuras superiores a 30 m (Molina-Aiz, 2010), aunque la mayoría de los invernaderos de Almería superan ampliamente esta magnitud.

También es importante considerar en el diseño del invernadero su altura, puesto que determina su volumen unitario. Un mayor volumen del invernadero produce una respuesta más lenta del ambiente interior a los cambios de las condiciones climáticas exteriores, por lo que, los invernaderos más altos muestran menores fluctuaciones en su microclima interior. Se recomiendan al menos, alturas de 3,5 a 4 m en cumbre y de 2,5 a 3 m como altura mínima de la cubierta y en las bandas, de forma que se permita la circulación del aire sobre las plantas y que se obtenga una gran inercia térmica para reducir las temperaturas extremas (Valera *et al.*, 2002b).

Los invernaderos altos ofrecen otras ventajas importantes como una gran eficacia de ventilación. La mayor altura del invernadero aumenta las diferencias de presión a lo largo de la cubierta para velocidades del viento elevadas, mientras que para bajas velocidades también mejora la ventilación por efecto chimenea inducido por una mayor distancia entre las ventanas laterales y cenitales (Von Elsner *et al.*, 2000a). Además, los invernaderos más altos permiten más espacio para la instalación de sistemas de control climático como pantallas térmicas o mallas de sombreado, equipos de nebulización, iluminación artificial, etc. Por estas razones, la tendencia actual en la tecnología de invernaderos es hacia invernaderos más altos.

Sin embargo, los invernaderos más altos aumentan el consumo de energía y presentan mayores exigencias de estabilidad estructural debido a las mayores cargas de viento que deben soportar. La altura de un invernadero debe optimizarse con respecto a estos factores contrapuestos.

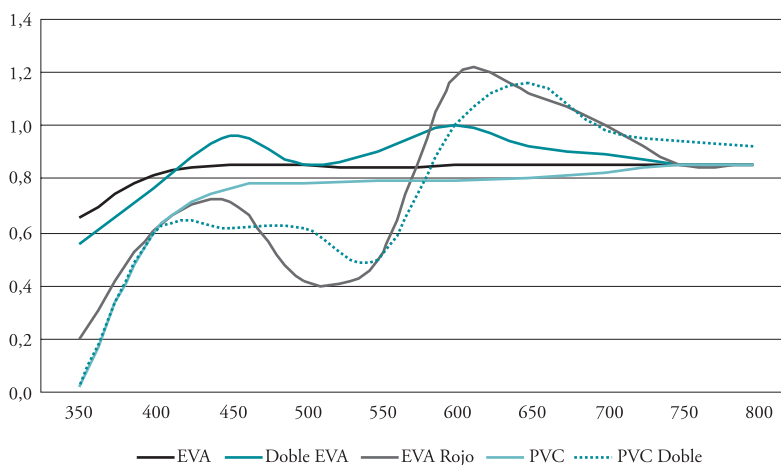
2.5.7. Materiales de cubierta

Otro factor que tiene gran importancia en el microclima del invernadero es el material utilizado como cubierta. El tipo de plástico determina la luminosidad interior, las pérdidas de calor por radiación nocturna, por convección-conducción, y la condensación de agua en la cara interna. Un buen material utilizado en pared simple o doble, de forma temporal o permanen-

te, como cubierta de invernadero, debe presentar las siguientes características (Nisen *et al.*, 1988):

- Su empleo ha de ser económico, lo que no significa obligatoriamente que el precio de compra sea el más bajo.
- Presentar una duración conforme a la vida anunciada por el vendedor.
- Poseer una máxima transparencia a las radiaciones solares, principalmente a las denominadas visibles o fotosintéticamente activas (*PAR*).
- Poseer una mínima transparencia a la radiación infrarroja lejana (*FR*), es decir a la energía radiada por el suelo y las plantas tras haber absorbido la radiación solar incidente.
- Ser termoaislante, es decir tener un coeficiente de pérdidas de calor lo más bajo posible.
- No retener polvo que reduce rápidamente sus propiedades de transparencia a la luz solar.
- Producir una condensación de la humedad en forma de una fina lámina de agua evitando la formación de grandes gotas que al caer sobre el cultivo pueden ocasionar daños.

Gráfico 2. Transmisividad en función de la longitud de onda de diferentes materiales de cubierta. En nm



Fuente: Nisen y Coutisse (1981).

El uso de una doble pared de plástico incrementa las temperaturas mínimas de invierno, pero limita la transmisión de luz (Nisen y Coutisse, 1981), por lo que debería ser móvil, pudiendo retirarse durante las horas del día, como es norma con las sofisticadas pantallas térmicas (Albadalejo, 1991).

Láminas flexibles

Las láminas flexibles son el tipo de cerramiento más utilizado en los países de la cuenca mediterránea, siendo su uso muy limitado en países de climas más fríos del centro y norte de Europa (Tabla 2). Existen multitud de láminas flexibles para cubiertas de invernaderos: polietileno de baja densidad, al cual se le añaden aditivos estabilizantes denominados HALS (*Hindered Amide Light Stabilisers*) y otros para mejorar determinadas propiedades como el efecto térmico, la duración, fotoselectividad, estabilizantes a la luz ultra violeta, etc., copolímeros de etileno y acetato de vinilo; láminas coextruidas; PVC plastificado (armado o sin armar); polipropileno (PP); y mallas permeables de polietileno de alta densidad.

La utilización de los plásticos, junto con el enarenado, han sido sin duda los factores determinantes del desarrollo de los invernaderos en la provincia de Almería. En el inicio de los invernaderos el plástico utilizado era el polietileno sin ningún tipo de aditivos. Posteriormente han ido apareciendo en el mercado otros tipos de filmes de polietileno que los agricultores han ido incorporando a sus invernaderos. La corta vida de este tipo de cubiertas, no superior a tres campañas, ha sido fundamental en el rápido desarrollo de los nuevos materiales.

El polietileno de larga duración de 720 galgas (0,18 mm) sigue siendo utilizado en muchos invernaderos, por su bajo precio (0,5-0,9 €/m²), siendo su duración de dos campañas. El polietileno térmico de 800 galgas (0,2 mm) también es utilizado ya que permite alargar su duración hasta tres campañas con un precio aproximado de 0,6-1 €/m².

Los filmes coextruidos en tres capas de polietileno y EVA, en cantidades que varían del 4 a 14 %, aparecidos recientemente en el mercado, se están extendiendo rápidamente. Las láminas de 800 galgas son las más aceptadas por los agricultores por su mayor duración, tres campañas de cultivo.

También existen plásticos fluorescentes para incrementar la radiación fotosintéticamente activa, cambiando la composición espectral de la luz (Castilla, 1994). El uso de film plástico blanco en el suelo para reflejar la radiación hacia el interior del follaje (Garzoli, 1989) y la colocación de reflectores o refractores (Jaffrin y Urban, 1990) han sido sugeridos para aumentar la radiación disponible. Debe prestarse atención a la uniformidad de radiación dentro del invernadero, especialmente en aquellos orientados este-oeste y con una limitada inclinación del techo (Castilla, 1994).

Tabla 2. Porcentajes de invernaderos con cubierta plástica en la Unión Europea

Países de la CEE	Cubierta plástica [%]
España	99
Italia	91
Holanda	2
Francia	70
Portugal	98
Alemania (Oeste)	10
Grecia	95
Reino Unido	15
Bélgica	5
Dinamarca	2
Suecia	14
Austria	20
Total	74

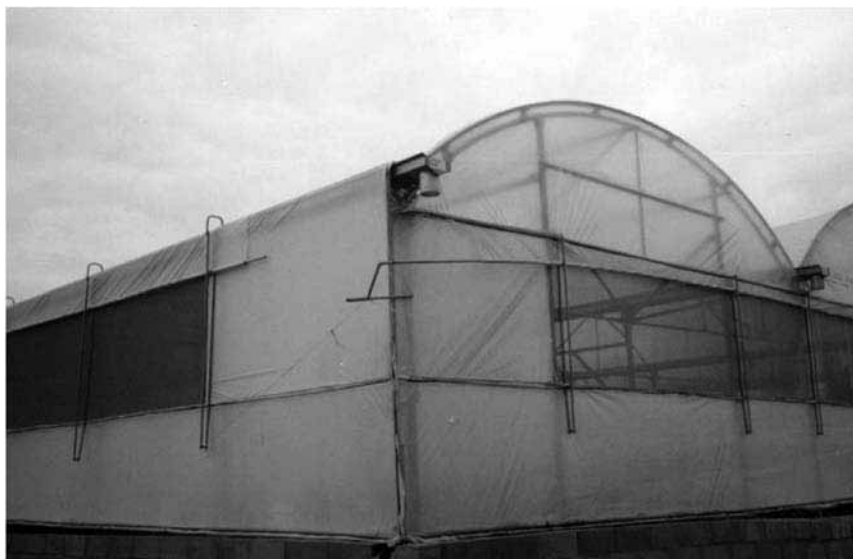
Fuente: Meneses y Monteiro (1993); PlastEuroFilm (1994); Horticultural Statistics (1994); Castilla y Hernandez (1995); Scarascia-Mugnozza (1995); Briassoulis *et al.* (1997); CEPLA (1992); Von Elsner *et al.* (2000b).

Tabla 3. Absortividad (α), emisividad (ε), transmisividad (τ) y reflectividad (δ) para diferentes tipos de radiación; coeficiente de pérdidas de calor (U) y densidad (ρ_z) de los materiales comúnmente utilizados como cubierta de invernaderos

Materiales utilizados en cubiertas simples, en dobles paredes o como pantallas térmicas	Espesor [mm]	Radiación solar (300-2.500 nm)				Radiación visible (380-760 nm)				Radiación térmica (2.500-40.000 nm)			U [W/m ² °C]	ρ_z [g cm ⁻³]
		$\alpha = \varepsilon$	τ	δ	$\alpha = \varepsilon$	τ	δ	$\alpha = \varepsilon$	τ	δ	$\alpha = \varepsilon$	τ		
Vidrio hortícola (VH) ^{b,d}	4	0,03	0,89	0,08	0,01	0,91	0,08	0,90	0,00	0,10	0,10	0,00	6,7	2,40
Políester (PR) ^{e,f}	1	0,01-0,02	0,89-0,92	0,07-0,09	0,01	0,93	0,06	0,64-0,69	0,27-0,32	0,04				1,50
PVC rígido ^{e,f}	18	0,11	0,62	0,27	0,02	0,61	0,37	0,92	0,01	0,07	0,07	0,01	3,8	1,30
Polimetacrilato de metilo (PMMA) ^{e,f}	8	0,06	0,82	0,12	0,01	0,92	0,07	0,98	0,00	0,02	0,02	0,00	3,4	1,19
Policarbonato (PC) ^{e,f}	4	0,08-0,11	0,78	0,14-0,15	0,06-0,10	0,75-0,79	0,15	0,89-0,98	0,02-0,03	0,09	0,09	0,02	3,5	0,17-0,20
Polietileno sin aditivos (PE) ^{d,e,f}	0,1	0,01	0,88-0,91	0,08-0,11	0,01	0,88-0,91	0,08-0,11	0,04-0,19	0,79-0,84	0,02	0,02	0,00	9,1	0,92
Polietileno de baja densidad (PEbd) ^{a,b,g}	0,18	0,03	0,88	0,09	0,01	0,89	0,10	0,13-0,40	0,53-0,80	0,07	0,07	0,00	9,4-16,2	0,91
Polietileno de larga duración (PEld) ^{e,b}	0,1	0,03	0,88	0,09	0,01	0,89	0,10	0,20-0,40	0,53-0,76	0,04-0,07	0,04-0,07	0,00	9,4-16,2	0,92
Polietileno infrarojo (PEir) ^{b,d}	0,1	0,03	0,89	0,08	0,01	0,89	0,10	0,77	0,20	0,03	0,03	0,00	8,6-13,0	0,92
Polietileno térmico (PEt) ^{b,d}	0,18	0,03	0,89	0,08	0,02	0,90	0,08	0,80	0,10	0,03	0,03	0,00	8,6-13,0	0,92
Copolímeros EVA ^{e,f}	0,1	0,02	0,89-0,91	0,07-0,09	0,00	0,90-0,92	0,08-0,10	0,42-0,58	0,39-0,55	0,03	0,03	0,00	7,8	0,94
Coextrusiones PE-EVA-PE ^{b,f,c}	0,2	0,02-0,04	0,82-0,89	0,09-0,14	0,01	0,82-0,85	0,14-0,17	0,59	0,38	0,03	0,03	0,00	8,8-10,4	0,93
PVC plastificado ^{e,g,f}	0,1	0,02	0,91	0,07	0,01	0,92	0,07	0,62	0,06	0,32	0,32	0,00	7,7	1,30
PVC armado ^{a,g,f}	0,15	0,06	0,73-0,74	0,20-0,21	0,03	0,73-0,76	0,21-0,25	0,53-0,76	0,09-0,32	0,15	0,15	0,00	6,5	1,30
Polipropileno (PP) ^{a,g}	0,8	0,06	0,74	0,20	0,04	0,73	0,23	0,69-0,71	0,21-0,26	0,05-0,08	0,05-0,08	0,00	11,2	0,91
VH+VH ^{e,f}	4+4	0,15	0,72	0,13	0,03	0,82	0,15	0,83	0,00	0,17	0,17	0,00	3,2	
VH+PE ^{e,f}	3,4+0,1	0,04	0,84	0,12	0,01	0,86	0,13	0,87	0,01	0,12	0,12	0,00	4,2	
VH+EVA ^{e,f}	3,4+0,1	0,04	0,84	0,12	0,02	0,86	0,12	0,87	0,01	0,12	0,12	0,00	4,0	
PE+PE ^{e,f}	0,1+0,1	0,03	0,83	0,14	0,00	0,84	0,16	0,28	0,66	0,06	0,06	0,00	6,8	
PE+EVA ^{e,b}	0,1+0,1	0,03	0,87	0,10	0,00	0,88	0,12	0,59-0,70	0,27-0,38	0,03	0,03	0,00	9,4-10,2	
Pantalla aluminizada en las dos caras ^a	0,04							0,50	0,10	0,40	0,40	0,00	7,6	
Carra aluminizada hacia el suelo ^a	0,03							0,45	0,23	0,32	0,32	0,00	7,9	
Carra aluminizada hacia el cielo ^a	0,03							0,50	0,23	0,27	0,27	0,00	8,1	

Fuentes: ^aFeuilloley *et al.* (1989); ^bFeuilloley *et al.* (1994a); ^cFeuilloley y Issanchou (1996); ^dNijskens *et al.* (1989); ^eNijskens *et al.* (1984a); ^fNijskens *et al.* (1984b); ^gNisen y Coutisse (1981); ^hNisen *et al.* (1984).

Figura 37. Invernadero multitúnel con cubierta y laterales de polietileno



Hoy en día existen nuevos desarrollos de plásticos inteligentes para, por ejemplo, dificultar la orientación de los insectos en el interior del invernadero o para disminuir la proliferación de hongos.

Plásticos rígidos

Existen varios tipos de plásticos que se comercializan como placas rígidas o semirrígidas y que se pueden utilizar como material de recubrimiento: poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP), policloruro de vinilo (PVC) rígido (no plastificado), polimetacrilato de metilo (PMMA) y policarbonato (PC).

En muchos de los invernaderos de tipo multitúnel que se han construido en la provincia se ha optado por placas de policarbonato ondulado para los cerramientos laterales, y en algún invernadero destinado a semillero, en toda la cubierta. Pese a su elevado precio (entre 4 y 8 €/m² dependiendo del espesor), en relación a las láminas flexibles, es un producto interesante porque puede durar 10-12 años.

También se utiliza mucho el policarbonato celular para las puertas, siendo su precio de entre 7 y 9 €/m² para las placas de 6 mm de espesor.

Figura 38. Invernadero multitúnel con recubrimiento frontal de policarbonato



Vidrio hortícola

Este material es ampliamente utilizado para la construcción de invernaderos en países con climas fríos. El vidrio como material de cubierta en las condiciones climáticas de Almería tiene poca aceptación, debido entre otros aspectos al elevado coste con respecto al plástico, entre 8 y 12 €/m². Presenta la ventaja de un mayor aislamiento térmico y la reducción del coste de renovación de la cubierta al tener un periodo de duración muy alto.

Figura 39. Invernadero tipo *venlo* con cubierta de cristal en Almería



2.6. Sistemas de ventilación natural utilizados en los invernaderos de Almería

El invernadero típico de Almería basa parte de su éxito en su sencillez y bajo coste, pero aún no es lo bastante eficiente en cuanto a su ventilación. Esto provoca una elevada humedad interior, que conlleva condensaciones y goteos procedentes de la parte interior de la cubierta, favoreciendo el ataque de enfermedades criptogámicas, lo que tradicionalmente ha supuesto la necesidad de aplicar productos fitosanitarios. La reducción del empleo de pesticidas resulta imprescindible tanto desde el punto de vista medioambiental, como desde el aumento de la competitividad de nuestros productos, por lo que es necesario mejorar la ventilación de los invernaderos de Almería.

La ventilación natural provoca una importante variabilidad climática dentro de los invernaderos, observándose diferencias significativas de humedad relativa entre las zonas próximas a las ventanas y las alejadas a ellas (Arellano *et al.*, 2002) y un importante gradiente de temperatura desde las ventanas laterales bien refrigeradas al centro del invernadero donde se alcanzan temperaturas excesivas, hasta 10 °C superiores a la temperatura exterior (Molina-Aiz *et al.*, 2003). La repercusión de la heterogeneidad ambiental en la producción puede llegar a ser importante, y así, una temperatura media 3,1 °C inferior y una humedad relativa un 16 % superior en la zona norte de un invernadero tipo Almería con respecto al resto del invernadero puede originar una pérdida de rendimiento de fruto de un 40 % (Arellano *et al.*, 2003).

Estas deficiencias climáticas están relacionadas con una insuficiente superficie de ventilación, y con el uso de mallas antiinsectos en las ventanas que reducen drásticamente la capacidad de renovación de aire, y además son utilizadas por prácticamente la totalidad de agricultores (Molina-Aiz, 2010). Las principales vías de mejora tecnológica han de partir de las fuentes propias de riqueza que caracterizan la provincia de Almería y que son sin duda la clave para el éxito que han tenido hasta ahora los cultivos en invernadero. Así, el clima de las zonas invernadas se caracteriza por un riesgo de heladas inferior a un día al año, una oscilación térmica anual de 13-14 °C, un número de horas de insolación anual superior a 3.000 h y un régimen permanente de vientos durante la práctica totalidad del año.

En los últimos años se está produciendo una inversión en mejoras de la ventilación natural, y en mucha menor medida en mallas de sombreado, sistemas

de ventilación forzada mediante extractores, e instalaciones de evaporación de agua mediante nebulización. Sin embargo, algunos de estos sistemas de control climático importados de otras zonas climáticas, con características meteorológicas, comerciales y socioeconómicas muy diferentes a las de Almería, han mostrado ser ineficientes o poco eficaces, debido principalmente a que no se han adaptado a las necesidades propias de la horticultura almeriense.

Merece la pena insistir en que la principal vía de mejora de las condiciones climáticas en los tradicionales invernaderos almerienses, que como se ha señalado anteriormente siguen constituyendo la abrumadora mayoría de la masa productiva, está ligada a un perfeccionamiento de los sistemas de ventilación natural.

La ventilación natural es un proceso que contribuye fuertemente a las transferencias de calor y de masa entre el interior y el ambiente exterior. Por consiguiente, un buen diseño de las características del invernadero que influyen en la ventilación, puede mejorar el control climático y su eficacia energética. Un diseño del invernadero que posibilite un gran intervalo de valores de tasas de ventilación permitirá mantener un buen control del intercambio de aire con el ambiente exterior, ofreciendo de esta manera la posibilidad de mejorar el microclima interior, reduciendo también el uso de productos químicos para la protección de las plantas.

Además, la ventilación condiciona la eficacia de cualquiera de los equipos de control climático susceptibles de ser utilizados en los invernaderos, como calefacción, sistemas de ahorro energético (pantallas térmicas o dobles cubiertas), refrigeración por evaporación de agua (nebulización y paneles evaporadores) o inyección de CO_2 . Lamentablemente gran parte de la información disponible hasta la fecha sobre el efecto de estos parámetros en el clima interior y en la producción, procede de trabajos experimentales que suelen usar invernaderos vacíos y pequeños, módulos aislados y modelos a escala.

2.6.1. Principales sistemas de ventilación lateral

Las ventanas laterales se realizan en el 100 % de los invernaderos de tipo Almería, y cada vez más en los invernaderos multitúnel, mientras que en los de tipo *venlo* únicamente se suelen instalar ventanas cenitales. Los principales tipos son los siguientes:

Bandas laterales deslizantes

Este tipo de apertura es el más utilizado en los invernaderos tipo Almería ya que fue el inicialmente adoptado por las estructuras tipo parral. Consiste en dejar suelto el borde superior de las láminas de plástico situadas en los laterales del invernadero, de forma que éste puede deslizarse entre las dos mallas de alambre que constituyen el cerramiento lateral.

Inicialmente se utilizaban simplemente alambres atados al borde del plástico para engancharlo en los diferentes alambres horizontales de la malla permitiendo así diferentes posiciones del plástico y como consecuencia diferentes aberturas de ventilación. Actualmente se utilizan cuerdas, atadas al borde superior del plástico, que se hacen pasar por poleas situadas en la parte superior de los laterales, lo que facilita la subida y bajada del plástico (Figura 40). Este modelo de aperturas es el más económico y la incorporación de otro sistema de ventilación supone un coste adicional.

Sin embargo, este sistema es el más lento pues para subir o bajar el plástico es necesario utilizar un gran número de cuerdas. Además, cuando la superficie de apertura es pequeña, la forma irregular y curva que adopta el plástico produce diferencias en la entrada de aire a lo largo del invernadero, y el cierre no llega a ser totalmente hermético.

Figura 40. Bandas laterales deslizantes con sistema de cuerda y polea

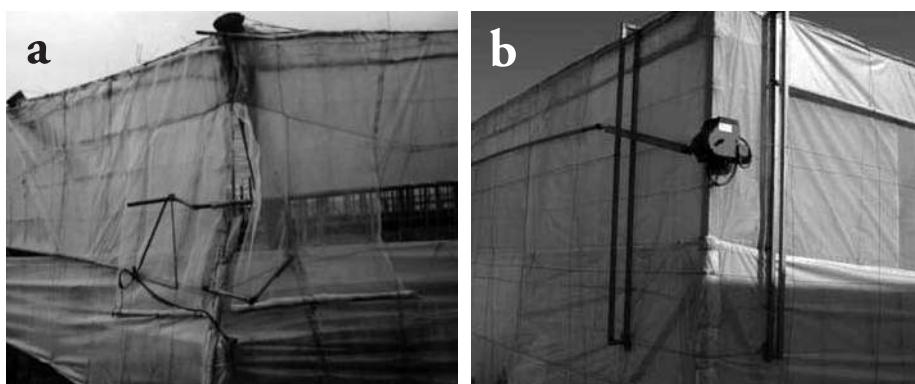


Ventanas enrollables con manivela

Este sistema consiste en sujetar el plástico, que va a cubrir la abertura de ventilación, por su borde superior a la estructura perimetral. El borde inferior de la lámina de plástico se enrolla varias vueltas a un tubo de hierro galvanizado, de ½ pulgada de diámetro, y se fija a éste mediante ataduras de alambre.

Para abrir la ventana se enrolla el plástico al tubo, mediante una manivela situada en uno de sus extremos (Figura 41a), y para cerrarla se desenrolla el plástico. La manivela, al ser solidaria al tubo, sube o baja al mismo tiempo que se abre o cierra la ventana, al enrollarse o desenrollarse en el tubo. El sistema de apertura o cierre también se puede automatizar colocando motorreductores acoplados a los tubos en sustitución de la manivela (Figura 41b).

Figura 41. Ventana lateral enrollable con accionamiento manual (a) y motorizado (b)



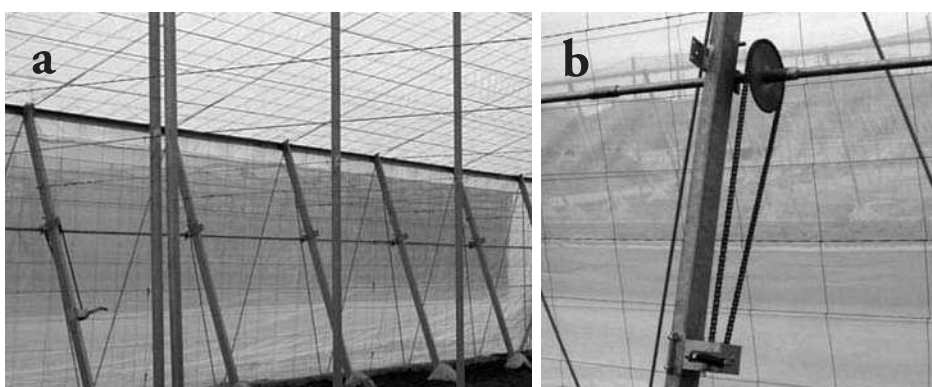
Ventanas deslizantes en invernaderos Almería

Estas ventanas son accionadas por una manivela y se abren en sentido descendente, deslizando entre las dos mallas de alambre.

En estas aberturas se sujeta la lámina de plástico a la base de la estructura del invernadero por su borde inferior y, por su parte superior a un tubo de hierro galvanizado. A este tubo se le ata un cable de acero que se hace pasar por una pequeña polea situada en la parte superior de la estructura. Después se enrolla a un segundo tubo de hierro unas cuantas vueltas y se hace pasar por otra polea situada en el suelo para volver a atar el cable al tubo que sujeta el plástico (Figura 42).

El tubo en el que se enrolla el cable, que dispone de una manivela en su extremo como ocurría en el caso anterior, atraviesa unas pequeñas placas metálicas unidas a los soportes perimetrales, que le sirven de apoyo. Este sistema permite que al girar la manivela, el cable se enrolle en un sentido y se desenrolle en el otro, de forma que uno de los extremos del cable tira del tubo situado en el borde del plástico deslizándose en el mismo sentido que se desplaza el cable.

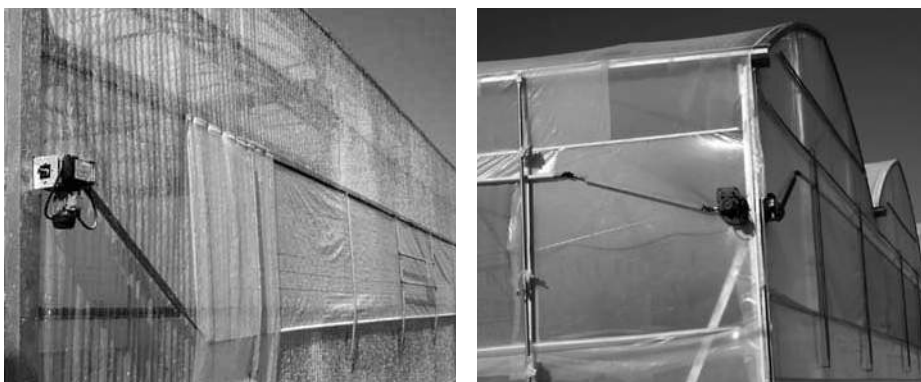
Figura 42. Ventana deslizante en un invernadero tipo Almería (a) y detalle del accionamiento manual (b)



Ventanas enrollables en invernaderos multitúnel

Aunque tradicionalmente los invernaderos multitúnel no incorporaban ventanas laterales, actualmente la tendencia se ha invertido (Figura 43).

Figura 43. Ventanas laterales enrollables en invernaderos multitúnel



En estas ventanas se fija una franja de plástico de 1-1,5 m de anchura por su parte superior a la estructura y por la parte inferior a un tubo circular que en su extremo está accionado por un motor tubular. Mediante el giro del tubo se consigue enrollar el plástico, abriendo la ventana, o desenrollarlo para cerrar la ventana.

2.6.2. Principales sistemas de ventilación cenital

Los sistemas de ventilación cenital utilizados en los invernaderos dependen mucho del tipo de estructura. Aunque la superficie de invernaderos de tipo *venlo* y multitúnel es muy pequeña en la provincia de Almería, como se comentó anteriormente, la mayoría de los datos disponibles en la bibliografía sobre ensayos de ventilación se corresponden con estos tipos de estructuras. Por ello, junto con los tipos de ventanas cenitales propios de los invernaderos de tipo Almería, a continuación se recogen los sistemas de ventilación cenital que incorporan los invernaderos de tipo *venlo* y multitúnel, por lo general con mayores prestaciones, y normalmente con la apertura y cierre automatizada mediante motorreductores.

Aunque los invernaderos tipo Almería más antiguos solo cuentan con ventanas laterales, en los últimos años se ha producido una masiva incorporación de sistemas de ventilación cenital. La mayoría de los invernaderos que no cuentan con ventanas cenitales son estructuras del subtipo plano. Prácticamente todos los invernaderos que se construyen hoy día disponen de este tipo de ventanas, indispensables en zonas cálidas como la región mediterránea. La mayor parte de los agricultores están optando por las ventanas cenitales abatibles, ya que tienen un accionamiento mediante sistema de piñón y cremallera que permite controlar fácilmente la superficie de apertura, e incluso posibilitan el accionamiento automatizado mediante motorreductores.

Aberturas cenitales de ventilación deslizantes en invernaderos tipo Almería

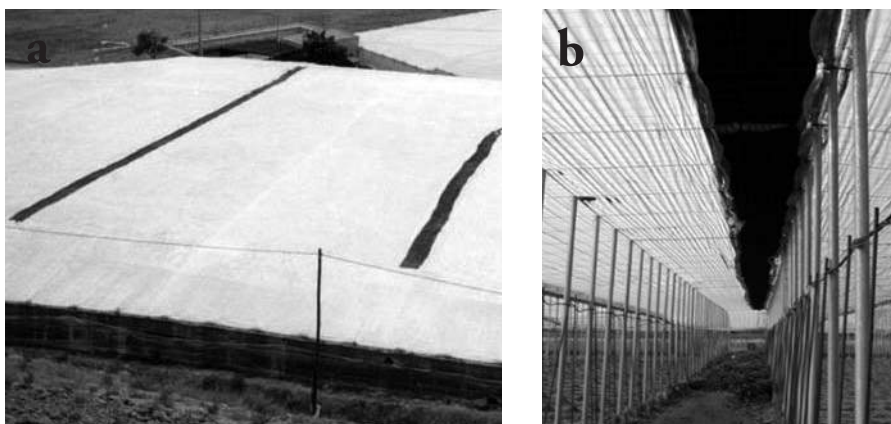
En los invernaderos tipo Almería del subtipo plano, normalmente la ventilación cenital se realiza mediante un hueco de 0,5-1 m de anchura, en el que el plástico de la cubierta se sustituye por malla antiinsectos (Figura 44a).

Así se obtiene una abertura de ventilación casi permanente, ya que su accionamiento prácticamente es nulo, al ser necesario la manipulación manual

para deslizar el plástico de cierre entre las dos mallas de alambre que constituyen parte de la estructura. Para evitar problemas originados por el agua de lluvia al caer sobre el cultivo, la franja abierta se hace coincidir con un pasillo de servicio donde no hay plantas.

En los subtipos raspa y amagado este tipo de aberturas se suelen situar en la vertiente de sotavento de la cumbre (Figura 44b). Aunque aun hay un porcentaje importante de invernaderos que utilizan este sistema, es previsible su sustitución en los próximos años por otros tipos de ventanas más eficaces.

Figura 44. Aberturas cenitales de ventilación en invernaderos Almería:
a) vista exterior en un subtipo plano
y b) vista interior en un subtipo raspa y amagado

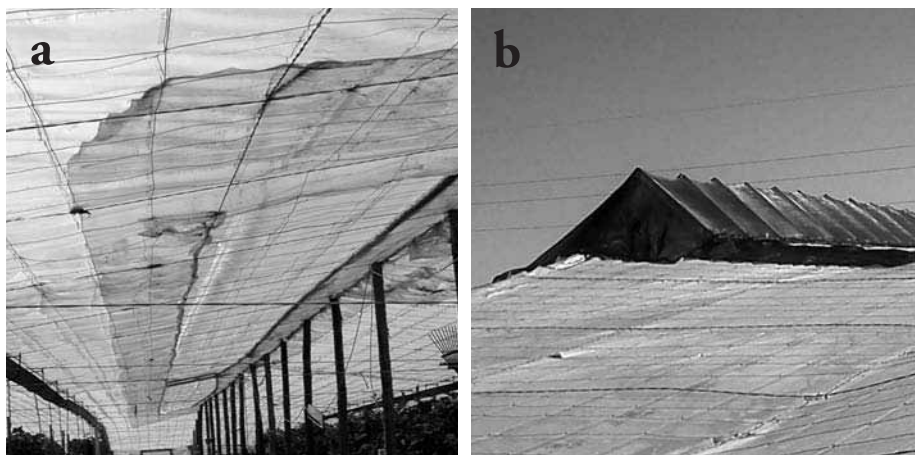


Ventanas cenitales enrollables en invernaderos tipo Almería

Una mejora del anterior sistema de ventilación lo constituyen las ventanas enrollables, en las que el extremo libre del plástico de la abertura de ventilación se enrolla alrededor de un tubo cilíndrico que gira en un sentido u otro según se desee abrir o cerrar.

Este tipo de ventanas presenta el inconveniente de la dificultad de su accionamiento cuando la longitud es elevada, ya que produce deficiencias en el cierre debidas a las variaciones en la tensión del plástico que desalinea el tubo alrededor del que se enrolla la lámina flexible, como se puede observar en la Figura 45a.

Figura 45. Ventanas cenitales enrollable (a) y piramidal (b) situadas en la cumbrera de un invernadero tipo Almería



Ventanas cenitales piramidales en invernaderos tipo Almería

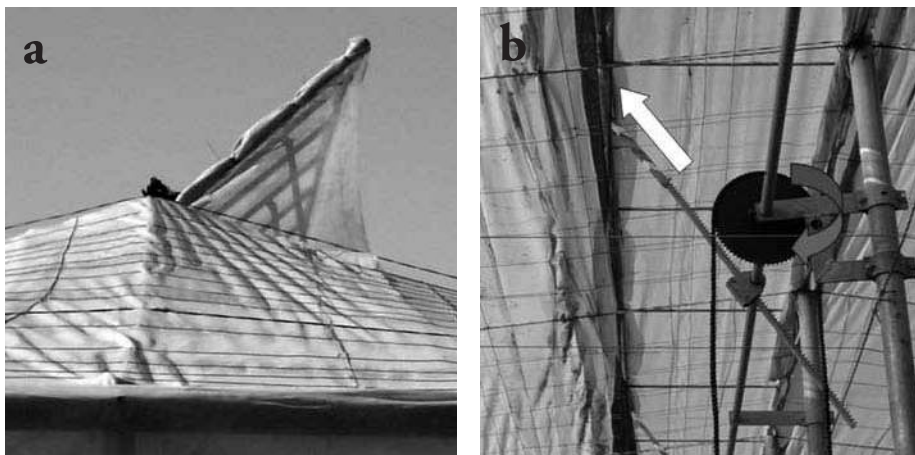
Un tipo particular de ventanas cenitales que se pueden utilizar en los invernaderos tipo plano y raspa y amagado es el piramidal (Figura 45b), constituido por dos ventanas enrollables colocadas a ambos lados de la cumbrera que pueden moverse sobre una estructura metálica de forma triangular. Estas ventanas presentan la ventaja de poder abrirse a barlovento o sotavento según sea necesario, aunque generan mayor sombreado, suponen una mayor carga para la estructura y son más caras que los otros tipos anteriormente comentados.

Ventanas cenitales abatibles en invernaderos tipo Almería

La mayoría de los invernaderos en raspa y amagado que se construyen hoy día están siendo equipados con pequeñas ventanas cenitales colocadas en la cumbrera a lo largo del invernadero. Estas ventanas están constituidas por una pequeña estructura metálica unida a la malla de alambres mediante un eje de giro y las bridas de apoyo de las barras de mando, que accionan las ventanas mediante un sistema de piñón y cremallera. El plástico se sujeta al marco de la ventana mediante una pequeña malla de alambre auxiliar.

Este tipo de ventanas ha sido instalado en muchos invernaderos como mejora posterior a la estructura ya que su coste no es excesivo, entre 2 y 3 € por metro lineal de ventana.

Figura 46. Ventanas abatibles en un invernadero raspa y amagado (a) y detalle del sistema de piñón y cremallera que permite su accionamiento manual o motorizado (b)



Ventanas cenitales en invernaderos multitúnel

Estos invernaderos suelen estar equipados con ventanas de gran longitud (de hasta 100 m). Estas consisten en partes del techo que se abren hacia el exterior. En los primeros diseños constituían la mitad del techo, que giraban alrededor del eje de cumbrera y cerraban sobre los canales (ventanas de medio arco) (Figura 47).

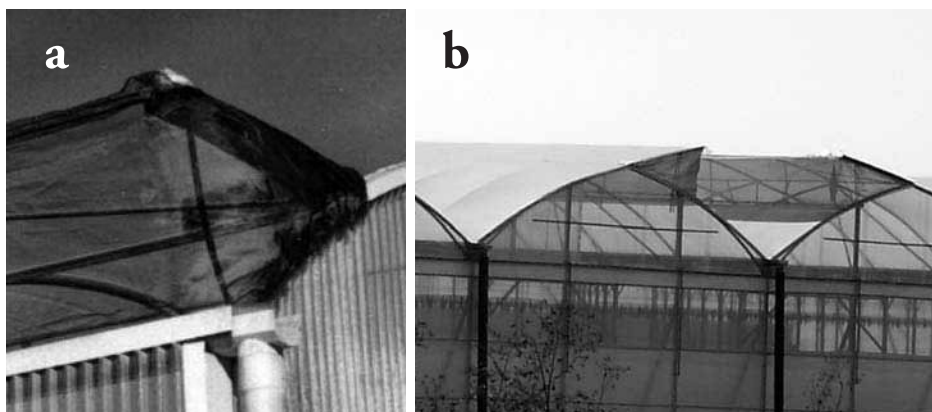
En otros casos se utilizan ventanas más pequeñas, de forma que solo ocupan una pequeña parte del techo, alrededor de $\frac{1}{4}$ del mismo (Figura 48a). El cierre también se realiza sobre la canal que separa los diferentes módulos del invernadero. Otra alternativa es utilizar las ventanas de medio arco desplazando la zona de cierre a un $\frac{1}{4}$ del arco (Fig. 49a), con el objetivo de mejorar la evacuación del calor que se acumula en la parte superior de la cubierta. En las dos variantes de ventanas la apertura se realiza mediante cremallera y piñón que se eleva o descende girando alrededor de un eje directamente accionado por motores eléctricos.

Figura 47. Ventana cenital de invernadero multitúnel de medio arco sobre canal



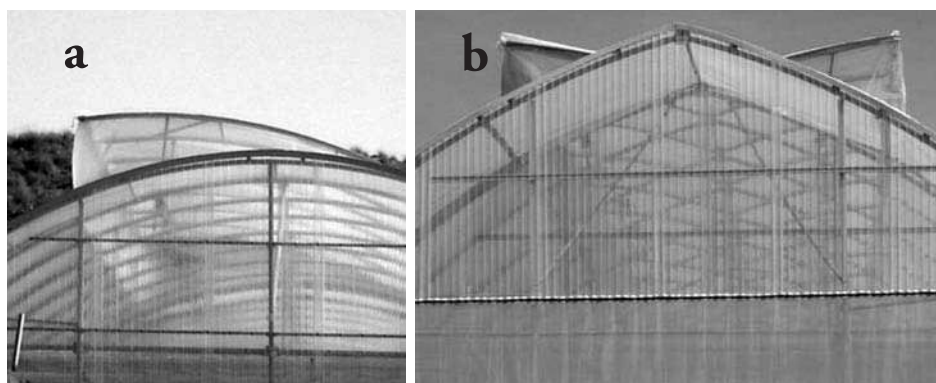
Las ventanas denominadas supercenit (Figura 48b) permiten situar la abertura de ventilación en el centro de la cumbrera, a una mayor altura, con la doble intención de mejorar la eficacia de la ventilación al estar más cercana a la cumbrera y, evitar la entrada de insectos portadores de enfermedades víricas, que por lo general vuelan a menor altura. En este caso el cierre se realiza sobre una correa omega longitudinal de sujeción del plástico. Este sistema presenta el inconveniente de la dificultad de realizar un cierre hermético que evite la entrada del agua de lluvia que se desliza por la cubierta del invernadero.

Figura 48. Ventanas cenitales de invernaderos multitúnel: a $\frac{1}{4}$ (a) y supercenit (b)



En la zona de Almería, la abertura de las ventanas cenitales se hace fundamentalmente en función del viento, de forma que para vientos superiores a $4\text{--}5\text{ m s}^{-1}$ se reduce el grado de abertura en un 80-90 % y a partir de vientos de $10\text{--}15\text{ m s}^{-1}$ se cierran las ventanas, dejando una pequeña abertura del 1-2 % para evitar sobrepresiones ante una entrada brusca de aire en el invernadero.

Figura 49. Ventanas cenitales de invernaderos multitúnel: de $\frac{1}{2}$ arco desplazada hacia el centro del arco (a) y de mariposa (b)



Ventanas cenitales en los invernaderos de tipo venlo

La ventilación cenital se realiza generalmente mediante pequeñas ventanas consistentes en 2 o 3 vidrios, con una anchura de 82, 100 o 120 cm, que giran sobre un eje situado en cumbrera.

El ángulo máximo de apertura en este tipo de ventanas es de 44° (Von Elsner *et al.*, 2000 b). El sistema de apertura y cierre de las ventanas puede ser mediante un mecanismo de balanceo o mediante un sistema de tubo-raíl que se coloca sobre las vigas transversales de celosía que componen la estructura. En los invernaderos construidos en Almería se ha utilizado el segundo sistema, al presentar la ventaja de no aumentar la sombra que producen sobre el cultivo los elementos que componen la estructura (Figura 51).

Normalmente, las aberturas se disponen de forma discontinua alternando los dos lados del techo, aunque en algunos invernaderos de cristal en Almería también se han instalado ventanas cenitales a lo largo de todo el invernadero para aumentar la superficie de ventilación.

Figura 50. Ventanas alternas en un invernadero *venlo* construido en Almería



Figura 51. Vista interior de una ventana discontinua en un invernadero *venlo*



2.6.3. Eficiencia de la ventilación natural

En los invernaderos mediterráneos los factores que tienen mayor importancia en el control climático son la superficie y el tipo de aperturas de ventilación utilizadas (Wacquant, 2000). Las aperturas de ventilación son elementos funcionales esenciales de un invernadero, cuya situación y diseño pueden influir fuertemente en la calidad del microclima interior y en la eficacia energética del invernadero. En la mayoría de los invernaderos de Almería, y en general de toda la región mediterránea, la renovación del aire interior se obtiene exclusivamente por ventilación pasiva, por lo que el diseño de las aberturas de ventilación debe permitir estrategias para mantener una elevada tasa de ventilación bajo diversas condiciones meteorológicas (Von Elsner *et al.*, 2000a).

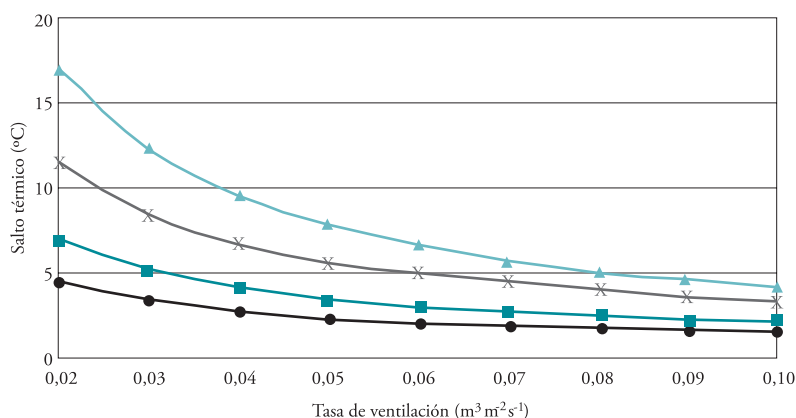
Superficie de ventilación

Para que el crecimiento del cultivo sea óptimo es muy importante que la ventilación sea suficiente, especialmente en el caso de que la temperatura exterior sea elevada, la radiación global sea alta y la humedad interior del invernadero alcance grandes valores. Además, la ventilación es especialmente importante en el caso de que el invernadero sea multimodular (FAO, 2002), como ocurre en prácticamente la totalidad de los invernaderos tipo Almería del subtipo raspa y amagado.

Por medio de balances de energía se puede calcular la tasa de ventilación necesaria para mantener una cierta diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del invernadero. El Gráfico 3 muestra la relación entre la tasa de evapotranspiración del cultivo dentro del invernadero, el salto térmico y la tasa de ventilación de un invernadero con cubierta plástica (transmisividad de la cubierta de, $\tau=0,80$) para una radiación solar global de 700 W m^{-2} . El efecto de la ventilación sobre la temperatura del invernadero es de tipo no lineal, y más allá de una cierta tasa de ventilación ($0,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$) el efecto en la temperatura está muy limitado (Seginer, 1997).

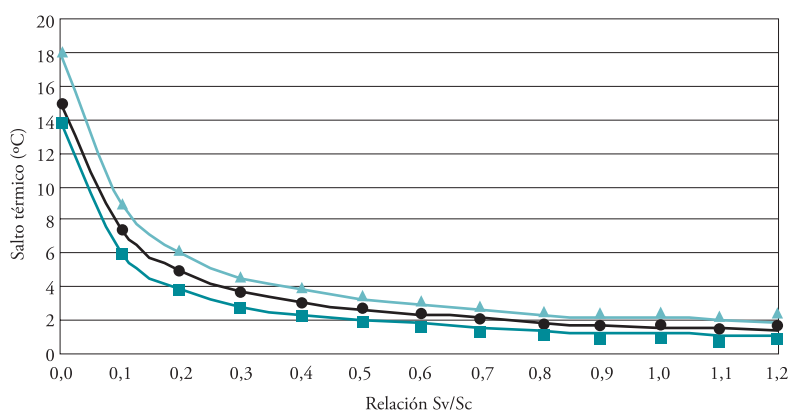
La capacidad de ventilación de un invernadero, y por tanto de disminuir el salto térmico con el exterior, también depende de la tasa de apertura de las ventanas (Gráfico 4), que expresa la máxima superficie de ventilación como un porcentaje de la superficie de suelo cubierto.

Gráfico 3. Diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de un invernadero en función de la tasa de ventilación para cuatro niveles de evapotranspiración del cultivo (L_{ETP}). En porcentaje de la radiación neta dentro del invernadero (Rn): 20 % (●), 50 % (◆), 70 % (■) y 80 % (▲)



Fuente: adaptado de FAO (2002) y ASAE (2003).

Gráfico 4. Diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de un invernadero en función de la relación entre la superficie de ventilación (S_v) y la superficie de suelo cubierta (S_c), para una velocidad del viento nula en un invernadero con ventanas cenitales y laterales, para diferentes valores de la radiación solar exterior: $1000 W m^{-2}$ (■), $750 W m^{-2}$ (◆) y $500 W m^{-2}$ (▲)



Fuente: adaptado de Kittas *et al.* (1997).

Sin embargo, el tamaño de las ventanas no es el único parámetro de diseño que influye en la eficacia de ventilación de un invernadero, también afecta la posición, la forma y el funcionamiento.

La distribución de presiones generada por el viento alrededor de la cubierta del invernadero induce un flujo de aire interior cuando existe una diferencia de presión entre las ventanas abiertas (Wacquant, 2000). Dichas diferencias dependen de la forma de la cubierta y de la colocación de las ventanas. Por tanto, la posición de las aberturas de ventilación es un factor sumamente importante para obtener un fuerte gradiente de presión a lo largo del interior del invernadero, que garantice una buena ventilación (Von Elsner *et al.*, 2000a).

Se ha observado que las ventanas cenitales generalmente inducen una mayor tasa de ventilación cuando solo se considera el intercambio de aire generado por el viento (Papadakis *et al.*, 1996). La principal razón para este efecto es que las ventanas laterales normalmente se localizan en la parte inferior de las paredes, aproximadamente a un metro sobre el suelo. A esta altura, la velocidad del viento se ve fuertemente reducida por la fricción con el terreno, es más, el efecto de las diferencias de presión creadas aerodinámicamente, inducidas por la forma de la cubierta, es más fuerte en las ventanas cenitales. Por otro lado, las ventanas laterales son necesarias para inducir la ventilación generada por la flotabilidad térmica del aire caliente cuando la velocidad del viento es baja, ya que se ha observado que las ventanas cenitales solas no pueden crear un flujo de ventilación eficaz con condiciones de bajas velocidades del viento (Mistriotis *et al.*, 1997b). Sin embargo, las ventanas laterales son consideradas secundarias en varios diseños de invernadero, particularmente en el Norte de Europa donde existe una menor necesidad de ventilación. Así, un gran número de invernaderos de tipo multitúnel o *venlo* provenientes de zonas geográficas más frías se construyen en Almería sin ventanas laterales, lo que constituye un grave error de diseño.

Verheye y Verlodt (1990) observaron que la ventilación alcanzaba su valor óptimo para una superficie de abertura total aproximadamente del 30 % de la superficie cultivada. Von Zabeltitz (1992) recomendaba superficies de ventanas del 18-25 % respecto a la superficie cultivada para mejorar la ventilación pasiva en el área mediterránea, y la ASAE (1994) reduce ese límite a un mínimo del 15 %. Feuilloley *et al.* (1994b) indicaban que se debe disponer de una superficie de ventilación lateral del 17 % y un 15 % de ventanas cenitales, en invernaderos multitúnel. Giacomelli (2002), por su parte, recomienda para las regiones con elevada radiación solar, una relación entre la superficie de venta-

nas y de suelo cubierto por el invernadero que se sitúe entre un 10 y un 20 %. Según la FAO (2002), para tener una suficiente ventilación, el área total de ventanas debe ser del 15 al 25 % de la superficie del suelo. Teniendo en cuenta la presencia de mallas antiinsectos en las aberturas de ventilación estos porcentajes deberían ser incrementados para compensar la disminución de caudal de aire que atraviesa las ventanas equipadas con este tipo de protecciones.

Configuración de las ventanas

Para que se produzca la ventilación natural debe generarse una diferencia de presión entre el aire exterior e interior, esa diferencia puede estar creada por el efecto del viento o por un gradiente térmico. La mejor manera de lograr tal diferencia de presión, es situar aberturas de ventilación en ambos laterales y a lo largo de las cumbreras del invernadero (FAO, 2002).

En los invernaderos, las líneas de cultivos, deben colocarse paralelamente a la dirección de los vientos dominantes, de manera que así se aumente el número de renovaciones de aire por hora (FAO, 2002). La presencia de cultivo dentro del invernadero situado en líneas perpendiculares a las ventanas puede producir disminuciones en el flujo de ventilación de hasta un 28 % (Boulard *et al.*, 1997).

En el caso de invernaderos individuales o multimodulares con ventilación lateral, la máxima tasa de renovación se logra cuando las ventanas están situadas perpendicularmente a la dirección predominante del viento, mientras que en el caso de estructuras multicelulares agrupadas con espacios entre dos estructuras, los laterales deben situarse paralelos a la dirección del viento. Si la ventilación es únicamente a través de los laterales debe limitarse la anchura máxima del invernadero (FAO, 2002).

El diseño de las ventanas es un factor importante en la eficiencia de la ventilación, siendo más eficaces las de tipo continuo, utilizadas en los invernaderos multitúnel, que las discontinuas utilizadas en los invernaderos de tipo *venlo* (Boulard *et al.*, 1997). Los invernaderos equipados con ventanas cenitales (Kittas *et al.*, 1996) o ventanas cenitales y laterales son siempre más eficaces desde el punto de vista de la ventilación natural que los invernaderos con ventanas laterales únicamente (Papadakis *et al.*, 1996).

Para el caso de invernaderos individuales la superficie de ventanas laterales debe ser igual a la superficie de ventanas en el techo. Las ventanas cenitales deben tener las bisagras en su zona superior, permitiendo una abertura continua a lo largo de toda la longitud del invernadero. Estas ventanas, cuando

están totalmente abiertas deben formar un ángulo de 60 grados con el techo (FAO, 2002). Las características técnicas para el diseño del invernadero con respecto a la ventilación varían de acuerdo con el área geográfica donde se sitúa el invernadero.

Si las condiciones climáticas hacen necesaria una gran eficiencia de ventilación, como es el caso de la zona de Almería, se deben considerar varias especificaciones básicas en su diseño (Von Elsner *et al.*, 2000 a):

- Se debe mantener una alta tasa de renovación de aire bajo el máximo de condiciones meteorológicas. Los invernaderos deberían tener sistemas de ventilación que permitan la renovación del aire tanto por efecto del viento como por flotabilidad térmica (por lo que son necesarias ventanas cenitales y laterales).
- Las ventanas deben diseñarse de forma que haya la máxima estanqueidad cuando están cerradas. De esta forma se previenen las pérdidas de calor durante las noches frías.
- El tamaño de las ventanas debe ser compatible con la capacidad de la estructura y las características del material de cubierta. Las ventanas no deben debilitar la estabilidad estructural del invernadero.
- Se debe limitar la reducción de la transmisión de luz por el efecto de sombreo producido por los mecanismos de ventilación, para lo cual es recomendable incorporar estos a la estructura ya existente.
- El diseño de las ventanas debe conseguir la protección del cultivo de la lluvia directa, aun cuando estas estén abiertas.

Niveles de ventilación adecuados

El caudal de aire ventilado se relaciona directamente con el gradiente térmico entre el interior y exterior del invernadero (Buffington *et al.*, 1987), así como con la variación de la humedad. Las necesidades de ventilación son variables y deben ajustarse en cada momento a las necesidades ambientales de crecimiento y desarrollo de los cultivos y principalmente a las condiciones climáticas exteriores. Así, la recomendación de capacidad de renovación necesaria en un invernadero puede variar de 2 h^{-1} (renovaciones de aire por hora) en invierno, hasta 60 h^{-1} en verano (Buffington *et al.*, 1987).

Según Businger (1963), durante el verano se necesita un valor mínimo de tasa de renovación de 10 h^{-1} bajo condiciones de luz favorables, siendo recomendables valores de 50 a 100 h^{-1} . Del mismo modo los valores de renovación necesarios para obtener un determinado salto térmico varían según el nivel de evapotranspiración del cultivo entre 35 y 90 h^{-1} (ASAE, 2003), con un valor óptimo de 45-60 h^{-1} (Hellickson y Walker, 1983; ASAE, 1994).

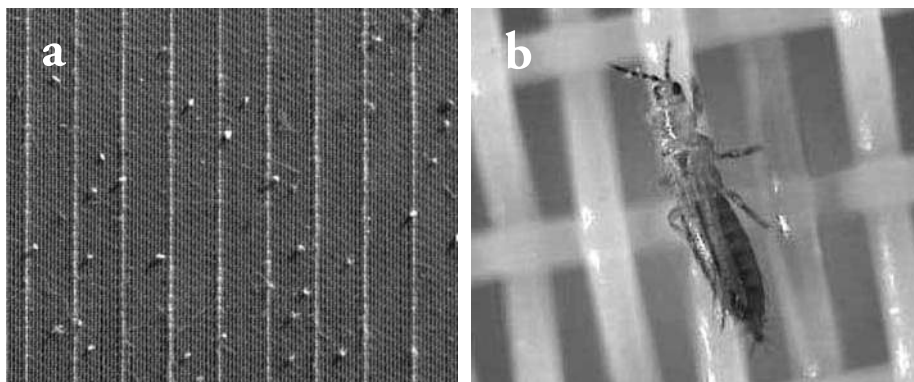
También existen recomendaciones de valores de renovación de aire de $1,5\text{-}3,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ (caudal de aire que atraviesa la ventana por superficie del invernadero), necesarios para evitar condensación en la cubierta del mismo como consecuencia de un aumento excesivo de la humedad en su interior (Buffington *et al.*, 1987). En el caso de la ventilación forzada, se puede considerar como adecuada una capacidad de ventilación en torno a $2,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ (Giacomelli, 2002).

2.6.4. Mallas antiinsectos utilizadas en las ventanas de los invernaderos

La atención dedicada a la protección de cultivos es un aspecto que progresivamente ha adquirido mayor importancia. Aunque los pesticidas siguen siendo una herramienta importante para el control de las plagas de los invernaderos, el rechazo, cada vez mayor, que provocan en los mercados estos productos, y los efectos no deseados derivados del empleo de los mismos como la contaminación medioambiental o la aparición de resistencias en las poblaciones de insectos, ha llevado a la búsqueda de métodos alternativos. Una de estas alternativas consiste en la disposición de mallas en las ventanas de los invernaderos, consiguiéndose así, gracias al reducido tamaño de sus poros, evitar o disminuir la entrada de insectos de pequeño tamaño (Figura 52), reduciendo por tanto el número de tratamientos fitosanitarios. La otra gran alternativa muy exitosa en Almería es el control biológico.

Inicialmente, el uso en los invernaderos de Almería de mallas mosquiteras (10×16 hilos/ cm^2) pretendía proteger el cultivo de la acción del viento (Camacho-Ferre, 1980). Actualmente, la práctica totalidad tienen instaladas mallas antiinsectos en las aberturas de ventilación como medida preventiva contra la entrada de insectos plaga. Además, la legislación Andaluza para producción integrada establece la obligación de instalar mallas con una densidad mínima de 10×20 hilos/ cm^2 en las ventanas de los invernaderos de esta comunidad autónoma (Orden de 10 de octubre de 2007, Reglamento Específico de Producción Integrada de Cultivos Hortícolas Protegidos, BOJA N° 211 de 25 de octubre de 2007).

Figura 52. Ejemplares de mosca blanca sobre la cara exterior de una malla antiinsectos colocada en la ventana de un invernadero de Almería (a). Imagen ampliada de trips sobre una malla (b)



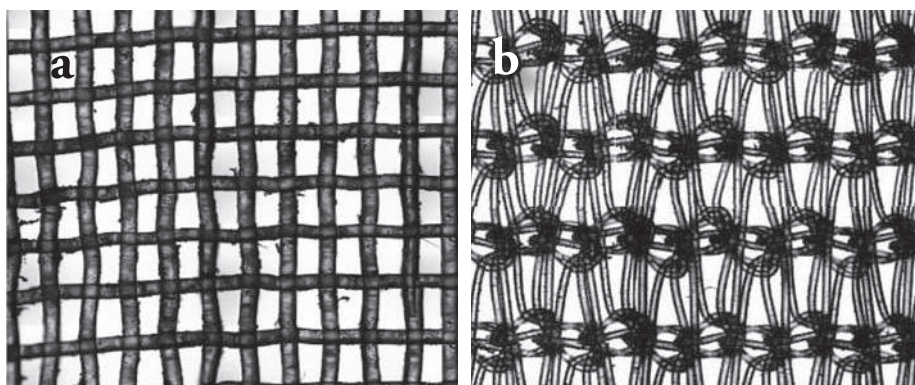
La instalación de mallas en las ventanas constituye un obstáculo al flujo de aire que deriva en una reducción de la velocidad interior y de la tasa de ventilación. La principal consecuencia de la disminución del número de renovaciones de aire, es el incremento de la temperatura y de la humedad, quedando afectadas de forma general las condiciones microclimáticas del invernadero. A pesar de los inconvenientes, las mallas antiinsectos son una alternativa útil en la protección de cultivos, por lo que la elección de la malla más adecuada para un invernadero en concreto requiere conocer tanto su efectividad como barrera contra las plagas como la resistencia que ofrece al flujo de aire.

En función de la forma de construcción las mallas antiinsectos utilizadas en los invernaderos son de dos tipos (Valera *et al.*, 2001):

- *Tejidas*. Actualmente esta es la forma más común de fabricación de las mallas, ya que proporciona un buen equilibrio entre el tamaño de hueco necesario para la exclusión de insectos y la resistencia al flujo de aire. El principal inconveniente que presentan es que si los huecos se distorsionan cuando se aplica una tensión lateral, tanto la exclusión de insectos como la resistencia aerodinámica se pueden ver afectadas de forma negativa. En general están tejidas con hilos monofilamento de polietileno (Figura 53a), lo que significa que cada hilo está constituido por una sola hebra sólida, de apariencia muy similar al hilo de pescar. Los filamentos también pueden ser acrílicos constituidos por diversas fibras, por lo que se denominan hilos multifilamento.

- *Anudadas*. En este tipo de mallas cada hilo es atado alrededor del siguiente, formando una malla de nudos (Figura 53b) con una alta resistencia al desgarrar y la rotura. Los lazos y nudos adicionales pueden disminuir considerablemente la permeabilidad de la malla.

Figura 53. Detalle de una malla de tipo tejido (a) y una anudada (b)



Eficacia de las mallas como barrera contra las plagas

Entre las principales plagas que se pueden prevenir están la mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood y *Bemisia tabaci* Gennadius), que produce amarillamiento y debilitamiento de las plantas y la aparición de negrilla como daño indirecto, y sobre todo los trips (*Frankliniella occidentalis* Pergande). Estos dos insectos constituyen las plagas más importantes de los cultivos en invernadero de Almería (Acebedo, 2004). Como en otros lugares del mundo (Taylor *et al.*, 2001), la mayoría de las pérdidas producidas en España por *Bemisia tabaci* son debidas al papel que desempeña como vector de virus (Guirao *et al.*, 1997). El virus del amarillamiento del tomate (Tomato Yellow Leaf Curl Virus, TYLCV) fue documentado por primera vez en España en el otoño de 1992 (Moriones *et al.*, 1993). Los trips también causan daños indirectos por la transmisión del virus del bronceado del tomate (Tomato Spotted Wilt Virus, TSWV) entre otros, que puede afectar a plantaciones de tomate, pimiento, berenjena y judía (Aparicio *et al.*, 1998).

Otros insectos perjudiciales cuya entrada al invernadero puede frenarse con las mallas en las ventanas, son los pulgones (*Myzus persicae* Sulzev y *Aphis gossypii* Glover), que son los más comunes y abundantes sobre algunos cultivos horti-

colas protegidos como las solanáceas, y que además de provocar daños directos sobre las plantas pueden transmitir numerosas virosis; y el submarino o minador de las hojas (*Liriomyza* sp.) que causa daños físicos directos sobre el cultivo.

La adquisición de resistencia a los insecticidas ha provocado una disminución de la efectividad de la protección química, además de la creciente desventaja económica y medioambiental que conlleva su uso. En un sistema de control integrado de plagas, la exclusión física de los insectos debe ser una de las primeras técnicas aplicadas para reducir la necesidad de otras medidas de control (Bell y Baker, 2000). Con la eliminación o el aumento del coste de muchos de los pesticidas registrados, el uso de mallas antiinsectos se ha convertido en la técnica más efectiva económicamente combinada con el Control Biológico.

Como consecuencias del uso de mallas antiinsectos en las aperturas de ventilación de los invernaderos han sido documentadas reducciones en las poblaciones de las plagas, menor incidencia en la transmisión de enfermedades y una disminución en la necesidad de realizar tratamientos fitosanitarios (Berlinger *et al.*, 1991,1992; Baker y Jones, 1989-1990; Bell y Baker, 2000). La efectividad de las mallas antiinsectos como barrera ante los insectos ha sido estudiada por varios autores (Albright y Both, 1990; Bethke y Paine, 1991; Bethke, 1994; Bethke *et al.*, 1994; Bell y Baker, 2000; Fernández *et al.*, 2002a-b; Ghidui y Roberts, 2003; Díaz *et al.*, 2003). Las reducidas dimensiones de los trips hacen ineficaces el uso de mallas de 10×16 hilos/cm², por lo que en la actualidad se ha extendido el uso de mallas más densas, como las de 10×20 hilos/cm², equivalentes a 50 mesh (1 mesh=1 hilo/pulgada), que suele presentar un diámetro máximo de hueco de 0,22-0,27 mm, y que tienen una gran eficacia en el control de mosca blanca (Díaz *et al.*, 2003). Las densidades de hilos pueden ser muy superiores (14×28 hilos/cm², 13×30 hilos/cm², etc.) llegando hasta 20×40 hilos/cm².

La eficacia de las mallas como barrera física al paso de los insectos depende del tamaño mínimo de los poros o huecos que constituyen la malla. Normalmente las mallas se denominan en función del número de hilos horizontales y verticales que hay en 1 cm². Esta nomenclatura está relacionada directamente con el tamaño de los huecos y la porosidad, aunque la relación no es unívoca; de forma que en función del grosor de los hilos que forman el tejido del material agrotexil, se pueden obtener valores idénticos de porosidad con distintos números de hilos por centímetro y diferentes tamaños de hueco. En la Tabla 10 se reflejan los tamaños de huecos, tanto en superficie como en longitud máxima, que pueden tener para evitar el paso de varios tipos de insectos plaga.

Tabla 4. Tamaño máximo que pueden tener los poros de una malla para la exclusión de varios insectos plaga

Insecto plaga	Tamaño del tórax [mm] ^c	Tamaño del abdomen [mm] ^c	Longitud máxima del poro [mm] ^c	Superficie máxima del poro [mm ²]
Trips	0,213-0,215	0,265	0,192	0,03 ^a
Mosca blanca	0,239-0,288	0,565-0,708	0,462	0,20 ^b
Pulgones*	0,355-0,434	2,295-2,394	0,340	0,20-0,90 ^d
Minador de la hoja	0,435-0,608	0,810-0,850	0,640	0,40 ^d

*Aunque los pulgones son más grandes que la mosca blanca, pueden ser necesarias mallas más tupidas debido a la diferente colocación que pueden tener las alas con respecto al cuerpo.

Fuente: adaptada de ^aAlbright y Both (1990); ^bBethke y Paine (1991); ^cBethke (1994); ^dBethke *et al.* (1994); ^eGhidiu y Roberts (2003).

La efectividad de las mallas antiinsectos ha sido estudiada en laboratorio comparando el tamaño y geometría de los poros con respecto a la anchura torácica de los insectos en ausencia de una corriente de aire forzada (Bethke y Paine, 1991). También se han realizado ensayos en túnel de viento (Bell y Baker, 2000) para determinar la efectividad de varios tipos de mallas mediante conteo de los insectos atrapados por las mallas (Tabla 5) cuando se someten a una corriente de aire de 1,5 m s⁻¹, valor que se aproxima a la velocidad de paso del aire a través de las ventanas laterales de los invernaderos (Molina-Aiz *et al.*, 2004a-b).

Tabla 5. Eficacia de diferentes tipos de mallas antiinsectos como barreras a las plagas

Tipo de malla [hilos/cm ²]	Grosor del hilo [mm]	Tamaño medio de hueco [mm]	Exclusión de mosca blanca [%]	Exclusión de trips [%]
40×40	0,10	0,15×0,15	89,7 [*] ±2,1 ^{**}	75,5±11,8
32×32	0,17	0,14×0,14	86,8±5,0	94,8±3,5
20×32	0,16	0,15×0,34	92,7±1,5	22,3±14,6
20×20	0,16	0,35×0,35	93,9±3,5	4,2±15,0
16×16	0,20	0,43×0,43	71,5±36,1	15,8±13,7
12×12	0,22	0,65×0,65	12,5±21,9	18,8±13,9
10×20	0,26	0,26×0,81	73,1±17,6	18,0±14,6
10×16	0,27	0,41×0,79	14,2±27,0	2,2±12,9

* Valores medios.

** Desviación estándar.

Fuente: Bell y Baker (2000).

Aunque este tipo de ensayos proporciona un índice de la eficacia relativa de las mallas no es un método con gran exactitud, de forma que mayores tamaños de hueco pueden dar lugar a una mayor eficacia (Tabla 5). Para conocer con exactitud la eficacia de una malla como barrera antiinsectos es necesario conocer el porcentaje de insectos que logran atravesarla vivos en condiciones de campo.

Existen mallas con filamentos aditivados con ciertas sustancias que actúan dando un carácter fotoselectivo a la misma, al tener capacidad de absorción de rayos ultravioletas (entre 230 y 380 μm), distorsionando la orientación de muchos insectos que se basa en esa frecuencia. Aunque en estudios de laboratorio han mostrado una mayor eficacia como barrera contra los insectos, en invernaderos de Almería no se han encontrado diferencias significativas con respecto a las mallas normales (Díaz *et al.*, 2003).

Las mallas de 10×20 hilos/ cm^2 en invernaderos de Almería permite mantener bajos valores de plantas infectadas por el TYLCV, inferiores al 9 % (Fernández *et al.*, 2002 a-b; Díaz *et al.*, 2003). Sin embargo, las mallas no aseguran una completa protección, ya que los invernaderos tipo Almería no son totalmente herméticos al ser necesario perforar la lámina plástica de la cubierta para poder unir las mallas de alambre de la estructura. Además, la falta de uniformidad de las mallas (Álvarez *et al.*, 2003) y el mayor tamaño real de los huecos en su configuración tridimensional, hacen que haya huecos de mayor tamaño al nominal por donde pueden pasar los insectos.

Por otro lado, la orientación de las cubiertas de los invernaderos en dirección Este-Oeste, con una mayor superficie de ventanas expuestas a los vientos del suroeste, produce un aumento en la incidencia del virus de la cuchara, consecuencia de una mayor renovación de aire y entrada de insectos (Fernández *et al.*, 2002 b; Díaz *et al.*, 2003).

Efecto negativo sobre la ventilación

Las mallas en las ventanas del invernadero producen un considerable efecto negativo en el microclima interior al afectar a la tasa de ventilación (Molina-Aiz, 2010). La resistencia de las mallas al flujo de aire se refleja en la pérdida de presión a través de la malla, que varía con la velocidad de aproximación del aire a la malla. Es recomendable que la caída de presión que se produce a través de la malla no sea superior a una presión estática de 7,35 Pa (Mears y Both, 2000).

La medida de la resistencia de las mallas al paso del aire se realiza mediante ensayos en túnel de viento en los que se puede obtener la pérdida de presión originada por el material poroso para una determinada velocidad del aire (Miguel *et al.*, 1997). Esta aproximación, utilizada posteriormente por diversos autores (Miguel, 1998a y 1998b; Dierickx, 1998; Muñoz *et al.*, 1999), se basa en la ecuación de Forchheimer (Molina-Aiz, 2010), que establece una relación entre la caída de presión originada por una malla, la velocidad de aproximación del aire y el cuadrado de esta. Bell y Baker (2001) también midieron la caída de presión originada por varios tipos de mallas para una velocidad del aire de $1,5 \text{ m s}^{-1}$ (Tabla 6).

Tabla 6. Porosidad y resistencia al flujo de aire de diferentes tipos de mallas antiinsectos

Tipo de malla [hilos/cm ²]	Porosidad [m ² m ⁻²]	Permeabilidad K_p [m ²] ^a	Factor inercial Y^a	Caída de presión ΔP [Pa] ^b
40×40	0,36	$6,71 \times 10^{-10}$	0,379	23,6
32×32	0,20	$2,62 \times 10^{-10}$	1,325	65,5
20×32	0,31	$5,28 \times 10^{-10}$	0,521	18,4
20×20	0,46	$9,93 \times 10^{-10}$	0,225	12,1
16×16	0,47	$1,03 \times 10^{-9}$	0,215	10,4
12×12	0,45	$9,58 \times 10^{-10}$	0,236	5,4
10×20	0,40	$6,51 \times 10^{-9}$	0,457	5,0
10×16	0,34	$1,39 \times 10^{-9}$	0,758	5,9

Fuente: adaptada de ^aMiguel (1998b); ^bBell y Baker (2001).

También, Valera *et al.* (2006) y Molina-Aiz (2010) estudiaron las características de diversos tipos de mallas utilizadas en los invernaderos mediante ensayos en túnel de viento (Tabla 7).

De los resultados obtenidos por los diversos autores se puede observar una cierta relación entre la porosidad y la caída de presión que produce (Gráfico 5), aunque también hay que tener en cuenta el grosor del hilo y la densidad de estos. Reduciendo el grosor del hilo se puede aumentar la porosidad de la malla a la vez que se reduce el tamaño de los poros (Tabla 7).

Otros autores han utilizado un coeficiente de descarga para evaluar la influencia de las mallas en la ventilación natural de los invernaderos (Sase y Christianson, 1990; Kosmos *et al.*, 1993; Montero *et al.*, 1997; Teitel y Shlylar, 1998).

Tabla 7. Porosidad y resistencia al flujo de aire de diferentes tipos de mallas antiinsectos medidas en túnel de viento

Malla	Densidad [hilos/cm ²]	Porosidad α [m ² m ⁻²]	L_{px} [μ m]	L_{py} [μ m]	d_m [μ m]	K_p [m ²]	Factor inercial Y	ΔP [Pa]*
Sunsaver	18×33	0,288	127,2	386,2	175,34	4,50×10 ⁻¹⁰	0,266	24,5
Sunsaver	11×23	0,319	194,9	711,7	251,76	1,33×10 ⁻⁹	0,186	13,8
UAL 2008-2	10×20	0,325	225,4	724,8	275,05	2,02×10 ⁻⁹	0,177	12,7
UAL 2007-1	10×20	0,335	233,7	734,0	274,90	2,12×10 ⁻⁹	0,169	11,6
Econet T	20×40	0,336	162,6	334,6	165,45	4,57×10 ⁻¹⁰	0,273	24,3
UAL cenital	10×20	0,341	233,0	741,3	271,96	2,60×10 ⁻⁹	0,253	8,9
UAL 2011-1	10×20	0,350	238,6	746,0	266,60	2,31×10 ⁻⁹	0,166	9,5
BioNet	10×20	0,367	245,5	804,9	258,37	2,17×10 ⁻⁹	0,157	8,8
Sunsaver	10×20	0,371	267,7	795,3	271,04	1,91×10 ⁻⁹	0,166	9,5
Sunsaver	10×20	0,375	247,3	777,4	253,20	1,88×10 ⁻⁹	0,163	8,5
UAL 2008-3	09×21	0,375	234,9	838,7	246,90	3,15×10 ⁻⁹	0,164	8,0
UAL 2008-1	10×20	0,379	256,6	736,4	250,25	2,69×10 ⁻⁹	0,179	7,0
UAL 2007-3	13×27	0,385	188,4	591,6	184,40	1,97×10 ⁻⁹	0,186	9,9
Supertex-30	10×20	0,387	256,5	839,9	251,21	1,97×10 ⁻⁹	0,164	8,4
Econet SF	10×20	0,389	263,7	775,0	252,55	1,70×10 ⁻⁹	0,155	8,3
UAL 2007-4	13×31	0,390	164,6	593,3	165,85	1,93×10 ⁻⁹	0,159	9,7
UAL 2008-4	13×31	0,390	164,6	593,3	165,85	1,93×10 ⁻⁹	0,159	9,7
UAL lateral	10×16	0,394	337,2	694,2	279,20	6,91×10 ⁻⁹	0,193	5,8
Supertex-26	10×16	0,458	415,6	748,8	260,68	2,65×10 ⁻⁹	0,151	5,3
UAL 2007-2	10×16	0,470	383,3	792,8	243,15	4,80×10 ⁻⁹	0,167	5,1
Sunsaver	10×16	0,477	379,1	771,5	244,66	5,06×10 ⁻⁹	0,197	4,1
Econet F	10×16	0,483	410,0	789,7	253,47	4,15×10 ⁻⁹	0,136	3,3

ΔP caída de presión.

K_p permeabilidad.

L_{px} longitud del poro en el eje x.

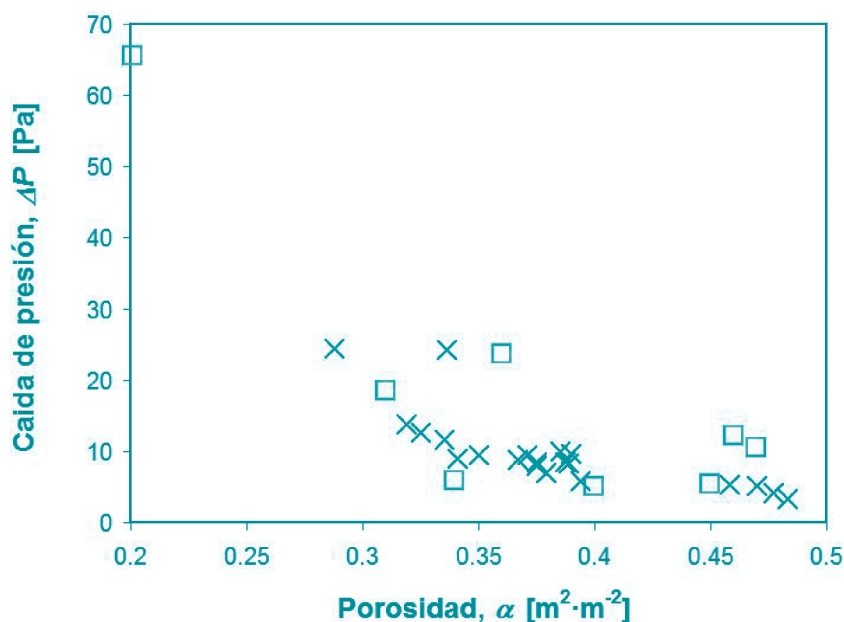
L_{py} longitud del poro en el eje y.

d_m diámetro medio del hilo.

* Caída de presión correspondiente a una velocidad de paso del aire de 1,5 m s⁻¹.

Fuente: Valera *et al.* (2006); Molina-Aiz (2010).

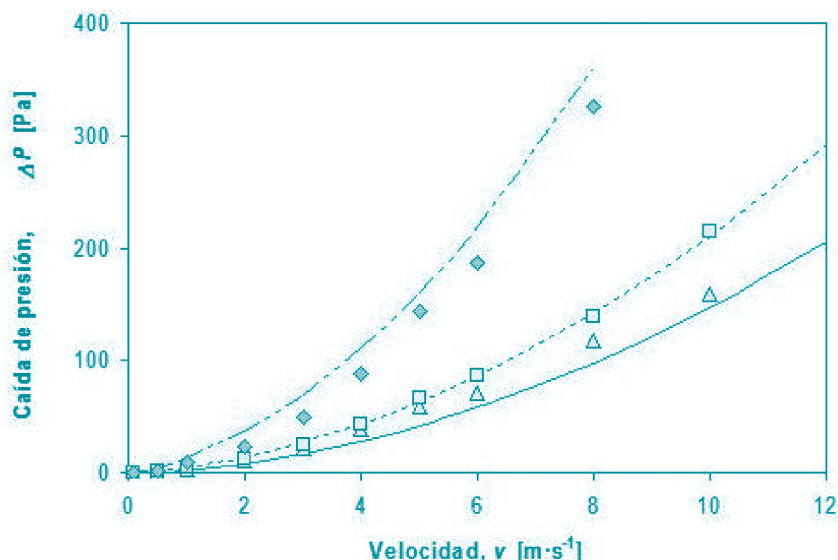
Gráfico 5. Relación entre la porosidad de las mallas y la caída de presión que produce para una velocidad de paso del aire de $1,5 \text{ m s}^{-1}$



Fuente: (■) Bell y Baker (2001) y (x) Valera *et al.* (2006) y Molina-Aiz (2010).

La medida de la resistencia de las mallas al paso del aire se puede realizar experimentalmente mediante ensayos en túnel de viento en los que se obtiene la pérdida de presión originada por el material poroso para una determinada velocidad del aire (Miguel *et al.*, 1997; Valera *et al.*, 2006) o mediante simulaciones de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) (Gráfico 6).

Gráfico 6. Caída de presión a través de tres tipos de mallas antiinsectos en función de la velocidad del aire: 10×16 [hilos/cm²] (-----; Δ), 10×20 [hilos/cm²] (- - -; □) y 15×30 [hilos/cm²] (· · · · ·; ◇)



Fuente: datos experimentales obtenidos de Valera *et al.* (2006) y Álvarez (2009) y datos simulados con CFD por Molina-Aiz (2010).

Molina-Aiz (2010) observó mediante simulaciones de CFD en un invernadero tipo Almería como el uso de mallas antiinsectos reduce fuertemente la velocidad del aire dentro del invernadero (sobre todo dentro de la zona del cultivo) y la tasa de ventilación, produciendo un aumento significativo de la temperatura interior. Resultados similares han sido obtenidos para otros tipos de invernaderos, equipados con diferentes mallas antiinsectos, por varios autores (Bartzanas *et al.*, 2002; Fatnassi *et al.*, 2002a, 2002b y 2006).

Con viento nulo, las mallas no parecen modificar el patrón de flujo dentro del invernadero correspondiente a una ventilación por «efecto chimenea». Sin embargo, aunque el aire se mueve de la misma forma, su velocidad disminuye de forma proporcional a la disminución de la porosidad de las mallas. Así, a 0,5 m sobre el suelo, correspondiente a la zona donde se produce la mayor entrada de aire por efecto térmico, se reducía la velocidad del aire interior entre un 24 y un 29 % del valor obtenido sin mallas (Molina-Aiz, 2010).

Campen (2005) también observó mediante simulaciones de CFD que una malla antiinsectos (con huecos de 0,6 x 0,6 mm y una porosidad del 38,9 %) podía reducir la tasa de ventilación más de un 50 %. También indicaba que la dirección del viento afectaba poco a la ventilación al instalar una malla antiinsectos, ya que la influencia de la resistencia de la malla al paso del aire era muy grande comparada con la de la dirección del viento. Majdoubi *et al.*, (2007) analizaron la capacidad de ventilación de un invernadero tipo Almería (o Canario) de gran tamaño (1,1 ha) con un cultivo de tomate en su interior equipado con mallas antiinsectos mediante un balance de energía. La presencia de las mallas de 10 x 20 hilos/cm² (porosidad del 35 % con huecos de 780 x 250 µm e hilo de 280 µm) reducía en este invernadero la tasa de ventilación un 46 %. Kittas *et al.*, (2005) constataron una reducción de un 33 % en la ventilación de un invernadero con solo ventanas laterales al colocar mallas antiinsectos (con un 50 % de porosidad).

Las medidas realizadas con anemómetro sónico por Kittas *et al.* (2006 y 2008) mostraban velocidades normalizadas entre un 58 y 65 % más bajas al colocar las mallas antiinsectos en las ventanas, junto a una reducción de la heterogeneidad de la distribución de temperatura y un aumento del gradiente térmico. Así, en un invernadero Almería Molina-Aiz (2010) también relacionó estadísticamente el gradiente de temperatura entre el interior y el exterior del invernadero, con la porosidad de las mallas y la velocidad del viento para los cuatro casos analizados mediante la expresión:

$$\Delta T_{ie} [^{\circ}\text{C}] = 7,78167 - 0,753656 \cdot \varphi - 0,626116 \cdot v_R [\text{m s}^{-1}]$$

Fatnassi *et al.* (2006) también observaron como la colocación de mallas antiinsectos en las ventanas de los invernaderos producía incrementos en el gradiente térmico con respecto al invernadero sin mallas. Fatnassi *et al.* (2006) compararon, para la combinación de ventanas cenitales abiertas a barlovento y una ventana lateral, la utilización de mallas de protección anti-*Bemisia* (huecos de 0,78 mm x 0,25 mm y diámetro de hilo 0,22 mm) y anti-*thrips* (poros de 0,18 mm x 0,18 mm y diámetro del hilo 0,22 mm), con el invernadero sin mallas. Con respecto a la no utilización de protección, las mallas anti-*Bemisia* produjeron aumentos de temperatura muy superiores a los simulados en el invernadero tipo Almería (Molina-Aiz, 2010), junto a un ligero incremento de la heterogeneidad espacial del microclima.

Como promedio las elevaciones de temperatura y humedad se multiplicaban por dos en comparación con el caso de la no utilización de mallas, mientras que para la malla anti-*thrips*, los aumentos de temperatura y humedad con respecto al exterior eran entonces el triple. En el invernadero tipo Almería los incrementos de temperatura fueron menores a los obtenidos por Fatnassi *et al.* (2006) debido principalmente a que ellos utilizaron las ecuaciones obtenidas por Miguel (1998b) para determinar la permeabilidad K_p y el factor inercial de la malla Y , con la consiguiente sobreestimación de la pérdida de carga originada por las mallas. Soni *et al.* (2005) constataron como una malla antiinsectos de baja porosidad (19 %, con huecos de $135 \times 135 \mu\text{m}$ con hilo de $175 \mu\text{m}$) puede aumentar el gradiente térmico en el invernadero a $5\text{-}10^\circ\text{C}$, mientras que utilizando una malla más porosa (53 % con huecos de $780 \times 755 \mu\text{m}$ con hilo de $285 \mu\text{m}$) el gradiente se puede limitar a 2 o 5°C .

Las mallas antiinsectos suponen una reducción drástica de la tasa de ventilación del invernadero que genera un aumento del gradiente de temperatura con respecto al exterior (Molina-Aiz, 2010; Fatnassi *et al.*, 2006). Así, es necesario aumentar la superficie de las ventanas al doble de su valor, para poder mantener niveles de ventilación adecuados (Montero *et al.*, 2001; Kittas *et al.*, 2005).

2.7. Sistemas de ventilación forzada

El principio de la ventilación forzada es crear un flujo de aire dentro de la estructura: los ventiladores situados en un extremo del invernadero, extraen el aire y las ventanas situadas en el lado opuesto lo dejan entrar (FAO, 2002).

Mediante un adecuado sistema de ventilación forzada se puede controlar de manera más precisa que con ventilación natural, el régimen termohigrométrico de un invernadero, así como el restablecimiento en el interior del invernadero de la concentración de CO_2 que hay en el exterior. El sistema debe estar correctamente diseñado para asegurar la tasa de renovación deseada, si no es así, la ventilación forzada resulta desastrosa para los intereses del agricultor. Para que el sistema sea efectivo se recomienda que pueda alcanzar de 45 a 60 renovaciones de aire por hora (ASAE, 1981). Por otro lado, debe considerarse en el diseño inicial la caída de la tasa de ventilación que va a provocar la casi obligada instalación de mallas antiinsectos en las aperturas de ventilación.

Esta técnica tiene una limitación en su capacidad de refrigeración, impuesta por las condiciones climáticas exteriores, a las que se aproximará el microclima dentro del invernadero a medida que aumente el nivel de renovación

de aire. En el área mediterránea se pretende fundamentalmente disminuir la humedad dentro del invernadero en otoño-invierno, así como los excesos de temperatura en primavera-verano. Como efecto colateral se consigue aumentar la concentración de CO_2 hasta niveles similares a los que hay fuera del invernadero (360 ppm), fundamentalmente en las horas centrales del día, cuando la elevada radiación solar provoca un aumento de la actividad fotosintética y un fuerte consumo de CO_2 .

2.7.1. Recomendaciones de diseño

La ASABE (*American Society of Agricultural and Biological Engineers*) establece una serie de recomendaciones con respecto a los sistemas de ventilación forzada (ASAE, 1981; ASAE, 2003). También la FAO (*Food and Agriculture Organization*) establece algunas normas o indicaciones que deben respetar las instalaciones de ventilación forzada en condiciones climáticas como las de la región mediterránea (FAO, 2002):

- Los ventiladores deben extraer el aire del invernadero. Los extractores mejoran la distribución de temperatura y evitan cualquier daño por sobrepresión interior (FAO, 2002).
- La separación entre dos extractores sucesivos situados en el mismo extremo del invernadero, no debe exceder la distancia de 8 a 10 m (Figura 54), y se situarán, siempre que sea posible, en el lateral del invernadero opuesto a la dirección predominante del viento. De esta forma la velocidad del viento exterior no produce un efecto significativo en la capacidad de los ventiladores (Fuchs *et al.*, 1997). En el caso de tener que ubicarlos en la banda de barlovento, deberá incrementarse en un 10 % la capacidad de ventilación de los mismos (ASAE, 2003).
- La superficie de las ventanas de entrada de aire situadas en la cara opuesta al lugar en el que estén los ventiladores, debe ser de al menos 1,25 (FAO, 2002) o 1,5 veces (ASAE, 2003) el área de los ventiladores. Estas ventanas estarán dispuestas en todo el lateral opuesto a la banda donde están situados los extractores y, a no más de 45 m de estos. La velocidad del aire de entrada no debe ser demasiado alta (FAO, 2002).
- Para facilitar el arranque de los extractores así como para poder modificar la tasa de ventilación en función de las variables ambientales, es recomendable poder conectar distinto número y no que todos ellos funcionen siempre a la vez (ASAE, 2003).

Figura 54. Conjunto de extractores en el lateral de un invernadero tipo Almería. La separación entre los centros de los dos extractores es de 8 m



- Debe guardarse una distancia de al menos 1,5 (FAO, 2002) o 4 veces (ASAE, 2003) el diámetro del ventilador, entre el punto de expulsión del aire y cualquier tipo de obstrucción. Si esto no es posible, como suele ser el caso de los invernaderos de Almería, que por lo general están muy próximos unos de otros, habría que instalarlos en el techo (Figura 55).

Figura 55. Vista exterior de una instalación de ventilación forzada en un invernadero Almería con las salidas de aire de los extractores situadas sobre la cubierta



- Las ventanas de entrada del aire deben accionarse automáticamente y ser totalmente estancas, cuando los ventiladores eléctricos no estén funcionando (FAO, 2002). Los ventiladores dispondrán siempre de rejillas de protección para prevenir accidentes y las rejillas de salida abrirán

- hacia fuera cuando los extractores entren en funcionamiento (Figura 56), movidas por algún sistema como el de contrapesos (ASAE, 2003).
- Los instrumentos de medida y control del sistema de ventilación deben estar protegidos de la radiación solar (ASAE, 2003), alojados en cajas con material reflectivo, o al menos blanco (Figura 57a). Se debe asegurar que circule aire alrededor de los controles a velocidad entre 3 y 5 m s⁻¹. Para ello se pueden instalar ventiladores mecánicos que renueven el aire de la caja que contenga a los sensores (Figura 57b).

Figura 56. Rejillas de protección del ventilador abiertas durante el funcionamiento del extractor (a) y detalle del sistema de apertura con contrapesos (b)

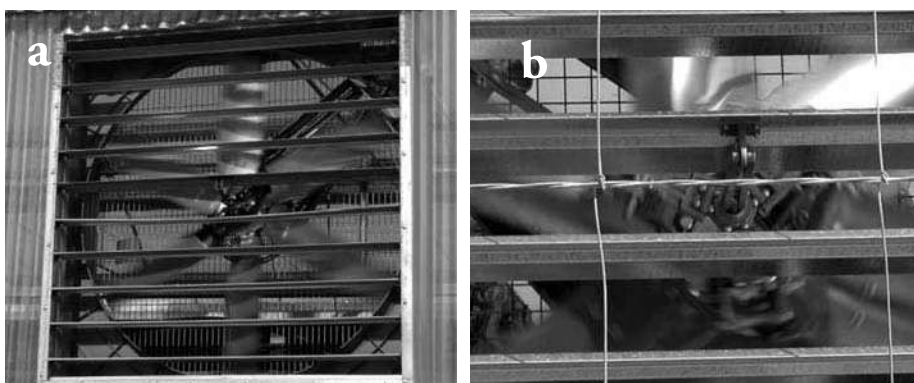
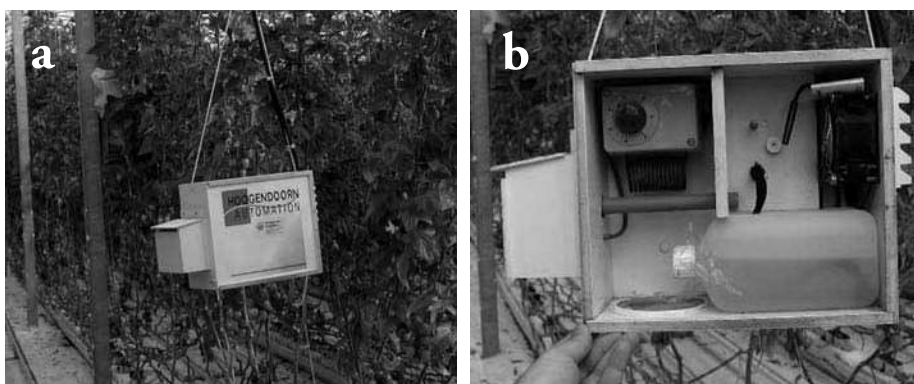


Figura 57. Caja de protección de un psicrómetro para medidas de temperatura y humedad (a) con un pequeño ventilador (b) para favorecer la circulación de aire en su interior



- Los extractores deben hacer circular el caudal de aire previamente calculado a una presión estática de 15 Pa. Dicha presión deberá duplicarse en caso de instalar mallas de protección (mallas antiinsectos) o paneles evaporadores (FAO, 2002). La ventilación forzada mediante extractores en general funciona con una eficiencia inferior a la especificada por su potencia y con un intercambio de aire inferior a su capacidad debido a la caída de presión producida por las mallas antiinsectos colocadas en las ventanas de entrada de aire (Fuchs *et al.*, 1997).

2.7.2. Sistemas de ventilación forzada instalados en los invernaderos tipo Almería

La ventilación forzada ha sido utilizada sin mucho éxito en algunos invernaderos de tipo Almería, para intentar mitigar el gran déficit de intercambio de aire que se produce debido a las excesivas anchuras de las estructuras, que pueden alcanzar fácilmente los 100-120 m.

Los extractores utilizados en los invernaderos de Almería son de 0,5 a 1,2 m de diámetro, con valores de potencia que van desde 0,4 a 1,5 kW, siendo los de 0,75 kW los más utilizados. Los caudales que proporcionan varían de 5.000 a 40.000 m³ h⁻¹, dependiendo en cualquier caso de la diferencia de presión existente entre el interior y el exterior del invernadero.

La instalación de equipos de ventilación forzada en este tipo de estructuras presenta una serie de inconvenientes que dificultan enormemente su implantación masiva en la zona:

- Falta de hermeticidad de las estructuras.
- El elevado coste de funcionamiento derivado de la gran potencia eléctrica necesaria en la instalación y del elevado número de horas diarias de consumo, que en determinadas épocas del año es muy grande. Además, existen carencias de infraestructura eléctrica en algunas de las áreas que ocupan los invernaderos, lo que produce faltas de suministro que dificultan el funcionamiento de los extractores.
- La excesiva anchura de los invernaderos también limita la aplicación de la ventilación forzada.

Arellano (2004) evaluó la efectividad de los sistemas de ventilación forzada instalados en invernaderos tipo Almería con cultivo de tomate durante la campaña primavera-verano de 2003, comparándolos con el sistema tradicional de ventilación natural. Observó como el invernadero con ventilación pasiva mantuvo un menor salto térmico medio, diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del invernadero de 3 °C, que otros dos con ventilación forzada diseñada para conseguir 15 y 30 renovaciones de aire por hora (4,5 °C). Además el sistema de ventilación natural registró menores humedades relativas y absolutas en comparación con ambos sistemas de ventilación forzada.

En cuanto al rendimiento total de fruto, no se presentaron diferencias significativas en la producción, aunque con el sistema de ventilación natural se obtuvieron los frutos de mayor tamaño, que alcanzan un mayor precio comercial (Arellano, 2004). Teniendo en cuenta tanto el coste de instalación como el consumo de energía eléctrica, los sistemas de ventilación forzada instalados actualmente en la zona de Almería no han mostrado ser rentables económicamente.

Aunque la ventilación forzada es una técnica de control climático de invernaderos conceptualmente buena, los invernaderos deben aprovechar los recursos naturales de la zona donde se instalan, por lo que en zonas con un buen régimen de vientos como Almería, la ventilación natural (pasiva) puede ser suficiente para mejorar el microclima del invernadero, haciendo recomendable la ventilación forzada solo en algunas aplicaciones muy particulares. Los extractores también se pueden utilizar como un complemento de la ventilación natural, aplicando la ventilación forzada únicamente cuando hace poco viento y la tasa de ventilación es insuficiente.

2.8. *Sistemas de refrigeración por evaporación de agua*

En los meses centrales del verano en los que las temperaturas exteriores son superiores a los máximos valores admisibles por las plantas, se pueden utilizar sistemas de refrigeración por evaporación de agua para disminuir la temperatura y aumentar la humedad del aire. Se han realizado diversos estudios con diferentes sistemas de refrigeración evaporativa (Montero *et al.*, 1981; Walker y Cotter, 1968; Al-Shooshan *et al.*, 1991; Al-Helal, 1998; Giacomelli, 2002). El principal objetivo de esos estudios era determinar la influencia de los sistemas evaporadores en la temperatura del invernadero y su eficiencia, para lo que se tuvieron en cuenta el consumo total de agua y su interacción con el cultivo como fuente secundaria de humedad. De acuerdo con Al-Sho-

oshan *et al.* (1991) la transpiración desde las hojas del dosel vegetal limita significativamente el gradiente térmico dentro del invernadero.

En los últimos años la refrigeración por evaporación de agua se ha implantado en muchas de las nuevas estructuras de invernaderos mediterráneos. Aunque en principio pudiera pensarse que las zonas costeras (donde están situados generalmente los invernaderos) no son adecuadas para implantar estos sistemas, ya que la eficiencia del sistema disminuye con la humedad ambiental, lo cierto es que han funcionado correctamente y se han implantado no solo en semilleros y cultivos ornamentales, sino también en frutas y hortalizas. Esto es debido a que estos equipos son necesarios fundamentalmente en las horas centrales del día, cuando la temperatura es excesiva, coincidiendo con la franja horaria en que la humedad es mínima.

Estos sistemas evaporan agua en el interior del invernadero, produciendo un descenso de la temperatura y un aumento de la humedad. El cambio de fase de líquido a vapor requiere energía que se extrae del aire del invernadero, enfriándolo y aumentando su contenido de humedad. Se produce una conversión de calor sensible a latente, que actúa positivamente al disminuir el déficit de presión de vapor, moderando la demanda evaporativa.

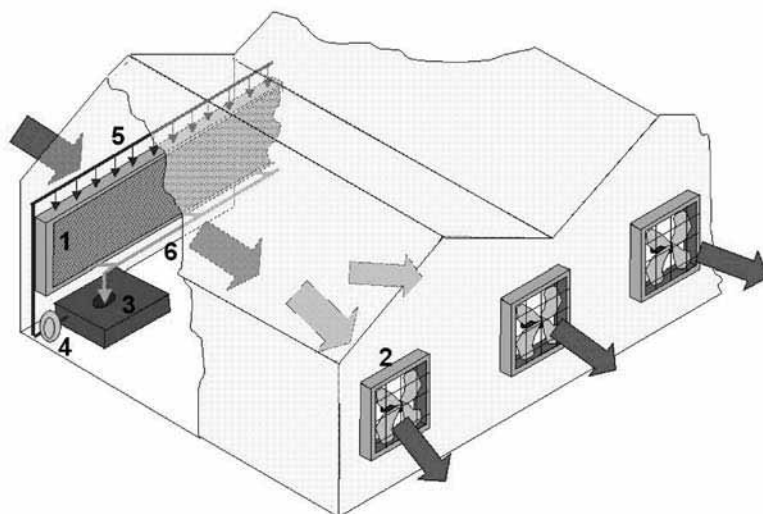
Aunque son múltiples los sistemas de enfriamiento o humidificación que utilizan esta técnica, se han impuesto en los invernaderos mediterráneos los paneles evaporadores (*evaporative pad cooling*) y las boquillas de nebulización (*fog cooling*). El mayor éxito lo han conseguido los sistemas de nebulización debido a las peculiaridades de los invernaderos ya construidos, como son la excesiva anchura y la falta de hermeticidad de los mismos.

El manejo de los sistemas de refrigeración evaporativa se basa en el control de los caudales de aire, que entra en el invernadero por ventilación, y del agua evaporada en su interior, generada por la evapotranspiración y añadida de forma artificial por los sistemas de control climático. El suministro de aire y agua en el invernadero se puede determinar mediante balances de masa y energía (Boulard y Baille, 1993).

2.8.1. Paneles evaporadores

Este sistema se basa en forzar, mediante una succión provocada por grupos de extractores en el interior del invernadero (Figura 58), el paso del aire exterior a través de paneles permeables permanentemente mojados con agua, que humedecen el aire que entra en el invernadero y lo enfrían.

Figura 58. Esquema de una instalación de paneles evaporadores
(1. Paneles, 2. Extractores, 3. Depósito, 4. Bomba,
5. Tubería de suministro de agua, 6. Tubería de desagüe de los paneles)



Este sistema requiere por tanto estructuras muy herméticas para evitar que se produzca la entrada de aire por infiltración a través de huecos o fisuras, lo que provocaría una disminución de rendimiento del sistema, ya que parte del caudal introducido por la succión de los extractores no se estaría humedeciendo. Esta es la razón de que no se hayan implantado en invernaderos poco herméticos como los de tipo Almería.

Los extractores se suelen situar en un lateral del invernadero (Figura 59) y los paneles humedecidos en el lado opuesto, normalmente el lado norte para evitar el efecto de sombreado. También es recomendable disponerlos enfrentados a los vientos dominantes en verano. Desde el panel humedecido (Figura 60), el flujo de aire atraviesa el invernadero absorbiendo calor, y es transportado por la succión provocada por los extractores hasta el final del invernadero, situado en el lado opuesto.

Se utilizan paneles de celulosa corrugada (Figura 60) y de diversos tipos de fibras, que pueden impregnarse con agentes mojantes para aumentar la superficie de evaporación y disminuir la resistencia al flujo de aire. Conectada al panel se dispone una bomba que garantice un goteo continuo de agua sobre el panel. Permanentemente se está irrigando la zona superior de los paneles,

y recirculando los drenajes una vez filtrados, añadiéndoles el agua correspondiente a la cantidad evaporada.

Figura 59. Vista de los extractores situados en la banda opuesta al panel evaporador



Figura 60. Vista de un panel evaporador de celulosa desde el interior del invernadero



Las ventajas de este método son su simplicidad de funcionamiento y de control y, también que no entraña ningún riesgo de mojar las hojas del cultivo.

Las desventajas del sistema de paneles evaporadores-extractores son:

- El aire debe ser forzado a través del panel, que ofrece una apreciable resistencia al paso del aire.
- Se crean importantes gradientes de humedad y temperatura a lo largo del invernadero (López *et al.*, 2010, 2012a, 2012b y 2012d).
- Su instalación, funcionamiento y mantenimiento son caros.
- Un fallo en el suministro eléctrico transforma al invernadero en un colector de calor.
- Se produce en general una disminución de su eficacia con el aumento de la humedad del aire.
- El funcionamiento continuado y la pobre calidad del agua, causan la obstrucción progresiva de los paneles, disminuyendo su capacidad de refrigeración.
- Produce un derroche de agua ya que se humedecen en exceso para prevenir la obstrucción de los paneles.

La principal desventaja de los sistemas de paneles evaporativos y extractores es la falta de uniformidad de las condiciones climáticas interiores, que se caracterizan por temperaturas crecientes y caídas de humedad a lo largo del invernadero y en la dirección del flujo de aire. Para evitar estos problemas no se recomienda que la distancia entre los paneles y los extractores (anchura del invernadero) supere los 45 metros. En la práctica esta limitación implica que su uso sea exclusivo para determinadas estructuras nuevas de tipo industrial, y lo haga desaconsejable para otras como los invernaderos «Almería».

En algunos casos se han combinado con mallas de sombreo, con el objetivo de reducir la heterogeneidad climática mencionada. Los resultados experimentales realizados combinando un sistema de refrigeración con paneles evaporadores y mallas de sombreo (Bartzanas y Kittas, 2004), muestran como la temperatura interior es 10 °C inferior a la del aire exterior, incluso durante las tardes calurosas (con temperaturas por encima de los 35 °C), debido en parte a la baja humedad exterior y a la gran eficacia del sistema de refrigeración (cercana al 80 %). Sin embargo, cuando el recorrido del aire a través del invernadero es muy grande (50-60 m), se observan grandes gradientes de

temperatura y un aumento gradual de temperatura, a lo largo del eje formado por los paneles evaporadores y los extractores, que puede alcanzar hasta 8 °C al mediodía, cuando la radiación solar alcanza el nivel máximo.

Los gradientes térmicos son más pronunciados en los invernaderos no sombreados, siendo mucho menores en los invernaderos con algún método de sombreado. Del mismo modo, el déficit de presión de vapor (DPV) es inferior en los invernaderos sombreados, con valores de 1,8 kPa, valor que se corresponde con condiciones sin estrés hídrico. Este valor está muy por debajo del registrado en invernaderos de tipo Almería del subtipo raspa y amagado con cultivo de melón en las horas centrales del día tanto con ventilación natural (2-3 kPa) como con ventilación forzada (2,2-3,8 kPa) (Arellano, 2004). Además, aunque se observan valores muy bajos de DPV en los primeros metros por detrás de los paneles evaporadores, no se detecta condensación en las hojas del cultivo, ya que su temperatura permanece constantemente por encima de la temperatura del punto de rocío del aire (Bartzanas y Kittas, 2004).

La temperatura de las plantas y su relación con la temperatura del aire es un parámetro fundamental que afecta al crecimiento del cultivo y a la cantidad y calidad de su producción. Peet *et al.* (1997), encontraron que incrementando la temperatura media diaria del cultivo de 25 a 26 °C se reduce el peso de los frutos de tomate, su número y el contenido de semillas, casi tanto como incrementando de 28 a 29 °C.

En un invernadero no sombreado, utilizando un sistema de paneles evaporadores, se puede conseguir una diferencia media entre la temperatura del dosel vegetal y la del aire de 2,8 °C, mientras que en invernaderos sombreados esta diferencia se reduce a la mitad (1,4 °C). Esto puede atribuirse no solo al propio sombreado sino al mayor flujo de transpiración que conlleva.

ASAE (2003) recomienda para cada tipo de panel la velocidad a la que tiene que ser atravesado por el aire, el caudal de agua a aportar por metro lineal de panel, el volumen recomendado del depósito de agua, así como otras consideraciones de especial interés para que el sistema sea eficaz.

2.8.2. Refrigeración mediante nebulización

El sistema de nebulización se basa en la pulverización de agua en forma de pequeñas gotas (Figura 61), en el intervalo de diámetros de 2-60 µm (ASHRAE, 1972) con el objetivo de incrementar la superficie de agua en contacto con el aire.

Realmente, debido al tamaño de las gotas que se obtienen, se trata más de una fina pulverización que de una nebulización propiamente dicha, aunque este es el término con el que se denomina a este sistema. Se utiliza una red de boquillas de nebulización situada sobre el cultivo y cercana a la cubierta del invernadero. Suele disponerse una boquilla cada 2-4 m², dependiendo de la configuración de la instalación.

Figura 61. Neblina provocada por un sistema de nebulización



Para una determinada cantidad de agua, la superficie de la misma en contacto con el aire aumenta de forma directamente proporcional a la disminución del tamaño de las gotas. Otra característica de las gotas en este intervalo de tamaños, es que las fuerzas de fricción resultantes del movimiento de las gotas a través del aire son relativamente mayores, con lo que su velocidad de caída es menor (Frenkel, 1986), hasta del orden de 0,1 m s⁻¹ en aire inmóvil; elevando el tiempo de permanencia en suspensión, permitiendo así la completa evaporación de las gotas. Esto produce una alta eficiencia de evapora-

ción del agua en combinación con la posibilidad de mantener secas las hojas del cultivo. La elevada eficiencia se debe a que, además de evaporar el agua para enfriar el aire, es posible evaporar el agua en cantidades suficientemente grandes para igualar la energía absorbida en el invernadero (bajo condiciones normales alrededor de $0,7 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).

Las gotas de nebulización se pueden generar por diferentes métodos: agua a alta o baja presión que se fuerza a pasar por un orificio pequeño, choque de una corriente de agua con otra de aire, pulverizadores centrífugos, ultrasónicos y otros que utilizan tecnologías piezoeléctricas.

El rendimiento del sistema de nebulización es mejor que el de los paneles evaporadores. En invernaderos con ventilación natural y refrigeración por nebulización, se disponen las boquillas uniformemente distribuidas en todo el invernadero, lo que proporciona un clima más homogéneo. Por otro lado, este sistema puede utilizarse en invernaderos poco herméticos, así como en los de gran anchura. Estos aspectos han favorecido su implantación en la costa mediterránea y especialmente en los invernaderos de Almería.

La nebulización también es muy utilizada no solo para bajar la temperatura, sino para mantener un nivel aceptable de humedad, especialmente cuando el cultivo está en sus primeras fases de desarrollo. Así es posible adelantar la fecha de trasplante, por ejemplo a principios de agosto en Almería para un cultivo de pimiento, cuando la temperatura exterior es muy elevada. Si no se utilizara la nebulización, las pequeñas plantas se verían sometidas a una excesiva transpiración que les provocaría graves problemas de marchitez.

Una elevada dosis de nebulización ($1,6 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) parece reducir la tasa de transpiración de las plantas. La transpiración del cultivo es un factor muy significativo para la reducción de temperatura dentro del invernadero. Sin embargo, su efecto se puede despreciar cuando se utilizan fuertes niveles de nebulización o en situaciones próximas a la saturación (Perdigones *et al.*, 2004).

El elemento más delicado de los sistemas de nebulización son las boquillas que generan las gotas de agua, puesto que el rendimiento de la instalación depende fundamentalmente de ellas. En los sistemas de alta presión (40 a 60 bar), la corriente de agua choca con un obstáculo a la salida y se dispersa, formando un cono de pequeñas gotas con diámetros por debajo de $20 \text{ }\mu\text{m}$. En los sistemas de baja presión el agua está a una presión muy inferior (3 a 6 bar). Las boquillas ultrasónicas son consideradas las mejores, aunque también son las más caras (Ferrández-Villena *et al.*, 2002). En este tipo de boquillas,

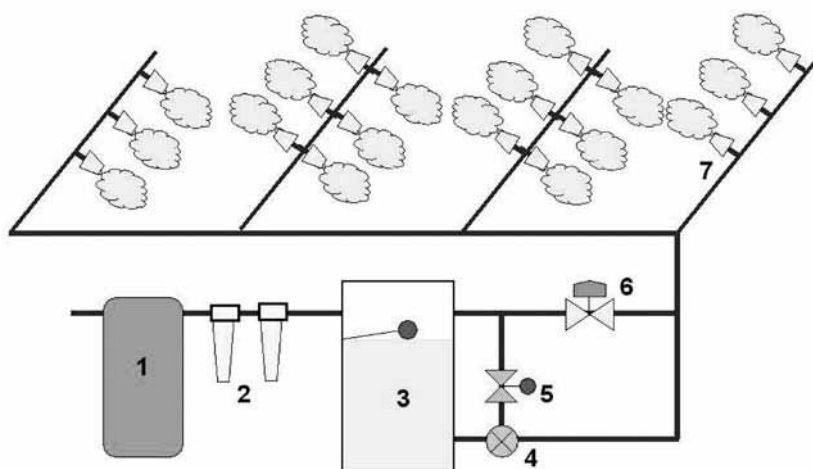
la corriente de aire comprimido choca contra un resonador hueco y redondo situado enfrente de la salida del agua. El agua atraviesa un campo de ondas y se dispersa formando pequeñas gotas cuyo tamaño es aproximadamente $10\ \mu\text{m}$. Otra clase de boquillas, con menor coste y calidad aceptable, mezclan aire con una presión de 6-8 bar con agua a 3-5 bar en el interior del cuerpo de la boquilla. Estas últimas son muy utilizadas en el levante español.

A continuación se describen los dos sistemas de nebulización más utilizados en la actualidad en los invernaderos de Almería: los de alta presión, y los basados en aire comprimido y agua a baja presión.

Sistemas de nebulización de alta presión

En la Figura 62 se presenta el esquema básico de un sistema de nebulización de alta presión. El sistema consta de: purificador de agua y filtros para prevenir la obstrucción de las boquillas, depósito de agua, bomba con una válvula reguladora de presión, y boquillas nebulizadoras. El agua es tratada para evitar que tapone las boquillas e impulsada a éstas por una bomba de alta presión. El sistema incluye válvulas de solenoide de accionamiento eléctrico para facilitar una variación rápida de la presión de funcionamiento.

Figura 62. Esquema de sistema de nebulización de alta presión*



* 1. Purificador de agua; 2. Filtros; 3. Depósito; 4. Bomba; 5. Válvula reguladora de presión; 6. Válvula de solenoide de drenaje; 7. Boquillas.

El sistema está equipado con una válvula antirretorno para evitar el goteo desde las boquillas durante las transiciones de encendido y apagado del sistema. Mediante presiones de trabajo de 25-80 bar y una densidad de boquillas de 0,2 boquillas/m² se pueden obtener tasas de flujo de agua evaporada de 1,2 a 1,7 kg m⁻² h⁻¹.

La eficiencia de los sistemas de nebulización es a menudo limitada por una insuficiente convección natural del aire, en ausencia de viento (Kittas *et al.*, 2003). Así, a veces se utilizan agitadores de aire, incluso extractores, para mejorar la renovación del aire, evitando llegar a la saturación.

La experiencia acumulada en países como Israel indica que para obtener unas condiciones uniformes, la velocidad de entrada del aire en el invernadero no debe exceder de 0,5 m s⁻¹ y la longitud de los invernaderos no debería superar los 35 m. Además, esta distribución presenta problemas tanto en la realización de la instalación de suministro de agua, como de funcionamiento y control, que están sujetos a la variación de las condiciones ambientales (Arbel *et al.*, 2003).

A la vista de estas consideraciones es recomendable el siguiente esquema de instalación que comprende (Arbel *et al.*, 1999): ventanas cenitales distribuidas uniformemente en el invernadero, extractores de aire en todos los laterales y boquillas nebulizadoras uniformemente distribuidas a la altura de la estructura del mismo. El aire entra en el invernadero a través de las ventanas cenitales arrastrando las gotas de agua que se evaporan dentro del flujo. Como resultado, el aire se enfría (por la evaporación del agua), tanto en su entrada al invernadero como en el transcurso de su paso por el interior del dosel vegetal, y absorbe el exceso de calor.

Mediante un sistema bien diseñado se obtiene una elevada uniformidad ($\pm 0,5$ °C) en las condiciones climáticas (Arbel *et al.*, 2003). La apertura de la ventana lateral de barlovento genera una pérdida de uniformidad de las variables climáticas a lo largo de la dirección del viento, expresada principalmente como un incremento gradual en la temperatura de bulbo húmedo del aire.

Un método de control del sistema de nebulización adecuado a unas condiciones climáticas variables (Arbel *et al.*, 1999) se basa en la combinación de un sistema de encendido/apagado para baja presión de funcionamiento (fijada de acuerdo al tamaño de gota) para condiciones en las que la necesidad de refrigeración es marginal, y un aumento de la presión mediante una válvula reguladora para trabajar de forma continua cuando la carga térmica aumenta.

Este sistema es el más efectivo y permite conseguir los mayores rendimientos termodinámicos, aunque presenta varios inconvenientes:

- Un elevado precio derivado del empleo de tuberías metálicas, boquillas especiales, compresores, etc.
- Un excesivo mantenimiento de las boquillas que, debido al pequeñísimo orificio de salida del agua, se obstruyen con facilidad.

Sin embargo, es el único sistema de nebulización que asegura que no se moje el cultivo, cumpliendo con los requerimientos de bajada de la temperatura y/o mantenimiento de un determinado nivel de humedad.

Nebulización con aire comprimido

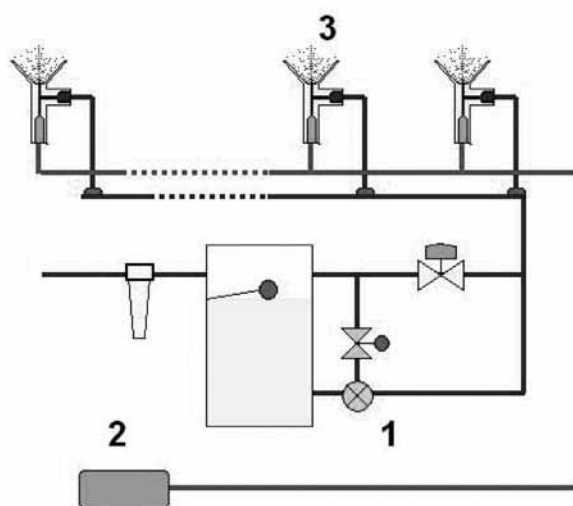
En este tipo de nebulización se hace pasar una corriente de aire a través de una boquilla de nebulización, donde se aspira agua por *efecto Venturi*, y posteriormente es pulverizada. El aire provoca la dispersión del agua en gotas de un tamaño muy pequeño. Cuanto mayor es la velocidad del aire, menor es el diámetro de las gotas. La ranura realizada al final de la boquilla de nebulización provoca una modificación en las líneas de flujo del aire. La rotura de la vena fluida produce la recirculación del fluido (aire-agua) que recoge las gotas de agua adheridas a la superficie de la boquilla, conduciéndolas al centro del difusor y pulverizándolas de nuevo. En este sistema se utilizan dos redes de tuberías de distribución, dispuestas una junto a la otra: por una circula el agua y por otra circula aire comprimido (Figura 63).

La descarga de agua se determina a partir de las necesidades del cultivo y de las condiciones ambientales. El flujo de agua se puede controlar mediante emisores autocompensantes situados delante de cada boquilla nebulizadora. Gracias a estos emisores, se puede aplicar un flujo de agua constante a baja presión. La descarga de las boquillas determina el número de tuberías y de boquillas de nebulización necesario para conseguir el flujo de agua requerido. La presión debe ser homogénea a lo largo de todas las boquillas para obtener un flujo de agua similar en todas ellas.

Mediante un sistema de bombeo se aplica una presión al agua de 0,8 a 1,5 bares, mientras que el aire es impulsado a través de las boquillas mediante un compresor de aire (Figura 64). Si la instalación está prevista que funcione

durante largos periodos de tiempo se recomiendan compresores helicoidales al ser mayor su rendimiento, y si el funcionamiento se limita a cortos periodos de tiempo, los compresores alternativos son los más adecuados.

Figura 63. Esquema de nebulización por aire comprimido*



* 1. Bomba de impulsión de agua; 2. Compresor de aire; 3. Boquillas.

Este sistema es muy utilizado en los invernaderos mediterráneos y se está instalando en muchos invernaderos de tipo Almería (Figura 65) en los que su uso se combina con la ventilación natural. Tienen el inconveniente de que requieren grandes compresores, lo que a veces se solventa en parte, utilizando el equipo por sectores. También presenta la ventaja teórica de que puede ser utilizado no solo para disminuir la temperatura y/o aumentar la humedad, sino ocasionalmente para realizar tratamientos fitosanitarios y abonos foliares.

Aunque no es muy eficaz ya que no hay una buena deposición del producto en el cultivo.

Figura 64. Compresor de aire y bomba de impulsión del agua en una instalación de nebulización



Figura 65. Detalle de una boquilla de nebulización por aire comprimido en un invernadero tipo Almería



2.9. Sistemas de calefacción

2.9.1. Sistemas de calefacción por aire caliente

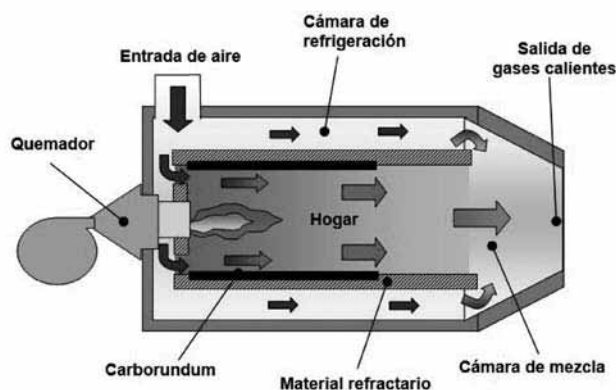
Los sistemas que utilizan el aire como medio de transmisión de calor se caracterizan por permitir un calentamiento rápido del invernadero debido a la escasa inercia térmica del aire. Estos sistemas están indicados en invernaderos donde interesa responder rápidamente ante posibles riesgos de excesivo descenso de temperaturas durante un corto periodo de tiempo y unas pocas veces al año.

Para instalaciones donde interesa aumentar la temperatura ambiental de una forma más o menos continua para intentar mejorar las condiciones de crecimiento del cultivo, estos sistemas no serían los adecuados. Al estar dispuestos sobre el cultivo, se sitúan muy próximos a la cubierta del invernadero, por lo que las pérdidas de calor a través de esta son muy elevadas. Por otro lado, debido al movimiento del aire, se producen gradientes térmicos importantes dentro del invernadero, con lo que se obtiene una gran heterogeneidad en la temperatura ambiental.

Generadores de aire caliente de combustión directa

Son equipos con un alto rendimiento en los que se quema un combustible (propano o gas natural), introduciendo en el ambiente aire caliente y los gases de escape que resultan del proceso de combustión (Figura 66).

Figura 66. Esquema de un generador de aire caliente de combustión directa



Están constituidos esencialmente por un hogar cilíndrico recubierto por material refractario. La zona más próxima a la llama, donde la radiación térmica es mayor, también se protege mediante anillos de carborundum (material altamente refractario a base de nitruro de boro y carbono). El espacio que queda entre los elementos refractarios y la carcasa metálica exterior constituye la cámara de refrigeración, por la que circula el aire proveniente del exterior. A la salida del hogar se encuentra la cámara de mezcla donde confluyen las masas de aire exterior frío y los gases de combustión a alta temperatura, entre 300 y 900 °C.

En algunos invernaderos de la comarca del Almanzora se utilizan estufas en las que se puede obtener calor tanto por combustión de gasoil como por medio de resistencias eléctricas. Estas estufas tienen una potencia calorífica de unos 30 kW. Su principal inconveniente es la expulsión de los gases de escape dentro del propio invernadero, aunque dado el corto periodo en que son utilizados el efecto sobre las plantas no llega a ser apreciable (Molina-Aiz, 1997).

Este sistema de calefacción es muy efectivo como método de lucha contra las heladas, ya que un simple termostato conecta las estufas cuando la temperatura desciende bruscamente, evitando que alcance los cero grados.

Figura 67. Generadores de aire caliente de combustión directa



En la mayoría de los semilleros de Almería disponen de generadores de aire caliente. Están provistos de un quemador y un ventilador de gran capacidad (de 3.000 a 6.000 m³ h⁻¹) lo que les permite tener una gran potencia térmica (20-80 kW).

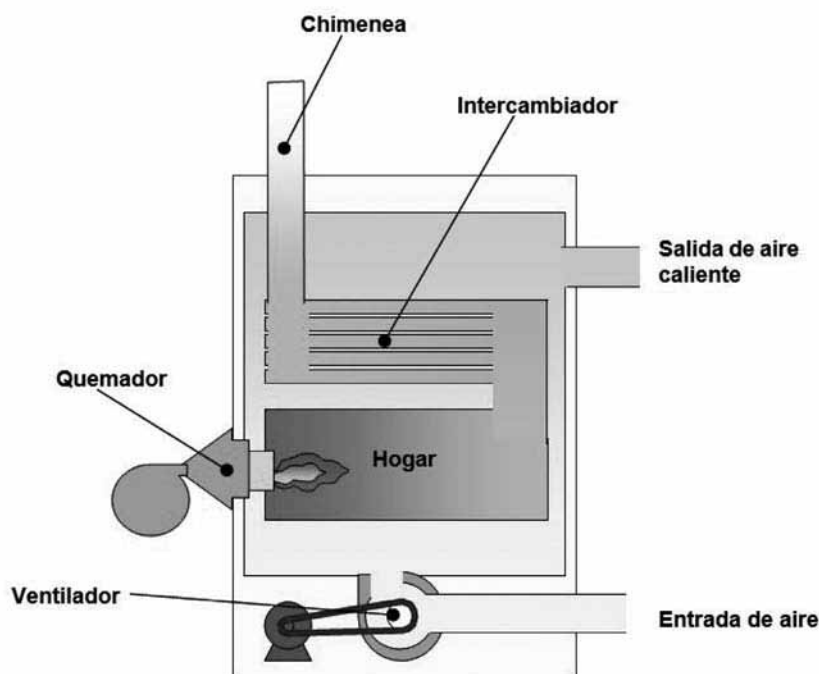
Por lo general están equipados con electroválvula, termopar y termostato de seguridad. También pueden tener presostatos de seguridad para parada en caso de falta de aire. Mediante un simple termostato que funcione con la temperatura ambiente se puede automatizar su funcionamiento.

Generadores de aire caliente de combustión indirecta

Para evitar los problemas que pueden suponer el liberar gases tóxicos dentro del invernadero, tanto para las personas como para las plantas, se utilizan estos generadores que incorporan cambiadores de calor que permiten introducir en el invernadero aire caliente y expulsar los gases que resultan de la combustión fuera de él. Su rendimiento puede disminuir en un 15-20 % con respecto a los anteriores debido a la pérdida de energía calorífica en los gases de escape.

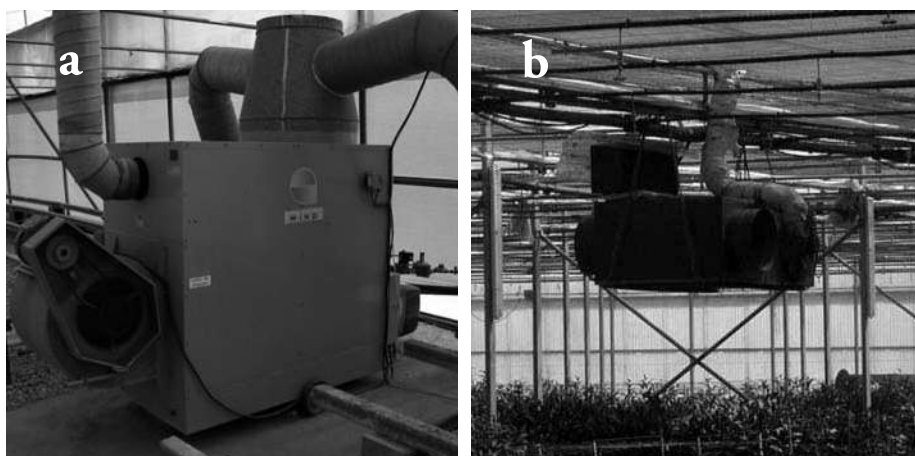
Los generadores de combustión indirecta están constituidos por un quemador de gasoil o gas, uno o dos ventiladores y los tubos por donde pasa el aire caliente antes de ser expulsado (Figura 68).

Figura 68. Esquema de un generador de aire caliente de combustión indirecta



La instalación de los generadores de aire caliente se puede realizar tanto en el suelo como colgados de la estructura (Figura 69). Cuando se sitúan sobre el suelo (Figura 69a) es necesario utilizar algún sistema de distribución del aire caliente en la zona ocupada por las plantas, para evitar la salida directa sobre las plantas circundantes, que provocaría daños en el cultivo. Otro inconveniente es la posible pérdida de suelo útil en caso de situarlo en la zona central del invernadero, o la falta de homogeneidad en la distribución del calor si se coloca en un extremo del invernadero para evitar perder superficie de cultivo (Figuras 69a y 71).

Figura 69. Generadores de aire caliente de combustión indirecta: sobre el suelo (a) y colgado de la estructura (b)

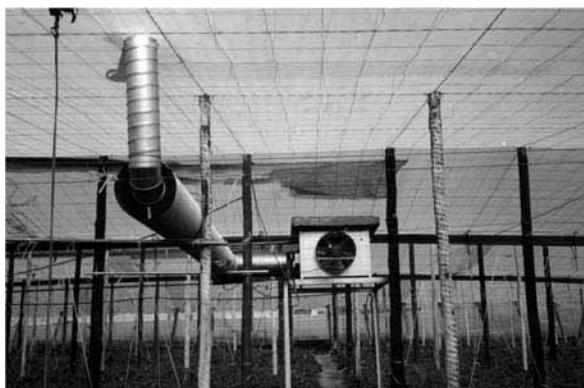


Si el equipo está colgado de la estructura, permite aplicar directamente el chorro de aire caliente sin necesidad de sistema de distribución. Sin embargo, esta alternativa presenta dos inconvenientes: la sobrecarga de la estructura del invernadero y la aplicación del aire caliente sobre el cultivo, dificultando el calentamiento de la zona ocupada por las plantas y favoreciendo la pérdida de calor a través de la cubierta del invernadero, bajo la cual se acumula el aire caliente por efecto de la flotabilidad térmica.

Una forma de mejorar el rendimiento de los calefactores de combustión indirecta colgados de la estructura es utilizar un intercambiador de doble tubo (Figura 70) para reducir la temperatura de salida al exterior de los gases resultantes de la combustión. El ventilador principal suministra aire al quemador

e impulsa el humo fuera del invernadero haciéndolo pasar a través de un tubo metálico de 0,5 m de diámetro con una longitud de unos 8-10 m. Este sistema proporciona 125 kW, con un caudal de ventilación de $8.000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Además se coloca un segundo tubo de 1 m de diámetro rodeando el primero, con una longitud de 5-6 m. En uno de sus extremos se sitúa un segundo ventilador con un caudal de $4.000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, que impulsa el aire del interior del invernadero a través del espacio anular situado entre ambos tubos. De esta forma se produce una transferencia de calor por convección forzada tanto en el interior como en el exterior del tubo de menor diámetro, aumentando el intercambio de energía en unos 25 kW aproximadamente (Molina-Aiz, 1997).

Figura 70. Generador de aire caliente de combustión indirecta en un invernadero asimétrico del Campo de Níjar



Estos equipos permiten realizar un salto térmico entre el aire interior y el exterior de hasta 10°C , de forma que la temperatura del cultivo se puede mantener siempre por encima de dicha temperatura. La distribución del aire caliente se puede mejorar en el caso de generadores de aire, mediante mangas de polietileno con orificios, de unos 200-250 mm de diámetro. Con esas mangas el alcance del chorro de aire caliente puede llegar a ser de 50 m mientras que sin mangas el alcance suele ser de 20 m (Montero y Antón, 1994). Con ellas se puede llegar a reducir el gradiente de temperatura a solo $1,5^\circ\text{C}$ a una altura de 1,5 m del suelo (Meneses y Monteiro, 1990). El gradiente de temperatura que se desarrolla a lo largo del invernadero depende de varios parámetros. Por ejemplo, de la posición y tamaño de los agujeros (Wells y Amos, 1994) de las mangas de polietileno, del flujo de aire en las tuberías y de la pendiente del terreno en la dirección de medida (Ray *et al.*, 2005).

Figura 71. Mangas de polietileno para distribución del aire caliente producido por un generador de combustión indirecta



López *et al.* (2012f) estudiaron el efecto de un sistema de calefacción por aire caliente de combustión indirecta con mangas de polietileno sobre el microclima de un invernadero multitúnel en Almería mediante anemómetros sónicos y sobre las plantas mediante cámara termográfica. Previamente se realizó un estudio de la emisividad de diferentes tipos de cultivos hortícolas (López *et al.*, 2012c). Con una potencia de calefacción de 88 kW ($146,67 \text{ W m}^{-2}$ de invernadero) se consiguió aumentar la temperatura interior en el invernadero experimental entre 7,2 y 11,2 °C por encima de la temperatura exterior.

Las diferencias máximas de temperatura oscilaron entre 6,5 y 8,3 °C, estando los puntos de menor temperatura en la zona central del invernadero (última zona en el recorrido del aire caliente), y no en el extremo sur más alejado de las mangas. Para mejorar la uniformidad de la distribución del aire caliente en el invernadero, el diámetro de los orificios de salida debería aumentar con la distancia al calefactor, para de esta manera compensar las caídas de presión y de temperatura a lo largo de la manga (Valera *et al.*, 2013).

El análisis del sistema de calefacción mostró que los calefactores consiguieron aumentar la temperatura media dentro del invernadero de 15,9 °C (en el invernadero sin calefactor) a 17,6 °C durante el ciclo de cultivo de Octubre de 2011 a Marzo de 2012. Como consecuencia de ello la producción de tomate aumentó de $5,0 \text{ kg m}^{-2}$ a $6,5 \text{ kg m}^{-2}$ (Valera *et al.*, 2013). Sin embargo, el valor de ese incremento de producción de 0,86 €/m² (con un precio medio del tomate comercializado de 0,61 €/kg) fue muy inferior al coste del

combustible consumido de 2,41 €/m² (con un precio medio del gasoil de 1,03 €/l). Bajo las actuales condiciones económicas (con bajos precios del tomate y elevados de los combustibles), el uso de los sistemas de calefacción por aire caliente como sistema de aumento continuo de la temperatura interior, supuso una reducción de un 39 % del beneficio del agricultor.

Control de los sistemas de calefacción por aire caliente

El control de los sistemas de calefacción por aire debe ser muy cuidadoso debido a su elevado consumo de combustible. Se puede realizar automáticamente, mediante termostatos ambientales colocados a la máxima altura del cultivo, o por programación, en la que se hace funcionar la calefacción un cierto periodo de tiempo, generalmente por la noche.

La capacidad para suministrar calor de un equipo de calefacción por aire caliente depende del tipo de combustible (Tabla 8) que utilice para generar energía, y del rendimiento calorífico de la propia máquina.

El rendimiento térmico del generador se define como la relación entre la potencia útil obtenida y la potencia nominal. La potencia útil es la energía calorífica que el generador realmente transmite al aire y que será utilizada para incrementar su temperatura. En el caso de los generadores de combustión directa toda la energía liberada por el combustible es transmitida al aire del invernadero, por lo que la potencia útil y la nominal son iguales y por consiguiente el rendimiento del equipo es del 100 %.

Tabla 8. Características de los combustibles utilizados en sistemas de calefacción

Combustible	PCS* [kJ kg ⁻¹]	PCI** [kJ kg ⁻¹]	ρ [kg m ⁻³] (a 20 °C)
Gasóleo A	44.000	42.500	0,8300
Gasóleo B	44.000	42.500	0,8400
Gasóleo C	43.150	42.000	0,8300
Fuel-oil Tipo 1	42.740	40.650	
Fuel-oil Tipo 2	44.000	39.800	
Gas natural	56.530	51.060	0,7707
Propano	54.190	49.800	1,8785
Butano	53.200	49.000	2,5168

* PCS poder calorífico superior.

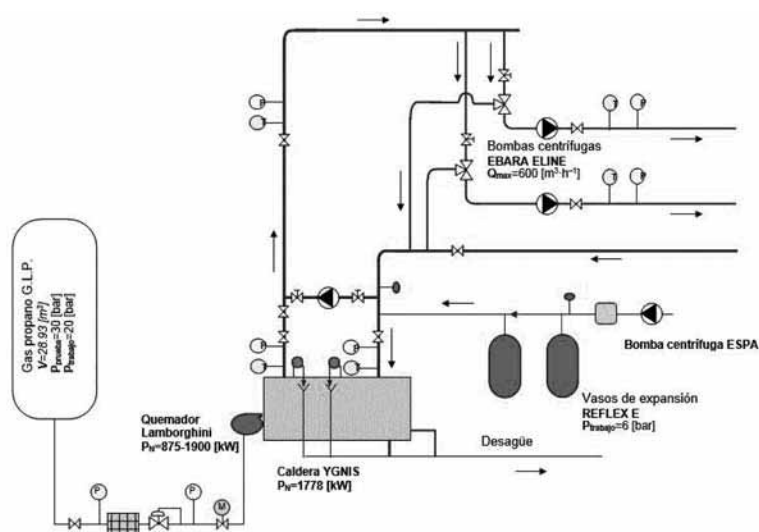
** PCI poder calorífico superior del combustible.

2.9.2. Sistemas de calefacción por agua caliente

En las zonas de climas muy fríos o cuando se desea incrementar la temperatura ambiente durante periodos de tiempo prolongados, se hace necesaria la instalación de sistemas de calefacción por medio de agua caliente. En una caldera se produce el calentamiento de agua mediante quemadores de gas propano o gasoil. El agua caliente se distribuye mediante un sistema de tuberías por todo el invernadero retornando a la caldera tras haber dejado parte de su calor. Estos sistemas producen un calentamiento del aire por convección al entrar en contacto con los tubos, y un calentamiento del suelo y del cultivo por radiación electromagnética. Al estar las tuberías de conducción del agua caliente en torno a las plantas se consiguen bajos gradientes de temperatura y una mayor uniformidad de la temperatura del aire con respecto al cultivo.

Un sistema de calefacción por agua consta principalmente de los siguientes elementos (Figura 72):

Figura 72. Esquema de una instalación de calefacción para dos invernaderos en Almería



- Depósito de combustible.
- Equipo de combustión o quemador.
- Caldera.

- Tuberías de distribución.
- Bomba de impulsión.
- Vasos de expansión.
- Accesorios de seguridad (presostatos, termostatos, válvulas de nivel, etc.).

La mayoría de las instalaciones de calefacción por agua caliente en los invernaderos de Almería utilizan gas propano como fuente de energía (Figura 73), que permite mayor capacidad de almacenamiento, es menos contaminante y más barato que el gasoil.

Figura 73. Depósitos de gas propano para una instalación de calefacción



Calderas

Uno de los componentes de los sistemas de calefacción por agua caliente de mayor importancia es la caldera, pues de sus características dependerá la capacidad del sistema para generar calor. Prácticamente la totalidad de las calderas que se utilizan en los invernaderos son de tipo pirotubular en las cuales se hace circular el aire caliente por una serie de tubos que atraviesan la masa de agua que se ha de calentar. Se producen tres pasos de gases dentro de la caldera, dos en el fogón y un paso en los tubos de humo. Los gases resultantes de la combustión primero pasan por el hogar, después por la cámara de postcombustión donde sufren un giro en su dirección, para finalmente iniciar su paso por los tubos de humo.

A lo largo de todo el recorrido del aire caliente dentro de la caldera se pueden implementar retardadores de gases que hacen que el flujo en éstos sea más turbulento, permitiendo aumentar el tiempo de residencia de los gases en la caldera (Valera *et al.*, 2008a). Las paredes de los tubos de circulación de los gases son onduladas para aumentar la superficie de contacto con el agua y para absorber las deformaciones debidas a los procesos de contracción y dilatación.

El cuerpo de presión de la caldera está constituido por un cilindro de acero de alta calidad, cerrado por sus dos extremos (Figura 74). La pared lateral se denomina casco o tambor y las de los extremos fondos. Uno de estos fondos se une al cuerpo mediante bisagras a modo de puerta, y en él se aloja el quemador, lo que permite su apertura para poder acceder a todos los tubos, el fogón y la cabeza de combustión del quemador, para la realización de labores de revisión y mantenimiento.

El hogar está constituido por un tubo cilíndrico de paredes onduladas que enlaza con otro tubo de mayor diámetro y menor longitud que constituye la cámara de postcombustión. El gran volumen en la cámara de combustión de las calderas, les permite absorber completamente el calor por radiación generado por la combustión.

Figura 74. Caldera y vasos de expansión en una instalación por agua caliente en invernaderos de Almería alimentada por gas propano



Las calderas utilizadas para calefacción por agua en invernaderos trabajan con presiones de 10-20 bares, y temperaturas de salida del agua entre 60 y 80°C, siendo la temperatura máxima de seguridad de 110 °C. Mediante válvulas de tres vías (Figura 75) se puede hacer recircular parte del agua de retorno, cuando no se trabaja a la potencia máxima, lo que permite regular la temperatura de emisión de las tuberías en función de las necesidades del invernadero.

Figura 75. Tuberías principales de un sistema de calefacción de invernaderos con coquilla aislante y válvulas de tres vías para regulación de la temperatura



Las pérdidas de calor en la red de distribución de agua caliente suponen un incremento en el consumo del combustible que se precisa para atender una determinada demanda, por lo que el aislamiento térmico se traduce en una economía de combustible. Además la presencia de superficies calientes es una causa potencial de accidentes, por lo que debe controlarse la temperatura superficial de las tuberías de distribución del agua caliente y de la caldera.

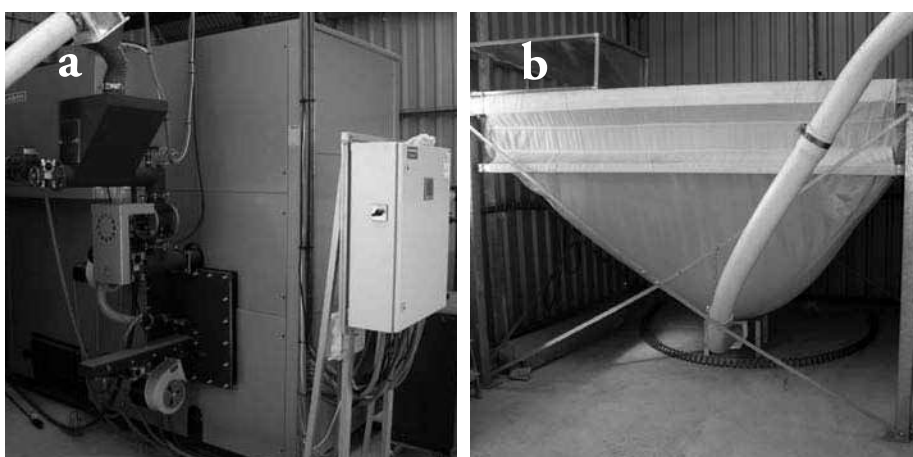
El aislamiento del cuerpo de las calderas normalmente se efectúa mediante mantas de lana mineral de alta densidad (fibra de vidrio o lana de roca) con soporte de tela metálica protegidas por láminas de acero inoxidable, con espesores de 10 a 15 cm. Para el aislamiento térmico de tuberías con diámetros nominales de hasta 15 cm, es aconsejable el empleo de coquillas (Figura 75). Sobre el material aislante (lana de vidrio o de roca) normalmente se aplica una primera lámina de cartón asfáltico o una pintura impermeabilizante, que actúan como barrera de vapor; y posteriormente un recubrimiento con chapa de aluminio o de acero inoxidable.

El control de los quemadores se realiza mediante un termostato de regulación que enciende y apaga el quemador, o realiza la modulación del caudal, de acuerdo con las necesidades de la instalación. También disponen de un segundo termostato de seguridad. En la instalación deben también colocarse termómetros en las tuberías de salida (Figura 75) y en la de retorno para poder conocer las condiciones de trabajo de la instalación. En la chimenea se debe situar otro termómetro para medir la temperatura de los gases de escape, y poder determinar la pérdida de energía. En caso de altas temperaturas de los humos, superiores a 240 °C, se deberá cortar el suministro de combustible al quemador mediante una válvula. También son necesarias válvulas que permitan aislar totalmente la caldera del resto de la instalación.

En los últimos años las calderas de biomasa (Figura 76a) han emergido como una alternativa factible al alcanzar rendimientos térmicos similares a los de las calderas de gasoil o de gas. Además los sistemas de control automático permiten una fácil gestión de la carga de combustible necesaria en el hogar en función de los requerimientos térmicos. Esto ha hecho que empiecen a instalarse, aunque aún de forma testimonial, para uso en invernaderos. Los principales problemas que plantea el uso de este tipo de calderas son la disponibilidad de suministro de biocombustible (pellets, cáscara de almendra o hueso de aceituna) con una constancia y homogeneidad de calidad (impurezas y contenido de humedad), la necesidad de un gran volumen de almacenamiento en silos (Figura 76b) y las labores de mantenimiento (mucho mayores que para otros combustibles). Su gran ventaja es el menor precio del combustible biomasa, y sus grandes desventajas la falta de garantía de la calidad homogénea del combustible, y las deficiencias en la logística de su distribución a las explotaciones.

Cuando las condiciones ambientales no son muy desfavorables, como suele ser el caso en la mayoría de los años en la provincia de Almería, las calderas de biomasa requieren un elevado coste de funcionamiento debido a la necesidad de mantener el hogar encendido cuando las temperaturas son próximas a las de calefacción. Esto supone un gasto de mantenimiento para conservar una temperatura adecuada en la caldera, aun cuando no se requiere aporte de calor en el invernadero.

Figura 76. Caldera de biomasa para calefacción de invernaderos (a) y silo para almacenamiento de hueso de aceituna (b)



Quemadores

Para seleccionar el quemador adecuado para una determinada caldera es necesario conocer el tamaño de llama (longitud y diámetro) que proporciona, que deberá ser el adecuado para las dimensiones de la cámara de combustión de la caldera.

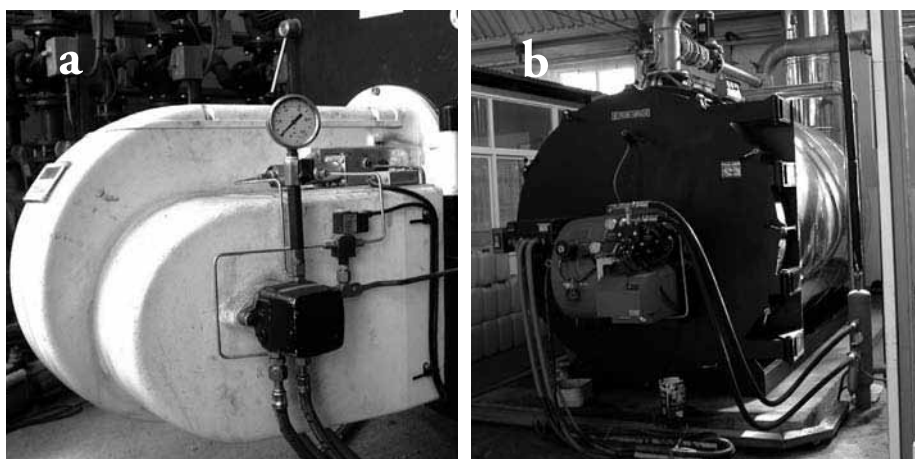
La elección de un quemador se realiza en función de los siguientes parámetros:

- Combustible utilizado.
- Potencia útil necesaria en la instalación.
- Rendimiento de funcionamiento garantizado por el fabricante.
- Sistema de trabajo del hogar (depresión o sobrepresión).

Aunque para su uso en invernadero se suelen utilizar quemadores de gasoil (Figura 77a) o de gas propano (Figura 78), en algún caso los agricultores optan por biocombustibles (Figura 76a) o por fueloil (Figura 77b). En este último caso la ventaja es el bajo precio de este combustible, aunque presenta el inconveniente de su elevado poder contaminante en caso de fugas, y la necesidad de disponer un circuito auxiliar de calefacción del depósito del combustible para mantenerlo a una temperatura superior a la ambiental, para así reducir su viscosidad y permitir de esta manera su manejo.

Los quemadores, además de por su forma, son caracterizados mediante las curvas de funcionamiento, que relacionan la presión de trabajo en el hogar con la potencia nominal que suministran. Cuando el hogar trabaja en sobrepresión el aire comburente se debe introducir mediante un ventilador.

Figura 77. Quemadores de gasoil (a) y de fueloil (b) en instalaciones de calefacción para invernaderos



En los generadores con potencia superior a 2.000 kW es conveniente instalar quemadores modulantes (Figura 78) que permiten adaptar el consumo de energía a las necesidades de la instalación. Estos quemadores ofrecen la posibilidad de regular la cantidad de combustible y la potencia térmica en una proporción de 1 a 3, mientras que el aire para la combustión se regula automáticamente en función de la cantidad de combustible.

Figura 78. Quemador modulante en una caldera para calefacción de invernaderos



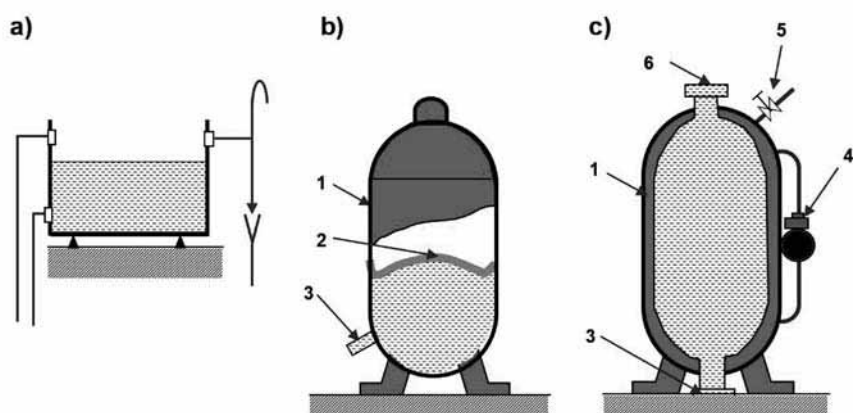
La modulación se realiza por medio de una válvula reguladora de presión colocada en la tubería de retorno, que permite un encendido silencioso, sin explosiones, con una potencia en el arranque de hasta el 35 % de la nominal. El rodete del ventilador, con una presión estática elevada, hace que el funcionamiento del quemador sea insensible a oscilaciones en la sobrepresión de gases de la caldera.

Los quemadores de menos de 2.000 kW pueden ser de funcionamiento escalonado (Figura 77a) con dos posiciones de funcionamiento y con regulación automática del caudal de aire comburente. Cuando las necesidades de calefacción no son muy elevadas el quemador genera una sola llama, mientras que cuando el calor generado por esta es insuficiente para mantener la temperatura del agua de abastecimiento se utiliza una segunda llama que permite alcanzar la potencia máxima de la caldera.

Vasos de expansión

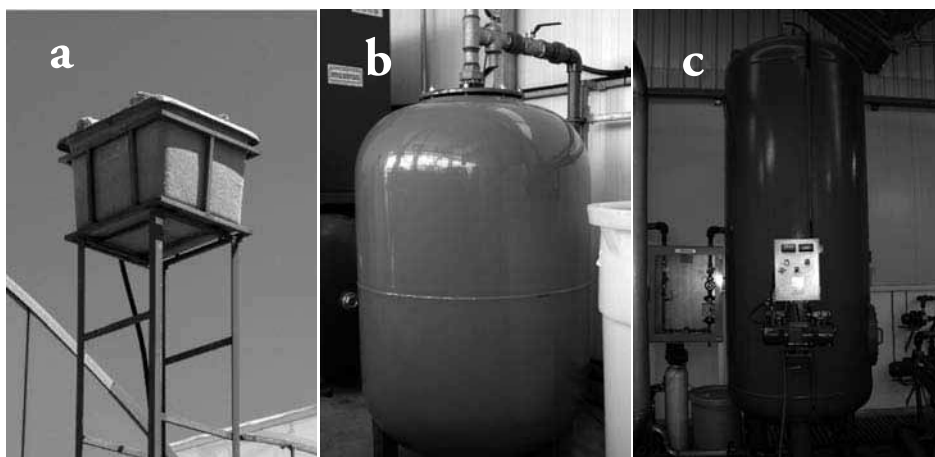
Para poder absorber las variaciones de volumen que se originan en la instalación como consecuencia de la dilatación del agua al calentarse, se instalan vasos de expansión. Los que se utilizan en los invernaderos pueden ser de tres tipos (Figuras 79 y 80): abiertos, cerrados con membrana, y cerrados con compresor.

Figura 79. Vasos de expansión abiertos (a) y cerrados sin compresor (b) y con compresor (c)*



* Componentes: 1 Vaso de expansión, 2 Membrana, 3 Conexión del agua, 4 Unidad de control y compresor, 5 Válvula de seguridad del aire y 6 Desgasificador.

Figura 80. Vasos de expansión abierto (a), cerrado con membrana (b) y cerrado con compresor (c) utilizados en instalaciones de calefacción para invernaderos



Los vasos de expansión abiertos basan su funcionamiento en la altura manométrica que alcanza el agua al situar un depósito de reserva situado a

una altura entre 5 y 6 m, siendo necesario para ello su colocación sobre una torre (Figura 80a). Así cuando el agua se calienta y aumenta su volumen, el nivel de agua en el vaso sube, y cuando el agua se vuelve a enfriar al apagarse la calefacción, el nivel de agua baja. El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) determina que, cuando la temperatura del agua de la instalación sea la del ambiente, deberá quedar en el vaso de expansión abierto un volumen de agua mínimo, igual a un 2 % del contenido total de la instalación; con la finalidad de garantizar siempre la adecuada presión manométrica en todo el circuito e impedir las entradas de aire en el mismo (Ministerio de la Presidencia, 2007).

Los vasos de expansión cerrados con membrana constan de una membrana que encierra un gas a presión que empuja el agua contenida en el vaso (Figura 80). En este caso cuando la instalación se encuentra fuera de servicio y el agua está a la temperatura de 4 °C, a la que corresponde la máxima densidad o mínimo volumen, la membrana ocupa todo el volumen del vaso de expansión, a la presión de servicio. Conforme el agua se calienta y se dilata el gas encerrado en la membrana se va comprimiendo y la membrana contrayendo para dejar que entre el agua dentro del vaso y absorber así el exceso de agua en la instalación. El principal inconveniente de este tipo de vasos es que para grandes volúmenes de agua es necesario más de uno (Figura 74), al no poder utilizar todo su volumen para la entrada de agua por la presencia de la membrana. En estos casos se aconseja la instalación de vasos con compresor.

En los vasos de expansión cerrados con compresor, cuando la temperatura del agua en la instalación comienza a elevarse y esta se dilata, comprime el aire contenido en el vaso, que es desalojado al ambiente a través de la válvula de seguridad de alivio correspondiente. Cuando el agua ha alcanzado la máxima temperatura de servicio, toda la capacidad de acumulación del vaso se ha debido llenar de agua, manteniéndose constante la presión. Al enfriarse el agua y reducir su volumen, una unidad de control acciona el compresor, que comienza a introducir la cantidad de aire precisa para restablecer la presión en el vaso al valor de servicio preestablecido.

Tuberías de calefacción sobre el suelo

El otro elemento que va a determinar la capacidad de cesión de energía calorífica de los sistemas de calefacción por agua caliente es el conjunto de tuberías que distribuye el calor dentro del invernadero. Existen distintos mo-

delos de circuitos en función del tipo y número de tubos utilizados, y de su posición con respecto al suelo y las líneas de plantas.

Las nuevas instalaciones de invernaderos multitúnel están dotadas en su mayoría con sistemas de calefacción mediante tuberías de agua caliente a alta temperatura apoyadas sobre el suelo (Figura 81). Se sitúan a unos 15-20 cm de altura mediante unas piezas metálicas denominadas bancadas, por las que circula agua a alta temperatura. La temperatura del agua en la caldera suele graduarse a 80 o 90 °C, y el agua de retorno no debe llegar a menos de 50-60 °C para evitar condensaciones en la caldera.

Las tuberías metálicas, pueden ser de acero, normalmente con un diámetro de 2 pulgadas (51 mm), o de aluminio de unos 28 mm. Las tuberías de acero presentan la ventaja de poder ser utilizadas como raíles, permitiendo sobre ellas el desplazamiento de carros de transporte, andamios móviles para elevación de los operarios, o incluso máquinas para la aplicación de productos fitosanitarios.

Figura 81. Instalación de calefacción mediante tuberías metálicas de agua caliente



Tuberías de calefacción alrededor del cultivo

Otro método de calefacción consiste en hacer circular agua a una temperatura no muy alta (entre 30 y 50 °C) a través de tuberías de polipropileno corrugadas, de unos 15-16 mm de diámetro que se colocan dentro del cultivo (Figura 82). Este sistema sustituye la elevada temperatura por una mayor proximidad y un mayor número de tuberías, 4 o 6 por línea de plantas. Con estos equipos se pueden conseguir aportes térmicos de hasta 90 W m⁻².

Este sistema permite el empleo de materiales más económicos que las tuberías de acero o aluminio, como el polietileno de alta densidad o el polipropileno (Barret *et al.*, 1978; Rampinini, 1989). Las tuberías de polipropileno son mejores que las de polietileno, ya que si por algún motivo se avería la válvula mezcladora y entra agua de la caldera a temperatura elevada, el polipropileno soporta mejor las temperaturas altas (ASAE, 1981). También es posible utilizar otros materiales como el aluminio (Figura 85).

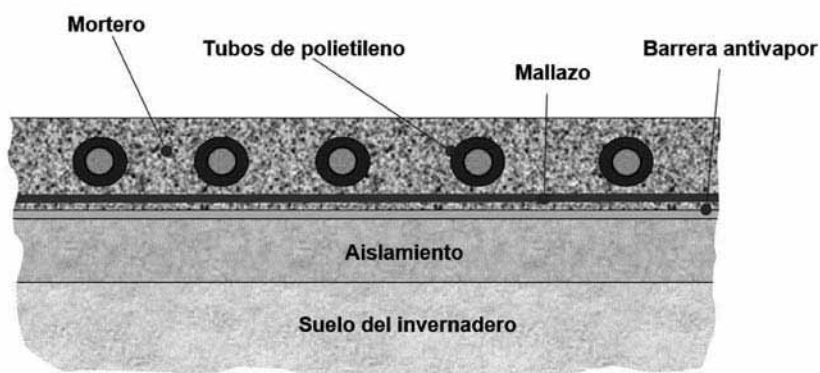
Figura 82. Cultivo de tomate con tuberías de polipropileno negras situadas a la altura de las plantas



2.9.3. Sistemas de calefacción por suelo radiante

El sistema de calefacción del suelo consiste en un conjunto de tubos generalmente de polietileno, enterrados a una profundidad de 20 o 30 cm, por los que se hace circular agua en un circuito cerrado desde la fuente de energía (Figura 83). A veces lo que se entierran son resistencias eléctricas. En climas fríos y grandes superficies se puede utilizar un sistema de suelo radiante para cultivo en macetas, constituido por un reticulado de tuberías de polietileno por las que pasa agua caliente, cubierto por una capa de mortero. De esta forma se pueden conseguir ahorros de hasta un 20 % respecto a la utilización de aerotermos (generadores de aire caliente) o tuberías aéreas (García *et al.*, 1997).

Figura 83. Esquema de la disposición de los elementos en un sistema de suelo radiante



Este sistema se utiliza en algunos semilleros de Almería donde están las bandejas en banquetas bajo las que se sitúan las tuberías de calefacción, bien apoyadas directamente sobre el suelo (Figura 84a) o colgadas de las mesas de cultivo (Figura 84b). La calefacción en banquetas es un medio eficaz como sistema para aumentar la temperatura de la rizosfera (Janes y McAvoy, 1983).

La calefacción del suelo aprovecha la gran inercia térmica de este, asociando una gran masa al sistema de calefacción (Takakura *et al.*, 1994). La calefacción de la planta a nivel de la raíz aumenta su desarrollo (McAvoy, 1992) y la producción (Moss, 1983). El calentamiento del suelo consigue compensar los efectos de las bajas temperaturas en cultivos ornamentales (Wai y Newman, 1992).

Figura 84. Tuberías de calefacción bajo las bandejas de un semillero apoyadas en el suelo (a) y colgadas de las mesas (b)



Este sistema de calefacción permite utilizar agua entre 35 y 40 °C (Barret *et al.*, 1978) y por tanto es una forma de aplicación de energías alternativas como la geotérmica, calor residual industrial y energía solar (Huys y Mulder, 1981; La Malfa *et al.*, 1993). También se puede usar como sistema para aprovechar el gradiente de temperatura existente en el suelo desde profundidades de 1,5 a 2 m, hasta la superficie (Baxter, 1994).

2.9.4. Eficiencia de los sistemas de calefacción

El coste de la instalación de los sistemas de calefacción en las condiciones climáticas propias de Almería, en orden creciente es: aire caliente de combustión directa, aire caliente de combustión indirecta, agua caliente a baja temperatura y agua caliente a alta temperatura. Aunque el sistema más barato es el de aire caliente de combustión directa, no es muy recomendable debido a los problemas de toxicidad que producen los gases de la combustión dentro del invernadero (López *et al.*, 2000).

Teitel *et al.* (1999b) realizaron un estudio comparando un sistema de calefacción con agua caliente a través de tuberías metálicas o de plástico, y un sistema de calefacción por aire caliente a través de mangas de polietileno situadas entre las líneas del cultivo. No encontraron diferencias significativas en el consumo de energía necesario para mantener la temperatura nocturna dentro del invernadero entre 16 y 18 °C.

La temperatura del cultivo y el consumo energético son función de la posición y temperatura de las tuberías de calefacción. Las necesidades de energía se pueden incrementar en un 5-10 % al situar las tuberías de calefacción sobre el cultivo, a 2,5 m de altura (Figura 85), con respecto a tuberías situadas a la altura del cultivo (0,4 y 1,5 m) (Kempkes *et al.*, 2000).

La transferencia de calor entre la tuberías de calefacción y el cultivo asegura que, las hojas en la parte inferior del cultivo (donde se sitúan las tuberías) especialmente las enfrentadas a las conducciones de calefacción, están generalmente más calientes que el aire, y en la parte superior más frías que el aire, durante la parte del ciclo en que se produce un aumento de temperatura (Teitel *et al.*, 1999b). Las diferencias de temperatura durante la noche en un cultivo de tomate parecen ser pequeñas y el efecto local en la temperatura de las hojas debido a la calefacción es bastante limitada (Kempkes *et al.*, 2000).

Figura 85. Sistema de calefacción mediante tuberías de agua caliente de aluminio situadas a la altura del cultivo



Los sistemas de calefacción por agua caliente permiten distribuir el calor de forma uniforme, siendo más eficientes que los sistemas por aire. No obstante, mediante tuberías perforadas, que aproximan el calor a la planta, los sistemas de calefacción por aire de combustión indirecta han mostrado una eficiencia similar a los sistemas por agua caliente o baja temperatura (López *et al.*, 2000).

Mediante calefacción por aire las hojas están más calientes tanto en la parte inferior como superior del cultivo durante la mayor parte del ciclo de calefacción (Teitel *et al.*, 1999b). La necesidad de ventilación para conseguir disminuir la humedad dentro del invernadero produce un aumento del consumo energía de calefacción de un 18,4 % en las latitudes nórdicas (de Halleux y Gauthier, 1998).

La relación entre la transferencia de calor por convección y radiación cambia entre el periodo de enfriamiento. Al principio, la convección contribuye más que la radiación al total de calor emitido por los tubos, mientras que al final del periodo la contribución de la radiación es sensiblemente mayor que la convección (Teitel *et al.* 1996). La transmisión de calor que se produce por radiación, supone entre un 41 y un 52 % del calor total suministrado por las tuberías de calefacción.

Se han diseñado numerosos métodos de control en función de parámetros simples como la temperatura (Bailey, 1985), la radiación solar (Calvert y Slack, 1975) o mediante simulación del flujo de energía en el invernadero (Duncan *et al.*, 1981; Fuller *et al.*, 1987). El método más utilizado actualmente es el control de los sistemas de calefacción en función de la temperatura del aire dentro y fuera del invernadero. Para ello se utiliza un termostato, en el caso más simple, o un programa informático de control climático, en el caso más complejo, que actúan sobre los equipos de calefacción encendiéndolos y apagándolos.

Un control mediante apagado-encendido causa una variación cíclica en la temperatura del cultivo y del aire del invernadero. La diferencia entre estas temperaturas también varía de una manera cíclica. Una alternativa más sofisticada al control mediante encendido-apagado, consiste en una regulación del caudal del fluido de calefacción, aire o agua, para mantener un aporte constante de calor en función de las pérdidas de calor. De esta forma se podrían conseguir niveles constantes de temperatura del aire dentro del invernadero y en el cultivo. Para ello es necesario conocer las necesidades de calefacción en intervalos de tiempo muy pequeños, del orden de segundos. Esto se consigue estableciendo un balance de energía en el invernadero que estime a lo largo del tiempo las pérdidas de calor que se están produciendo. Estos sistemas de control presentan una mayor complejidad y necesitan disponer de varios datos microclimáticos. Dado que cada día es mayor el número de invernaderos equipados con sistemas informáticos y estaciones meteorológicas, los sistemas de regulación de flujo pueden ser una alternativa de futuro muy válida.

Bombas de impulsión de caudal variable

Los sistemas de calefacción de caudal variable equipados con bombas con variador de frecuencia maximizan el ahorro de energía y optimizan el funcionamiento de la instalación. Mediante las bombas de caudal variable (Figura 86) se consigue impulsar el agua caliente por la red de tuberías encargadas de distribuir el calor dentro del invernadero, manteniéndola a presión constante aun cuando varía la demanda de calefacción.

Figura 86. Bombas de impulsión de caudal variable para la distribución del agua de calefacción en invernaderos



El variador de frecuencia se encarga de ir regulando el caudal del circuito secundario, siguiendo las variaciones en la presión de la red que vaya produciendo la demanda de calor en cada momento. Comparado con un sistema de distribución a caudal constante, el caudal variable presenta las ventajas de poder conseguir una temperatura constante de impulsión del agua y un ahorro de energía de bombeo frente al de caudal constante, al bombear solamente el caudal de agua necesario en la instalación en cada momento.

Instalación de dos calderas

Las calderas de muchos sistemas de calefacción a menudo son excesivamente grandes para proveer un determinado margen de capacidad (Gardner, 1984). Por consiguiente en general las calderas pueden suministrar adecuadamente el agua caliente necesaria, pero en la mayoría de los casos lo hacen con un bajo rendimiento (Liao y Dexter, 2004).

Figura 87. Instalación de calefacción en invernaderos de Almería con dos calderas para generación de agua caliente



En el caso de los invernaderos, las instalaciones de calefacción deben funcionar bajo condiciones climáticas muy variables. A finales del otoño, cuando empiezan a utilizarse, y al principio de la primavera cuando suele terminar el periodo de calefacción, las necesidades térmicas están muy por debajo de la potencia máxima de calefacción. Esto hace que las calderas tengan que funcionar muy por debajo de su capacidad máxima, lo que conlleva un descenso importante de su rendimiento.

Una forma de poder trabajar a lo largo de toda la campaña aprovechando al máximo el rendimiento, es la instalación de dos calderas iguales con la mitad de la potencia necesaria en el invernadero (Figura 87). Así, en los periodos en los que no es necesario un gran aporte de calor (primavera y otoño) se puede hacer funcionar una sola caldera a máxima potencia, permaneciendo apagada la otra. Cuando las necesidades de calefacción aumentan con la llegada del periodo invernal se pondría en marcha la segunda caldera para disponer de todo el potencial de la instalación.

Depósitos de agua para almacenamiento térmico

El almacenamiento de agua caliente en depósitos aislados térmicamente (Figura 88) se puede utilizar cuando se produce CO_2 mediante combustión para enriquecimiento carbónico, en momentos en los que las necesidades de calefacción son bajas (durante las horas centrales del día); y en los invernaderos en los que existen instalaciones de cogeneración de energía eléctrica y en los periodos en los que no se necesita calefactar el invernadero.

Figura 88. Depósitos calorifugados para el almacenamiento de agua caliente para calefacción de invernaderos en Holanda

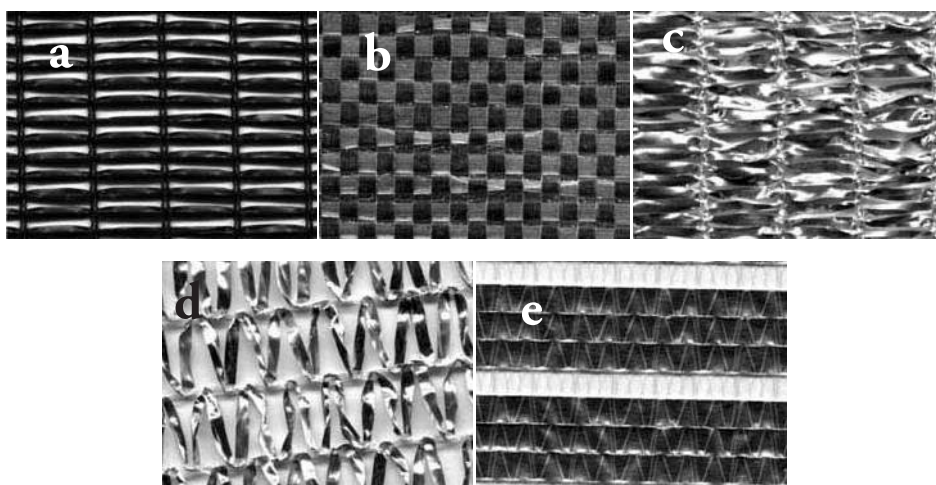


Un incremento en la concentración de anhídrido carbónico en el invernadero durante el día tiene un efecto positivo en el crecimiento de muchos cultivos. El CO_2 necesario se puede producir mediante quemadores lo que libera una importante cantidad de calor. La eliminación de este calor residual produce un derroche energético de difícil justificación en las actuales circunstancias económicas y medioambientales. Una forma efectiva para evitar estas pérdidas de calor es utilizar tanques para almacenar el agua caliente, cuando no hace falta introducirla en los invernaderos. Después, cuando baja la temperatura en el invernadero, se introduce al agua caliente desde los depósitos. Así, generalmente durante el día, cuando los quemadores están funcionando para la producción de CO_2 , el agua caliente generada en la caldera se envía hacia el tanque de almacenamiento. Durante la noche, el calor residual se utiliza para calentar el invernadero.

2.10. Mallas de sombreo, pantallas térmicas y de oscurecimiento

Las mallas textiles se pueden considerar técnicas de control climático y son cada vez más utilizadas en la horticultura intensiva en invernadero. El uso de estos agrotexiles tiene como principal objetivo la modificación de la radiación que le llega al cultivo, tanto en cantidad como en calidad. Su puesta sobre el cultivo disminuye la cantidad de radiación luminosa que incide sobre las plantas durante el día, pero también reduce la pérdida de radiación de onda larga emitida por el cultivo durante la noche. Como consecuencia de esta modificación de la luz y del balance energético del invernadero, se produce una variación de otros parámetros climáticos como la temperatura y la humedad, afectando de forma directa a los procesos de fotosíntesis y transpiración del cultivo, que se traducen en su desarrollo y productividad.

Figura 89. Diferentes tipos de mallas de sombreo, pantallas térmicas y de oscurecimiento



Según el objetivo deseado podemos distinguir tres tipos de agrotexiles:

- *Mallas de sombreo*: utilizadas para reducir la radiación incidente en periodos cálidos, donde el exceso de energía produce un incremento extremo de la temperatura dentro del invernadero, que puede llegar a ser nocivo para los cultivos hortícolas (Figura 89a).
- *Pantallas de oscurecimiento*: al igual que las anteriores se utilizan para disminuir la radiación incidente sobre el cultivo, reduciendo la in-

tensidad luminosa con el fin de adaptarla a las necesidades de ciertas especies de plantas ornamentales o flores. En el caso de las pantallas totalmente opacas su uso va encaminado a limitar las horas de luz para regular el fotoperiodo de los cultivos (Figura 89b).

- *Pantallas térmicas*: se emplean para disminuir la energía perdida en forma de emisión de radiación de onda larga durante la noche (Figuras 89c, 89d, 89e). Son muy utilizadas asociadas a sistemas de calefacción.

Cuando no existen huecos entre las diferentes láminas de la malla se denominan cerradas y en el caso contrario abiertas, siendo estas últimas el tipo más usual en las mallas de sombreo ya que permiten una mejor circulación del aire.

La radiación neta bajo la pantalla depende principalmente del porcentaje de sombra que la malla proporciona y del tipo de material que lo constituye. Con el fin de aumentar la reflexión de las mallas, las láminas pueden estar metalizadas con aluminio, denominándose en este caso como mallas aluminizadas. Estas últimas absorben menos radiación, calentándose menos y logrando una mayor disminución de la temperatura, siempre y cuando el invernadero esté suficientemente ventilado.

En función de dónde se instalan, pueden ser para uso exterior o interior, según se utilicen para cubrir el invernadero por fuera, o se dispongan bajo su cubierta, dejando confinada una cámara de aire entre la malla y la cubierta del invernadero. La colocación exterior es más eficiente debido a que se calienta menos el invernadero, pero presenta una limitación importante en zonas de fuertes vientos. Hoy día existen mallas exteriores que se sitúan sobre la cubierta pegadas a la misma, con lo cual el inconveniente anterior se mitiga.

Tanto las pantallas térmicas como las mallas de sombreo pueden desplegarse y replegarse con sistemas automatizados (Figura 90), mediante un temporizador, o bien mediante sensores climáticos (fundamentalmente de radiación y temperatura) integrados en un controlador de clima.

Actualmente existe una amplia gama de mallas con distintos porcentajes de transmisión, reflexión y porosidad al aire. En general, las mallas aluminizadas son las que presentan las mejores prestaciones para su utilización en climas cálidos, siempre que su capacidad de reflexión no disminuya con el paso del tiempo por el desarrollo de algas o el depósito de polvo y suciedad. La vida útil de las mallas de sombreo suele oscilar entre 4 y 8 años, mientras que la de las pantallas térmicas tratadas contra la radiación ultravioleta, puede llegar a los 10 años.

Figura 90. Pantalla térmica suspendida replegada en un sector y en fase de despliegue en el sector contiguo



2.10.1. Mallas de sombreado

Las mallas de sombreado combinadas con una buena ventilación provocan una reducción de la temperatura interior del invernadero así como de la transpiración del cultivo. Deben transmitir la mayor cantidad de radiación fotosintéticamente activa posible, y reflejar la máxima cantidad de radiación de infrarrojo corto proveniente del sol.

La mayoría de las mallas de sombreado son de color negro o aluminizadas (Figura 91), aunque existen en diversos colores. Sin embargo, las mallas coloreadas presentan el inconveniente de absorber una parte de radiación del espectro, lo que provoca el doble efecto negativo de una disminución de la radiación fotosintéticamente activa y un aumento de la temperatura de la malla (y por tanto de la temperatura interior del invernadero).

Las mallas de sombreado en el exterior del invernadero producen mayor disminución de la temperatura dentro del invernadero. La evacuación del calor que se genera por el incremento de temperatura en la malla, debido a la absorción de radiación, se produce en el exterior por acción del viento. Sin embargo, las mallas exteriores tienen el inconveniente de una vida útil más limitada, requieren estructuras más resistentes, además de un montaje y una gestión automatizada más complejos. Además, en zonas como la provincia de Almería, donde existe un régimen de fuertes vientos, se desaconseja este tipo de instalaciones.

Figura 91. Invernadero con malla de sombreado



En el caso de mallas interiores, la energía absorbida se transforma en un flujo de calor que debe ser eliminado mediante ventilación. Las mallas colocadas dentro del invernadero dificultan el movimiento vertical de aire desde la zona del cultivo, y el paso del aire caliente hacia las ventanas cenitales. Debido a ello es importante tener en cuenta que el sombreado debe asociarse a un sistema de ventilación eficiente que permita la eliminación de calor mediante la extracción del aire cálido del interior del invernadero.

2.10.2. Pantallas térmicas

Este tipo de pantallas provocan un aumento de la temperatura mínima nocturna del invernadero, del cultivo y del suelo; debido a la menor pérdida de radiación de onda larga por la noche y por renovación de aire. También disminuyen la transpiración nocturna del cultivo y como consecuencia, se reduce el calor consumido por evapotranspiración.

La utilización de pantallas térmicas cerradas, sin huecos entre las fibras que constituyen la malla, colocadas entre el cultivo y la cubierta del invernadero también reduce la transferencia de energía por convección a través de la cubierta. Esta reducción es mayor cuanto menor es la emisividad de la pantalla a la radiación infrarroja como ocurre en el caso de las pantallas aluminizadas (Bailey, 1978).

Los principales efectos que producen en los invernaderos son:

- Aumento de la temperatura mínima nocturna del invernadero en 2-3 °C, como consecuencia de la disminución de la pérdida de radiación térmica durante la noche (Baille *et al.*, 1984; Plaisier, 1991).
- Aumento de 1 a 2 °C de la temperatura de las plantas y del suelo (Bailey, 1978; Boesman *et al.*, 1984).
- Reducción de las pérdidas de calor por infiltración del aire, que se ven menos afectadas por el viento (Baille *et al.*, 1984).
- Disminución significativa de la transpiración nocturna del cultivo (de Graaf, 1985) y como consecuencia reducción del calor consumido en el flujo evaporativo (Deltour *et al.*, 1985).

Los mejores resultados se obtienen cuando se despliegan las pantallas a finales del día y se recogen por la mañana (Pirard *et al.*, 1994). Permiten disminuir el consumo de combustible destinado a calefacción del 20 al 46 %, dependiendo del tipo de pantalla utilizada (Tabla 9). Su empleo durante la noche también produce un almacenamiento de energía en el suelo y el cultivo que repercute de forma positiva durante el día (Pirard *et al.*, 1994).

Una pantalla térmica debe poseer un factor de transmisión lo más pequeño y un factor de reflexión lo más elevado posible en el infrarrojo medio y largo (2,5-40 μm) (Tesi, 1989).

Figura 92. Invernadero con pantallas térmicas aluminizadas



**Tabla 9. Propiedades de diferentes tipos de pantallas térmicas.
En porcentaje**

Materiales	Transmisión-Reflexión de luz solar*	Transmisión-Reflexión de radiación infrarroja	Difusión solar	Ahorro de energía
Poliétileno de baja densidad	84-14	42-5	80	32,5
Poliéster tejido	39-58	5-2	29	42,0
Poliéster aluminizado al 50 %	37-68	18-18	32	-
Poliéster aluminizado al 75 %	19-68	9-27	16	-
P. aluminizado al 100 %	0-82	0-36	0	46,5

*Ángulo de incidencia de la luz solar de 45°

Fuente: Baille *et al.* (1985); Pirard *et al.* (1994).

Suelen ser de polietileno o poliéster, con una o dos caras aluminizadas (Tabla 9). Las más eficientes son las que tienen ambas caras aluminizadas (Figura 93) ya que consiguen una temperatura del cultivo más alta siendo además una alternativa de sombreado aceptable en algunas circunstancias. Si solo tiene una de ellas aluminizada, conviene que sea la que mira hacia el exterior (Baille *et al.*, 1985).

Figura 93. Pantalla térmica de doble cara aluminizada



2.10.3. Accionamiento

Según la forma en que se colocan las mallas de sombreo y las pantallas térmicas en relación con la estructura del invernadero, se pueden distinguir varios tipos:

Pantallas suspendidas horizontalmente. La malla se extiende hasta quedar completamente plana y paralela al suelo. La altura a la que se coloca la pantalla ha de ser la máxima posible para dejar el máximo volumen entre el cultivo y la malla permitiendo una correcta circulación del aire. El cierre de la pantalla o malla se realiza plegándola (Figura 93).

En este tipo de instalaciones la pantalla se encuentra suspendida bajo una serie de perfiles metálicos y cables, a los que se une mediante ganchos que se enlazan a las fibras de poliéster de la malla. El movimiento de rotación que un motorreductor (Figura 94) transmite a una barra de mando se convierte en movimiento longitudinal mediante un sistema de piñón y cremallera. La cremallera se puede enlazar a un tubo metálico de accionamiento que se desliza sobre poleas y que comunica el movimiento a todas las barras de arrastre, de los diferentes paños o mallas dentro de cada módulo del invernadero, a las que también está unido.

Figura 94. Motorreductor para el accionamiento de las pantallas térmicas suspendidas



En otros casos la cremallera se puede enlazar directamente a un cable que accionará el mecanismo de apertura y cierre de la malla, al mover los tubos de arrastre a los que va unido. Sin embargo, este sistema presenta el inconveniente de posibles desajustes entre los diferentes paños de malla al producirse diferentes elongaciones a lo largo del cable, lo que se ha de corregir disponiendo una serie de tensores que permitan corregir estos desajustes.

Como alternativa más económica, el cable que transmite el movimiento a la malla se puede enrollar directamente a la barra de mando sustituyendo así la cremallera y el piñón.

Pantallas enrollables exteriores. Las pantallas se colocan enrolladas sobre la cubierta del invernadero a ambos lados de la cumbrera de forma que el cierre se realiza sobre la parte más alta del invernadero.

Pantallas enrollables interiores. La malla se coloca enrollada alrededor de una barra de mando que gira accionada por un motor lo que permite recoger o desplegar la malla de forma automatizada. Presenta la ventaja de permitir su colocación inclinada siguiendo la pendiente de la cubierta, o incluso verticalmente para su colocación en los laterales y frontales con el objeto del cierre total del invernadero.

El enrollado de la malla se realiza mediante motores tubulares, que se desplazan sobre unos perfiles de aluminio mediante unas guías de unión. Los motores son solidarios a unos tubos ranurados en los que se inserta el extremo de la malla, de forma que la fuerza proporcionada por el giro del motor consigue enrollar la pantalla que se traslada en sentido ascendente. Al girar en el sentido inverso es el propio peso del motor y la barra de mando el que consigue el desplazamiento descendente de la malla.

Cabe destacar que las pantallas térmicas y las mallas de sombreo, constituyen un elemento importante en la incorporación de tecnología al invernadero, provocando efectos colaterales beneficiosos como el ahorro energético de los sistemas de calefacción. No debemos olvidar que su aplicación para disminuir la temperatura en zonas cálidas, debe ir acompañada de una buena ventilación, que en algunos casos podría incluso ser forzada (mediante extractores).

2.10.4. Pantallas de oscurecimiento

Están generalmente constituidas por una malla doble compuesta por una capa de poliéster negro y otra aluminizada en la parte superior. Estas panta-

llas pueden llegar a proporcionar un oscurecimiento casi total, permitiendo un perfecto control de la duración del día en cultivos ornamentales como crisantemos, kalanchoë y euforbia. Se utilizan para modificar el fotoperiodo, induciendo la floración en el periodo comercial adecuado.

Estas pantallas, pese a ser prácticamente opacas a la luz, deberían permitir el flujo del vapor de agua a través de ellas, de forma que no se produzca un aumento de humedad indeseado cuando la pantalla se encuentra extendida. La pantalla de oscurecimiento también puede estar formada por una capa aluminizada o negra y otra de color blanco, o incluso una doble capa de poliéster blanco, siendo en este caso su transmisividad a la radiación solar algo mayor (alrededor del 10 %).

Las pantallas dobles con una cara blanca también son adecuadas para su uso en invernaderos donde se utiliza iluminación artificial. Debido a la baja transmisión de luz de estas pantallas, se reduce la pérdida de luz hacia el exterior. Se consigue así el doble beneficio de evitar posibles perturbaciones a cultivos próximos y de un incremento de la cantidad de luz disponible para el cultivo dentro del invernadero, debido a la alta reflexión de la capa interior blanca.

Figura 95. Pantalla de oscurecimiento en el lateral de un invernadero



2.11. Métodos sencillos de ahorro energético

2.11.1. Invernaderos con paredes dobles

Los invernaderos con dobles paredes (Figura 96) son un método eficaz contra las bajas temperaturas invernales y puede considerarse como una alternativa de los sistemas de calefacción en la costa mediterránea (González y Martínez, 1981). En ellos se obtienen mejores resultados que en invernaderos de pared simple (Papadopoulos y Hao, 1997).

Este tipo de invernaderos se construyen incorporando una segunda lámina de polietileno de 50 o 100 μm de espesor (125 o 250 galgas). Este método puede reducir las pérdidas de calor en un 40-50 % (Bianchi, 1989; Gutierrez Montes *et al.*, 1992) y de hasta un 57 % en el consumo de calefacción (Bauerle y Short, 1977). Como consecuencia se consiguen aumentos de la temperatura del invernadero de hasta 8 $^{\circ}\text{C}$ (Rosocha, 1993), así como la de las plantas (Amsen, 1981).

Figura 96. Instalación de un doble techo en un semillero comercial



Este sistema de control climático está aun poco extendido en los invernaderos de Almería y su utilización se limita a algunos semilleros donde es muy importante el control climático para un correcto desarrollo de las plántulas, más sensibles a las variaciones de temperatura que las plantas ya desarrolladas.

La doble pared en los invernaderos, no solo modifica su temperatura sino la humedad, la luz, y el CO₂ disponible en su interior. Al reducir la infiltración de aire se reducen las pérdidas de calor, principalmente durante la noche, así como la entrada de CO₂, por lo que puede llegar a ser necesario el enriquecimiento carbónico (Bauerle y Short, 1981). Sin embargo, el principal inconveniente es que al ser fijas producen una importante pérdida de luz durante el día (Ferare y Goldsberry, 1984), que puede llegar a ser de un 10-15 % (Plaisier, 1991). Esto puede provocar ahilamiento en cultivos con altas necesidades de luz, como el melón (Sánchez-Montero *et al.*, 1989).

2.11.2. Túneles de semiforzado

Los túneles de semiforzado o tunelillos (Figura 97) son estructuras de pequeño porte, cubiertas por una lámina de polietileno de 50 µm de espesor y entre 0,5 y 1 m de anchura. Se usan sólo para las primeras etapas de crecimiento, puesto que después las hojas tocan el plástico y es necesario quitarlo para que las plantas sigan creciendo. Permiten aumentar la temperatura en el aire que rodea las plántulas, al disminuir las pérdidas energéticas por radiación infrarroja durante la noche. Ubicándolos por encima de las tuberías de calefacción permiten grandes ahorros de energía al limitar enormemente las pérdidas de calor por convección hacia el resto del invernadero.

Figura 97. Invernadero con túneles de semiforzado y pantalla térmica



2.11.3. Mantas térmicas

Una alternativa al uso de los microtúneles es el empleo de mantas térmicas que sirven para reducir la pérdida de calor desde el suelo y las plantas, por radiación infrarroja y por convección hacia el aire, lo que permite aumentar su temperatura. Se pueden fabricar mediante finos filamentos de polipropileno estabilizado frente a la radiación ultravioleta para reducir su degradación por la acción directa del sol. La manta es una fina lámina de tejido muy ligera (con un peso aproximado de unos 17 g m^{-2}) con una gran permeabilidad al aire y una gran transparencia a la radiación solar, en torno al 95 % (Shukla *et al.*, 2006), lo que permite que el cultivo se desarrolle correctamente debajo de ella. Estas mantas térmicas también se pueden colocar sobre el cultivo a 1 m de altura (Barral *et al.*, 1999), lo que permite aumentar la temperatura del aire que rodea las plantas entre 2 y 3 °C durante la noche y las primeras horas de la mañana, y reducir 3-4 °C su temperatura durante las horas centrales del día (Ghosal y Tiwari, 2004).

En Almería se utiliza para cultivos tempranos de primavera, en los que las mantas térmicas están directamente sobre el suelo cubriendo las plántulas (Figura 98), lo que permite evitar daños por bajada de la temperatura.

Figura 98. Mantas térmicas cubriendo las plántulas



2.11.4. Compartimentación del invernadero

La creación de diferentes compartimentos dentro de los invernaderos de cultivos ornamentales o en los semilleros, en los que es bastante habitual tener cultivos con diferentes necesidades térmicas, puede reducir considerablemente las necesidades de calefacción y refrigeración. Para ello se disponen verticalmente láminas de polietileno (Figura 99). Esta técnica también se puede utilizar en invernaderos de gran longitud situados sobre parcelas con fuertes desniveles para evitar que el aire caliente se desplace (por efecto de su menor densidad) hacia la parte más elevada del invernadero.

Figura 99. Particiones interiores con láminas de polietileno dentro de un invernadero



2.12. Sistemas de enriquecimiento carbónico

El enriquecimiento del aire del invernadero con dióxido de carbono es un método efectivo para incrementar la producción de los cultivos en invernadero (Nederhoff, 1988). Esta técnica de climatización es recomendable para evitar la caída de la actividad fotosintética, por la disminución de la concentración de CO_2 en el interior del invernadero, debido a su relativa hermeticidad. Esto suele ocurrir en primavera y verano (Hand, 1984), al exceder el consumo al aporte como consecuencia del incremento de la actividad fotosintética de las plantas inducido por la mayor disponibilidad de energía radiante.

El enriquecimiento carbónico mediante la incorporación de CO_2 puro es el procedimiento más seguro y la fuente más controlable de incorporación de dióxido de carbono (Nederhoff, 1990). El suministro es en este caso independiente del sistema de calefacción. Una desventaja suele ser el precio, a menudo más elevado que el de los otros sistemas; sin embargo, el coste de la fuente de CO_2 y equipos, presentan variaciones locales significativas.

2.12.1. Distribución del CO_2 en el invernadero

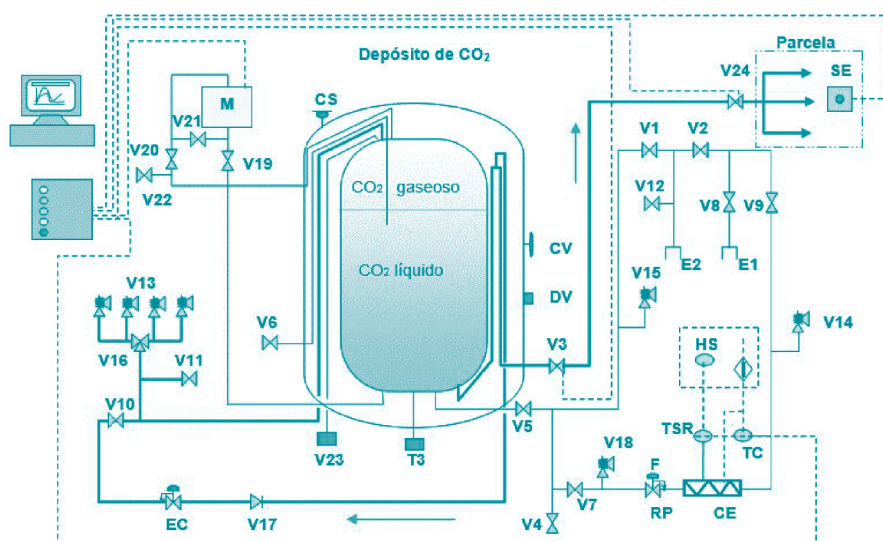
El equipo necesario para la aplicación directa de CO_2 a nivel de la base de las plantas, consta principalmente de un depósito donde se almacena el CO_2 en estado líquido (Figura 100), un conjunto de vasos de expansión donde el líquido se transforma a su estado gaseoso por medio de una disminución de presión, un sistema de tuberías primarias y las tuberías de distribución sobre el cultivo.

Actualmente es un sistema que se está empleando en modernas instalaciones recientemente construidas en la provincia de Almería. Su uso se limita a grandes explotaciones con estructuras multitúnel o *venlo* que permiten controlar las pérdidas por fugas. En algunos casos los evaporadores están encapsulados dentro de una cuba metálica (Figura 102) provista de un sistema de calefacción que permite una mejor vaporización del CO_2 . El CO_2 líquido utilizado para fines hortícolas suele ser obtenido de procesos químicos industriales y parte de fuentes naturales o de procesos bioquímicos.

Figura 100. Depósito de CO_2 y circuitos del evaporador para enriquecimiento carbónico en invernaderos



Figura 101. Esquema de una instalación de enriquecimiento carbónico



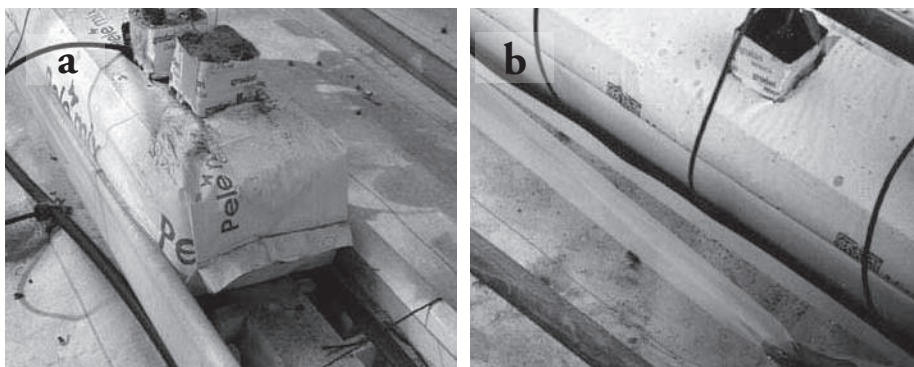
V1	Válvula de llenado en fase líquida	V21	Válvula de by-pass de nivel
V2	Válvula de llenado en fase gas	V22	Válvula de toma del manómetro
V3	Válvula de salida hacia el invernadero	V23	Válvula del retorno de bomba
V4	Válvula de purga en punto bajo	V24	Válvula de alimentación
V5	Válvula de aislamiento	E1	Toma de equilibrado
V6	Válvula de rebosadero	E2	Toma de llenado
V7	Válvula del circuito de puesta en presión	E3	Toma de alimentación de la bomba
V8	Válvula de equilibrado de gas	CE	Calentador eléctrico para puesta en presión
V9	Válvula de aislamiento del calentador	CS	Conjunto de seguridad envolvente
V10	Válvula de aislamiento del economizador	CV	Captador de vacío
V11	Válvula de puesta al aire	DV	Conjunto dispositivo de vacío
V12	Válvula de purga flexible	EC	Economizador
V13	Válvulas de seguridad	F	Filtro
V14	Válvula de seguridad del circuito del calentador	M	Nivel-manómetro
V15	Válvula de seguridad del circuito del calentador	RP	Regulador de presión
V16	Válvula de tres vías	SE	Sensor del nivel de CO ₂
V17	Válvula de retención	TC	Termostato de control
V18	Válvula de seguridad del circuito del regulador	TSR	Termostato de seguridad en resistencia
V19	Válvula del nivel inferior	PC	Controlador informático
V20	Válvula del nivel superior	CON	Automatismo de control

Figura 102. Evaporador de CO₂ con sistema de calefacción auxiliar



El enriquecimiento carbónico debe realizarse a través de un sistema de transporte y distribución que permita un suministro homogéneo en el invernadero. El mejor método es el suministro mediante un sistema de tuberías. La aplicación de CO₂ en el agua de riego no parece aumentar la tasa de fotosíntesis del cultivo (Nederhoff, 1990). Las tuberías pueden ser tanto cintas de riego con goteros insertados de un litro/h (Figura 103a) o mediante mangas flexibles de polietileno transparente (Figura 103b).

Figura 103. Sistemas de distribución de CO₂ colocadas bajo los canales donde se sitúa el cultivo en sustrato mediante cintas de riego (a) y mangas flexibles (b)



2.12.2. Control del aporte de CO₂

El control de la concentración de CO₂ ambiental requiere un equipo de medida correctamente calibrado, que generalmente es un analizador de gas en el infrarrojo (IRGA).

Figura 104. Caja de medida con sensor de la concentración de CO₂



El enriquecimiento carbónico se lleva a cabo en función de una estrategia de suministro. El caso más sencillo es el suministro de CO₂ a una tasa o concentración constante independiente del régimen de ventilación. Otras estrategias más sofisticadas se basan en principios fisiológicos y económicos que consideran que las concentraciones entre 700 y 1.000 vpm están dentro de unos niveles fisiológicamente óptimos para el crecimiento y producción de las especies hortícolas.

El enriquecimiento carbónico con concentraciones de 900 vpm produce un aumento, superior al 40 %, de la acumulación de materia seca, que en cultivos de pepino y tomate da lugar a incrementos en producción temprana del 11 y 15 % respectivamente (Fierro *et al.*, 1994) y en cultivo ornamental de *Calathea crocata* adelanta la floración en 10 días (Huylensbroeck y Debergh, 1993).

En otoño, invierno y primavera, durante las horas de luz y cuando las condiciones térmicas permitan cerrar las ventanas sin peligro de incrementar la temperatura a límites no deseados, se puede añadir CO₂ por encima del nivel atmosférico.

En invernaderos con escasa superficie de ventanas y en consecuencia mal ventilados, la concentración de CO_2 puede descender a valores inferiores al contenido medio atmosférico, en períodos del día con una gran actividad fotosintética. Es entonces cuando se puede aportar anhídrido carbónico, para por lo menos, igualar la concentración en el interior respecto del exterior, durante las horas de luz (Savé *et al.*, 1996).

Dos de las principales variables que afectan al crecimiento de las plantas en invernadero son la concentración de anhídrido carbónico y la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (PAR) acumulada en el día. Aikman (1996) ha demostrado que la producción del cultivo puede ser mejorada mediante iluminación adicional y enriquecimiento carbónico de forma simultánea. Diferentes combinaciones de radiación PAR y concentración de CO_2 pueden dar lugar a los mismos niveles de producción del cultivo (Both *et al.*, 1997). No obstante, los condicionantes típicos de los invernaderos de Almería, dificultan notablemente la incorporación de estas técnicas.

La aplicación de la combinación óptima de la integral diaria de radiación PAR y la concentración de CO_2 obtenidas por un modelo de optimización (Ferentinos *et al.*, 2000) pueden reducir significativamente el coste operacional del invernadero. Especialmente durante los meses de invierno cuando las tasas de ventilación en el invernadero son bajas o incluso inexistentes y solo hay las fugas por infiltración.

En días con tasas de ventilación (incluida la infiltración) de 3 o 4 renovaciones de aire por hora, si la integral de luz PAR ambiental es lo bastante baja, se puede mejorar el microclima con la incorporación de CO_2 . Para grandes tasas de ventilación, el enriquecimiento con CO_2 llega a ser económicamente prohibitivo por la elevada tasa de pérdidas del gas hacia el exterior. En este caso, la práctica común de mantener una concentración ambiental adecuada para que se mantenga una integral diaria de radiación PAR de $17 \text{ mol/m}^2/\text{día}$, suele ser la más económica (Ferentinos *et al.*, 2000).

2.12.3. Optimización del enriquecimiento carbónico

Mediante el empleo de programas informáticos para el control de la inyección carbónica por optimización, que permiten considerar un gran número de factores como la ventilación, la intensidad luminosa, la velocidad del viento y valorarlas en unidades financieras, se pueden conseguir aumentos de producción con bajos gastos en el aporte de CO_2 (Nederhoff, 1988).

Se puede determinar, a través de relaciones analíticas, la concentración óptima de CO_2 como función de la radiación incidente, la tasa de ventilación y la relación entre el precio del cultivo y el coste del gas (Chalabi y Critten, 1990). El principal obstáculo que presentan estos métodos es la dificultad que supone conocer el precio de la producción, debido a que este sufre grandes fluctuaciones incluso para periodos de tiempo pequeños.

En climas fríos normalmente el enriquecimiento carbónico con CO_2 se realiza en invernaderos sin ventilación. Cuando se necesita ventilación en los invernaderos, a menudo a bajas tasas de renovación, la realización simultánea del enriquecimiento y la ventilación pueden resultar económicas.

El enriquecimiento carbónico en los invernaderos en climas cálidos se ve restringido por las necesidades de ventilación, obligando a algunos agricultores a enriquecimientos periódicos, donde el aporte de CO_2 y la ventilación alternan varias veces por hora.

En condiciones climáticas con una gran necesidad de ventilación el enriquecimiento carbónico puede seguir dos estrategias principalmente:

- Un enriquecimiento continuado sin ventilación durante las primeras horas de la mañana (7-10 h) y al inicio de la tarde (15-16:30 h) (Ioslovich *et al.*, 1995).
- Enriquecimiento intermitente alternando con la ventilación varias veces por hora (Enoch, 1984).

En días cálidos y secos, típicos de climas desérticos como puede ser el de la provincia de Almería, la temperatura del dosel vegetal es el principal factor limitante en el proceso de asimilación fotosintética. En estas condiciones el enriquecimiento carbónico solo es efectivo durante la mañana antes de que la tasa de ventilación deba incrementarse para refrigerar el cultivo (Seginer, 1990).

Para realizar el aporte de CO_2 de forma simultánea es conveniente utilizar dos tasas de ventilación, una baja para el periodo de enriquecimiento y otra mayor cuando no se aporta CO_2 . Esta estrategia está siendo utilizada en los invernaderos de Almería que disponen de sistemas de abonado carbónico, que inyectan CO_2 a 700 ppm cuando las ventanas están completamente cerradas, y a 350 ppm cuando están abiertas.

Se ha demostrado que el esquema óptimo de enriquecimiento requerido para mantener un cierto nivel en el invernadero depende del clima exterior. El

enriquecimiento continuo es más adecuado cuando las condiciones climáticas no varían durante periodos de tiempo de 10-20 minutos (Ioslovich *et al.*, 1995). El control del aporte de anhídrido carbónico se complica considerablemente cuando se producen fluctuaciones en el ambiente del invernadero. Durante los meses cálidos la ventilación del invernadero provoca que difícilmente se alcancen niveles de CO_2 por encima de la concentración exterior. La constante necesidad de parar la ventilación para reajustar los niveles de CO_2 es una operación muy costosa (Ferentinos *et al.*, 2000).

Mantener elevadas concentraciones de CO_2 a medida que se elevan las tasas de ventilación, se traduce en un progresivo encarecimiento del sistema. En general, el control algorítmico llevado a cabo mediante la disponibilidad de programas y ordenadores para el control climático, relaciona el nivel de la concentración de CO_2 que se aporta con la apertura de ventana, la velocidad del viento y el estado fisiológico del cultivo (Heij y Schapendonk, 1984).

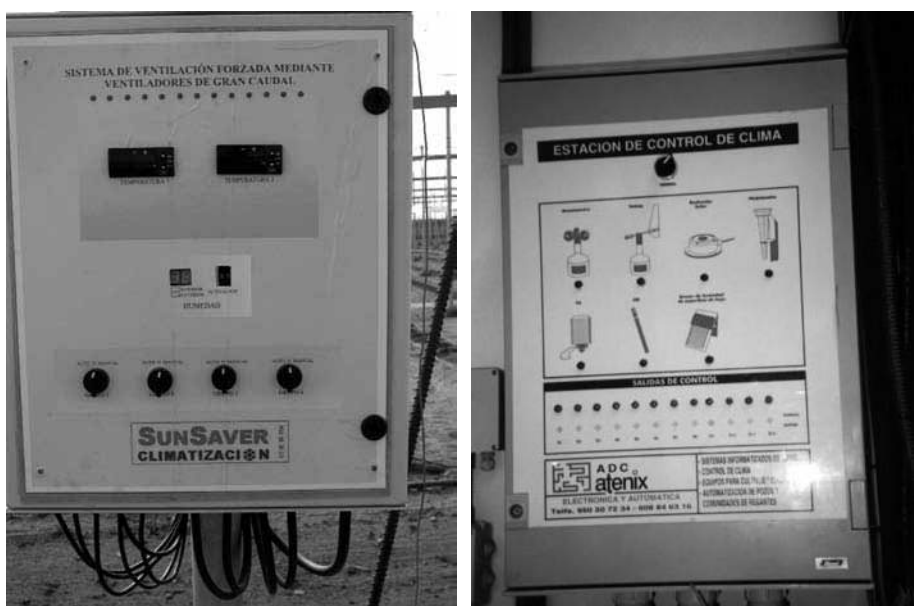
Schapendonk y Van Tilburg (1984) desarrollaron un modelo de simulación para predecir la dinámica de las fluctuaciones de la concentración de CO_2 en un invernadero con un cultivo de pepino en cierto estado de desarrollo, índice de área foliar igual a tres. El modelo puede ser usado para calcular la asimilación instantánea de CO_2 por un cultivo como función de su suministro.

2.13. Gestión de los sistemas de control climático

Todos los equipos de control climático requieren sistemas informáticos para su gestión, debido al gran número de variables e interacciones que se han de tener en cuenta para su manejo. Así, actualmente el uso de los equipos comentados anteriormente, conlleva la instalación de sensores capaces de medir las diferentes variables climáticas, principalmente temperatura, humedad relativa o absoluta, radiación solar incidente, concentración de CO_2 , y velocidad y dirección del viento. Todos esos datos se registran y pueden representarse gráficamente gracias a un ordenador, que además es el encargado de verificar las consignas de control introducidas por el usuario, y de enviar las señales pertinentes para que se pongan en funcionamiento o se detengan los distintos equipos de climatización.

En los invernaderos tradicionales como los del tipo raspa y amagado se utilizan pequeños controladores (autómatas programables) que regulan, por ejemplo, la apertura y cierre de ventanas (o el funcionamiento de los extractores) en función de la temperatura y de la humedad (Figura 105).

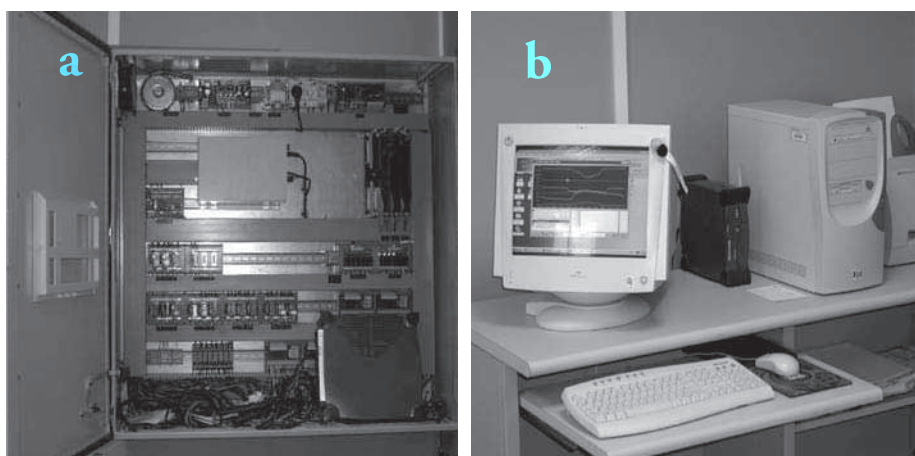
Figura 105. Autómatas utilizados para el control de sistemas de climatización de invernaderos



En instalaciones más sofisticadas, con modernas estructuras tipo multitúnel o venlo, se utilizan microprocesadores y ordenadores con programas informáticos de gestión del clima (Figura 106), que integran todos los parámetros climáticos y todos los actuadores: ventanas cenitales y laterales, ventilación forzada, nebulización, calefacción, inyección de CO_2 , etc. Registran toda la información y la presentan en forma de gráficas que permiten el estudio pormenorizado de todo lo ocurrido en el invernadero. Estos sistemas basados en microprocesadores permiten mantener varias variables climáticas en niveles de control fijos y que constituyen verdaderos controladores digitales (Davis y Hooper, 1991).

Estos equipos permiten introducir variaciones en las consignas de control de la temperatura y la humedad en función de otros parámetros externos como el viento o la radiación solar. El viento es uno de los factores que tiene mayor influencia en las pérdidas de calor en el invernadero y diversos estudios han demostrado que el coeficiente de pérdidas de calor es una función lineal de la velocidad del viento (Bailey, 1980). Por consiguiente, se puede ahorrar energía reduciendo la temperatura del invernadero cuando la velocidad del viento es alta y aumentándola cuando la velocidad del viento es baja.

Figura 106. Controlador climático mediante microprocesador (a) y ordenador de registro de datos (b) para invernaderos



Varios estudios han mostrado que algunas especies hortícolas como tomate (Hurd y Graves, 1984), pimiento, lechuga (Hand y Hannah, 1978) y crisantemos (Langhans *et al.*, 1982) tienen la habilidad de integrar la temperatura. Como consecuencia de ello responden a la temperatura media, y las fluctuaciones, dentro de ciertos límites, no tienen una influencia perceptible en el crecimiento o el rendimiento. Esto ofrece en algunos casos la posibilidad de reducir el coste de la calefacción sin que el rendimiento de la planta se vea afectado, desplazando el uso de la calefacción a los periodos cuando es más barata.

El proceso completo de control ambiental en invernaderos consiste en ejercer el mismo a tres niveles que tienen diferentes escalas temporales. El máximo nivel, correspondiente a la escala temporal más amplia, se preocupa de las decisiones básicas sobre el cultivo y la planificación de la producción. El nivel medio se encarga del control del crecimiento y desarrollo de la planta y tiene una escala de tiempos que va de un día a una semana. En este nivel la optimización dinámica se aplica para determinar los valores de consigna del clima. Éstos son implementados por el controlador del clima del invernadero que ocupa el último nivel y opera en un periodo de tiempo de minutos.

Una segunda consideración es la entrada de información por parte del agricultor. A un nivel simple, serán los precios de las entradas, y en un nivel más complejo estará la información sobre el desarrollo del cultivo. Los modelos de cultivo son incapaces de incluir todos los factores que influyen en el rendimiento del cultivo, como los efectos de plagas y enfermedades, o la

ocurrencia de condiciones meteorológicas anormales que dan lugar a graves situaciones de estrés en el cultivo. También pueden surgir conflictos entre la optimización a corto plazo y la capacidad a largo plazo del cultivo. La aplicación de modelos de crecimiento del cultivo tampoco eliminará las diferencias que existen entre los distintos agricultores en el rendimiento potencial y la calidad que son capaces de obtener. Por consiguiente, el agricultor debe ser consultado sobre las decisiones de control del cultivo a largo plazo.

2.14. Equipos de fertirrigación

Con la implantación de los sistemas de riego localizado en la práctica totalidad de los invernaderos de Almería (Figura 107), el abonado pasó a realizarse mediante la aplicación de los fertilizantes disueltos en el agua de riego. De esta forma se obtiene una disminución en la cantidad de fertilizantes necesaria, al mejorar la distribución y la asimilación por parte de la planta.

Según el sistema de inyección que se utilice para conseguir introducir los fertilizantes en la red de riego podemos distinguir diferentes equipos de fertirrigación.

Figura 107. Riego localizado en un cultivo de tomate enarenado



2.14.1. Tanques de abonado

Este es el sistema más simple, y el que inicialmente se utilizaba en los invernaderos almerienses, que consiste en un tanque hermético donde se disuelven los fertilizantes y que se conecta a la red de riego (Figura 108).

Figura 108. Tanque de abonado conectado en paralelo a la red de riego



Para conseguir la entrada de la disolución en la red se utiliza una válvula que se puede cerrar progresivamente hasta conseguir una diferencia de presión a la entrada y la salida del depósito que permita desviar parte del flujo a través del depósito. Este sistema es el más económico, aunque puede provocar diferencias en el crecimiento de las plantas por su baja uniformidad de distribución, ya que la inyección en la red no se realiza de forma proporcional al caudal de riego.

2.14.2. Depósitos de aspiración directa mediante bomba

En estos equipos se conecta un depósito, donde se disuelven los abonos, a la tubería de aspiración de la bomba principal de la red de riego (Figura 109). La succión que realiza la bomba provoca la absorción de la mezcla de agua y fertilizantes contenida en el depósito. Mediante una válvula y un caudalímetro se puede regular el aporte de fertilizantes a la red, que depende de la presión de funcionamiento de la bomba. Este es un sistema sencillo que permite una fácil incorporación a la red de riego cuando esta se alimenta de una balsa cuyo nivel está por debajo de la bomba.

Figura 109. Sistema de fertirrigación mediante depósito de aspiración directa mediante bomba



2.14.3. Equipos con succión en Venturi

Estos equipos se basan en el principio de la conservación de la energía mecánica de los fluidos, por el cual el aumento de velocidad del fluido producido en un punto por el estrechamiento de la tubería origina una pérdida de presión en dicho punto. Estos sistemas constan de una tubería paralela a la red principal de riego por donde circula el agua a través de un estrechamiento donde se produce una gran depresión por el *efecto Venturi*. En este punto se conecta un pequeño conducto en derivación procedente del depósito de abonado, por lo que al originarse la depresión en el Venturi, se realiza la succión de la solución de abonado, inyectándose así al circuito principal.

Este sistema suele constar de tres o cuatro depósitos diferentes, cada uno de los cuales se conecta a su propio Venturi (Figura 110), que permiten aplicar de forma individualizada los elementos principales (N-P-K), el Ca y los microelementos y ácido nítrico, utilizado este último para la regulación del pH y la limpieza de la red de riego. Estos equipos permiten mayor control de la fertilización.

Figura 110. Detalle de los inyectores Venturi en una instalación de fertirrigación



2.14.4. Dosificadores de abono mediante inyección

En estos sistemas se realiza una dosificación bastante exacta de los fertilizantes mediante la inyección de las soluciones nutritivas a presión en la red. Mediante una bomba auxiliar se succiona el líquido del depósito de abonado y se inyecta en la red principal a una presión superior a la del agua de riego. Estos dosificadores son bombas de pistón o de membrana, y su accionamiento puede ser eléctrico o mecánico. En algunos casos se utilizan dosificadores hidráulicos accionados por la presión de la propia red de riego. Estos sistemas están provistos de un sistema de control del nivel de los depósitos de fertilizantes que impiden la inyección de aire en la red. Igualmente en algunos casos los tanques están equipados con un sistema de agitación para mantener una concentración constante de la disolución y evitar la precipitación de los abonos.

2.14.5. Equipos automáticos

En la actualidad las modernas instalaciones de fertirrigación (Figura 111) están controladas por ordenador o automatismos, y el aporte de nutrientes se realiza en función de las necesidades del cultivo. Se busca optimizar al máximo la absorción de los elementos nutritivos por parte de la planta. Estos equi-

pos intentan mantener un nivel de pH ligeramente ácido en el agua de riego (entre 5,5 y 6,5) de forma que los elementos nutritivos presenten una mejor solubilidad. Para ello es necesaria la aplicación de ácidos correctores (nitrítico, sulfúrico, fosfórico, etc.).

Otro factor que es necesario controlar en los invernaderos almerienses es la salinidad del agua. Para ello se mide la conductividad eléctrica (CE) que es proporcional a la concentración de la disolución en la que se incluyen los fertilizantes.

Tanto la CE como el pH de la solución nutritiva se miden por medio de sondas, al igual que la temperatura del agua, que es necesaria para corregir el valor de la conductividad. En estos equipos automáticos se utilizan tanto sistemas de Venturi (Figura 112) como bombas de inyección. En ambos casos la inyección se controla mediante electroválvulas que se abren cuando reciben el impulso eléctrico desde el automatismo controlador. La inyección se realiza por pulsos eléctricos del orden de milisegundos de forma que la apertura se va realizando sucesivamente hasta que la lectura de los parámetros de control, CE o pH, se ajustan al valor deseado.

Figura 111. Instalación para fertirrigación automatizada

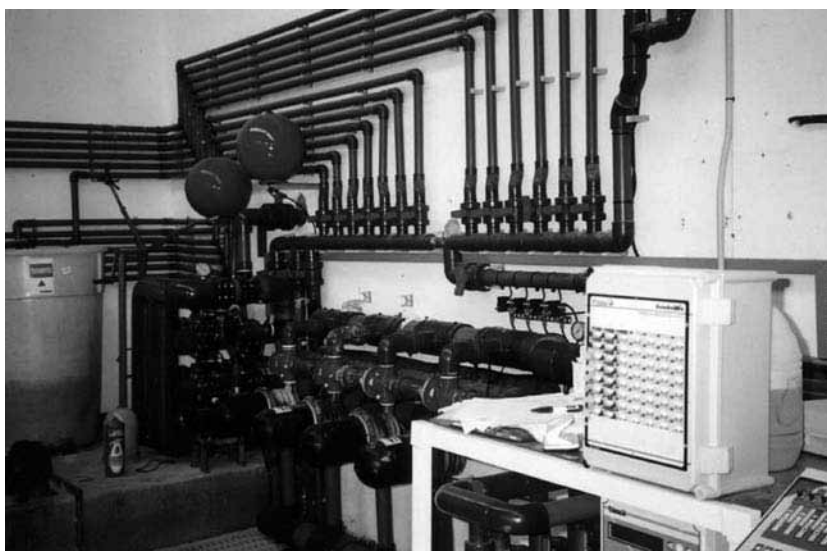


Figura 112. Sistema automatizado de fertirrigación con inyectores Venturi

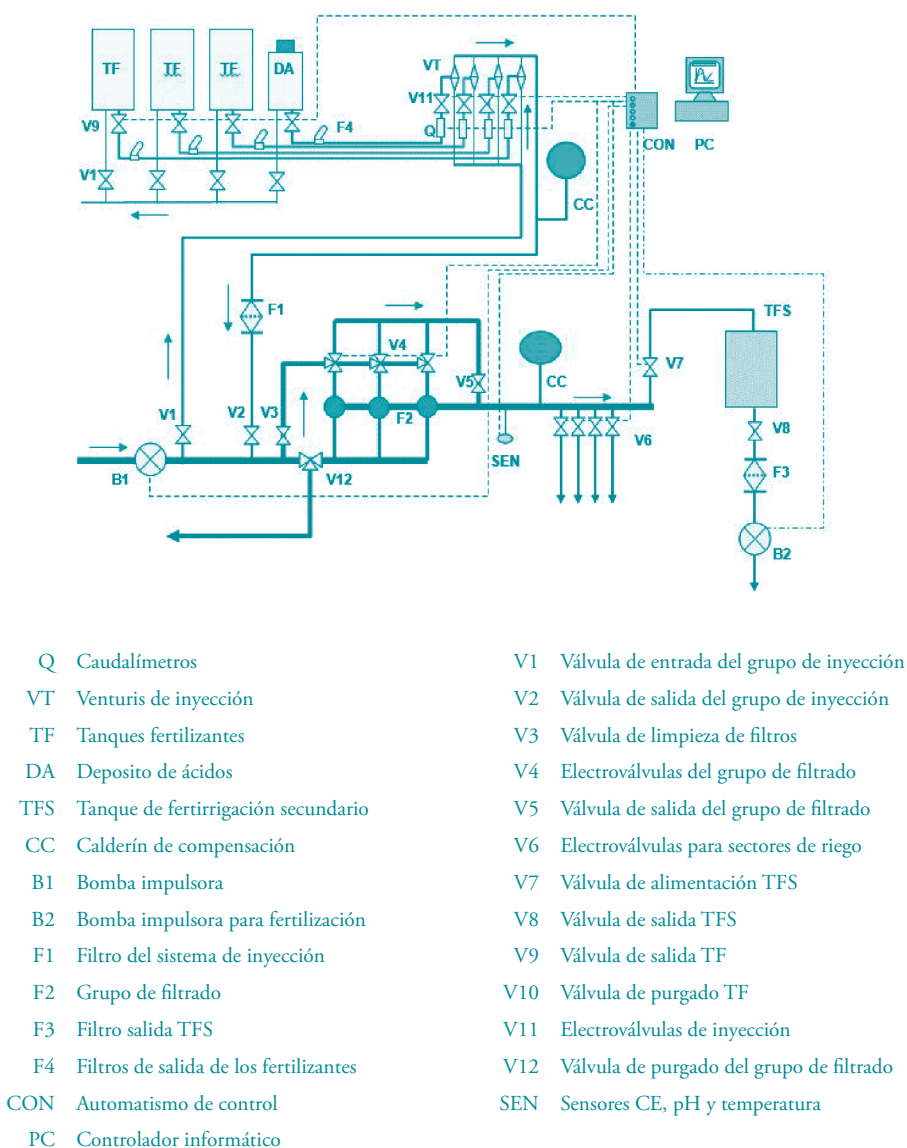


En algunos casos se utilizan bombas de membrana que inyectan la solución fertilizante a un circuito cerrado en el que se colocan las electroválvulas en derivación en «T» que envían el agua a un depósito auxiliar de mezclas y una segunda electrobomba inyecta a mayor presión la mezcla en la red principal.

En pequeñas explotaciones con una gran uniformidad de los sectores de riego, la instalación del equipo automático se puede realizar en línea, de forma que toda el agua se hace pasar por el equipo. Para ello es necesario colocar un depósito intermedio donde se realiza la mezcla de la solución de los fertilizantes con toda el agua de riego. Una bomba a la salida de este depósito es la que suministra el caudal y presión necesaria en la red de riego.

En general, los equipos se instalan en paralelo con la red de riego y la inyección se realiza sobre una parte del agua (Figura 113). Para que se produzca una buena mezcla de la solución concentrada de fertilizantes con el resto del agua, se realiza la inyección en un punto de la red situado antes de su entrada en el cabezal de filtrado, de forma que el propio flujo turbulento que se produce durante el proceso de filtrado es el que da uniformidad al agua de riego.

Figura 113. Esquema de un equipo de fertirrigación automático



2.14.6. Control de la fertirrigación

El control del abonado se realiza en general determinando el porcentaje de inyección necesario de cada fertilizante, en función del volumen de la solu-

ción nutritiva y del volumen total del agua de riego. Los equipos automáticos permiten realizar un segundo control mediante medidas de la CE durante todo el proceso de fertilización. La regulación del pH se realiza de forma independiente del abonado para mantener los niveles deseados de acidez.

En otros casos los equipos automáticos (Figura 114) van inyectando la solución nutritiva en función de la lectura de la CE y del pH de forma que se han de mantener entre los valores deseados. La proporción entre los distintos fertilizantes que constituyen el abonado se mantiene constante. Un segundo control permite determinar el volumen de agua de riego así como los volúmenes de fertilizantes utilizados en cada momento.

El aporte de agua se puede regular determinando el tiempo necesario de riego para aportar un volumen estimado, o en función de las necesidades de la planta (riego a demanda). En los cultivos en enarenado se suele utilizar el riego horario, en el que el agricultor calcula el tiempo de riego que es necesario cada día, en función del estado fisiológico de la planta, del estadio fenológico y del clima.

El riego a demanda se puede realizar utilizando sensores climáticos de forma que se establezcan los valores críticos de temperatura o humedad a partir de los cuales se hace necesario el riego. También se pueden utilizar tensiómetros (Figura 115) para determinar las necesidades de riego, aunque este sistema requiere una correcta determinación de la posición de los tensiómetros con respecto a la zona radical de las plantas, y una buena distribución dentro del invernadero, para evitar los errores que provoca la heterogeneidad del terreno.

Figura 114. Equipo electrónico de un controlador automático de fertirrigación con el cuadro de mando, donde se indican los sistemas en funcionamiento por medio de luces



Figura 115. Tensiómetros utilizados para el control del riego en invernaderos



Los equipos automáticos de fertirrigación permiten seleccionar una serie de programas, tanto para riego horario como para riego a demanda. En el primer caso se pueden determinar parámetros como la duración de los riegos, los sectores que se riegan, el pH, la CE y los porcentajes de fertilizantes. La programación de los riegos se puede realizar en función de la hora de inicio o de finalización, el número de riegos al día, o el periodo que transcurre entre los riegos.

El riego a demanda se limita prácticamente a los invernaderos con cultivos hidropónicos en los que se pueden determinar de forma más exacta las necesidades de las plantas mediante sensores de pH y CE en el sustrato. Para ello se colocan dos sacos de sustrato sobre una bandeja donde se acumula el agua de drenaje de forma que las raíces de las plantas entran en contacto con la solución nutritiva por medio de paños de tela porosa situados en el fondo de la bandeja. De esta forma cuando las condiciones climáticas obligan a las plantas a un mayor consumo de agua las raíces absorben parte del agua de la bandeja con lo que su nivel desciende (Figura 116). Este descenso se puede detectar mediante un electrodo que envía una señal al equipo de riego que activa el proceso de fertirrigación.

Un segundo sistema de mayor complejidad, consiste en recoger en una bandeja el drenaje de dos sacos y determinar su volumen. Los riegos se realizan en función a un nivel mínimo de radiación acumulada (medida mediante una sonda) el cual se modifica en función del porcentaje de drenaje deseado, disminuyendo si el drenaje real supera el deseado.

Figura 116. Sensores de pH y CE utilizados para el control de la fertirrigación en invernaderos



2.15. Equipos de desalinización

Como complemento de los equipos de fertirrigación, algunos agricultores han instalado sistemas de desalinización mediante la técnica de ósmosis inversa (Figura 117) que permite utilizar agua procedente de pozos con un alto contenido en sales y una elevada conductividad eléctrica. A veces también se utilizan para proporcionar agua a los sistemas de refrigeración evaporativa.

Figura 117. Equipo de desalinización de agua procedente de pozos para su uso en el riego del invernadero



El agua de riego utilizada por el sistema de fertirrigación es una mezcla del agua desalinizada con la bombeada directamente del pozo, variando la mezcla en función de las necesidades de CE de cada cultivo. Así, por ejemplo hay variedades de tomate para las que un mayor contenido en sales en el agua de riego proporciona unas mejores cualidades organolépticas de los frutos.

2.16. Maquinaria disponible de la instalación

La maquinaria utilizada en los invernaderos de Almería se emplea básicamente en tres tipos de tareas: mantenimiento de los suelos enarenados y limpieza, ayuda a la realización manual de las labores de manipulación de las plantas (tutorado, despunte, poda, etc...) y de recolección, y para la aplicación de los tratamientos fitosanitarios.

2.16.1. Mecanización de las labores culturales

Si bien algunos invernaderos presentan un alto nivel de tecnificación y mecanización, estos no dejan de representar un porcentaje minoritario dentro del panorama general de los cultivos bajo plástico, que en su mayor parte sólo disponen de una o dos máquinas. Así, muy pocos invernaderos disponen de tractores propios (Valera *et al.*, 2002a), equipo considerado el rey de cualquier explotación agrícola.

El tractor permite realizar múltiples labores dentro de las explotaciones hortícolas en invernaderos mediante diferentes aperos o equipos complementarios. En los invernaderos se utilizan tractores de potencia media, de 30 a 60 CV (22-44 kW) con tracción a las cuatro ruedas, y articulados para permitir una mayor maniobrabilidad (Figura 118).

Su empleo va desde la manipulación del suelo en las labores de roturación, retranqueo y carillado, que permiten renovar total o parcialmente la capa de materia orgánica colocada bajo el arenado; hasta su uso para la retirada de los restos de cultivo, mediante la colocación de horquillas y palas cargadoras accionadas por el sistema hidráulico del tractor a través de las tomas remotas. En algunos casos también se pueden utilizar pequeñas palas para este tipo de tareas de limpieza (Figura 119).

Otra utilidad importante de los tractores es el propio transporte de las cajas de frutos con la ayuda de un remolque. De igual modo, muchos agricultores utilizan el tractor para acoplarles máquinas de tratamientos fitosanitarios.

Figura 118. Tractores articulados con tracción a las cuatro ruedas utilizados en invernaderos para la preparación del suelo enarenado (a) y para su mantenimiento mediante roturación (b)



Los tractores en los invernaderos se encuentran con el problema de la escasa diafanidad de la mayor parte de las estructuras tradicionales de tipo plano o en raspa y amagado, con distancias entre apoyos de 2 a 4 m. Esto dificulta enormemente la maniobrabilidad dentro del invernadero. Por otra parte, la pequeña distancia entre las líneas de cultivo (0,7-1 m) imposibilita totalmente el paso de los tractores dentro de la zona cultivada. Además, muchos invernaderos no disponen de pasillos interiores lo suficientemente anchos y bien distribuidos para facilitar el tránsito de maquinaria.

Figura 119. Pala cargadora utilizada en invernaderos para gestión de residuos



Las estructuras que se construyen actualmente tanto para los invernaderos tipo Almería, como para los tipos de estructuras de perfiles metálicos (multitúnel y *venlo*), facilitan la introducción de maquinaria al aumentar la distancia entre apoyos hasta 6-9 m.

En los invernaderos más sofisticados, donde se ha impuesto el cultivo sin suelo, que hace innecesarias las labores de mantenimiento de este, el tractor se ha sustituido por una serie de máquinas más propias de las industrias que del campo, como son las carretillas elevadoras (Figura 120a) y las transpaletas (Figura 120b), que permiten un transporte rápido y cómodo de los palets. Esto es posible en aquellos invernaderos dotados de pasillos y almacenes acondicionados para el movimiento de estos equipos, al disponer de solera de hormigón.

Figura 120. Carretilla elevadora (a) y transpaleta (b) utilizadas para labores de carga y transporte dentro de invernaderos y semilleros



Las labores culturales de trasplante, poda, tutorado, despunte, destalle, deshojado, aclareo, escarda y recolección, siguen realizándose de forma completamente manual en todos los invernaderos. Sin embargo, se utilizan sistemas de elevación móviles (andamios móviles) como ayuda a algunas de las tareas mencionadas, al permitir a los operarios desplazarse entre las líneas de cultivo variando la altura de la plataforma sobre la que se apoyan, en función de la altura en la que se localiza la zona de la planta que ha de manipular. Estos sistemas están disponibles tanto para su desplazamiento sobre raíles de calefacción (Figura 121a), como directamente sobre el suelo apoyados en ruedas neumáticas (Figura 121b).

Otro elemento ampliamente utilizado en los invernaderos es la carretilla con ruedas para transporte de las cajas de recolección entre las líneas de cultivo. Existen tanto carretillas que permiten a los operarios mover las cajas que van llenando con los frutos (Figura 122a), como carros donde el operario se puede sentar para mejorar las condiciones ergonómicas durante el proceso de recolección (Figura 122b).

Figura 121. Plataformas de elevación para operarios apoyadas sobre raíles de calefacción (a) y sobre el suelo (b)

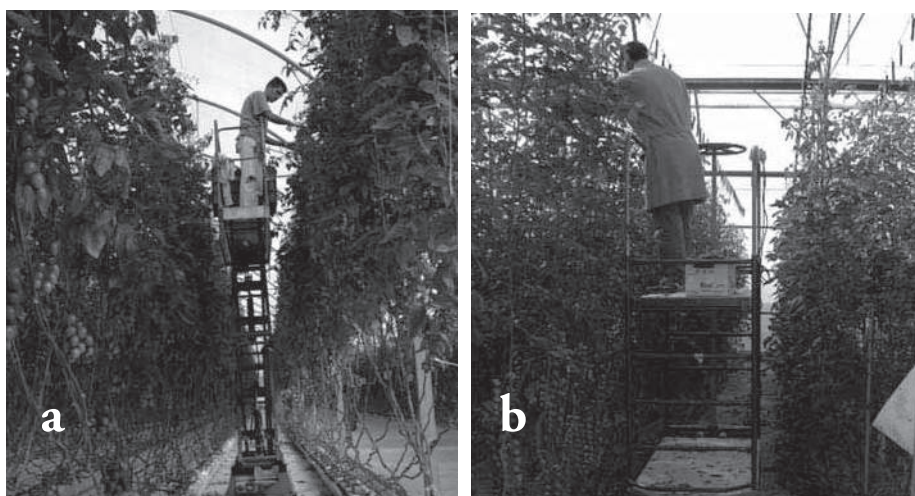
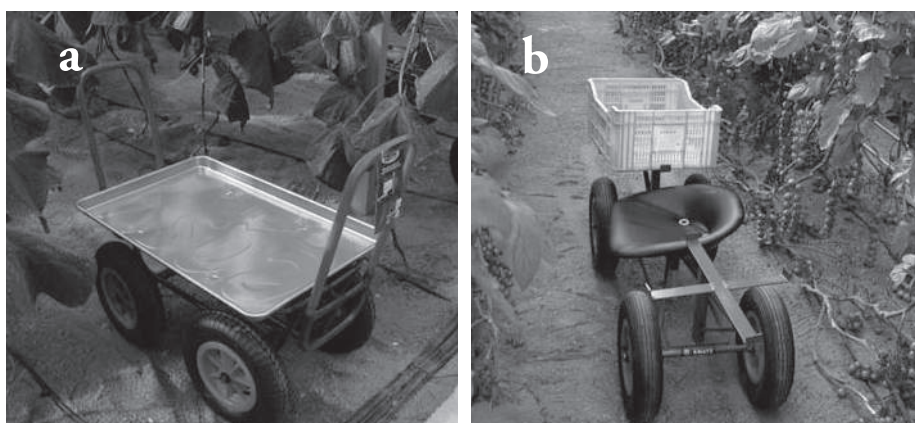


Figura 122. Carros para transporte de cajas entre líneas de cultivo (a) y para transporte y apoyo del operario (b)



Para ayudar al proceso natural de polinización aérea, que en los cultivos en invernadero se ve dificultado por la estanqueidad de la estructura, se pueden utilizar máquinas sopladoras. Estos equipos están dotados de un pequeño ventilador, que genera un flujo de aire que se hace salir por un cañón, de forma que el operario puede dirigirlo de forma manual hacia la zona del cultivo donde se encuentran las flores (Figura 123).

Figura 123. Máquina sopladora para facilitar la polinización aérea en cultivo de tomate en invernadero



En algunas explotaciones con mayor nivel de tecnificación, también se instalan sistemas de almacenamiento de datos electrónicos (Figura 124) en los que los operarios deben introducir los correspondientes a las calles o filas de plantas en las que han trabajado, al tipo de labor realizada, y su código de operario, de forma que esta información se puede recoger en un ordenador personal para poder controlar todas las labores que se llevan a cabo en el invernadero, a la vez que poder realizar el tratamiento estadístico de los datos para la evaluación del rendimiento de cada trabajador.

En el proceso de clasificación de los frutos se pueden emplear pequeñas máquinas calibradoras que separan los frutos en función de su tamaño y que se instalan directamente dentro del invernadero. Lo usual es llevar los frutos sin clasificar a las centrales de manipulación; pero algunas fincas disponen de pe-

queñas máquinas de clasificación que permiten la venta directa desde los invernaderos, así como el aumento del precio del producto, ya que sale de la explotación clasificado por categorías. Estas máquinas son muy útiles y usadas en otros países como Holanda, aunque no son comparables con los grandes equipos que existen en los centros de manipulación de Almería, que lavan el producto, lo clasifican por calibre, peso y color, y lo empaquetan incluso plastificado, con una capacidad de trabajo elevadísima, hasta 20.000 kg h⁻¹ y línea de trabajo.

Figura 124. Sistema de almacenamiento de datos electrónicos utilizado para el control de tiempos de las labores culturales en los invernaderos



2.16.2. Maquinaria para aplicación de productos fitosanitarios

La labor que más fácilmente se presta a su mecanización en invernaderos es sin duda la aplicación de tratamientos fitosanitarios o fitofármacos. Así, se emplean gran variedad de máquinas que difieren tanto en su grado de sofisticación, como en su principio de funcionamiento, y capacidad de movilidad. A continuación se presenta una clasificación de los distintos tipos de equipos empleados en invernaderos:

A. Sistemas estacionarios de chorro proyectado.

Redes fijas de pulverización hidráulica:

- a) Pistolas de aplicación manual.
- b) Barras móviles horizontales de tratamiento.
- c) Barras verticales sobre carros de accionamiento manual.
- d) Barras verticales en carros sobre railes.

B. Sistemas estacionarios de chorro transportado.

Redes de nebulización hidro-neumática.

Nebulizadores hidro-neumáticos fijos.

Atomizadores centrífugo-neumáticos fijos.

C. Sistemas móviles de chorro proyectado.

Pulverizadores hidráulicos:

- a) Manuales (mochilas).
- b) Móviles semi-automáticos (carros).
- c) Vehículos autopropulsados.

D. Sistemas móviles de chorro transportado.

Atomizadores hidro-neumáticos:

- a) Suspendidos al tractor.
- b) Desplazables manualmente.

E. Máquinas espolvoreadoras suspendidas al tractor.

Las distintas máquinas se diferencian en función de su movilidad y del principio físico por el que se generan las gotas del líquido del tratamiento fitosanitario (Tabla 10). La pulverización hidráulica consiste en producir gotas de pequeño tamaño al pasar el líquido de tratamiento a elevada presión por una boquilla cuya sección de paso tiene un diámetro muy pequeño.

Los sistemas de aplicación de productos fitosanitarios por pulverización neumática, se basan en el efecto de choque de la corriente de aire a gran velocidad que arrastra el líquido de tratamiento en la dirección del flujo de aire, consiguiendo producir una especie de niebla capaz de impregnar toda la superficie del cultivo. En estos equipos se aumenta la velocidad del flujo de

aire impulsor que se encarga de fragmentar el líquido en gotas de tamaño muy pequeño ($<50\ \mu\text{m}$) sin necesidad de una pulverización previa a través de una boquilla, como sucede en los pulverizadores hidro-neumáticos. Mediante un estrechamiento a la salida de la tubería de suministro del caldo de tratamiento, y junto con la elevada velocidad de circulación del flujo de aire, se produce una succión por *efecto Venturi*.

Tabla 10. Principio de funcionamiento de los distintos sistemas de aplicación de tratamientos fitosanitarios por pulverización

Pulverización	Equipo	Formación de gotas	Impulsión
Hidráulica	Pulverizador	Presión de líquido	Bomba
Centrífuga	Pulverizador centrífugo	Fuerza centrífuga	Disco giratorio
Neumática	Nebulizador	Corriente de aire	Ventilador
Hidro-neumática	Atomizador	P. de líquido y flujo de aire	Bomba y ventilador
Centrífugo-neumática	Atomizador centrífugo	Fuerza centrífuga y flujo de aire	Disco y ventilador

En los pulverizadores hidro-neumáticos el caldo se pulveriza en pequeñas gotas al pasar por las boquillas, impulsado por una bomba hidráulica; rompiéndose después en otras de menor tamaño, como consecuencia de su choque con el flujo de aire a gran velocidad generado por un ventilador o turbina.

A. Sistemas estacionarios de chorro proyectado

La mayoría de los invernaderos de Almería están equipados con un sistema fijo para la realización de tratamientos fitosanitarios (redes fijas de pulverización hidráulica). Estos son pulverizadores hidráulicos de chorro proyectado, donde la pulverización se realiza por la presión a que se somete el líquido de tratamiento cuando es impulsado por una bomba.

El paso del líquido a presión a través de la boquilla de las pistolas de aplicación, da lugar a una pulverización en gotas, cuyo tamaño y distribución depende de la presión de trabajo y de las características de la boquilla utilizada. Estos sistemas son válidos para todos los tipos de tratamientos, por lo que son los más utilizados en Almería. Están constituidos por un depósito, una bomba de impulsión, la red de distribución y las pistolas o barras de aplicación.

El depósito (Figura 125) es el recipiente donde se realiza la mezcla del tratamiento. Debe constar de una cámara de absorción de la bomba que garantice en todo momento el bombeo del líquido, sin que se vea interrumpido por el movimiento que produce la agitación de la mezcla.

Figura 125. Depósitos para la realización de tratamientos fitosanitarios con sistema de agitado por chorro de agua



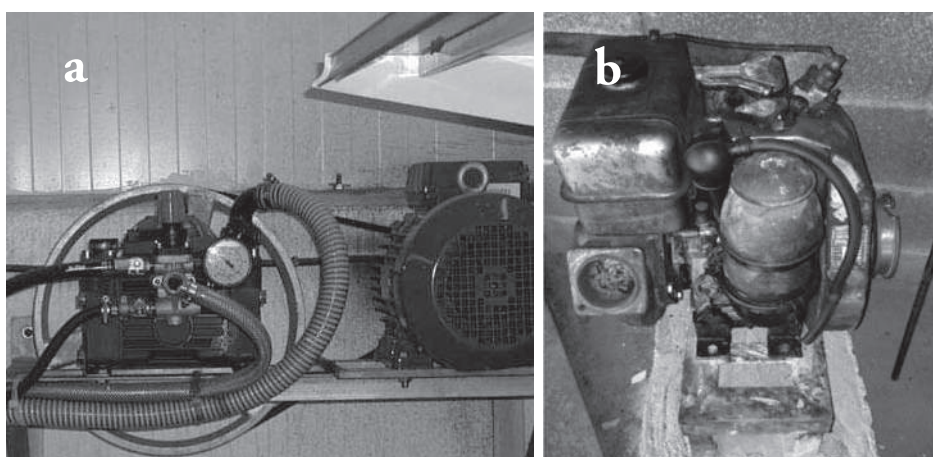
Igualmente es necesaria una válvula de desagüe en el punto más bajo, que permita una total limpieza después de cada tratamiento. Los depósitos más adecuados son los de polipropileno ya que impiden la acumulación de residuos en las paredes, y son resistentes a la corrosión ocasionada por los productos químicos.

Acoplado al depósito se sitúa el agitador que puede ser de accionamiento mecánico, cuando el movimiento proviene del motor de la bomba de absorción o incluso de un motor auxiliar; o accionamiento hidráulico, cuando se utiliza el propio movimiento del líquido en la red para generar una corriente dentro del depósito.

La bomba es el elemento fundamental que determina en mayor medida el correcto funcionamiento del sistema. Las bombas que se utilizan para los equipos de pulverización son generalmente de tres tipos: las bombas de pistón que proporcionan mayor presión de 40-50 bares; las de membrana; y las de pistón-membrana, que proporcionan presiones menores, en torno a 10-25 bares.

Es importante que los sistemas dispongan de un vaso de expansión o calderín de compensación, que amortigüe la depresión que se origina en la carrera de descenso del pistón o de la membrana. La regulación del caudal se realiza manteniendo una presión constante en la red de distribución. Hay que hacer especial atención al estado de las pistolas y a su presión de funcionamiento, que debe ser la misma en todas ellas para garantizar una buena uniformidad en el tratamiento.

Figura 126. Bombas de impulsión de pistón-membrana accionadas mediante motor eléctrico (a) y motor diesel de combustión interna (b)



La red de distribución en general está constituida por una tubería primaria de polietileno que se coloca paralela a los pasillos. A lo largo de la tubería se colocan puntos de conexión con llaves de paso (Figura 127), donde se acoplan las mangueras o tuberías secundarias que en su extremo llevan las pistolas de tratamientos. La red consta de elementos auxiliares como manómetros, que permiten controlar la presión de funcionamiento en los distintos puntos de la red, filtros a la salida y entrada de la bomba, y un regulador de presión en el retorno del líquido al depósito que garantiza una presión constante en la red, con lo cual se obtiene un caudal constante de tratamiento y por tanto una buena uniformidad en la aplicación.

Figura 127. Conexiones para las mangueras de tratamientos sobre el suelo (a) y colgada (b)

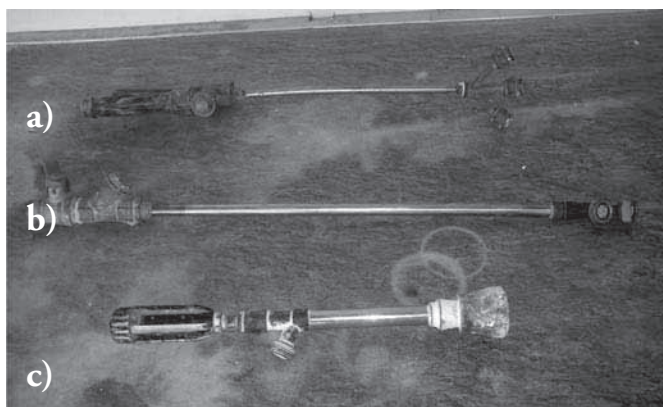


Redes fijas de pulverización hidráulica

a) Pistolas de aplicación manual

En los invernaderos se utilizan pistolas manuales de tratamientos que constan de un sistema de apertura, que permite el paso o no del líquido, y una o varias boquillas de pulverización (Figura 128) que distribuyen el líquido cuando llega a una determinada presión. Las boquillas deben revisarse con frecuencia, para limpiarlas o sustituirlas en caso de funcionamiento defectuoso.

Figura 128. Pistolas para aplicación de tratamientos fitosanitarios para conexión a una red fija: de tres boquillas (a) de dos boquillas (b) y de una sola boquilla (c)

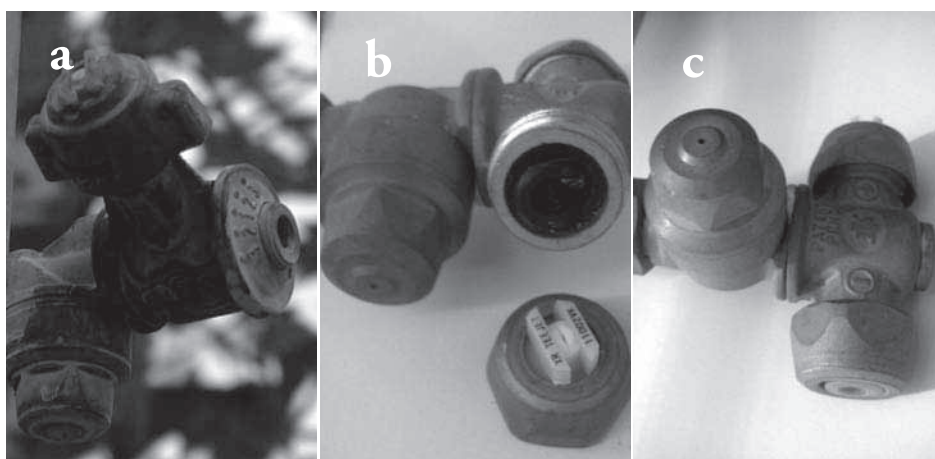


Normalmente las pistolas están equipadas con boquillas de turbulencia, que producen una proyección cónica con un ángulo de apertura entre 50 y 80°, y un pequeño tamaño de gota que oscila entre 200 y 400 μm . Se utilizan caudales de funcionamiento de 2-7 l min^{-1} para presiones de 10 a 50 bares. Estas boquillas están compuestas por: cuerpo, hélice, cámara de turbulencia, orificio calibrado, filtro y una tuerca de cierre. Son apropiadas tanto para tratamientos fungicidas como insecticidas.

Cuando se utilizan máquinas con barras de tratamiento verticales en las que se colocan varias boquillas, se suelen usar las de chorro plano hacia el exterior para pulverizar directamente sobre las líneas de cultivo (Figura 128a y b), y de cono hacia el interior para crear una fina neblina (Figura 128c).

Las boquillas de chorro plano suelen tener ángulos de apertura entre 80 y 110°, separación en la barra de 50 a 75 cm, y presiones de trabajo de 1 a 4 bares. El caudal que suministran es menor, dado el mayor número de boquillas (entre 10 y 20), con valores entre 0,5 y 2 l min^{-1} . Las boquillas de cono lleno llevan un disco en su interior de diferentes materiales en función del nivel de resistencia requerido (cerámica, acero inoxidable endurecido, acero inoxidable y polímero) con un orificio calibrado entre de 0,8 a 4 mm de diámetro, produciendo conos con un ángulo de apertura de 20 a 65° para presiones de trabajo de 1 a 20 bares.

Figura 129. Boquillas de chorro plano (a) y (b) y de cono lleno con disco (c)

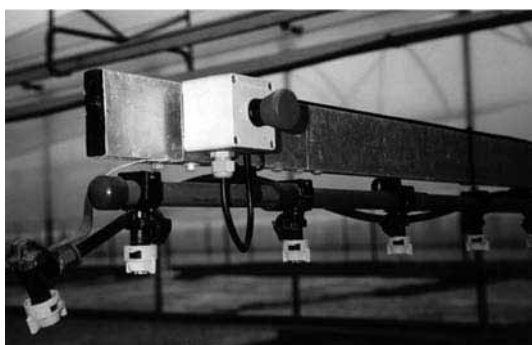


El principal inconveniente de las redes de pulverización mediante aplicación con pistolas manuales, es la elevada exposición de los operarios a los productos fitosanitarios durante la aplicación de los tratamientos. Además, necesitan un elevado volumen de aplicación y presentan una baja eficiencia de aplicación debido a las elevadas pérdidas por deposición sobre el suelo (Sánchez-Hermosilla *et al.*, 2013). Sin embargo, su uso sigue siendo generalizado para la aplicación de los tratamientos fitosanitarios debido a la posibilidad de controlar las zonas de la planta donde se aplica el producto. Esto es especialmente útil en el sistema actual de control integrado de plagas frente al resto de alternativas.

b) Barras horizontales móviles de tratamiento

En algunos semilleros se utilizan redes fijas de pulverización conectadas a barras portaboquillas horizontales colgadas de la estructura del invernadero, que se desplazan de forma automática sobre raíles por encima de las plantas, éstas últimas situadas sobre las mesas de cultivo (Figura 130). Este sistema presenta dos grandes ventajas con respecto a las pistolas: una gran homogeneidad de la dosis, y la posibilidad de realizar los tratamientos sin necesidad de que haya operarios dentro del invernadero.

Figura 130. Barra móvil horizontal utilizada para la realización de tratamientos fitosanitarios en un semillero



c) Barras verticales sobre carros de accionamiento manual

Otra alternativa al uso de las pistolas de aplicación manual, es el empleo de barras verticales colocadas sobre carros que se desplazan por las calles situadas entre las líneas de cultivo empujadas por un operario (Figura 131a). La principal ventaja de estos sistemas es la rapidez de los tratamientos, ya que las barras constan de varias boquillas, lo que permite que al desplazarse aplican el producto fitosanitario a las líneas de plantas ubicadas a ambos lados de la calle, y desde arriba hasta debajo de forma muy homogénea. Su principal inconveniente es la necesidad de un operario (Figura 131b), que estará incluso más expuesto a la nube de gotas de tratamiento que con el método tradicional de las pistolas.

Figura 131. Barra vertical sobre carro (a), y demostración de su accionamiento manual aplicando sólo agua (b)



d) Barras verticales en carros sobre raíles

También existen vehículos pulverizadores autopropulsados de accionamiento eléctrico, que se desplazan utilizando como raíles las tuberías del sistema de calefacción. Estos pueden requerir un operario o no (Figura 132). Evidentemente, el segundo caso reduce los riesgos de intoxicación y disminuye el gasto en mano de obra. Estos deben llevar un controlador que gestione el movimiento de la máquina, y que es programado mediante una consola de entrada de consignas (Figura 132b). El uso de estos equipos se restringe a explotaciones altamente tecnificadas con invernaderos multitúnel o *venlo*, por la necesidad de disponer de los tubos de calefacción como raíles y por su elevado precio en comparación con los sistemas manuales.

Figura 132. Carros autopropulsados eléctricamente con barras verticales de tratamiento: con control por operario, demostración aplicando solo agua (a), y automático (b)



B. Sistemas estacionarios de chorro transportado

Una alternativa al uso de los sistemas estacionarios de pulverización hidráulica, son los equipos de nebulización mediante boquillas de accionamiento neumático, repartidas dentro del invernadero a través de una red fija de distribución; o los equipos con ventilador, que generan grandes chorros de aire para el transporte de las gotas del tratamiento fitosanitario.

Redes fijas de nebulización hidro-neumática

Los sistemas de tratamientos fitosanitarios mediante redes de nebulización hidro-neumática son similares a los equipos utilizados para la refrigeración mediante evaporación de agua (apartado 2.8.2). De hecho, es bastante frecuente que los agricultores puedan utilizar el sistema con una doble función: nebulización de agua para refrigerar el invernadero y nebulización de agua con tratamientos fitosanitarios.

La principal ventaja de los equipos de tratamientos fijos es que posibilitan la aplicación de productos fitosanitarios con el invernadero cerrado y vacío, lo que elimina el riesgo de intoxicación de los trabajadores, y evita la fuga de los insectos durante el tratamiento. Por otro lado, permiten los tratamientos al anochecer, disminuyendo la dosis necesaria ya que se reducen las pérdidas por evaporación.

Un importante inconveniente de los sistemas estáticos es la imposibilidad de realizar discriminación entre las diferentes plantas en función de su estado sanitario, y la dificultad para alcanzar ciertas partes de la planta, como el tramo inferior del tallo y el envés de las hojas, cuando se trata de un cultivo de porte alto y bien desarrollado, con una pequeña separación entre líneas, y con considerable masa foliar. Otros inconvenientes importantes son que producen una distribución heterogénea, con mayores concentraciones en las proximidades de las boquillas emisoras (Sánchez-Hermosilla *et al.*, 2012), y que el nivel de deposición sobre las hojas del cultivo es mucho menor, y las pérdidas por evaporación y como consecuencia el gasto de agua, son mayores que cuando se utilizan las pistolas manuales de las redes de pulverización hidráulica (Sánchez-Hermosilla *et al.*, 2013).

Estos equipos utilizan un potente sistema de compresión que distribuye aire a elevada presión (entre 6 y 7 bares) a lo largo de todo el invernadero. Mediante una segunda red de tuberías en paralelo con las anteriores se distribuye el caldo de tratamiento desde los depósitos de mezcla (Figura 133) usando bombas de baja presión (2-3 bares).

Figura 133. Depósitos con sistema agitador y bombas de impulsión de un sistema de tratamientos fitosanitarios mediante red estacionaria de nebulización



En la tubería del aire comprimido se sitúan las boquillas de aplicación que reciben el caldo a través de un micro-tubo, produciendo un chorro de gotas transportado por el flujo de aire generado (Figura 134).

Figura 134. Chorro de aire y gotas de tratamiento generado por una boquilla de nebulización



Nebulizadores hidro-neumáticos fijos

Este sistema consiste en equipos de ventiladores (Figura 135) que producen una circulación de aire (con caudales en torno a 5.000 litros/h) dentro del invernadero, creando un flujo continuo de aire para el transporte de las gotas generadas por una o varias boquillas pulverizadoras, colocadas en el centro (cuando es una) o en la periferia (cuando hay varias), delante de la salida de aire del ventilador.

A través de las boquillas se inyecta el líquido de tratamiento (con un caudal de aplicación aproximado de 2-3 litros/h), que se mezcla con el aire produciendo una nebulización de microgotas (5-20 μm). Este sistema permite una distribución del tratamiento en forma de niebla que impregna el cultivo disminuyendo el riesgo de un aporte excesivo de producto que pueda quemar las hojas o frutos.

Estos ventiladores se colocan colgados de la estructura del invernadero de forma que reciben el caldo a través de depósitos individuales para cada equipo de cinco litros, o mediante una pequeña red de tuberías que lo distribuye a los diferentes aparatos desde un depósito general. En el caso de alimentación a través de una red de tuberías, la presión del líquido de tratamiento se consigue mediante una sola bomba de impulsión que proporciona presiones de funcio-

namiento entre uno y cinco MPa. Cuando se utilizan pequeños depósitos de 5 o 15 litros, la presión se consigue mediante pequeños compresores individuales de pistón seco (sin aceite), que trabajan a presiones de 0,5-0,8 MPa.

Figura 135. Pulverizador hidroneumático de chorro transportado estático de ultra-bajo volumen



Estos sistemas se suelen comercializar bajo el nombre de sistemas de ultra bajo volumen, en referencia a la menor cantidad de líquido que es necesario aplicar en comparación con los equipos de pulverización, ya que en este caso se inyecta el producto a tratar directamente sobre la corriente de aire, sin necesidad de mezclarlo con agua. Del mismo modo, es usual que a estos equipos atomizadores se les denomine nebulizadores, porque al generar gotas de tamaño muy fino (Tabla 11) se crea una especie de niebla dentro del invernadero, aunque esta denominación no es adecuada por no corresponderse con su principio de funcionamiento.

Tabla 11. Clasificación del tamaño de gota de pulverización según el British Crop Protection Council

Volumen de gotas	Muy fina	Fina	Media	Gruesa	Muy gruesa
Dv 0,1 (10 %*)	<55 µm	55-94 µm	95-164 µm	165-225 µm	>225 µm
Dv 0,5 (50 %*)	<119 µm	119-216 µm	217-353 µm	354-464 µm	>464 µm
Dv 0,9 (90 %*)	<204 µm	204-369 µm	370-598 µm	599-789 µm	>789 µm

* Porcentaje del volumen de gotas acumulado.

Fuente: Doble *et al.* (1985).

Este método posibilita la realización de tratamientos fitosanitarios de forma automatizada, sin la presencia en el invernadero de operarios, con la consiguiente eliminación de riesgos. Esto permite la programación de los tratamientos para que se realicen al anochecer evitando así las altas temperaturas diurnas, lo que aumenta su efectividad. Sin embargo, presenta los inconvenientes anteriormente comentados para el caso de las redes de nebulización hidro-neumática, con el añadido de realizar una distribución del tratamiento más heterogénea.

Atomizadores centrífugo-neumáticos fijos

Los sistemas fijos de aplicación de tratamientos por atomización centrífugo-neumática (Figura 136), están constituidos por un ventilador con un disco giratorio en la parte posterior, sobre el que cae un chorro de agua dando lugar a la ruptura en forma de pequeñas gotas, que al ser transportadas por el flujo de aire del ventilador se desplazan unos 15-35 m dentro del invernadero sobre las plantas.

Los caudales de aplicación (aproximadamente de 10 a 40 litros/h) son mucho mayores que con el sistema anterior, pero con un mayor tamaño de partículas (10-30 μm). Debido a los elevados caudales de tratamiento que utilizan, el suministro de caldo se realiza mediante un depósito central y un pequeño circuito de distribución.

Figura 136. Pulverizador centrífugo-neumático de chorro transportado



C. Sistemas móviles de chorro proyectado

Frente al uso de los sistemas fijos, existen alternativas para realizar los tratamientos fitosanitarios utilizando sistemas móviles, que constan de un depósito individual para el caldo, un sistema de impulsión propio, y los elementos de aplicación (boquillas y/o ventilador).

Pulverizadores hidráulicos

a) Manuales (mochilas)

Para la aplicación de tratamientos muy localizados en determinadas zonas del cultivo se suelen utilizar mochilas pulverizadoras (Figura 137b) que se cuelgan a la espalda de los operarios. Están provistas de un depósito de 15-20 litros, y de una bomba de aspiración que se acciona manualmente.

Mediante una bomba de accionamiento manual se llegan a conseguir presiones de 5-10 bares, lo que da caudales de aplicación de 2-5 litros/min. La distribución se realiza mediante una lanza de tratamientos equipada en el extremo con una boquilla, por lo general de espejo, compuesta por un cuerpo, un filtro y el «espejo» que proyectan un chorro abierto de tipo abanico que alcanza 100-120° de amplitud. El tamaño de gota que se consigue con estas boquillas oscila entre 400 y 1.000 µm.

b) Móviles semi-autónomos (carros)

En instalaciones antiguas de pequeña superficie en las que no se dispone de redes de distribución de productos fitosanitarios fijas, se pueden utilizar carretillas con un depósito de unos 100 litros y una bomba de membrana que impulsa el líquido directamente a una manguera que lleva en su extremo la pistola de tratamiento (Figura 137a).

c) Vehículos autopropulsados

Una alternativa reciente a los sistemas de pulverización hidráulica mediante redes fijas, la constituyen los vehículos autopropulsados sobre ruedas neumáticas (Figura 138), diseñados para que puedan circular por las calles de los invernaderos con enarenado y sin tuberías de calefacción entre las líneas de cultivo.

Figura 137. Pulverizador hidráulico móvil (a) y mochila pulverizadora (b)

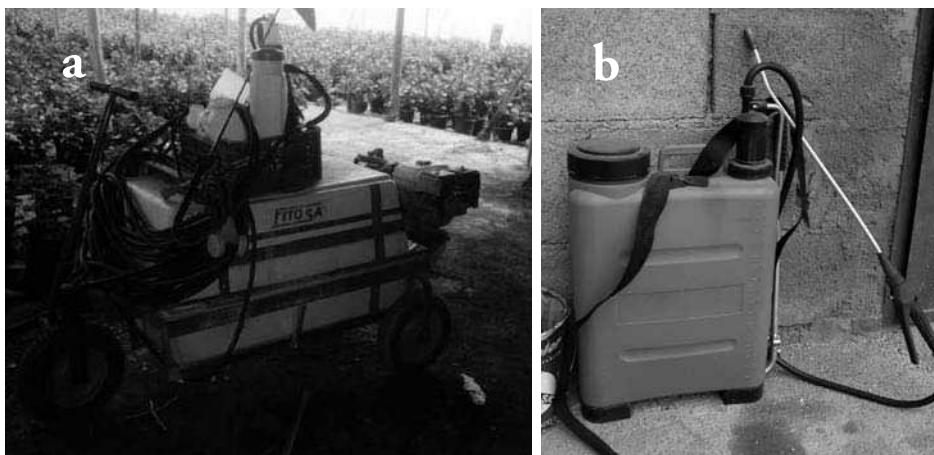
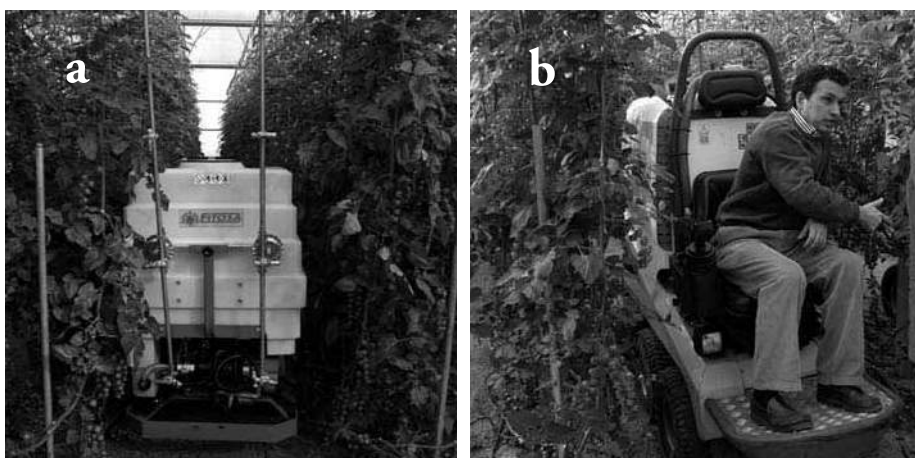


Figura 138. Vehículos autopropulsados para pulverización hidráulica: vista trasera de la barra de tratamiento (a) y vista delantera con el puesto para el conductor (b)



Estos equipos están constituidos básicamente por un vehículo autónomo con motor eléctrico, un depósito del líquido de tratamiento, una bomba de impulsión hidráulica, y dos barras porta-boquillas. En general, estos sistemas permiten un adecuado control de la velocidad de avance y del caudal de tratamiento, por lo que mejora su eficacia con respecto a las redes fijas.

D. Sistemas móviles de chorro transportado

Automizadores hidro-neumáticos

a) Suspendidos en el tractor

Los sistemas de nebulización tratan de crear una niebla formada por pequeñas gotas de líquido, de tamaño inferior a $50\ \mu\text{m}$, que permanecen en suspensión y se van depositando lentamente sobre el cultivo. Así se origina una atmósfera tóxica para los parásitos que hay en el invernadero.

Los cañones de nebulización móviles se acoplan al enganche tripuntal de los tractores (Figura 139) permitiendo realizar fácilmente el tratamiento del invernadero en poco tiempo (se consiguen rendimientos de $1\text{-}2\ \text{ha h}^{-1}$). Este sistema consiste en un depósito donde se realiza la mezcla del tratamiento, una pequeña bomba que inyecta el líquido sobre el chorro de aire que es producido por un ventilador de flujo radial que se acopla a la toma de fuerza del tractor. Al inyectarse el líquido a presión sobre la corriente de aire que sale a gran velocidad, las gotas se fragmentan en unidades más pequeñas que se desplazan a gran distancia transportadas por el aire.

Figura 139. Pulverizadores hidro-neumáticos suspendidos al tractor



En este sistema de aplicación es muy importante la utilización de los medios de protección, como mascarillas, gafas, guantes, trajes impermeables, para evitar el contacto con la nube tóxica que se forma dentro del invernadero.

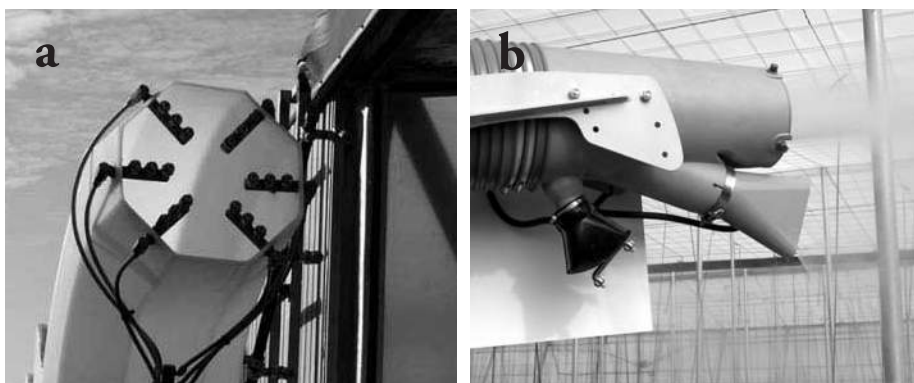
Cuando el cultivo no está aun desarrollado y no existe una gran masa foliar, o en el caso de cultivos rastreros como melón y sandía, se pueden realizar tratamientos de forma mucho más rápida utilizando atomizadores o nebulizadores suspendidos al tractor (Figura 140). De esta forma se puede avanzar con el vehículo a lo largo de los pasillos centrales del invernadero, distribuyendo el tratamiento sobre todo el cultivo. En estos casos, al igual que en los anteriores, se requiere la presencia de al menos un operario dentro del invernadero, que deberá utilizar los correspondientes medios de protección, como mascarilla, gafas, guantes, traje impermeable, para evitar el contacto con la nube tóxica que se genera. Hace años no se tenía mucha conciencia de la necesidad de los métodos de protección individuales, como muestra la fotografía antigua reflejada en la Figura 140.

Figura 140. Pulverizador hidro-neumático realizando un tratamiento



Un inconveniente de estos sistemas es la falta de uniformidad en el tratamiento a lo largo de las líneas de cultivo, ya en las zonas más próximas a la calle central por la que circula el tractor, la deposición de gotas es menor. Para tratar de evitar este problema se han diseñado equipos en los que además del cañón principal se dispone de una o dos salidas de menor diámetro orientadas hacia las plantas más cercanas al equipo. De esta forma se consigue una mayor uniformidad en el tratamiento.

Figura 141. Detalle de las salidas de aire en pulverizadores hidro-neumáticos a través de un sólo conducto (a) o de tres (b)



b) Desplazables manualmente

Los atomizadores desplazables manualmente (Figura 142) son máquinas móviles constituidas por uno o dos ventiladores de similares características a los sistemas estacionarios, que en lugar de colgarse de la estructura del invernadero y permanecer fijos, se disponen sobre un carro metálico con ruedas, en el que se ha instalado un pequeño depósito de tratamientos y un compresor. De esta forma se pueden modificar su posición y dirección de aplicación dentro del invernadero.

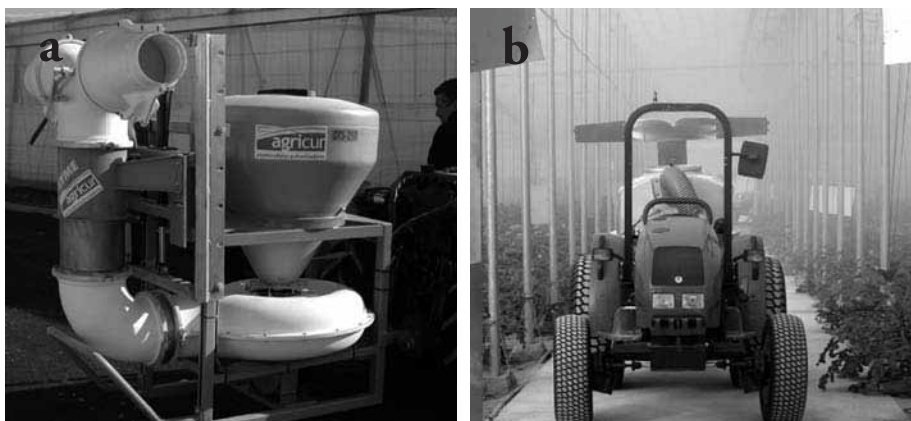
Figura 142. Pulverizador hidroneumático desplazable manualmente



E. Máquinas espolvoreadoras suspendidas al tractor

Otra forma de aplicación de los productos fitosanitarios, en el caso de formulados polvorientos, es mediante el empleo de máquinas espolvoreadoras (Figura 143). En estos equipos se utiliza el flujo de aire que genera un ventilador para arrastrar las partículas de polvo del depósito y distribuirlas sobre el cultivo.

Figura 143. Máquinas espolvoreadoras suspendidas al tractor



2.17. Impacto ambiental de los invernaderos de Almería

En el actual contexto económico es necesario optimizar la eficiencia de todos los procesos productivos. En el caso de la agricultura en general, y de la horticultura en invernadero en particular, supone reducir la relación entre el coste de los medios de producción necesarios para el desarrollo de los cultivos con respecto al valor finalmente obtenido con la venta de su cosecha. Del mismo modo, la necesidad de luchar contra el cambio climático, y de disminuir el impacto ambiental que producen las diferentes actividades productivas, nos conduce inexorablemente a reducir al máximo el uso de energía y de agua en todas las actividades agrícolas. Los invernaderos constituyen un sistema productivo en el que se pueden utilizar equipos de control climático, como sistemas de calefacción o de refrigeración evaporativa, que conllevan un importante consumo energético, en el primer caso y, de energía y de agua en el segundo. Sin embargo, la mayoría de los invernaderos existentes en Almería se basan en el uso exclusivo de la ventilación natural y de la técnica del blanqueo de la cubierta como sistemas de control climático.

La ventilación natural permite controlar los valores de temperatura, humedad y concentración de anhídrido carbónico en el interior del invernadero. Sin embargo, su capacidad de operación se ve limitada por las condiciones exteriores, puesto que la ventilación se basa en la renovación del aire interior por aire exterior normalmente más fresco (Molina-Aiz, 2010), menos húmedo y con una concentración constante de CO_2 . Del mismo modo, el blanqueo de la cubierta del invernadero supone una reducción de la radiación solar que se transmite dentro del mismo (Baille *et al.*, 2001), que de un lado permite a los cultivos realizar su actividad fotosintética, y de otro aporta la energía que calienta las plantas, el suelo y el aire.

La gran ventaja de estas dos técnicas tradicionalmente utilizadas en los invernaderos Almería es que no conllevan un coste significativo económico, energético ni de agua en su funcionamiento diario. La apertura y cierre de las ventanas de un invernadero mediante moto-reductores eléctricos supone sólo 0,02 MJ de energía por kg de tomate producido (para una producción media de 19,0 kg m⁻²), lo que constituye un potencial de calentamiento global de 0,003 kgCO₂eq/kg. Esto representa apenas el 0,5 % de la energía necesaria (4 MJ kg⁻¹ y 0,25 kgCO₂eq/kg) en un invernadero de tipo multitúnel de cubierta plástica en Almería. Además, las necesidades energéticas por kilogramo de tomate producido en un invernadero multitúnel de Almería con ventilación natural son las más bajas de los invernaderos estudiados a nivel mundial (Tabla 12). Las necesidades energéticas globales de los invernaderos almerienses solo son comparables con las de los invernaderos de tipo túnel de Francia (5,2 MJ kg⁻¹) o los invernaderos de tipo *venlo* de Holanda, siempre y cuando utilicen cogeneración (5,0 MJ kg⁻¹). Cuando los invernaderos de estas zonas climáticas más adversas utilizan calefacción convencional (sin producción de energía eléctrica) las necesidades de energía global asociadas son del orden de 8 a 32 veces superiores a las de un invernadero no calefactado de Almería.

A modo de comparación, citar que la producción de 1 kg de tomate en un invernadero de cristal con sistema de cogeneración e iluminación artificial en Holanda supone unas necesidades de energía global de 11,9 MJ kg⁻¹ (1,18 kgCO₂eq/kg) para obtener una producción de 76,5 kg m⁻² (van Zundert, 2012). Del mismo modo, en invernaderos multitúnel con calefacción en Francia se necesitan 31,6 MJ kg⁻¹ (2,02 kgCO₂eq/kg) para obtener una producción de 44,0 kg m⁻² (Boulard *et al.*, 2011).

Los invernaderos de Almería no solo son los más eficientes con respecto a su repercusión sobre el calentamiento global, sino que han producido un

Tabla 12. Valores de producción de tomate en diferentes tipos de invernaderos y países

País	Tipo de invernadero	P	GER	C	GWP	ADP	AAP	EUP	POP	W
España	Multitúnel con plástico ^a	16,5	4,0		0,25	1,7	1,0	0,49	0,054	28,8
Holanda	Venlo de cristal con calefacción ^b	56,5	30,9	31,0	1,93	14,7	3,2	0,85	0,215	14,1
Holanda	Venlo de cristal con cogeneración ^c	56,5	5,0		0,84		1,3	1,85	0,241	
Holanda	Venlo con cogeneración e iluminación ^c	76,5	11,9	39,0	1,18		1,6	1,97	0,092	
Francia	Túnel con cubierta plástica ^d	14,6	5,2		0,51		1,4		0,850	34,2
Francia	Multitúnel de plástico con calefacción ^d	44,0	31,6		2,02		3,4		0,460	28,4
Francia	Cristal con calefacción ^d	44,0	31,3	85,3	2,01		3,4		0,447	28,4
Italia	Plástico ^e	9,6	16,2		0,74		5,7	2,10	0,300	88,9
R. Unido	Cristal con calefacción ^f		130,0		9,40	100	12,0	1,50		39,0
Suecia	Cristal con calefacción ^g		42,0		3,30					
Canadá	Plástico con calefacción ^h	56,4	52,7	88,0	2,88					

P: producción [kg m⁻²].

GER, necesidades de energía global (Global Energy Requirement) [MJ kg⁻¹].

C, porcentaje de las necesidades debidas a la calefacción [%].

GWP, potencial de calentamiento global (Global Warming Potential) [kg CO₂eq/kg].

ADP, agotamiento abiótico (Abiotic depletion) [kg Sb eq/t].

AAP, acidificación del aire (Air acidification) [kg SO₂ eq/t].

EUP, eutrofización (Eutrophication) [kg PO₄⁻³ eq/t].

POP, oxidación fotoquímica (Photochemical oxidation) [kg C₂H₄ eq/t].

W, necesidades de agua [m³/t].

Fuente: ^aTorrellas et al. (2012); ^bTorrellas et al. (2013); ^cvan Zundert (2012); ^dBoulard et al. (2011); ^eCellura et al. (2012); ^fWillinas et al. (2006); ^gCarlsson-Kanyanma (1998); ^hHendricks (2012).

demostrado impacto positivo sobre este efecto. Así, el cambio en el uso del suelo desde los terrenos naturales de la zona del Campo de Dalías, del Campo de Níjar y del Bajo Andarax a los invernaderos de cubierta plástica encalada ha conllevado un drástico aumento del coeficiente de reflexión para la radiación solar (albedo) de la superficie terrestre de estas zonas de 0,09 (Campra *et al.*, 2008). Como consecuencia de ello se ha producido una reducción de la radiación neta en la superficie terrestre del sur de la provincia de Almería de $22,8 \text{ W m}^{-2}$, lo que a su vez ha provocado una reducción de la temperatura media anual de $0,15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Campra y Millstein, 2013). De esta forma, el incremento en el albedo de la superficie terrestre debido a la reflexión de las cubiertas plásticas de los invernaderos con encalado conlleva una importante compensación de las emisiones de CO_2 equivalente ($\text{CO}_2\text{-eq}$) que reduce el potencial de calentamiento global (*GWP*) para la producción de tomate de 0,303 a 0,168 $\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$ (Muñoz *et al.*, 2010).

Además del consumo energético y de su contribución al calentamiento global del planeta, es importante conocer la influencia de la actividad agrícola de los invernaderos sobre el ecosistema, y así poder evaluar su impacto ambiental. Existen diversos estudios sobre el Análisis del Ciclo de la Vida (ACV) que se centran en el estudio de aspectos ambientales e impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto o de una actividad. Para el caso de la actividad hortícola en invernaderos se suelen utilizar los siguientes parámetros (Boulard *et al.*, 2011; Cellura *et al.*, 2012; van Zundert, 2012; Torrellas *et al.*, 2013):

- Agotamiento de recursos abióticos, *ADP (Abiotic depletion)*, expresado como el consumo de antimonio (Sb) por tonelada de cultivo producido. Con este parámetro se pretende medir el consumo de los recursos que conforman el ecosistema «invernadero».
- Acidificación del aire, *AAP (Air acidification)*, que mide la contaminación del aire expresada como la emisión de kg de sulfatos (SO_2) a la atmósfera por tonelada de cultivo producido.
- Eutrofización, *EUP (Eutrophication)*, o enriquecimiento de nutrientes de nuestro ecosistema, cuantificado como kg de fosfatos (PO_4^{-3}) por tonelada de producto recolectado.
- Formación de foto-oxidantes, *POP (Photochemical oxidation)*, expresada como la emisión de kg de etileno (C_2H_4) a la atmósfera por tonelada de producto comercializado.

En la Tabla 12 se reflejan algunos valores de dichos parámetros para el cultivo del tomate, en diferentes estructuras de invernaderos localizados en diversos países. En ella se puede observar como en el conjunto de todos estos parámetros, los invernaderos de Almería son con diferencia los que producen menos contaminación. En el caso de la formación de foto-oxidantes los valores producidos en Almería llegan a ser hasta 8 veces inferiores a los de otras zonas climáticas. Incluso en el consumo de agua por unidad de producto recolectado Almería es un sistema productivo eficiente comparable a los de Francia donde la climatología produce menos evapotranspiración en el cultivo.

3. Procedimiento de obtención de los datos de campo

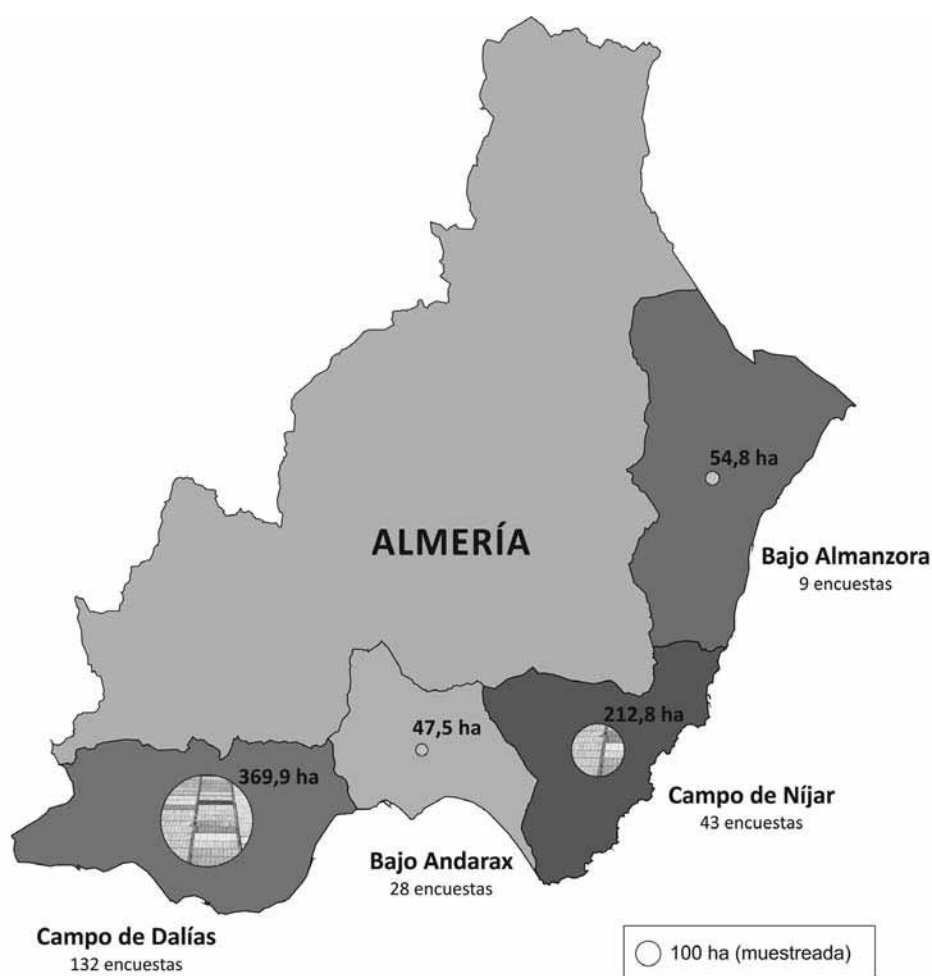
La captura de datos de campo ha tenido lugar durante la campaña agrícola 2012/13 y se ha realizado por dos vías. La primera ha sido la realización de un cuestionario de 108 preguntas a 212 agricultores, y la segunda mediante datos procedentes directamente de 18 empresas que comercializan los productos de dichos agricultores, que han facilitado información sobre las últimas 6 campañas (desde 2006/07 hasta 2011/12). El contacto con los agricultores se ha realizado a través de las empresas colaboradoras; excepto para un grupo de control de 48 agricultores, a los cuales hemos accedido directamente para mejorar la bondad de la muestra. Se han estudiado las cuatro comarcas agrícolas de Almería con horticultura intensiva en invernadero: Campo de Dalías, Bajo Andarax, Campo de Níjar y Bajo Almanzora (Figura 144).

De esta manera la muestra ha sido de 685 ha, que representa el 2,4 % del total de superficie de invernaderos de la provincia de Almería, cuantificado en 28.576 ha (CAPMA, 2013b).

Las empresas comercializadoras que han participado en este estudio son:

- Acrena, S.A.T.
- Agrupalmería, S.A.
- Agrupaejido, S.A.
- Cabasc, S.C.A.
- CASI, S.C.A.
- Casur, S.C.A.
- Coprohníjar, S.C.A.
- Costa de Níjar, S.A.T.
- Frutas Escobi, S.L.
- Hortamar, S.C.A.
- Hortasol, S.A.T.
- Hortofrutícola Costa de Almería, S.L.
- Hortofrutícola Mabe, S.A.T.
- Las Hortichuelas, S.A.T.
- Murgiverde, S.C.A.
- Parafruts, S.A.T.
- Parque Natural, S.C.A.
- Vicasol, S.C.A.

Figura 144. Superficie muestreada y número de encuestas en cada comarca



3.1. Cuestionario a los agricultores

A la hora de construir el cuestionario y con la intención de reflejar las hipótesis de nuestro trabajo, se ha considerado oportuno contar con la colaboración de un grupo asesor. Este grupo asesor ha estado formado por uno o dos agricultores de las comarcas más representativas de la agricultura almeriense, así como por docentes y técnicos relacionados con el sector de la

horticultura intensiva. La principal aportación de este grupo se justifica a la hora de matizar y orientar las 108 preguntas del cuestionario, adaptándolas al lenguaje, nivel cultural, edad y aspectos socioeconómicos de los sujetos a encuestar. Además, se ha utilizado a este grupo asesor para sugerir candidatos a ser encuestados, en la fase de muestreo estratificado, de tipo aleatorio.

Las entrevistas a los agricultores las han realizado dos ingenieros agrónomos perfectamente conocedores de los criterios homogéneos para cumplimentar la encuesta. De esta manera se evitan las posibles fuentes de error. Cada entrevista, debido a la extensión de la encuesta, ha tenido una duración aproximada de 45 minutos.

A cada entrevistado se le explicó el objetivo del estudio y que pretendíamos caracterizar la explotación con independencia del propietario. Además se le entregó una carta de confidencialidad para remarcar el secreto estadístico, explicando que los datos sólo serían utilizados por agregación y sin referencia individual alguna.

El cuestionario se ha estructurado en 10 apartados que contienen un número variable de respuestas de carácter tanto cuantitativo como cualitativo (Anexo I). Los apartados en que se encuentra dividido son:

- A. Datos personales.
- B. Cultivos.
- C. Maquinaria.
- D. Suelo.
- E. Edificaciones auxiliares y sistema de riego.
- F. Comercialización.
- G. Estructura.
- H. Sistemas de control climático.
- I. Análisis de costes y beneficios.
- J. Mano de obra.

La primera sección, «Datos personales», consta de 9 preguntas que tratan de obtener información como la edad, años dedicados a la agricultura, régimen de la propiedad, procedencia geográfica del titular, nivel de estudios, si posee otra ocupación laboral o empresarial adicional, la procedencia laboral antes de dedicarse a la agricultura y la situación y superficie exactas de la finca.

Para el grupo de preguntas titulado «Cultivos», se han elaborado cuestiones para clarificar el modo de combatir las malezas, la siembra, la preparación de la plántula, frecuencia de análisis foliares, cultivos de las últimas tres campañas y épocas, marcos y rendimientos de los mismos, métodos complementarios y sustitutivos de los tratamientos fitosanitarios, polinización y uso de injertos.

El tercer apartado está diseñado para determinar la maquinaria existente en la explotación, como la utilizada en la aplicación de tratamientos fitosanitarios, vehículos usados en la misma o maquinaria utilizada en las labores de preparación del terreno.

En la sección «Suelo» se obtiene su tipo, el uso de análisis de suelo, la desinfección del mismo, tipo y frecuencia del retranqueo así como su coste, cantidad y jornales del mismo, si aporta ácidos húmicos y si se ha planteado cambiar de enarenado a hidropónico, o viceversa.

Para conocer la explotación y sus características más importantes se incluye el apartado «Edificaciones auxiliares y sistema de riego», en el que se obtiene la superficie del almacén, caseta de riego y capacidad de la balsa, tipos de filtros utilizados, recogida de pluviales, sistema de riego, análisis del agua, uso de tensiómetros, origen y coste y calidad del agua, y la forma de aplicar abonos.

En la sección denominada «Comercialización» se pretende conocer dónde vende su producción, si es siempre en el mismo sitio, los años de socio en alguna cooperativa, el tipo de asesoramiento recibido, si arregla su producto antes de llevarlo al punto de venta y si está sometido a algún sistema de certificación o norma de buenas prácticas agrícolas en campo.

El apartado más extenso en cuanto a número de preguntas es el titulado «Estructura», y en él se formulan cuestiones sobre las características del invernadero, de sus elementos estructurales, dimensiones, pasillos, tipos de ventanas, accionamiento de las mismas, dobles puertas, mallas antiinsectos, material de cubierta y procedimiento para su sustitución.

A continuación aparecen las ocho preguntas del apartado «Sistemas de control climático». En él pretendemos obtener información sobre el uso de controladores climáticos, parámetros medidos, uso de pantallas térmicas y de mallas de sombreo, sistemas de ventilación forzada, técnicas de refrigeración por evaporación de agua, uso y tipo de calefacción, combustibles, técnicas de ahorro energético y otros sistemas avanzados como la inyección de CO₂, iluminación artificial o la cogeneración.

El apartado denominado «Análisis de costes y beneficios» obtiene los intervalos de ingresos y gastos aproximados a lo largo del año o campaña, y preguntas para clarificar cuáles son los cultivos que proporcionan mayores ganancias netas y mayor inversión al comienzo de la campaña, así como las subvenciones y la entidad que le proporciona financiación.

En la sección «Mano de obra» se trata de conocer si la mano de obra es propia o ajena, número de trabajadores y si son fijos, las labores para las cuales contrata mano de obra eventual, y si tiene algún tipo de preferencia para la contratación. Además se trata de conocer también los jornales aproximados que dedica a la explotación de la finca y si la mano de obra correspondiente al propietario está incluida en esos jornales.

Finalmente, y no menos revelador, se ha incluido una pregunta relativa a si tiene pensado a corto plazo realizar mejoras en su explotación y de qué tipo. Por último se le ha dado la oportunidad de reflejar hechos relevantes en las últimas campañas y si considera que el estudio puede mejorar la rentabilidad de las infraestructuras productivas.

3.2. Bondad de la muestra

Con objeto de averiguar cuál es la relación entre las estructuras de los invernaderos de la provincia de Almería y su rentabilidad económica, se ha diseñado un cuestionario dirigido a una muestra representativa de productores de hortalizas. Para ello, se ha procedido a designar los municipios almerienses con mayor densidad de invernaderos. Dicha muestra se basa en dos estudios que son el referente de la superficie bajo plástico de la provincia de Almería, es decir, el Informe *Cartografía de Invernaderos en el Litoral de Andalucía Oriental. Campaña 2012*, editado por la Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía y el estudio *Detección de la superficie invernada en la provincia de Almería a través de imágenes Aster* (Sanjuán, 2007) de la Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería (FIAPA).

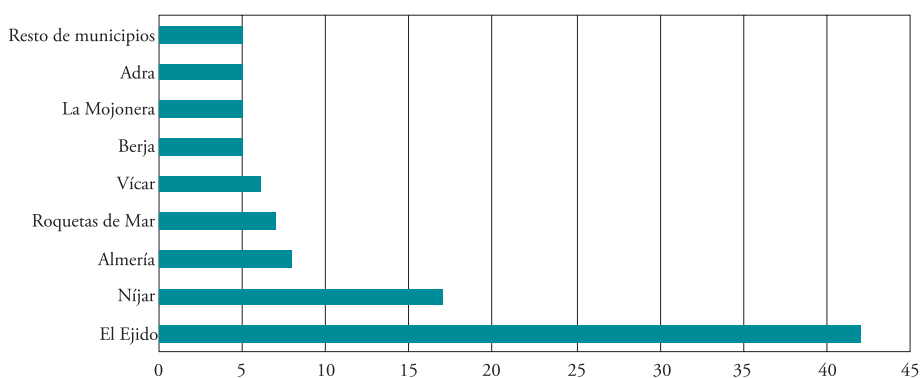
A la vista de la Tabla 13, destaca el incremento, en más de 2.500 ha en la superficie invernada en la provincia de Almería, siendo Níjar el municipio más activo en la instalación de nuevos invernaderos. A este respecto, desde el punto de vista de la importancia a escala municipal, es necesario reconocer la relevancia de El Ejido, Almería capital y Níjar como los territorios clave para realizar cualquier estudio sobre el sector en Almería. En concreto, estos tres municipios concentran el 67 % de la superficie invernada de la provincia, además de albergar las sedes de las principales empresas comercializadoras de Almería.

Tabla 13. Superficie de invernaderos en los municipios más representativos de la provincia de Almería

Comarca	Municipios	Superficie de invernaderos (ha)			
		FIAPA 2006/2007	Junta Andalucía 2012	Variación (ha)	Superficie considerada (ha)
Bajo Andarax	Alhama de Almería	30			30
	Almería	2.340	2.208	-132	2.208
	Benahadux	5	13	8	13
	Pechina	210	146	-64	146
	Viator	240	106	-134	106
Campo de Dalías	Adra	940	1.336	396	1.336
	Berja	1.070	1.476	406	1.476
	El Ejido	11.210	12.215	1.005	12.215
	La Mojonera	1.230	1.356	126	1.356
	Roquetas de Mar	1.810	1.899	89	1.899
	Vícar	1.790	1.834	44	1.834
Campo de Níjar	Níjar	3.850	4.941	1.091	4.941
Bajo Almanzora	Cuevas del Almanzora	185	234	49	234
	Pulpí	202	184	-18	184
Resto comarcas	Resto de municipios	871	598	-273	598
	Total	25.983	28.546	2.563	28.576

Fuente: CAPMA (2013b), FIAPA (Sanjuan-Estrada, 2007). Elaboración propia.

Gráfico 7. Superficie invernada por municipios. En porcentaje



Fuente: CAPMA (2013b).

A escala municipal, la relevancia de los municipios del Poniente almeriense, especialmente de El Ejido, con el 42 % de la superficie invernada de la provincia, sugiere centrar gran parte de las encuestas en estas localidades. Los dos siguientes municipios, ordenados en función del peso de su superficie invernada sobre el total provincial, corresponden a comarcas distintas al Campo de Dalías, es decir, al Campo de Níjar y al Bajo Andarax. Sin embargo, con objeto de mejorar la representatividad de la muestra y ofrecer una visión más global de los resultados obtenidos, se ha incorporado el estudio de algunas explotaciones de la comarca del Bajo Almanzora, en concreto, de Cuevas de Almanzora y Pulpí.

El muestreo se ha realizado de manera aleatoria en cada uno de los municipios designados en la etapa de definición del trabajo de campo. La encuesta presencial directa se realizó desde el 1 de abril hasta el 30 de septiembre de 2013, aplicando dos metodologías distintas en la recopilación de información. En una primera fase se realizaron encuestas en comercializadoras y en una segunda fase encuestas individuales a miembros del grupo de control comarcal.

Tabla 14. Datos de la muestra: superficie (ha) y número de fincas encuestadas

Comarca	Municipios	Superficie encuestada	Nº encuestas
Bajo Andarax (47,5 ha)	Alhama de Almería	2,1	2
	Almería	38,0	22
	Benahadux	2,6	1
	Pechina	1,6	1
	Viator	3,2	2
Campo de Dalías (369,9 ha)	Adra	9,0	4
	Berja	11,2	6
	El Ejido	210,9	65
	La Mojonera	40,7	15
	Roquetas de Mar	61,6	26
	Vícar	36,6	16
Campo de Níjar (212,8 ha)	Níjar	212,8	43
Bajo Almanzora (54,8 ha)	Cuevas del Almanzora	52,3	8
	Pulpí	2,5	1
Total		685,0	212

Fuente: elaboración propia.

Primera fase. Se ha realizado un muestreo no probabilístico, por cuotas, a los agricultores más representativos de las dieciocho comercializadoras más importantes de la provincia de Almería. El objetivo de este tipo de muestreo consistía en garantizar la captura de datos para todos los cultivos representativos de las comarcas agrícolas más importantes de Almería, así como de los agricultores más representativos de estas empresas.

Tabla 15. Muestreo por cuotas en las comercializadoras de la provincia de Almería

Comarca	Localidad	Comercializadora	Encuestados
Bajo Andarax	El Alquíán	Agrupalmería, S.A.	9
	La Cañada	CASI, S.C.A.	8
	Viator	Casur, S.C.A.	10
Campo de Dalías	Aguadulce	Las Hortichuelas, S.A.T.	9
		Parafruts, S.A.T.	9
	Balanegra	Cabasc, S.C.A	10
	El Ejido	Murgiverde, S.C.A.	8
	La Mojonera	Agrupacjido, S.A.	10
	La Puebla de VÍcar	Vicasol, S.C.A.	8
	Las Norias de Daza	Frutas Escobi, S.L	8
	Roquetas de Mar	Hortofructícola Costa de Almería S.L.	9
		Hortamar, S.C.A.	9
	Santa María del Águila	Acrena, S.A.T.	9
		Hortofructícola Mabe, S.A.T.	10
	El Barranquete	Parque Natural, S.C.A.	8
Campo de Níjar	Ruescas	Hortasol, S.A.T.	6
	San Isidro	Coprohñjar, S.C.A.	10
		Costa de Níjar, S.A.T.	6
	Total muestreo por cuotas		156

Fuente: elaboración propia.

Segunda fase. Una vez realizado el muestreo por cuotas, entre los agricultores seleccionados por las comercializadoras, se ha llevado a cabo un muestreo estratificado entre los agricultores y cultivos de las cuatro comarcas con mayor superficie invernada, es decir. Campo de Dalías, Campo de Níjar, Bajo

Andarax y Bajo Almanzora. Así pues, una vez determinados los cultivos más representativos de cada zona, se han seleccionado aleatoriamente a los agricultores que han participado en esta muestra. En concreto, los agricultores encuestados se han seleccionado a partir de las propuestas recibidas por el grupo asesor que se que se constituyó en la fase de concepción del estudio de campo.

En definitiva, se han llevado a cabo 212 encuestas, distribuidas entre los catorce municipios considerados, de las que 156 corresponden a un muestreo por cuotas y el resto (56) a uno de tipo aleatorio, por estratos.

Tabla 16. Representatividad de la muestra

Comarca	Municipios	ha de invernadero	Superficie encuestada	p	q
Bajo Andarax	Alhama de Almería	30	2,1	0,07	0,93
	Almería	2.208	38,0	0,02	0,98
	Benahadux	13	2,6	0,20	0,80
	Pechina	146	1,6	0,01	0,99
	Viator	106	3,2	0,03	0,97
Campo de Dalías	Adra	1.336	9,0	0,01	0,99
	Berja	1.476	11,2	0,01	0,99
	El Ejido	12.215	210,9	0,02	0,98
	La Mojonera	1.356	40,7	0,03	0,97
	Roquetas de Mar	1.899	61,6	0,03	0,97
	Vícar	1.834	36,6	0,02	0,98
Campo de Níjar	Níjar	4.941	212,8	0,04	0,96
Bajo Almanzora	Cuevas del Almanzora	234	52,3	0,22	0,78
	Pulpí	184	2,5	0,01	0,99
Resto comarcas	Resto municipios	598	-	-	-
Total		28.576	685,0	0,02	0,98

Fuente: elaboración propia.

Dado el tamaño de la población objeto de estudio, se han realizado 212 encuestas, distribuidas entre los catorce municipios considerados. Para ello, se ha tenido en cuenta que el margen de error para el total de la muestra es del $\pm 2,26$ %, con un nivel de confianza del 95 %. Analíticamente, el tamaño muestral se ha obtenido aplicando la siguiente fórmula estadística para la proporción de poblaciones finitas:

$$n = \frac{N}{1 + \left(\frac{d}{z_{\alpha/2}} \right)^2 \cdot \frac{(N-1)}{\bar{p} \cdot \bar{q}}}$$

Donde, para la población de referencia, se considera que:

- «n» es el tamaño muestral mínimo, es decir, 685 ha invernadas encuestadas.
- «N» es el tamaño de la población de referencia, es decir, la superficie de invernadero estimada. En nuestro caso: 28.576 ha.
- «d» es el error muestral estándar. En nuestro caso: 1,132 % ($\pm 2,26$ % de margen de error).
- « $Z_{\alpha/2}$ » es la variable tipificada, al nivel de significación α , es decir, 1,96 para un nivel confianza del 95 %.
- « \bar{p} » es la probabilidad promedio del suceso considerado, es decir, encuestar a una explotación invernada en cualquiera de los catorce municipios considerados.
- « \bar{q} » es la probabilidad promedio del suceso contrario al considerado.

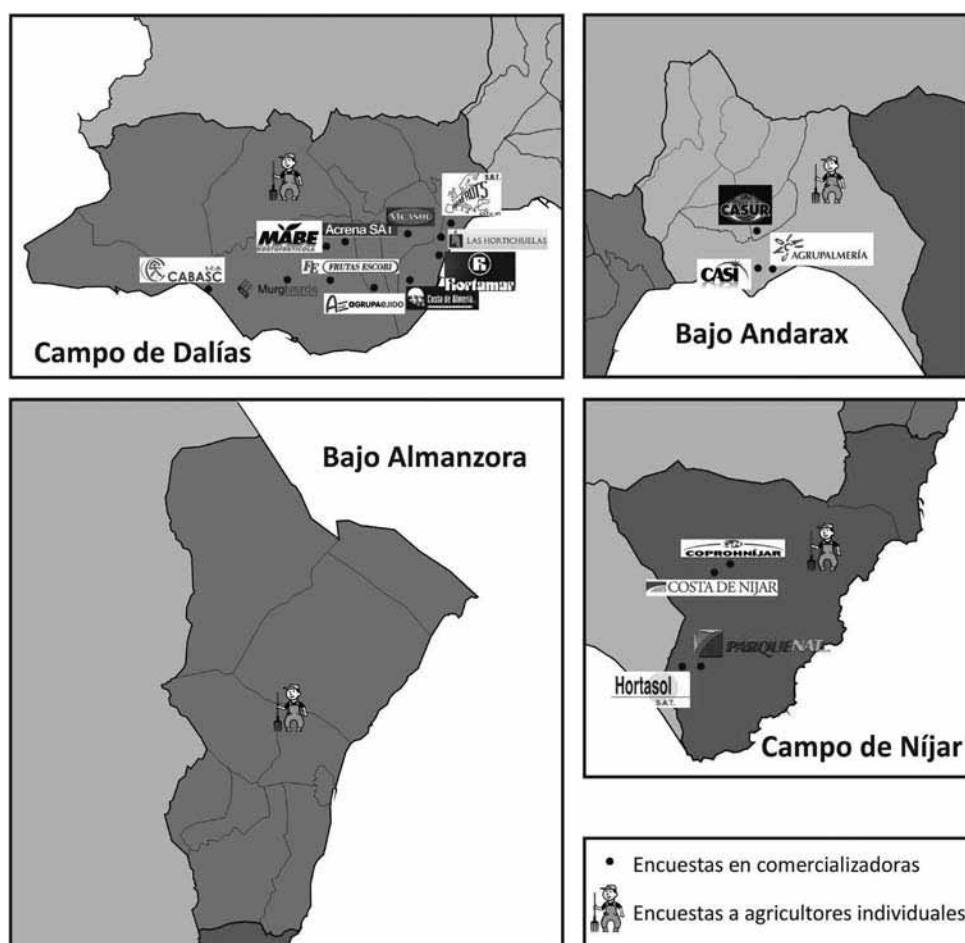
En definitiva, se trata de una muestra representativa del sector de la agricultura intensiva de la provincia de Almería, tanto por el escaso error muestral en el que se incurre, como por la forma en la que se ha procedido a seleccionar y encuestar a los agricultores de los catorce municipios.

3.3. Obtención de datos procedentes de las empresas comercializadoras

La información procedente directamente de los agricultores se ha contrastado y ampliado con la facilitada por la empresa que le comercializa sus productos. En el trabajo han participado 18 de las principales empresas comercializadoras de Almería (Figura 145) y han cumplimentado un fichero informático relativo a las 6 últimas campañas agrícolas (desde 2006/07 hasta 2011/12) con tres grandes apartados:

- Datos de comercialización: producto y variedad, volumen comercializado en euros y kilogramos.
- Datos de la explotación: ubicación de la finca, superficie total, superficie invernada y tipo de invernadero.
- Otros datos: adquisición de insumos en comercializadora, planificación de cultivos en función del criterio de la comercializadora y sistema previo de clasificación del producto antes de entrar en almacén.

Figura 145. Puntos en cada comarca de captura de los datos en campo



4. Análisis de las infraestructuras productivas de invernaderos y su impacto económico

A partir de los datos obtenidos en las encuestas a los agricultores se puede conseguir una caracterización del sistema productivo de los invernaderos, tanto en el conjunto de la provincia de Almería como en cada una de las cuatro comarcas productoras analizadas. El estudio se ha realizado sobre 212 agricultores y 685 ha de invernaderos. La mayoría de aquellos se sitúan en el Campo de Dalías (132), seguidos por el Campo de Níjar (43), el Bajo Andarax (28) y el Bajo Almanzora (9).

Además, para muchos de los parámetros estudiados, se dispone como punto de referencia de los datos correspondientes a la encuesta realizada en 1997 (Molina-Aiz, 1997), que ayudan a entender la evolución que han seguido las estructuras productivas de Almería en los últimos 16 años.

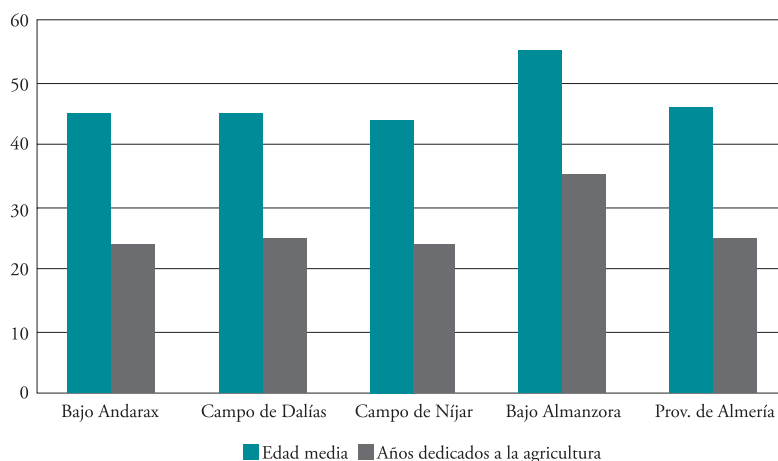
4.1. Datos personales

La gran mayoría de los agricultores encuestados son propietarios de la tierra (86 %) y oriundos del lugar (92 %) con un nivel de estudios básico (57 %), siendo su edad media de 46 años, con una experiencia de 25 años.

Edad media

Cabe destacar la homogeneidad de los datos obtenidos sobre edad y experiencia en las tres primeras comarcas con mayor superficie invernada (Campo de Dalías, Campo de Níjar y Bajo Andarax) y la diferencia con los agricultores del Bajo Almanzora (Gráfico 8). La experiencia de estos últimos se remonta a finales de la década de los 70 (35 años de media), cuando aun apenas existían invernaderos. Esto indica que en muchos casos son agricultores que cultivaban en las huertas tradicionales ubicadas en los márgenes del río Almanzora y características de toda la cuenca de este río, y que posteriormente se fueron transformando en cultivos bajo plástico.

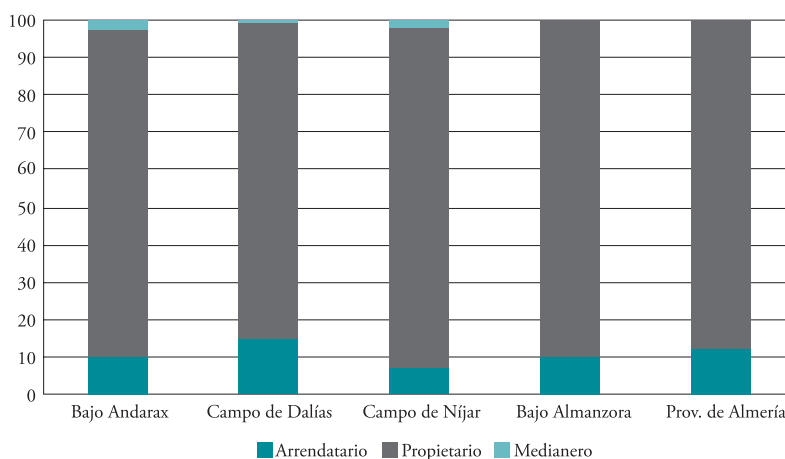
Gráfico 8. Edad media y experiencia de los encuestados. En años



Gestión de las explotaciones y procedencia de los agricultores

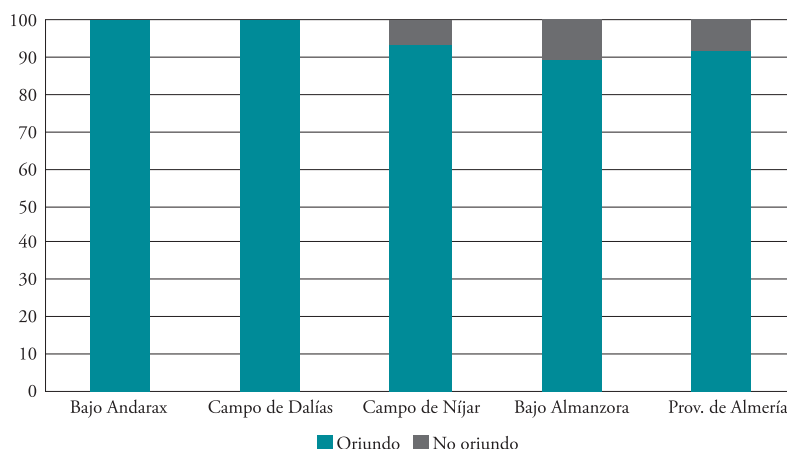
La mayor parte de los agricultores son propietarios de las explotaciones, variando las medias levemente en función de las comarcas entre un 85 y 90 % (Gráfico 9). Este factor ha sido fundamental en el desarrollo económico del sector, y en general de la provincia, ya que los propios agricultores que gestionan las explotaciones son los receptores del beneficio obtenido.

Gráfico 9. Régimen de gestión de la explotación. En porcentaje



Del mismo modo que en el caso anterior, la mayoría de los agricultores proceden de la zona geográfica donde están afincadas sus explotaciones, destacando además que en las dos zonas con tradición hortícola previa al desarrollo de los invernaderos (Bajo Andarax y Bajo Almanzora) la totalidad de los agricultores encuestados eran oriundos de la propia comarca (Gráfico 10).

Gráfico 10. Procedencia geográfica del agricultor. En porcentaje

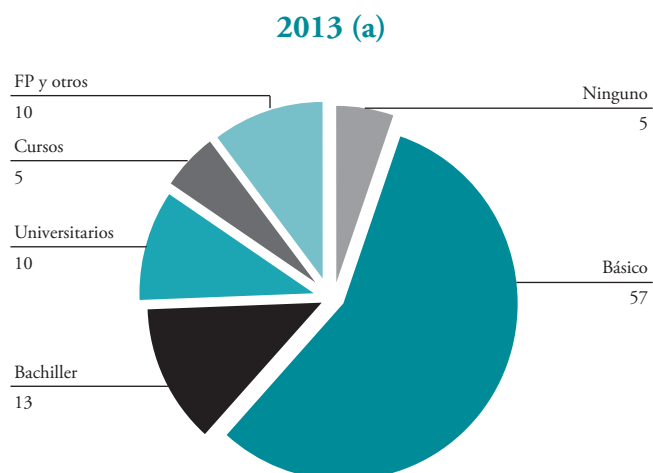


Nivel de estudios y ocupación de los agricultores

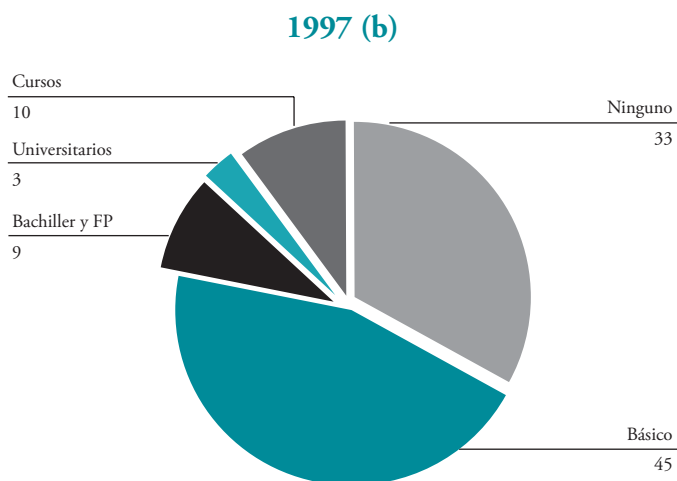
El nivel de la formación de los agricultores ha aumentado considerablemente en los últimos 16 años, de forma que en 1997 un 33 % de ellos carecía de estudios, siendo en la actualidad únicamente un 5 % (Gráfico 111). Los agricultores con formación superior a los estudios básicos, suponen en la actualidad el 38 %, mientras que en 1997 eran un 22 %. De igual forma, los agricultores con estudios universitarios han pasado de un 3 al 10 % actual.

El nivel de estudios de los agricultores es bastante homogéneo entre las diferentes comarcas productoras. Sin embargo, se puede destacar que en el Campo de Níjar el porcentaje de agricultores sin estudios se reduce a un 2 % y que en el Bajo Almanzora más de la mitad de los agricultores tienen estudios universitarios (un 56 %), mientras que en 1997 un 80 % de los encuestados en esa comarca carecía de estudios básicos (la muestra de nueve respuestas hace albergar dudas sobre la representatividad de este resultado).

Gráfico 11. Evolución del nivel de estudios de los agricultores entre 2013 y 1997. En porcentaje



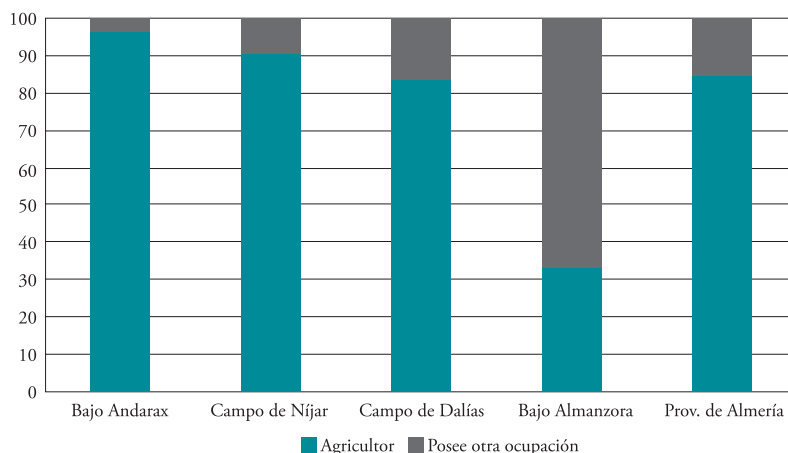
Fuente: encuesta realizada a agricultores. Elaboración propia.



Fuente: Molina-Aiz (1997).

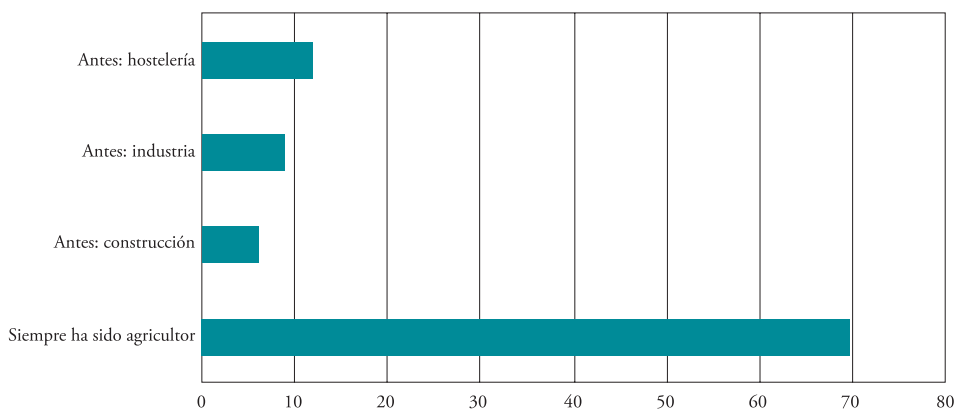
El 16 % de los encuestados poseen otra ocupación además de los invernaderos, la agricultura ha sido en un 70 % de los casos el precedente laboral que han tenido (Gráficos 12 y 13).

Gráfico 12. Dedicación exclusiva a la agricultura. En porcentaje



El principal sector de procedencia del otro 30 % de encuestados que se ha cambiado a la agricultura es la hostelería (Gráfico 13), debido a la gran importancia del sector turístico en la provincia de Almería.

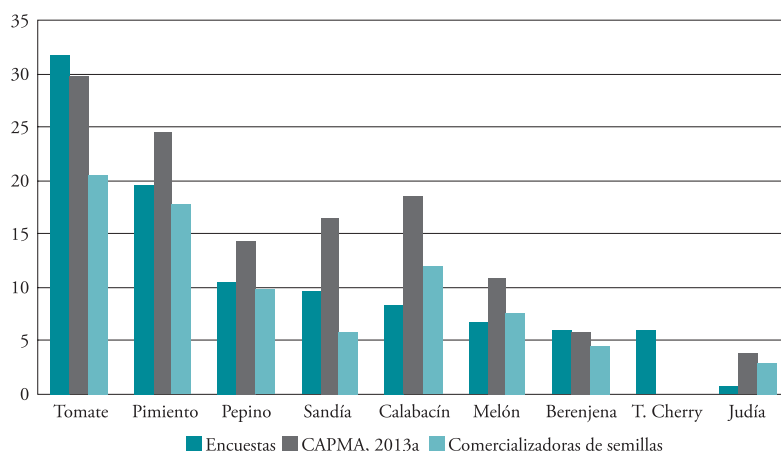
Gráfico 13. Precedente laboral al trabajo en los invernaderos. En porcentaje



4.2. Cultivos

El reparto de los distintos cultivos que sembraron o trasplantaron los agricultores muestreados en sus invernaderos (Gráfico 14), muestra resultados similares a las distribuciones de superficie para el conjunto de la provincia calculada por la Junta de Andalucía y estimada a partir de datos proporcionados por varias empresas productoras de semillas. El principal cultivo en los invernaderos de Almería es el tomate, que supone un 37,7 % del total (sumando el tomate *Cherry*), seguido del pimiento con un 19,5 % de la superficie cultivada. Después encontramos cuatro cultivos con porcentajes similares, entre un 6 y un 10 %, como son el pepino, la sandía, el calabacín, el melón y la berenjena. La judía con solo un 0,7 % es el cultivo menos extendido.

Gráfico 14. Cultivos realizados por los agricultores encuestados en las tres últimas campañas y estimaciones de la superficie total en la provincia de Almería por la Junta de Andalucía y por las comercializadoras de semillas. En porcentaje

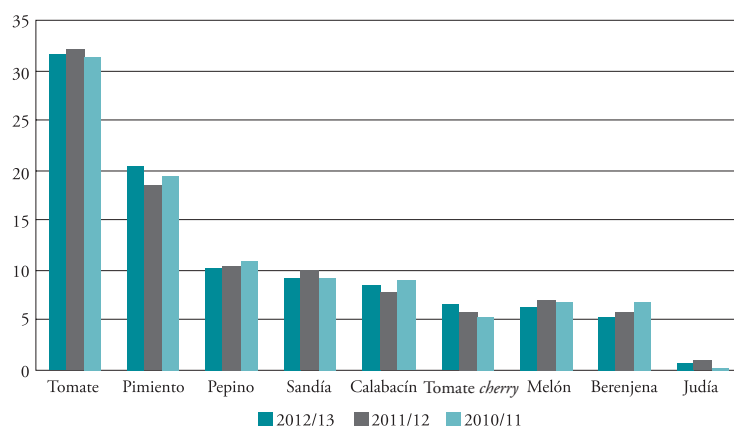


Fuente: encuestas realizadas por la Junta de Andalucía (CAPMA, 2013a).

El análisis de las tres últimas campañas agrícolas (Gráfico 15) muestra una gran homogeneidad, puesto que en un 80,9 % de los casos estudiados los agricultores repitieron cultivo dos años seguidos. Esto supone que los agricultores se especializan en ciertos cultivos de forma que pueden aprender de lo ocurrido en una campaña para la siguiente. También refleja la labor de regulación por parte de las empresas comercializadoras que permite conocer

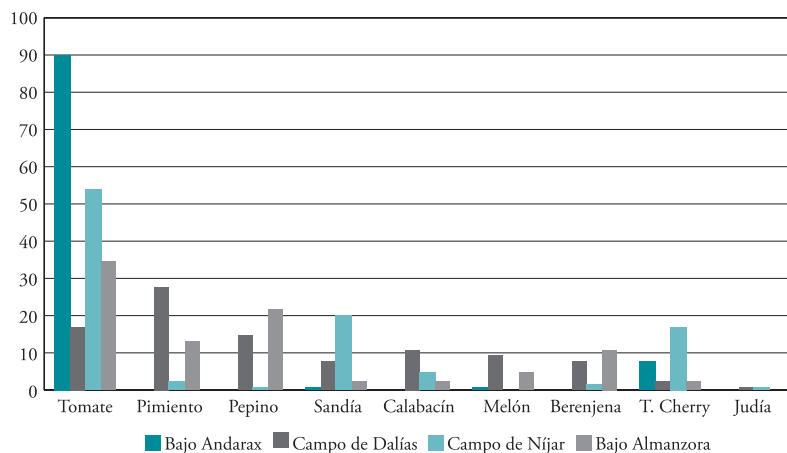
de antemano las superficies ocupadas por cada cultivo (como indica la concordancia entre los datos de las empresas de semillas y las encuestas) facilitando la regulación de los precios.

Gráfico 15. Cultivos realizados por los agricultores encuestados en las tres últimas campañas. En porcentaje



Otro aspecto destacable son las grandes diferencias existentes en el reparto de los cultivos en cada una de las cuatro zonas productivas (Gráfico 16).

Gráfico 16. Cultivos realizados por los agricultores encuestados en las tres últimas campañas en las diferentes comarcas productoras de Almería. En porcentaje



Los datos analizados muestran una fuerte especialización en las comarcas del Bajo Andarax y del Campo de Níjar en el cultivo del tomate, donde este supone un 97,8 y 71,1 %, respectivamente. En el Campo de Níjar la sandía supone un 19,7 % de la ocupación, correspondiente a los cultivos de primavera-verano que siguen a un primer cultivo de tomate de ciclo corto en otoño-invierno. Por último, prácticamente la totalidad de los productores del Bajo Andarax (un 97,7 % de los encuestados) realizan cultivos de tomate de ciclo largo.

La elevada especialización del Bajo Andarax y del Campo de Dalías se debe a que sus características edafo-climáticas las hacen excepcionalmente adecuadas para el cultivo del tomate. Los suelos de esta zona geográfica son de tipo sódico-salinos, que se caracterizan por elevados contenidos en sales solubles. Como consecuencia de ello presentan valores de conductividad eléctrica muy altos ($CE > 6 \text{ dSm}^{-1}$), un elevado porcentaje de sodio intercambiable ($PSIc > 10$) y un pH inferior a 8,5. Del mismo modo, el efecto del mar Mediterráneo sobre el clima de la zona le permite tener unas condiciones térmicas ideales para el cultivo del tomate.

Fruto de esta gran especialización ha sido el reconocimiento, mediante la Orden de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía de 30 de enero de 2008 (BOJA núm. 28 de 8 de febrero de 2008), de la Indicación Geográfica Protegida «Tomate La Cañada». La posterior Orden de 17 de enero de 2012 (BOJA núm. 16 de 25 de enero de 2012) modificó el Pliego de Condiciones. En este se indica, entre otras cosas, la prohibición del uso de técnicas de cultivo que supongan una modificación artificial del clima, del suelo o del agua. Esta prohibición incluye los sistemas de control climático artificiales (calefacción, nebulización o enriquecimiento carbónico) puesto que es el clima específico de la zona geográfica (radiación incidente, temperaturas, humedad y vientos dominantes), así como las aguas y los suelos los que influyen en el tomate dándole unas características específicas y diferenciales. En el Reglamento de Ejecución Nº 487/2012 de la Comisión Europea de 7 de junio de 2012 fue inscrita la denominación «Tomate La Cañada» en el Registro de Denominaciones de Origen Protegidas y de Indicaciones Geográficas Protegidas de la Unión Europea (Diario Oficial de la Unión Europea L 150/67 de 9 de junio de 2012).

En la comarca del Bajo Almanzora el cultivo más importante también es el tomate, que supone un 37 % (sumando el tomate *cherry*), seguido del pepino con un 21,7 %, del pimiento (13 %) y de la berenjena (10,9 %).

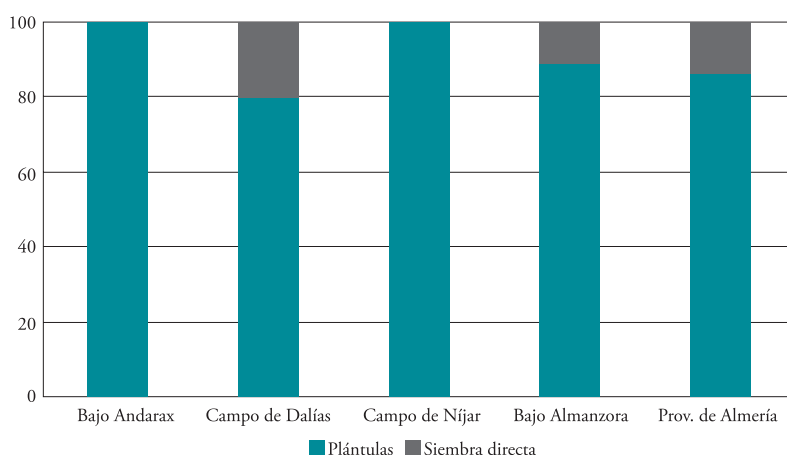
En el Campo de Dalías el cultivo más importante es el pimiento que comprende un 27,7 % de la producción, relegando al tomate al segundo puesto a una considerable distancia (19,8 %). Las producciones de pepino, calabacín, melón, berenjena y sandía se distribuyen sin grandes diferencias con valores que van del 14,3 % del primero al 7,8 % de las dos últimas.

Siembra y preparación de la plántula

La mayoría de los agricultores (86,1 %) realizan trasplante de plántulas sembradas en semillero (Gráfico 17), sobre todo en las comarcas del Campo de Níjar y del Bajo Andarax, debido a su especialización en el cultivo del tomate, que no se suele sembrar en el invernadero, sino que se trasplanta. En el Campo de Dalías la siembra directa representa el 20,3 % de los encuestados debido a la gran importancia en esta comarca de cultivos como el pepino y el calabacín que se pueden sembrar de forma directa al igual que el melón.

La preparación de las plántulas para el trasplante se realiza en semilleros en la práctica totalidad de los casos (95,3 %). Solo un 2 % de los agricultores del Campo de Dalías realiza su propia almajara para disponer de las plántulas que después se trasplantan al invernadero.

Gráfico 17. Realización de trasplante con plántulas en las diferentes comarcas y en el conjunto de la provincia. En porcentaje



Control de malezas y realización de análisis foliares

La eliminación de las malezas que emergen dentro del invernadero se realiza mayoritariamente de forma manual, siendo en un 34 % de los casos exclusivamente con las manos, en un 16 % ayudándose de herbicidas y en un 39,6 % utilizando herramientas junto con las manos (Gráfico 18). Sólo un 2,7 % de los agricultores efectúan el control de malezas exclusivamente mediante herbicidas y en un 3,6 % no realizan el control de hierbas, correspondiendo con los casos que realizan cultivos en sustrato.

Donde más se realiza la escarda de forma manual es en las comarcas del Bajo Andarax y del Bajo Almanzora, de mayor tradición hortícola, y donde esta técnica está más arraigada por razones culturales, ya que es anterior a la implantación de los invernaderos.

La mayoría de los agricultores realiza análisis foliares para controlar la fertilización del suelo (Gráfico 19). La mayor parte realizan los análisis a través de las cooperativas, lo que indica la importante labor de asesoramiento que realizan los técnicos agrícolas en el seguimiento de los cultivos y la corrección de las deficiencias del proceso productivo. El papel fundamental que siempre han tenido los técnicos, que asesoran a los agricultores en los invernaderos de Almería, se verá reforzado en el futuro por la entrada en vigor del Real Decreto 1311/2012 de 14 de septiembre. Este reglamento establece la necesidad de asesoramiento técnico por parte de los agricultores en gestión integrada de plagas (BOE Núm. 223 de 15 de septiembre de 2012) plasmado mediante un contrato.

Gráfico 18. Métodos de control de malezas. En porcentaje

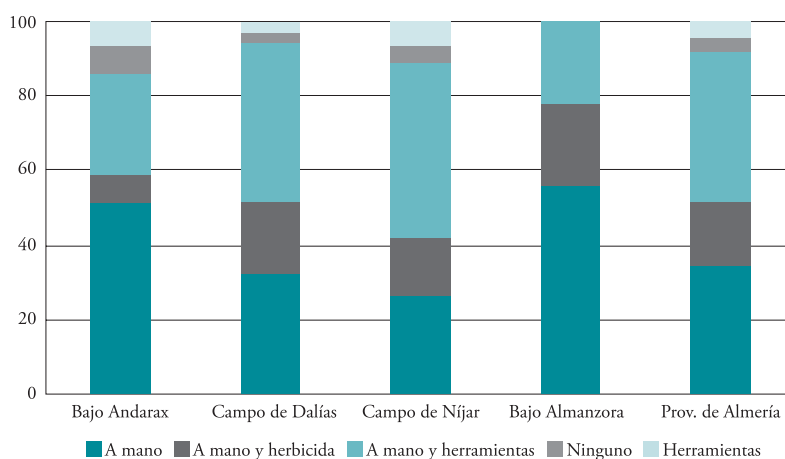
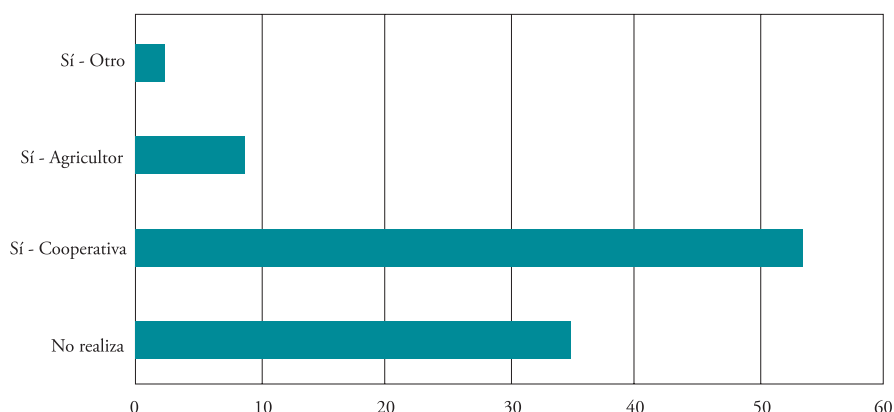


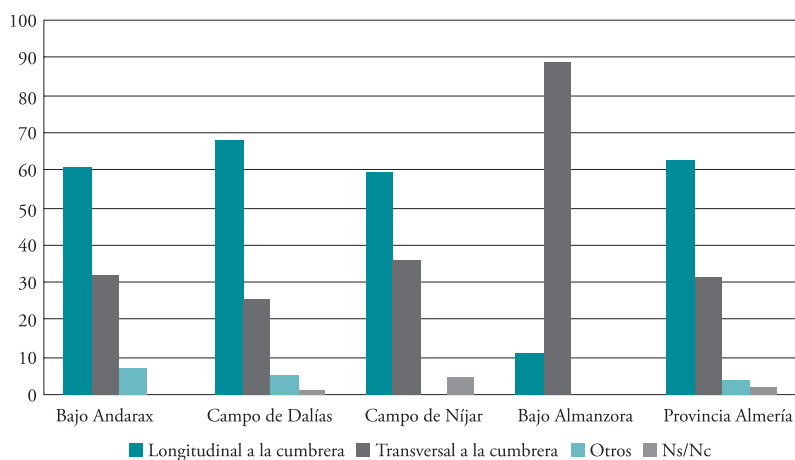
Gráfico 19. Realización de análisis foliares. En porcentaje



Disposición del cultivo en el invernadero

En el 63 % de los invernaderos muestreados los agricultores disponen las líneas de plantas orientadas en la misma dirección que las cubreras del invernadero (Gráfico 20), que en el 76,9 % de los casos es la orientación Norte-Sur, aunque en la comarca del Campo de Dalías un 55,6 % de los invernaderos siguen una orientación E-O (apartado 4.7; Gráfico 60; p. 292).

Gráfico 20. Orientación de las líneas de cultivo. En porcentaje



También es destacable como en el Bajo Almanzora el 89 % de los agricultores dispone las líneas de cultivo perpendiculares a la cumbrera, a diferencia del resto de comarcas. Hay que tener en cuenta que la disposición de las líneas de cultivo está muy relacionada con la orientación de los pasillos por donde se debe sacar la producción, de forma que en un 65,9 % de los invernaderos los pasillos se colocan transversalmente a la cumbrera (70 % longitudinales en el Bajo Almanzora). Las líneas de cultivo presentan en casi todos los casos la disposición perpendicular a los pasillos, de forma que las tuberías principales de riego se pueden colocar paralelos al pasillo, y las calles entre las líneas de cultivo resultan más cortas.

La orientación de las líneas de plantas afecta de dos formas distintas a los cultivos: de una parte, determina la interceptación de radiación solar a lo largo del día y del año, y de otra, influye en el flujo de aire a través del dosel vegetal. El efecto de la orientación de las líneas de plantas en la interceptación de radiación fotosintéticamente activa (PAR) varía en función de la hora del día, las estaciones, la latitud y la geometría del cultivo (Jackson, 1980). Así, para latitudes de 35°N próxima a la de las zonas ocupadas por los invernaderos en Almería (entre 36,5° y 37°N) la orientación de las líneas de cultivo E-O permite obtener una mayor irradiación diaria que la orientación N-S durante los meses invernales y principio de la primavera, cuando mayores necesidades de luz tienen los cultivos (Li *et al.*, 2000), siendo a la inversa en los periodos de verano-otoño (Jackson y Palmer, 1972; Ferguson, 1960).

De igual forma la orientación de las líneas de cultivo perpendiculares al viento exterior, normalmente paralelas a las cumbreras, y por lo tanto, a las ventanas cenitales, puede llegar a reducir la velocidad del aire en el dosel vegetal. Así, se han observado disminuciones de entre un 28 % y un 63,9 %, como consecuencia de la mayor resistencia aerodinámica que presentan al flujo de aire en comparación a la disposición perpendicular a las cumbreras y paralelas a la dirección del viento (Sase, 1989; Boulard *et al.*, 1997, Kacira *et al.*, 2004b). Cuando las plantas se disponen paralelas al viento, el flujo de aire se introduce en el dosel por las calles existentes entre dos líneas de cultivo (López, 2011), reduciendo así la resistencia que oponen las plantas al movimiento de aire en caso de estar colocadas perpendicularmente (Fatnassi *et al.*, 2009). En los invernaderos de tipo Almería, este efecto se ve reducido por la disponibilidad de ventanas laterales en todas las bandas del invernadero, lo que permite siempre el paso del aire entre las filas de plantas.

Como se puede observar en la Tabla 17, la variabilidad en la densidad de plantación es más grande entre cultivos que entre zonas geográficas. Cabe destacar como en el Campo de Níjar, una de las zonas más especializada en el cultivo del tomate, se trabaja con una densidad de 1,72 plantas/m², considerablemente superior a la media de la provincia y del resto de comarcas. Del mismo modo se puede observar como el cultivo de sandía presenta una densidad de plantación de 0,29 plantas/m² muy inferior al resto. En el caso del pimiento, que no alcanza una gran altura, se puede trabajar con densidades de hasta 2 plantas/m².

Tabla 17. Densidades de plantación para cada uno de los cultivos en las diferentes comarcas productoras y en el conjunto de la provincia. En plantas/m²

Comarca	Tomate	Pepino	Pimiento	Calabacín	Judía verde	Sandía	Melón	Berenjena
Bajo Andarax	1,36							
Campo de Dalías	1,30	1,05	1,91	0,94	0,69	0,31	0,85	0,66
Campo de Níjar	1,72		2,00	0,81	1,00	0,25		
Bajo Almanzora	1,48	1,26	1,50	1,00		0,55	2,00	2,00
Provincia Almería	1,48	1,07	1,90	0,93	0,75	0,29	0,89	0,77

Las principales diferencias entre comarcas corresponden con mayores densidades utilizadas en general en el Bajo Almanzora, que podrían estar relacionadas con la diferencia de orientación de las líneas de cultivo y por la diferencia de climatología de esta comarca con relación a las otras tres. En el caso del melón, se debe a que en esta comarca se cultiva el melón Galia de porte alto y tutorado, lo que permite mayor densidad que las variedades rastreras.

La densidad de plantación es un factor que afecta directamente a la producción de los cultivos en invernaderos. Así para el caso del tomate se pueden obtener mayores producciones con elevadas densidades de plantas (3 plantas/m²) que para bajas densidades (Papadopoulos y Pararajasingham, 1997). La mayor producción de los cultivos más densos puede deberse al incremento en la producción de biomasa asociado al aumento de la interceptación de radiación PAR. Estos incrementos pueden estar relacionados a dos factores: el aumento de la cantidad de biomasa genera un mayor número de frutos, y además, proporciona un índice de área foliar (LAI) superior que permite interceptar más proporción de radiación PAR (Papadopoulos y Pararajasingham, 1997).

Rendimiento de los cultivos en invernadero

El rendimiento medio de los cultivos es variable (Tablas 18 y 19), puesto que depende del conjunto de factores analizados en este estudio: cultivar, zona climática, calidad del agua de riego, tipo de estructura, superficie de ventilación, sistemas de control climático, manejo del cultivo, etc. Las dos tablas siguientes muestran los rendimientos medios de las tres últimas campañas agrícolas (desde la 2010/11 hasta la 2012/13), por comarcas en la Tabla 18 y por tipo de invernadero en la Tabla 19.

La berenjena ha mostrado un rendimiento medio en invernaderos tipo Almería, en torno a 7 kg m^{-2} para ciclos cortos y $12,65 \text{ kg m}^{-2}$ para ciclos largos. El calabacín no ha experimentado incrementos productivos al utilizar estructuras más caras, como los multitúnel, frente al invernadero tipo Almería. El rendimiento medio ha sido de $4,24 \text{ kg m}^{-2}$ para el ciclo de otoño-invierno, y de $5,01 \text{ kg m}^{-2}$ para el de primavera-verano. El rendimiento medio para la judía verde ha sido de 3 kg m^{-2} , para el melón de $4,6 \text{ kg m}^{-2}$ y para la sandía de $6,14 \text{ kg m}^{-2}$. El pepino sí ha mostrado diferencias de producción en función del tipo de estructura, con un rendimiento medio en el ciclo de otoño para el invernadero tipo Almería de $10,75 \text{ kg m}^{-2}$ y de $12,67 \text{ kg m}^{-2}$ para el multitúnel. El rendimiento medio del ciclo de otoño invierno ha sido de $10,64 \text{ kg m}^{-2}$, incrementándose hasta los $12,43 \text{ kg m}^{-2}$ en el ciclo de primavera verano.

Para una mejor comprensión de los resultados obtenidos para el cultivo del pimiento y dada su relevancia en Almería, especialmente en la comarca del Campo de Dalías, se han separado en cuatro tipos diferentes: californiana y lamuyo, tipo ramiro (incluye urano y palermo), dulce italiano, y otros (picantes y *snacks*).

El rendimiento de los tipos de pimiento californiana y lamuyo ha oscilado en torno a los $7,4 \text{ kg m}^{-2}$, para invernaderos tipo Almería, que han tenido mejor comportamiento que los multitúnel. Dada la mayor especialización en el Campo de Dalías, los agricultores de esta comarca han producido $1,5 \text{ kg m}^{-2}$ más que en las otras tres. El rendimiento medio para el pimiento tipo dulce italiano ha sido de $11,6 \text{ kg m}^{-2}$, $13,96 \text{ kg m}^{-2}$ para los del tipo ramiro, y en torno a 10 kg m^{-2} para los picantes y *snacks*.

El cultivo estrella en Almería es el tomate, apareciendo en todas las comarcas, ciclos y tipos de estructuras de invernaderos analizados en la muestra. El tomate tipo *cherry* ha sido extraído del resto por sus especiales características.

Tabla 18. Rendimientos medios (kg m⁻²) para cada uno de los cultivos en las diferentes comarcas productoras en función del ciclo de cultivo realizado

	Berenjena	Calabacín	Judía	Melón	Pepino	Pimiento california + lamuyo	Pimiento dulce italiano	Pimiento tipo ramiro	Otros pimientos (pícaes y snacks)	Sandía	Tomate	Tomate cherry
Ciclo corto	Bajo Andarax										9,06	
	Campo de Dalías	7,00	4,22		10,79	7,51			10,00		10,56	10,00
	Campo de Níjar		4,00			6,00					8,72	5,80
	Bajo Almanzora		5,00		9,00						6,00	
	Total Provincia	7,00	4,24		10,64	7,49			10,00		9,00	6,50
Primavera	Bajo Andarax			4,00						3,00	11,60	
	Campo de Dalías	8,00	5,01	3,00	12,43	7,30				6,21	11,74	8,00
	Campo de Níjar		5,00							6,22	11,53	
	Bajo Almanzora	6,83								6,00	11,33	
	Total Provincia	7,42	5,01	3,00	12,43	7,30				6,14	11,64	8,00
Ciclo largo	Bajo Andarax										16,91	12,42
	Campo de Dalías	12,73					11,60	14,45	11,75		15,59	11,00
	Campo de Níjar	10,00						11,50			17,69	12,09
	Bajo Almanzora								7,25		17,50	12,00
	Total Provincia	12,65					11,60	13,96	9,50		16,79	11,88

Tabla 19. Rendimientos medios (kg m⁻²) para cada uno de los cultivos según el tipo de invernadero utilizado

	Berenjena	Calabacín	Judía	Melón	Pepino	Pimiento california + lamuyo	Pimiento dulce italiano	Pimiento tipo ramiro	Otros pimientos (picantes y snacks)	Sandía	Tomate	Tomate cherry
Ciclo de otoño	Parral plano	3,59			9,25	7,54					8,38	
	Raspa y amagado	7,00	4,48		9,74	7,52					9,20	6,88
	Asimétrico	4,00			13,25	7,18			10,00		12,00	
	Cilíndrico				12,67						9,00	
	Gótico	4,00			5,00							
Ciclo de primavera	Todos los tipos	7,00	4,24		10,64	7,49			10,00		9,00	6,50
	Parral plano		4,66		4,40	11,50				4,50	12,25	
	Raspa y amagado	7,38	4,77	3,00	4,65	13,38	7,30			5,99	11,58	8,00
	Asimétrico		6,00		4,76	9,50				6,75	10,75	
	Cilíndrico				4,50							
Ciclo largo	Gótico		6,00							8,00	12,50	
	Todos los tipos	7,42	5,01	3,00	4,60	12,43	7,30			6,14	11,64	8,00
	Parral plano	11,38					11,60	11,00			15,95	
	Raspa y amagado	13,50					11,60	15,29	9,50		16,24	12,06
	Asimétrico	11,00						9,50			15,19	11,75
Multitúnel	Cilíndrico										18,54	9,00
	Gótico										15,00	13,00
	Todos los tipos	12,65					11,60	13,96	9,50		16,79	11,88

Los rendimientos para este cultivo han sido homogéneos por comarcas, especialmente en el ciclo de primavera-verano. Del mismo modo, se han comportado de manera similar para todos los tipos de estructuras de invernaderos, excepto para el ciclo largo, donde ha mostrado mayor rendimiento el tomate cultivado en estructuras de invernadero tipo multitúnel.

Se ha registrado para el tomate un promedio de 9 kg m^{-2} en el ciclo de otoño-invierno, de $11,64 \text{ kg m}^{-2}$ en el de primavera-verano y de $16,79 \text{ kg m}^{-2}$ para el ciclo largo. Para el tomate *cherry* los resultados medios en los diferentes ciclos han sido de $6,5 \text{ kg m}^{-2}$, 8 kg m^{-2} y $11,88 \text{ kg m}^{-2}$, respectivamente.

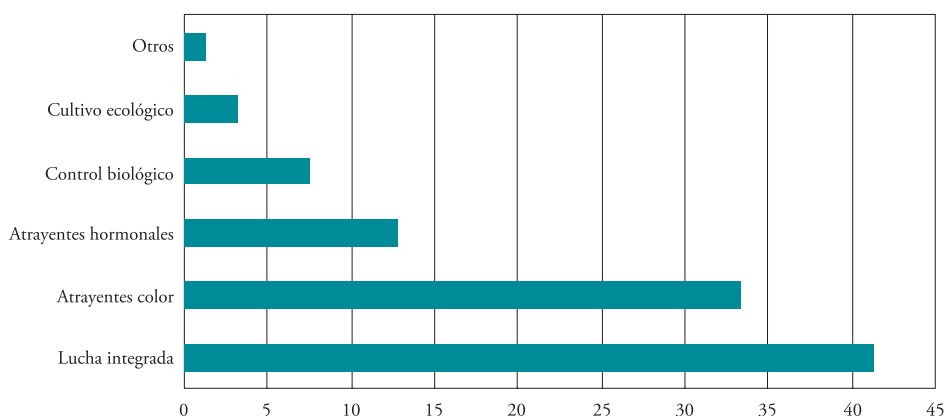
Los rendimientos medios del tomate en los invernaderos de Almería son muy inferiores a los indicados en países como Holanda de $56,5 \text{ kg m}^{-2}$ en invernaderos *venlo* de cristal con calefacción (van Zundert, 2012), en Canadá de $56,4 \text{ kg m}^{-2}$ en invernaderos de plástico con calefacción (Hendricks, 2012) o en Francia de 44 kg m^{-2} en invernaderos multitúnel de cubierta plástica con calefacción (Boulard *et al.*, 2011). Sin embargo, los invernaderos de Almería son más eficientes en el uso de la energía, obteniendo mayores rendimientos de producción en kilogramos producidos por unidad de energía consumida (Tabla 12). Además, las producciones medias de tomate en Almería ($16,8 \text{ kg m}^{-2}$) son competitivas comparándolas con otros invernaderos sin calefacción en Francia, con promedios de $14,6 \text{ kg m}^{-2}$ (Boulard *et al.*, 2011), y en Italia con $9,6 \text{ kg m}^{-2}$ (Cellura *et al.*, 2012).

Sistemas alternativos para el control de plagas

La mayor parte de los agricultores utilizan técnicas alternativas o complementarias al control de plagas mediante el uso tradicional de tratamientos fitosanitarios. El 42 % de los agricultores (Gráfico 21) ha optado por la lucha integrada, que supone el uso de un conjunto de técnicas para el control de plagas que satisfaga simultáneamente las exigencias económicas, ecológicas y toxicológicas, priorizando el uso de elementos naturales y respetando los niveles de tolerancia (Brader, 1975).

Un 7 % de los agricultores realiza exclusivamente control biológico, técnica aún más restrictiva que constituye un conjunto de métodos que aseguran la destrucción de insectos mediante la utilización racional de enemigos naturales procedentes de los reinos animal y vegetal (Balachowsky, 1951) como insectos entomófagos (parásitos, depredadores de insectos y ácaros) y microorganismos entomopatógenos (hongos, bacterias o virus) (Benassy, 1977).

Gráfico 21. Procedimientos sustitutivos o complementarios de los productos fitosanitarios. En porcentaje



Un pequeño porcentaje de los agricultores (3 %) ha llevado la restricción del uso de productos químicos en el invernadero hasta el cultivo ecológico, regulado en primera instancia por el Reglamento (CEE) nº 2092/91 del Consejo Europeo de 24 de junio de 1991 (DO L 198 de 22 de Julio de 1991) sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios, y posteriormente por normativa tanto a nivel nacional como regional. En este último caso, es en el Decreto 166/2003 de 17 de junio de 2003 (BOJA núm. 117 de 20 de junio de 2003) sobre la producción agroalimentaria ecológica en Andalucía, en el que se establecen los organismos de control y seguimiento en Andalucía.

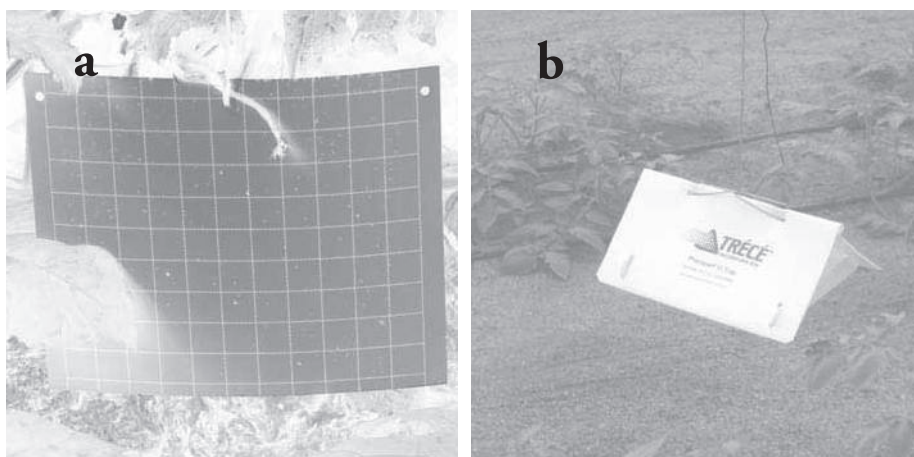
Un 34 % de agricultores utilizan trampas de color (Figura 146a), tanto como medida de control de plagas como sistema de supervisión de los niveles de infección en los invernaderos, mientras que un 13 % utilizan atrayentes hormonales (Figura 146b) como complemento al uso de productos fitosanitarios. Las trampas adhesivas azules y amarillas distribuidas por el invernadero, así como el empleo de feromonas para la captura de plagas siempre que sea posible, son medidas obligatorias en el Reglamento Específico de Producción Integrada de Cultivos Hortícolas Protegidos.

El uso de los atrayentes hormonales en trampas se ha mostrado como una herramienta eficaz en la lucha contra la reciente plaga de *Tuta absoluta* (Filho *et al.*, 2000; Abbas y Chermiti, 2011), de enormes perjuicios económicos para el sector (Desneux *et al.*, 2010), así como contra otras plagas en invernadero (Witzgall, 2001; Witzgall *et al.*, 2010).

Las trampas cromáticas azules y amarillas son un método de control y reducción de plagas eficaz, que permiten de forma sencilla detectar precozmente la presencia de insectos y medir la densidad de estos en el invernadero (Byrne *et al.*, 1986; Park *et al.*, 2001; Qiao *et al.*, 2008). Estas trampas se han convertido en un elemento esencial en los sistemas de control de plagas (Byrne *et al.*, 1986; Gillespie y Quiring, 1992; Heinz *et al.*, 1992; Steiner *et al.*, 1999; Park *et al.*, 2001). Además, sirven para estimar el nivel de infección y permiten reducir las poblaciones de insectos cuando se combinan con otras técnicas de control (Moreau e Isman, 2012).

Es importante destacar que en los invernaderos del Bajo Almanzora el cultivo ecológico asciende a un 40 % de la producción, junto con un 7 % de lucha integrada y sin que se haga uso de atrayentes hormonales en ninguno de los invernaderos analizados en esta comarca. En el resto de comarcas los resultados son bastante similares entre sí, y parecidos al promedio de la provincia, aunque en el caso del Bajo Andarax la lucha integrada asciende al 58 %, posiblemente como resultado de su especialización en el cultivo de tomate.

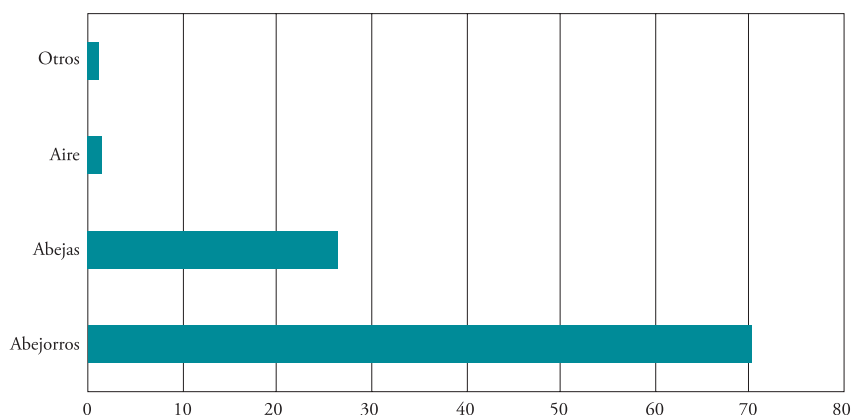
Figura 146. Trampas azules utilizadas para control de plagas (a) y trampa de feromonas utilizada para control de *Tuta absoluta* en invernaderos de Almería (b)



Métodos de polinización e injerto

En el 96,9 % de los casos encuestados los agricultores utilizan insectos auxiliares como método de polinización de las flores, principalmente con abejorros que suponen un 70,3 % (Gráfico 22). Tan solo un 1,5 % utiliza sopladores de aire para la realización de esta tarea.

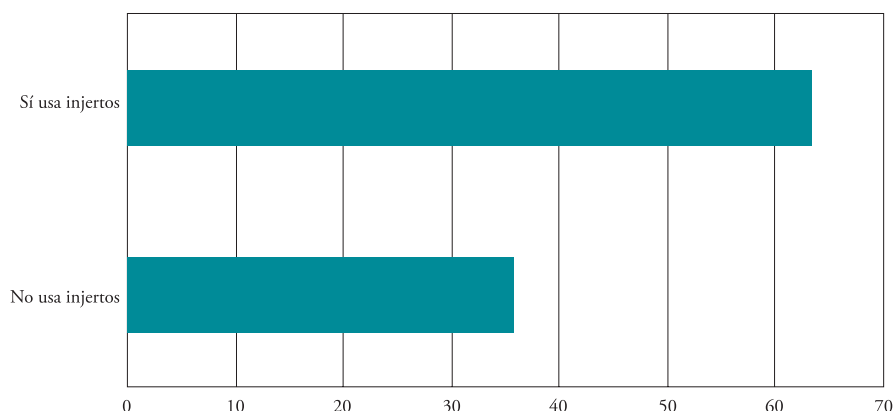
Gráfico 22. Métodos de polinización. En porcentaje



El uso de sopladores para realizar espolvoreado en vacío en las horas centrales del día es una técnica recomendada en el Reglamento Específico de Producción Integrada de Cultivos Hortícolas Protegidos cuando las condiciones sean adversas para favorecer la polinización, al principio del cuajado en verano. Igualmente este reglamento recomienda la colocación de colmenas de abejas (*Apis mellifera*) o de abejorros (*Bombus terrestris*) para mejorar la polinización y reducir al mínimo el número de frutos deficientes.

Es subrayable el hecho de que el 100 % de los agricultores encuestados en el Bajo Andarax y el Bajo Almanzora utilice abejorros como único método de polinización. En las otras dos comarcas los resultados son similares a la media provincial.

En cuanto al uso de injertos, se puede comentar que un 63,8 % de los agricultores encuestados utiliza cultivos injertados (Gráfico 23), correspondiente principalmente a tomate, sandía y berenjena. En el caso del pimiento los agricultores encuestados prácticamente no lo realizan y en el resto de cultivos (pepino, calabacín, melón y judía) todos los agricultores sembraban directamente en el invernadero.

Gráfico 23. Utilización de injertos y reparto por cultivos. En porcentaje

4.3. Maquinaria

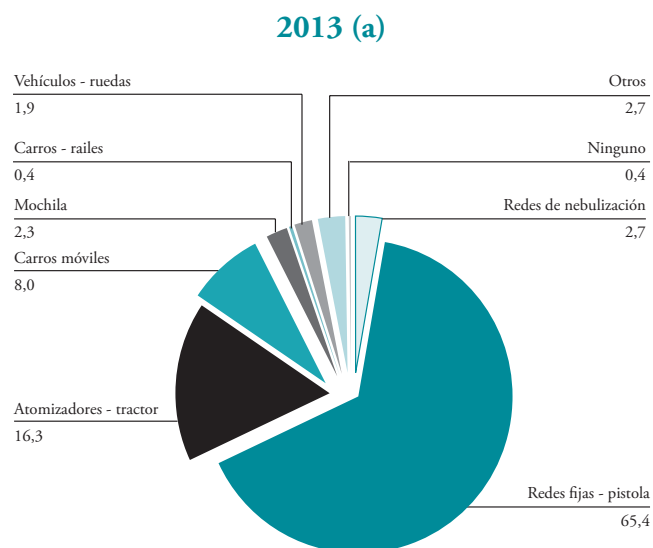
Otro de los aspectos fundamentales para entender el nivel productivo de los invernaderos de Almería es el nivel de mecanización de las labores culturales.

Maquinara para la aplicación de tratamientos fitosanitarios

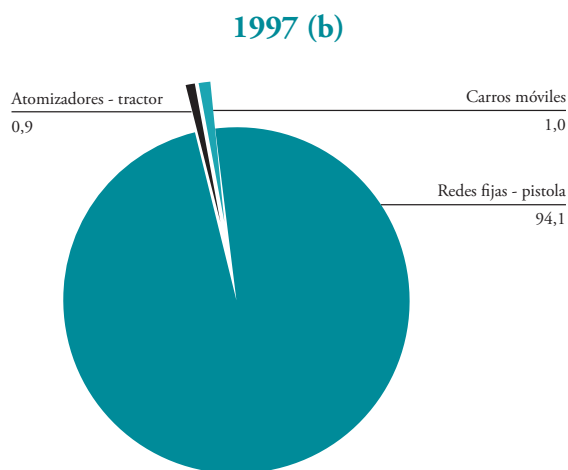
La maquinaria utilizada para la aplicación de tratamientos fitosanitarios ha sufrido una importante evolución en los últimos 16 años (Gráfico 24), de manera que han surgido una gran cantidad de nuevos equipos y tecnologías que han permitido al agricultor diversificar su forma de realizar los tratamientos. Así, las redes de nebulización suponen hoy día un 2,7 % del total, cuando en 1997 ninguno de los 526 invernaderos visitados disponía de este sistema. También se observa como se ha reducido de forma significativa el número de invernaderos que utilizan el sistema tradicional de redes de pulverización hidráulica fijas, pasando de un 94,1 % en 1997 al 65,4 % actual. Además, los dos sistemas que se utilizaban hace 16 años como alternativa a los estacionarios, los atomizadores hidroneumáticos suspendidos al tractor y los carros móviles semi-autónomos, son hoy día las dos grandes alternativas, ya que su uso se ha incrementado de un 0,9 y 1,0 % en 1997 (Gráfico 24b), a un 16,3 y 8,0 % en 2013 (Gráfico 24a), respectivamente.

En la actualidad también es destacable el uso de vehículos con ruedas, localizados sobre todo en la comarca del Bajo Andarax, donde llegan a suponer un 11 %; sin duda debido a que es en esta zona donde se localiza una de las principales empresas fabricantes de este tipo de equipos.

Gráfico 24. Evolución de la maquinaria utilizada para tratamientos fitosanitarios entre 2013 y 1997. En porcentaje



Fuente: encuesta realizada a agricultores. Elaboración propia.



Fuente: Molina-Aiz (1997).

En cuanto al uso de las diferentes técnicas por comarcas, es destacable que en el Bajo Almanzora un 30 % de los agricultores utiliza atomizadores hidro-neumáticos (cañones) semi-suspendidos al tractor y el resto las tradicionales redes de pulverización hidráulica. También es interesante observar el elevado

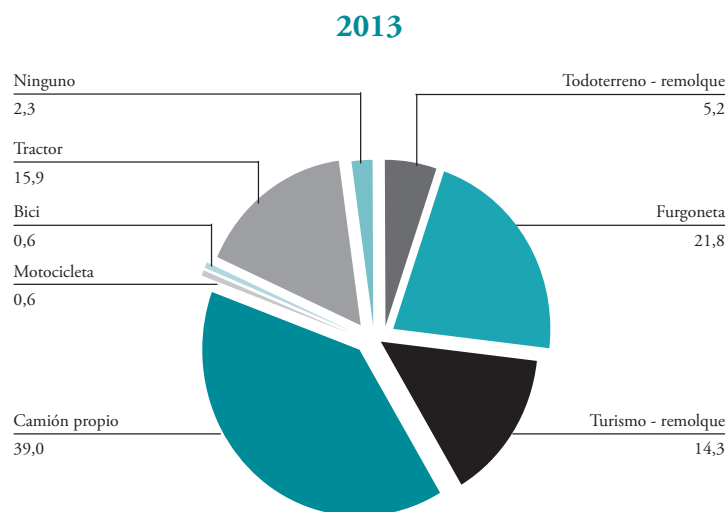
uso de las redes de nebulización hidro-neumática en la comarca del Campo de Níjar, donde se instalan en un 8 % de los invernaderos. En esta zona también se utilizan de forma notable los cañones semisuspendidos al tractor (22 %) por lo que el uso de las redes tradicionales de pulverización hidráulica se reduce en esta comarca al 45 %.

En el Campo de Dalías destaca el mayor uso de las redes de pulverización fijas (74 %) y el menor uso de las carretillas (3 %).

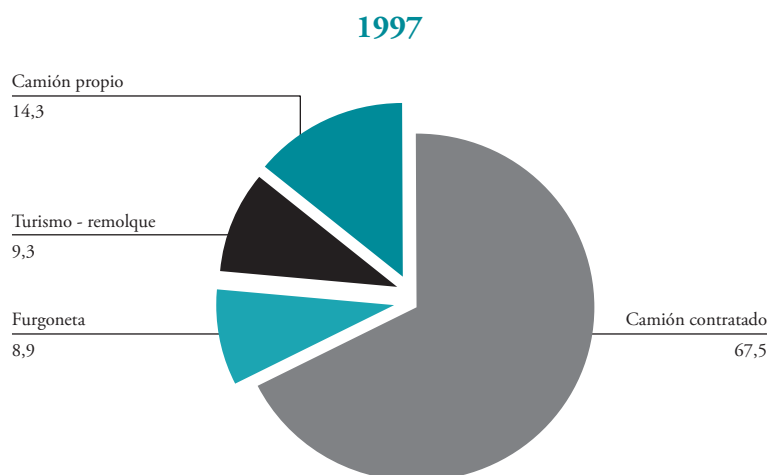
Vehículos utilizados en la explotación

Los vehículos utilizados por los agricultores se han diversificado (Gráfico 25), aumentando el uso de furgonetas de un 8,9 % en 1997 a un 21,8 % en 2013, y de los turismos con remolque que junto con los todoterrenos suponen en la actualidad el 19,5 %, cuando eran un 9,3 % en 1997. También se ha reducido el uso de camiones al 39 % actual.

Gráfico 25. Evolución entre 2013 y 1997 de los vehículos utilizados por los agricultores en la explotación agrícola. En porcentaje



Fuente: encuesta realizada a agricultores. Elaboración propia.



Fuente: Molina-Aiz (1997).

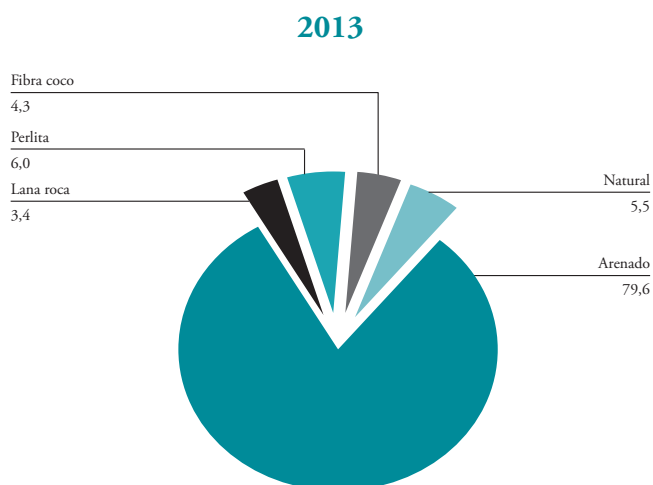
4.4. Suelo

Uno de los factores más determinantes en los invernaderos es sin duda el tipo de suelo. El uso de sustratos permite mayor control de la fertirrigación y suele estar asociado a mayores inversiones tecnológicas, tanto en la estructura como en los sistemas de control climático. Sin embargo, el uso del suelo arenado permite una mayor absorción de calor en la zona ocupada por el sistema radicular y una elevada estabilidad de la humedad en dicha zona (Mendizabal y Verdejo, 1959; Fernández y Pizarro, 1981), lo que favorece el desarrollo de las raíces del cultivo (Castilla *et al.*, 1986).

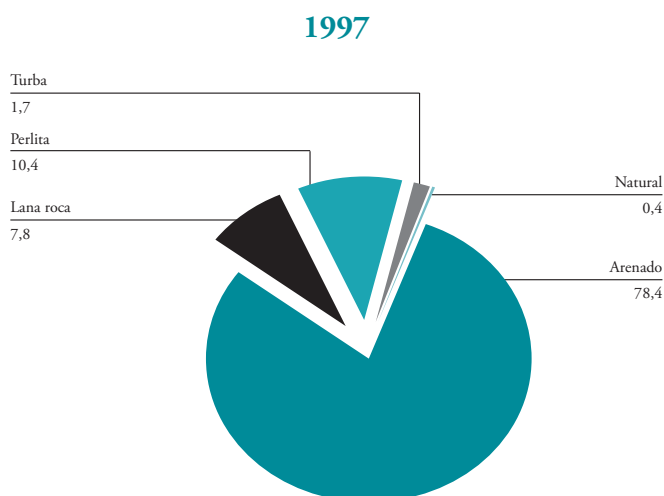
Tipo de suelo

La evolución del tipo de suelo parece ser un aspecto que apenas ha evolucionado en los últimos 16 años en el conjunto de la provincia (Gráfico 26), de forma que el suelo arenado sigue siendo el más utilizado, con un ligero incremento del 78,4 % de 1997 al 79,6 % actual. El uso de la lana de roca, de la perlita y de la turba se ha reducido (en beneficio de un considerable aumento del suelo natural 5,5 % actual frente al 0,4 % de 1997) y de la fibra de coco, no disponible hace 16 años, y que hoy día representa el 4,3 %.

Gráfico 26. Evolución entre 2013 y 1997 del tipo de suelo de los invernaderos de Almería. En porcentaje



Fuente: encuesta realizada a agricultores. Elaboración propia.



Fuente: Molina-Aiz (1997).

Analizando el uso del suelo en las diferentes comarcas (Tabla 20), se observa un aumento fundamental del uso del suelo natural en el Bajo Almanzora hasta un 66,7 %, cuando en 1997 sólo había cultivos en suelos arenados. Po-

siblemente, esto se deba a que la puesta en producción de nuevas zonas se ha realizado sobre el suelo autóctono, mientras que las antiguas explotaciones se realizaron con suelos arenados.

Tabla 20. Evolución del tipo de suelo de los invernaderos en las diferentes comarcas de invernaderos entre 2013 y 1997. En porcentaje

Comarca	Natural		Arenado		Lana roca		Perlita		Fibra de coco	Turba
Encuesta	2013	1997	2013	1997	2013	1997	2013	1997	2013	1997
C. de Dalías	3,9	0,0	78,6	72,4	2,6	11,2	9,1	13,9	3,9	2,5
Campo de Níjar	2,3	1,0	86,4	97,0	2,3	1,0	0,0	1,0	9,1	0,0
Bajo Andarax	0,0	2,5	89,3	77,5	10,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bajo Almanzora	66,7	0,0	33,3	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

También se aprecia en la Tabla 20 como en el Bajo Andarax actualmente se realiza un 10,7 % de cultivos en lana de roca cuando antes no se utilizaba, en contraste con su bajo uso en el Campo de Dalías y del Campo de Níjar, donde su aplicación se restringe al 2,3-2,6 %. También destaca el hecho de que la perlita sólo se utiliza en el Campo de Dalías con un 9,1 %, como ocurría en 1997 donde ocupaba un 13,9 %. Se observa igualmente que en esta comarca ha aumentado el uso del suelo arenado desde el 72,4 % de 1997 hasta el 78,6 % actual. En esta comarca el hueco dejado por la turba, que actualmente no se utiliza, parece haberlo ocupado la fibra de coco.

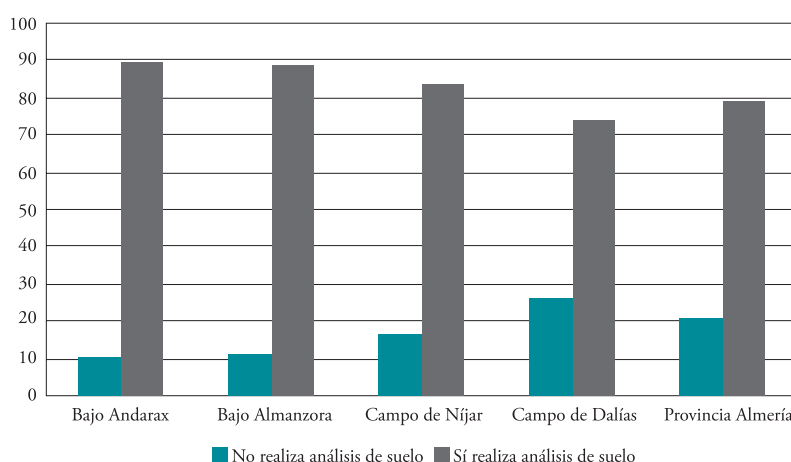
En el Campo de Níjar se observa sobre todo una reducción de los cultivos en suelos arenados, desde el 97 al 86,4 % actual. Dicha reducción se debe a la aparición de la fibra de coco, que supone en la actualidad un 9,1 % de los invernaderos, con un ligero aumento del uso de suelo natural y de la lana de roca.

La recirculación de la solución nutritiva en los cultivos sin suelo es del 60 % en el Campo de Níjar y de un 3,8 % en el Campo de Dalías, lo que supone sólo un 11,8 % en el conjunto de invernaderos con cultivo en sustrato en el conjunto de la provincia.

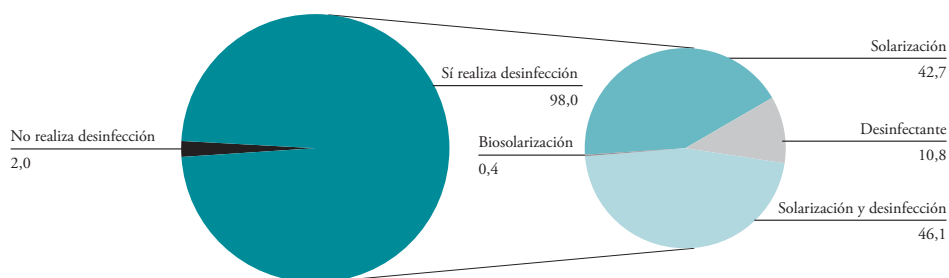
Análisis y desinfección del suelo

La mayoría de los agricultores (79 %) realizan análisis de suelo para controlar su fertilidad, llegando a valores del 89 % tanto en la comarca del Bajo Andarax como en la del Bajo Almanzora (Gráfico 27). Donde menos se analiza el suelo es en el Campo de Dalías en el que esta medida de control la realizan el 74 % de los agricultores.

Gráfico 27. Agricultores encuestados que realizan análisis de suelo. En porcentaje



El 98 % de los agricultores desinfecta el suelo del invernadero (Gráfico 28), principalmente mediante la técnica de solarización (42,7 %) o mediante la combinación de esta técnica con la desinfección química (46,1 %). Sólo un 10,8 % de los agricultores encuestados utiliza desinfectantes químicos. También es destacable el uso de la biosolarización en un 0,4 % de los invernaderos, correspondientes a la comarca del Campo de Dalías.

Gráfico 28. Agricultores encuestados que realizan desinfección de suelo

El recurso a la solarización como único sistema de desinfección del suelo llega a ser del 59 % en el Campo de Níjar, reduciéndose su uso simultáneo con desinfectantes químicos al 28 %. También se puede reseñar que en el Bajo Almanzora el 100 % de los agricultores encuestados desinfectan el suelo con solarización, de los que un 27 % combina esta técnica con la aplicación de desinfectantes químicos.

Los primeros tratamientos de desinfección del suelo consistían en la utilización de químicos biocidas o diversas formas de aplicación de calor (Pullman *et al.*, 1981) con el objetivo de reducir los inóculos transportados por el suelo de plagas de los cultivos como hongos, bacterias y nematodos patógenos, malezas y ciertos insectos. Este efecto proporciona protección y estimulación del crecimiento de las raíces y de la producción de los cultivos como consecuencia de los cambios en el micro-hábitat del suelo originados por complejos mecanismos (Chen *et al.*, 1991).

La solarización del suelo es un proceso hidro-térmico de desinfección natural de los patógenos de los cultivos en el suelo acolchado con láminas plásticas (normalmente polietileno transparente) mediante el calentamiento pasivo por la radiación solar durante la época más cálida del año (Stapleton, 2000; D'Emilio *et al.*, 2012). La solarización se produce por la combinación de diversos mecanismos físicos, químicos y biológicos, y es compatible con otros métodos de desinfección para conseguir un control integrado de plagas. Este método es sustitutivo de los desinfectantes químicos sintéticos y su uso en invernaderos se ha incrementado a nivel mundial como consecuencia de la prohibición de bromuro de metilo en 2005, el mayor fumigante químico (Stapleton, 2000; Pivonia *et al.*, 2002), por sus peligrosos efectos sobre la

salud humana, la destrucción de la capa de ozono y la persistencia de sus residuos en el suelo y el agua (Programa Medioambiental de las Naciones Unidas UNEP, 1992).

Esta prohibición ha promovido el interés en el uso de técnicas alternativas para el control de los patógenos y plagas del suelo de bajo impacto medioambiental (Ros *et al.*, 2008), como el uso de métodos no químicos (solarización, vapor y biofumigación), químicos (nematicidas fumigantes 1,3 dicloropropeno y metam sodio, o carbamatos como el oxamil) y biológicos (microorganismos).

Aunque la ejecución de la solarización es bastante simple, su modo de acción sobre el terreno es muy complejo, implicando una serie de procesos interrelacionados que se producen en los suelos tratados y que dan como resultado una mejora de su estado sanitario, el crecimiento, la producción, y la calidad de las plantas cultivadas (Katan *et al.*, 1987). La inactivación térmica directa de los patógenos y plagas del suelo es el mecanismo más importante en el proceso de solarización. Puesto que la solarización es un método pasivo de calentamiento del suelo, las máximas temperaturas se alcanzan durante el mediodía (Katan *et al.*, 1976). En invernadero, la radiación solar genera durante la solarización temperaturas letales para la mayoría de plagas y patógenos que habitan el suelo, alcanzando valores superiores a 50 °C (Streck *et al.*, 1996), que hacen que este método tenga, en las condiciones adecuadas, una eficacia similar a la fumigación con bromuro de metilo (Gullino *et al.*, 1998). El efecto de la solarización se puede aumentar colocando una doble capa de acolchado (Annesi y Motta, 1994; Ben Yephet *et al.*, 1987; Duff y Connolly, 1993; Salerno *et al.*, 1999), cerrando el invernadero durante la solarización (Christensen y Thinggaard, 1999; Garibaldi y Tamietti, 1983; Horuichi, 1991; Mahrer *et al.*, 1987) y solarizando bancadas sobre elevadas (Gullino *et al.*, 1998) o capas de sustrato poco profundas en contenedores (Pivona *et al.*, 2002).

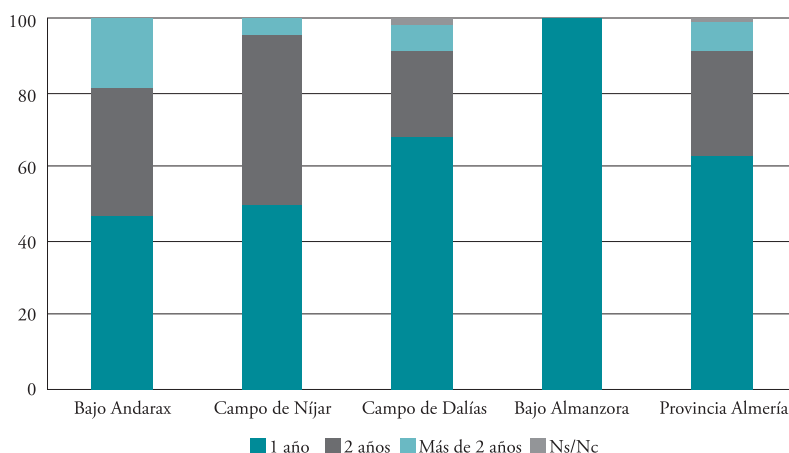
La eficacia de esta técnica depende principalmente de la duración e intensidad del aumento de temperatura, de la sensibilidad de los patógenos, del nivel de infección del suelo (Tamietti y Valentino, 2006; Camprubi *et al.*, 2007; French-Monar *et al.*, 2007) y de su integración con otros sistemas de control de plagas (Polizzi *et al.*, 2003; Minuto *et al.*, 2006; Oka *et al.*, 2007; Jayaraj y Radhakrishnan, 2008).

Una alternativa reciente a la solarización clásica es la biosolarización, consistente en la combinación de la solarización y la biofumigación con sustancias volátiles procedentes de la biodegradación de materia orgánica (estiércol o residuos de la industria agraria como vinaza de remolacha azucarera, piel

de limón o cáscara de arroz). La biosolarización se ha usado en cultivo de pimiento en invernaderos en Murcia con reducciones de poblaciones de *Meloidogyne incognita* (Ros *et al.*, 2008), *Phytophthora* (Lacasa *et al.*, 2010) y *Fusarium* (Martínez *et al.*, 2011) similares o superiores a las obtenidas con el bromuro de metilo.

La frecuencia con la que los agricultores de Almería realizan la desinfección es de 1 año en el 63 % de los casos, de 2 años en el 28 %, y de 3 años en un 7,5 % (Gráfica 29). Cabe destacar que en la comarca del Bajo Almanzora el 100 % de los encuestados desinfecta cada año. En el Bajo Andarax y en el Campo de Níjar la desinfección anual representa un porcentaje menor del 46-47 %.

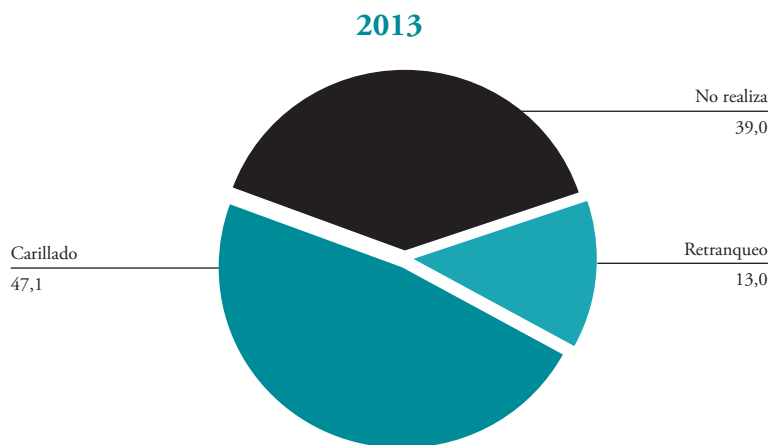
Gráfica 29. Frecuencia de la desinfección de suelo. En porcentaje



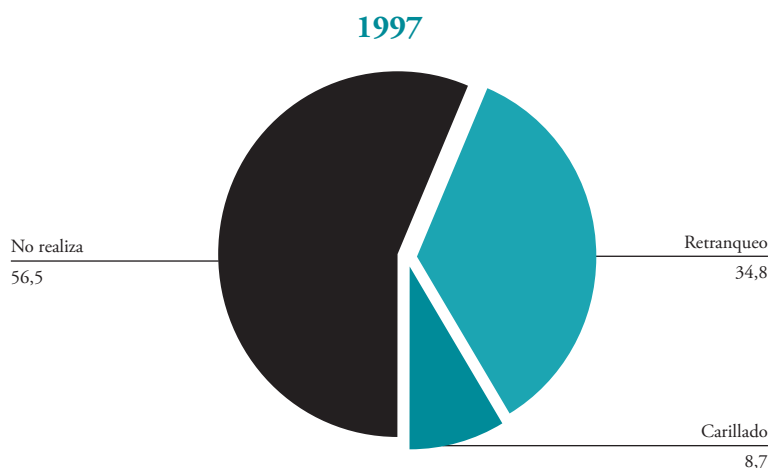
Labores de mantenimiento del suelo

Las labores de mantenimiento del suelo se han incrementado en los últimos 16 años (Gráfico 30), de forma que el número de invernaderos que no realizaba ninguna labor de mantenimiento se ha reducido de un 56,5 % en 1997 al 39 % actual. También se observa un aumento del retranqueo en carillas (sustitución de la materia orgánica sólo bajo las líneas de cultivo) del 8,7 al 47,1 %, reduciéndose la técnica del retranqueo (sustitución del abonado de cobertera) en toda la superficie del invernadero. Probablemente para disminuir costes.

Gráfico 30. Evolución entre 2013 y 1997 de las labores de mantenimiento del suelo en los invernaderos de Almería. En porcentaje



Fuente: encuesta realizada a agricultores. Elaboración propia.



Fuente: Molina-Aiz (1997).

El retranqueo permite mantener las cualidades agronómicas del suelo enarenado a lo largo del tiempo, de forma que un suelo retranqueado es capaz de absorber mucha más cantidad de agua que el suelo no retranqueado. Aunque el carillado es una técnica que permite un considerable ahorro de material, tiempo

y mano de obra, conlleva una degradación del enarenado y una pérdida de rendimiento en comparación con el retranqueo integral (Bretones, 2003).

En general, se observa una reducción de casi un tercio del uso del retranqueo en todo el invernadero en las dos principales comarcas productoras, Campo de Dalías y Campo de Níjar, y un abandono de esta técnica en al Bajo Almanzora (Tabla 21). En el Bajo Andarax se ha reducido ligeramente. Por el contrario, se puede observar un espectacular avance de la técnica del carillado, sobre todo en el Campo de Níjar.

Tabla 21. Evolución de las labores de mantenimiento del suelo de los invernaderos en las diferentes comarcas de invernaderos entre 2013 y 1997. En porcentaje

Comarca	Retranqueo		Carillado		No realiza retranqueo	
Encuesta	2013	1997	2013	1997	2013	1997
Campo de Dalías	13,8	36,2	44,2	6,8	42,0	57,0
Campo de Níjar	11,1	36,7	60,0	12,0	24,4	51,3
Bajo Andarax	16,1	17,9	41,9	17,9	41,9	64,2
Bajo Almanzora	0,0	30,0	44,4	10,0	55,6	60,0

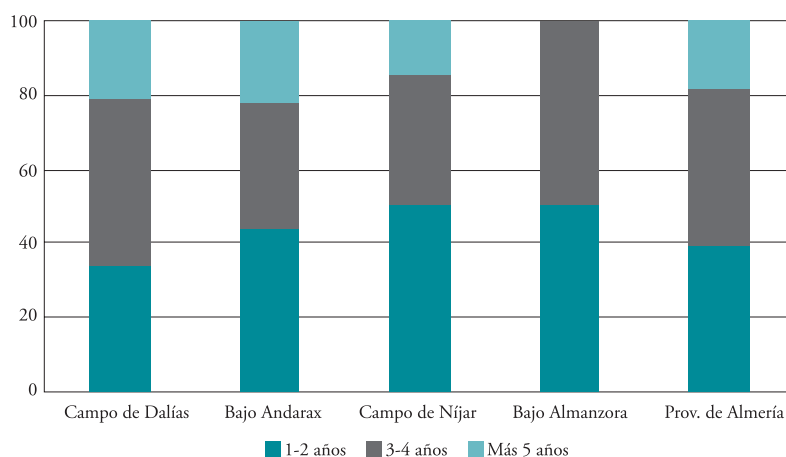
Los resultados obtenidos indican que la gran mayoría de los invernaderos de Almería apuesta por los métodos de cultivo tradicionales en la zona (suelo arenado con retranqueo o carillado), incluso aumentando su importancia a lo largo de los últimos años. Este hecho contrasta con la impresión que se tenía de que las elevadas diferencias de producción con otras zonas productoras parecían indicar la necesidad de un cambio de tecnología en Almería. El paso de los años ha demostrado que el sistema de producción almeriense es quizás el más adaptado al nuevo contexto de exigencias socioculturales de los consumidores europeos, que demandan una gran calidad en el producto con el menor coste medioambiental posible y en este aspecto los invernaderos de Almería son los más eficientes, como ya fue comentado anteriormente (apartado 2.17; p. 214).

En la provincia de Almería se realiza el retranqueo cada 1-2 años en el 39 % de los casos (Gráfico 31) y en un 40 % la frecuencia de la reposición de la materia orgánica bajo la arena del suelo es de 3-4 años. En el Campo de

Dalías el porcentaje de agricultores que realizan el retranqueo cada 1-2 años se reduce al 33 %, sustancialmente inferior al resto de las comarcas.

En cuanto al tipo de materia orgánica utilizada para las labores de retranqueo, predomina el estiércol de oveja con un 46 % de los invernaderos (Gráfico 32), como era de esperar al ser un subproducto de las empresas de ganado ovino de la provincia de Almería. El segundo tipo más utilizado es la materia orgánica en sacos preparados, que representa un 13 % de los invernaderos que realizan retranqueo.

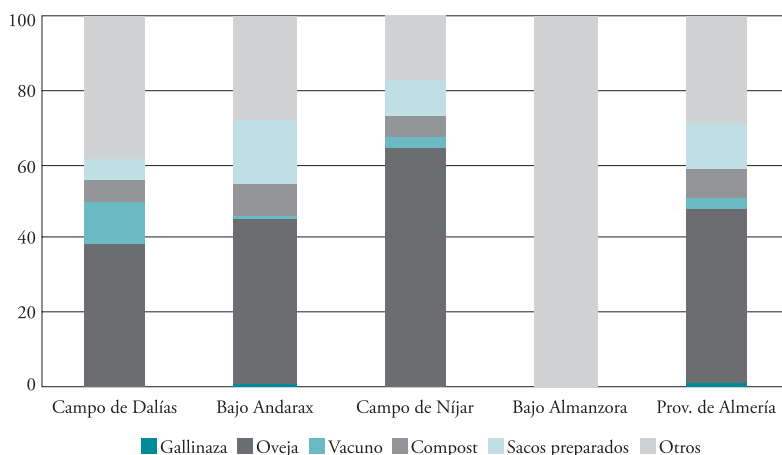
Gráfico 31. Frecuencia con la que los agricultores realizan labores de retranqueo o carillado. En porcentaje



También merece especial mención el uso de compost en un 7 % de los invernaderos analizados, principalmente en la comarca del Campo de Dalías donde representa el 9 %. Igualmente destacable es el hecho de que en el Bajo Almanzora los agricultores que realizan retranqueo utilizan mezclas de diferentes tipos de abono.

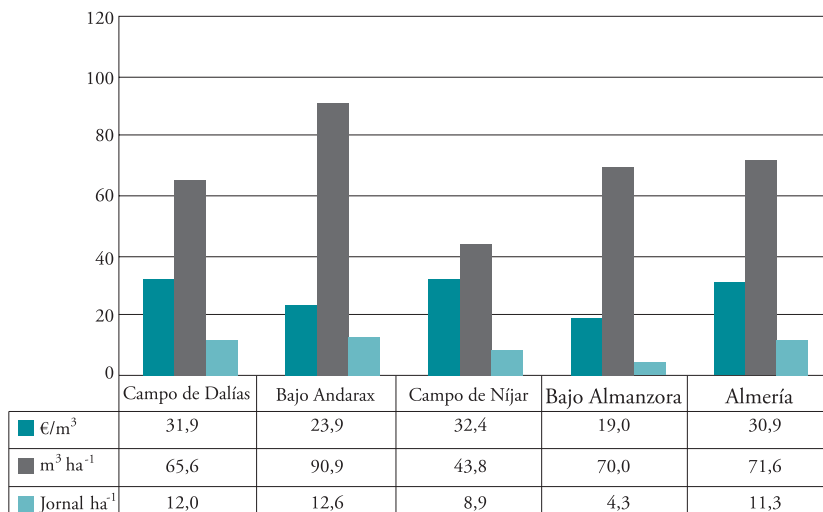
El coste medio del retranqueo es de unos 30,9 €/m³, para un volumen de aplicación de 71,6 m³ ha⁻¹, con valores muy similares en las principales comarcas productoras del Campo de Dalías y del Campo de Níjar (Gráfico 33), y algo inferiores en las otras dos comarcas donde se utiliza menos el estiércol de oveja (Gráfico 32).

Gráfico 32. Tipo de materia orgánica utilizada para el retranqueo o carillado*



* En otros se incluyen: abono granulado, caballo y gallina, cerdo y oveja, cerdo y vaca, fibra de coco, humus de lombriz y mezclas de varios.

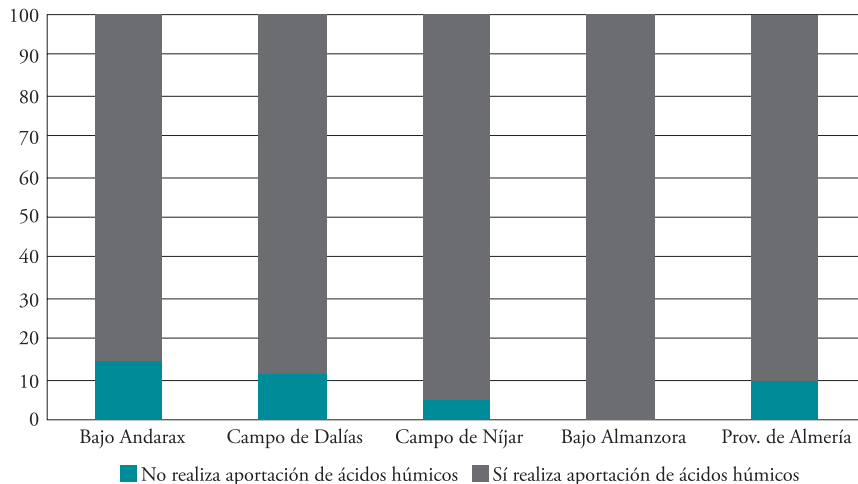
Gráfico 33. Coste de la labor de retranqueo, volumen de materia orgánica incorporada y jornales de trabajo necesarios por unidad de superficie de suelo de invernadero



El mayor volumen de materia orgánica se utiliza en el Bajo Andarax con $90,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, y el menor en el Campo de Níjar (un $43,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) debido sin duda a que en esta zona se utiliza mucho más la técnica del carillado (un 60 % con respecto al 41,9-44,4 % en las otras tres comarcas), que necesita menor volumen de materia orgánica al no realizarse en toda la superficie del invernadero. Cabe destacar el bajo número de jornales necesarios para esta labor en el Bajo Almanzora, llegando casi a la tercera parte de los necesarios en el Campo de Dalías y del Bajo Andarax. En el Campo de Níjar es necesario un menor número de jornales para la realización del retranqueo posiblemente por la importancia ya comentada del carillado, técnica que además de requerir menor volumen de materia orgánica, también necesita menos tiempo para su realización.

La mayoría de agricultores encuestados (un 89 %) realiza aportación de ácidos húmicos para el acondicionamiento del suelo, llegando al 100 % en el Bajo Almanzora (Gráfico 34).

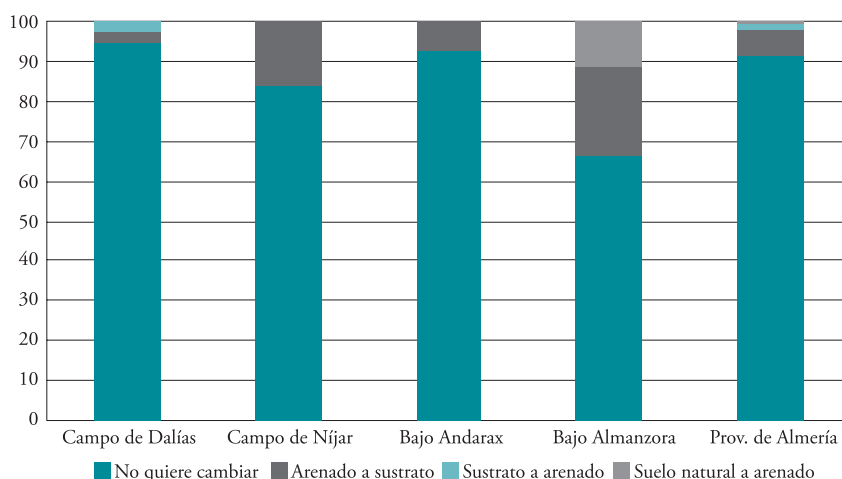
Gráfico 34. Agricultores que aportan ácidos húmicos al suelo por comarcas. En porcentaje



El 91 % de los agricultores encuestados en toda la provincia está satisfecho con el tipo de suelo que utiliza para sus cultivos, por lo que no tiene intención de cambiar en un futuro próximo (Gráfico 35). Un 6,6 % ha pensado en cambiar el tradicional suelo arenado por el cultivo sin suelo en sustrato y un

1,8 % cambiaría el sustrato por suelo arenado, localizándose estos agricultores en su totalidad en el Campo de Dalías (donde suponen un 3 %). Además, un 0,5 % cambiaría de suelo natural a arenado, correspondiendo este porcentaje a un 11,3 % de los invernaderos del Bajo Almanzora, donde el suelo natural supone en la actualidad un 66,7 %.

Gráfico 35. Porcentajes de agricultores que han pensado en cambiar.
En porcentaje



Estos datos parecen indicar que los cultivos enarenados gozan de buena salud, ya que los agricultores se sienten satisfechos con él y sólo una minoría piensa en cambiarlo; teniendo en cuenta, además, que algunos agricultores que se cambiaron en su día de enarenado a sustratos piensan en la actualidad en retornar al primero.

4.5. Edificaciones auxiliares y sistemas de riego

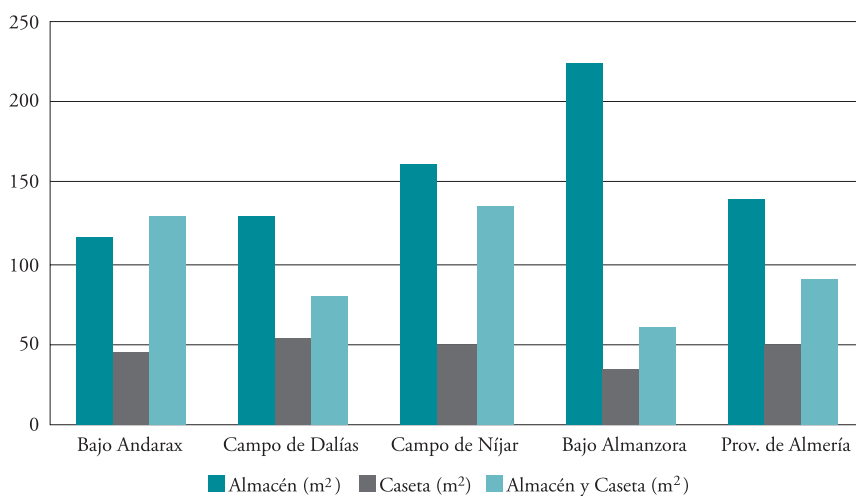
Las infraestructuras físicas tradicionales en la zona para los cultivos en invernaderos son un pequeño almacén, la caseta del cabezal de riego, y la balsa para almacenamiento del agua.

Almacenes y casetas de riego

En general, junto a los invernaderos existen pequeños almacenes donde los agricultores guardan las herramientas y máquinas necesarias para las labores culturales, los productos fitosanitarios, y almacenan los productos recolectados antes de ser transportados a los lugares de venta. En algún caso estos almacenes disponen de pequeñas cámaras frigoríficas y sencillas máquinas calibradoras.

La superficie media de los almacenes en la provincia de Almería es de 141 m² (Gráfico 36) variando desde pequeños almacenes para herramientas de 10 m² hasta grandes instalaciones de 1.000 m². En cuanto a la distribución por comarcas, se observa como en el Bajo Almanzora la superficie de los almacenes es mayor, mientras que en el Bajo Andarax esta es menor. Las variaciones pueden deberse, entre otros factores, a la mayor o menor distancia que separa las explotaciones de las empresas comercializadoras, cambiando las necesidades de almacenamiento de la producción antes de su venta. En el Bajo Andarax la distancia es muy pequeña y los agricultores pueden enviar diariamente la producción recolectada. Otro factor sin duda será el tamaño y número de invernaderos a los que da servicio el almacén.

Gráfico 36. Superficie media de los almacenes y casetas de riego

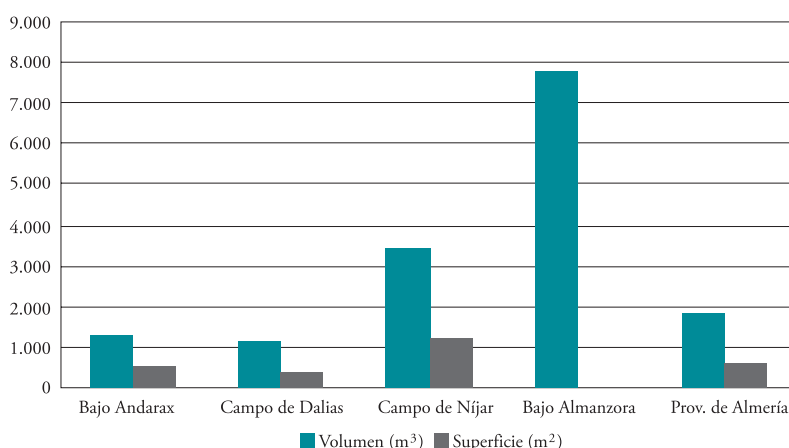


En cuanto al tamaño de la caseta de riego, con un valor medio de 50 m², se producen oscilaciones entre 5 y 100 m² según los cabezales de riego sean para pequeños invernaderos u ofrezcan servicio a un gran número de ellos. En algunos casos la caseta de riego se incluye dentro del almacén general, siendo en estos casos la superficie media de 91 m², inferior a la de los almacenes sin caseta. Esto puede deberse a que en las grandes explotaciones, con mayores necesidades de almacenamiento, el sistema de riego se suele instalar en una caseta específica para ello.

Balsas de riego

La mayor parte de las explotaciones de Almería cuentan con una balsa donde se almacena el agua de riego necesaria para los invernaderos de cada agricultor. En algunos casos se han construido grandes balsas comunitarias para varios agricultores, con volúmenes muy elevados de almacenamiento. Esto hace que la variabilidad entre comarcas sea muy grande (Gráfico 37).

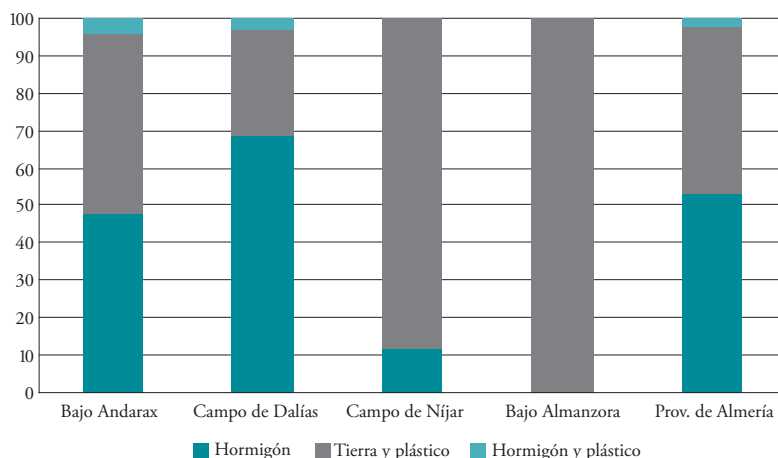
Gráfico 37. Superficie y volumen medios de las balsas de riego



Además, la presencia de grandes balsas comunitarias con volúmenes de 10.000-30.000 m³ incrementa considerablemente el valor medio comarcal, como es el caso del Campo de Níjar y sobre todo del Bajo Almanzora. Así, sin considerar las grandes balsas de más de 10.000 m³, el valor medio en el Campo de Níjar es de 2.231 m³ y en el Bajo Almanzora de 262,5 m³. Por otro lado, la profundidad media de estas balsas varía entre 2,5 m y 3,2 m.

En cuanto al material con el que se construyen las balsas de riego, predomina el hormigón (50 %), seguido por las de tierra mediante materiales sueltos con recubrimiento de lámina plástica (42 %). Un 2,2 % de las balsas son de hormigón que se recubren con lámina plástica para asegurar su impermeabilización (Gráfico 38).

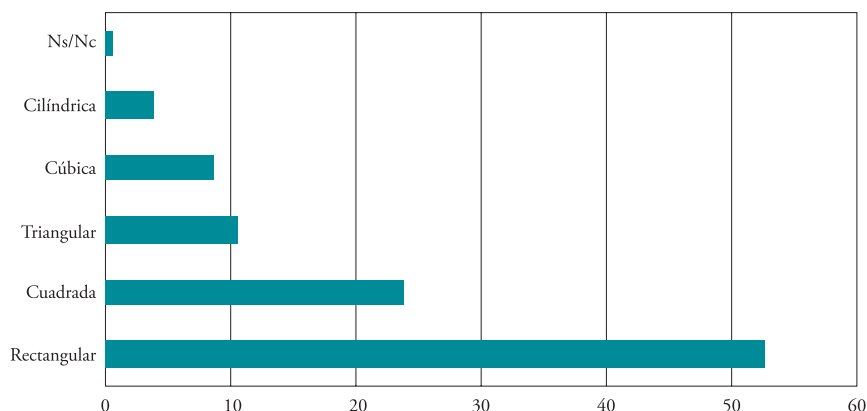
Gráfico 38. Material de construcción de las balsas de riego. En porcentaje



En el Campo de Níjar y en el Bajo Almanzora existe un mayor número de balsas de tierra y cubierta plástica (Gráfico 38). Este tipo de balsas pueden construirse para grandes capacidades (superiores a 5.000 m³), que suponen un 14,6 % de las existentes en el Campo de Níjar y un 25 % de las del Bajo Almanzora.

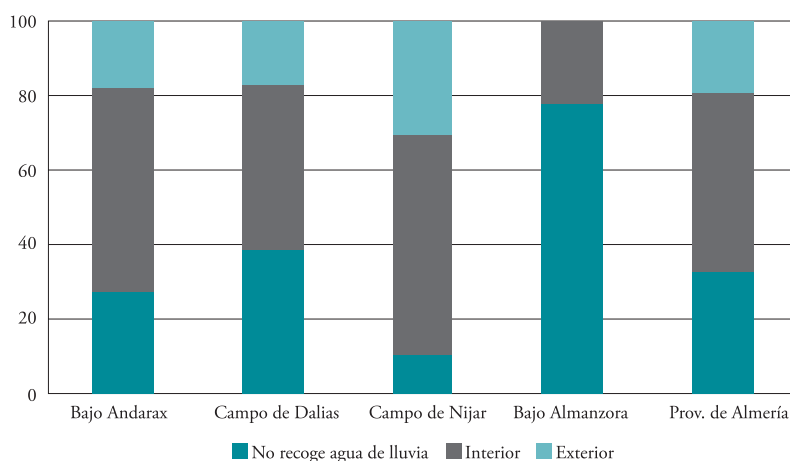
La mayor parte de las balsas son de formas rectangulares, cuadradas o cúbicas; representando el 85 % del total (Gráfico 39), repartiéndose el resto en triangulares y cilíndricas. En el Campo de Dalías es donde se construyen más balsas cuadradas (32 %), el Campo de Níjar un 77 % son rectangulares y en el Bajo Almanzora un 40 % tienen planta circular.

Gráfico 39. Geometría de las balsas de riego. En porcentaje



Es de destacar que la mayor parte de los agricultores realiza la recogida del agua de lluvia para incorporarla al sistema de riego, con el consiguiente ahorro económico y el beneficio medioambiental. Un 47,5 % recoge el agua de la cubierta del invernadero y un 19 % recupera el agua en el exterior (Gráfico 40). Esta costumbre cada vez más arraigada, permite además mejorar la calidad del agua de riego y reducir los riesgos de daños por escorrentía.

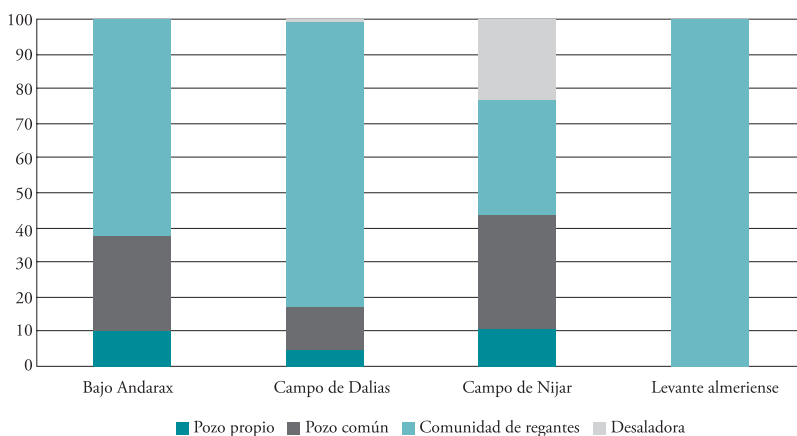
Gráfico 40. Agricultores que recogen el agua de lluvia en la provincia de Almería. En porcentaje



Origen, coste y características del agua

La mayor parte de los agricultores encuestados (73,4 %) utiliza el agua de riego procedente de comunidades de regantes, alcanzando el 100 % en la comarca del Bajo Almanzora (Gráfico 41). El 22 % de los agricultores se abastece con agua de riego procedente de pozos comunes a varios de ellos, siendo este porcentaje del 42,9 % en el Bajo Andarax y del 39,5 % en el Campo de Níjar, debido a que la mayor conductividad del agua de pozos (Gráfico 42) es adecuada para el cultivo del tomate mayoritario en ambas comarcas.

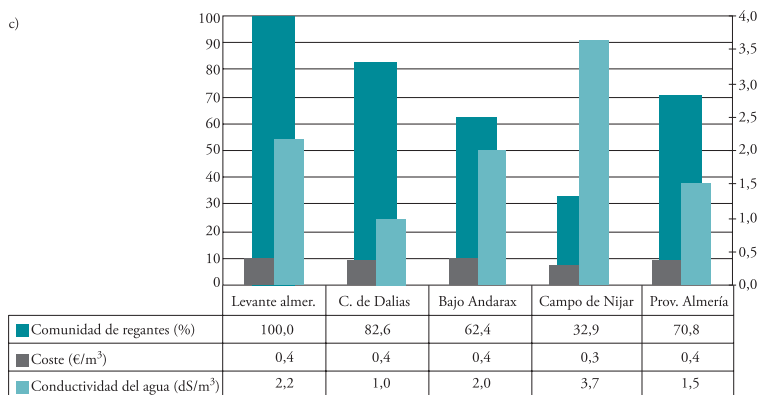
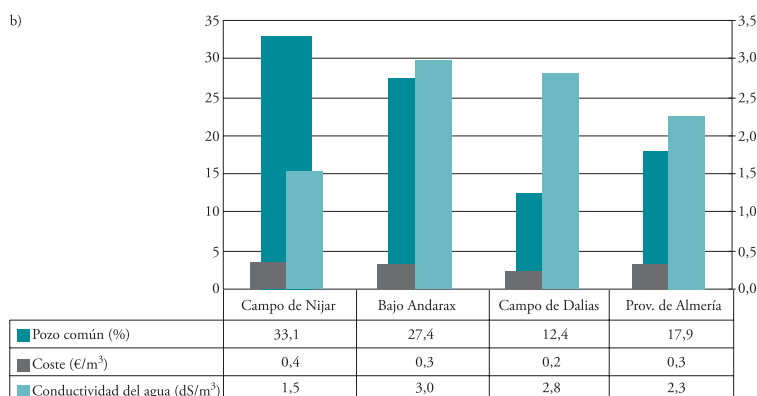
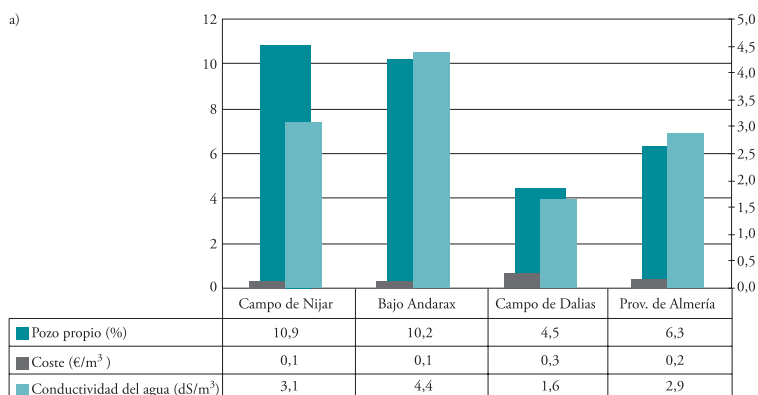
Gráfico 41. Procedencia del agua que utilizan los agricultores. En porcentaje



De igual forma, los agricultores de estas comarcas utilizan el agua de pozos propios, un 21,4 % del Bajo Andarax y un 16,3 % en el Campo de Níjar, lo que supone un 8,7 % en el conjunto de la provincia. El agua obtenida de esta forma tiene una elevada conductividad eléctrica, entre 2,8 y 6,5 dS m⁻¹ para los agricultores del Bajo Andarax, por lo que la totalidad de los que utilizan esta fuente de agua la mezclan en proporciones casi iguales (46 %) con la procedente de las comunidades de regantes, con una conductividad menor, en torno a 2 dS m⁻¹.

Además de obtener una alta conductividad, adecuada para el cultivo del tomate, el agua procedente de pozos propios reduce considerablemente su coste, ya que el precio medio en las comarcas del Campo de Níjar y del Bajo Andarax está entre 0,12 y 0,13 €/m³, frente a los 0,31-0,39 €/m³ del agua procedente de comunidades de regantes o de pozos comunitarios.

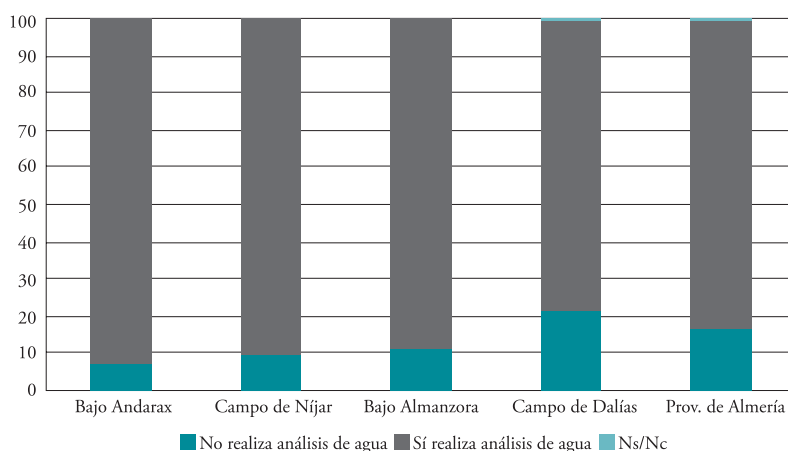
Gráfico 42. Porcentaje en que se mezcla el agua procedente de pozos propios (a), de pozos comunes (b) y de comunidades de regantes (c). Coste del agua y su conductividad eléctrica para cada comarca y el conjunto de la provincia



También es reseñable que el agua procedente de los pozos del Campo de Dalías tiene una conductividad eléctrica media de $1,6 \text{ dS m}^{-1}$, muy inferior a la del resto de comarcas, e incluso inferior a la de las comunidades de regantes. El agua de menor salinidad corresponde a las comunidades de regantes del Campo de Níjar ($1,0 \text{ dS m}^{-1}$) posiblemente por proceder en parte, de la desalinizadora de Carboneras.

La gran mayoría de agricultores (82,5 %) realiza análisis del agua de riego para controlar su calidad (Gráfico 43). Sin embargo, en el Campo de Dalías es donde menos lo hacen (77 %).

Gráfico 43. Realización de análisis del agua de riego. En porcentaje



Sistema de riego

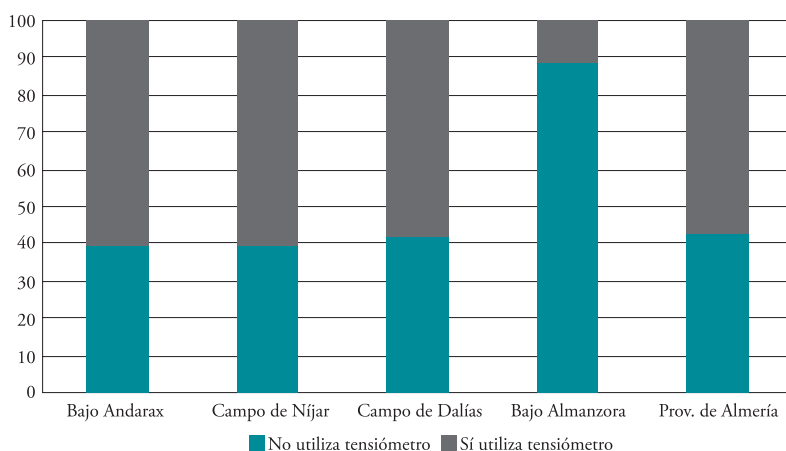
Un elemento fundamental en el manejo del invernadero es el equipo de fertirrigación que permite aportar el agua y los nutrientes a las plantas, cuyo control permite ajustar la dosificación a las necesidades del cultivo. Prácticamente la totalidad de los agricultores dispone de riego localizado (99,6 %), mediante riego por goteo en los cultivos en arenados (85,8 %) o en cultivos hidropónicos en sustratos (12,9 %). Solo un 0,4 % de los agricultores sigue realizando el riego a manta, lo que supone una sustancial mejora con lo observado en 1997 cuando aún se utilizaba esta técnica, poco eficiente en el uso del agua, en un 4,9 % de los invernaderos.

Control del riego

Un sistema sencillo para controlar el riego es el uso de tensiómetros que permiten medir el potencial hídrico del suelo. Este sistema es empleado por un 57 % de los agricultores, reduciéndose este valor al 11 % en el Bajo Almanzora, siendo similar en las otras tres comarcas a la media provincial (Gráfico 44).

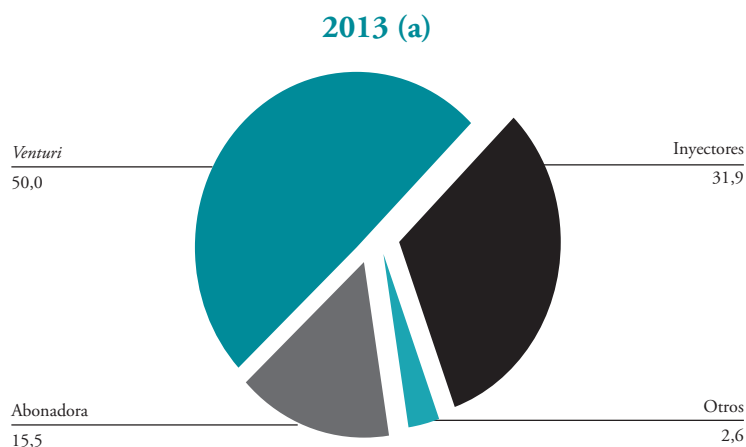
En la actualidad, el 81 % de los agricultores encuestados dispone de programadores de riego automáticos para controlar la fertirrigación, lo que supone uno de los mayores avances técnicos en los invernaderos de Almería en los últimos 16 años, ya que en 1997 sólo un 22,6 % de ellos disponía de este tipo de equipos. En la comarca del Bajo Almanzora es donde menor uso se hace de los controladores (67 %), seguido del Campo de Dalías (79 %), siendo en las otras dos comarcas del 86 %.

Gráfico 44. Utilización de tensiómetros para el control del riego.
En porcentaje

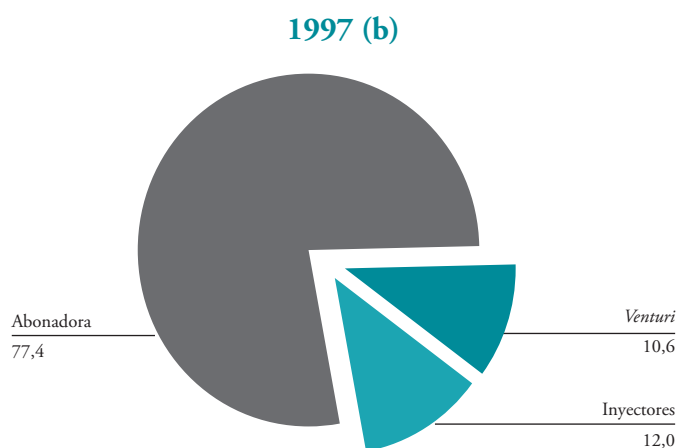


Hoy día son una minoría los agricultores que siguen utilizando abonadoras sin control electrónico (15,5 %), cuando este era el sistema comúnmente utilizado hace 16 años (77,4 %). Los controladores de riego existentes en 1997 se basaban en sistemas de *Venturi* o de inyectores en proporciones similares (Gráfico 45b), mientras que en la actualidad la mitad de los invernaderos de Almería disponen de equipos de fertirrigación con el sistema *Venturi* (Gráfico 45a).

Gráfico 45. Evolución entre 1997 y 2013 de los sistemas de fertirrigación utilizados por los agricultores en los invernaderos de Almería. En porcentaje



Fuente: encuesta realizada a agricultores. Elaboración propia.



Fuente: Molina-Aiz (1997).

El análisis de la evolución de los sistemas de fertirrigación por comarcas muestra que en el Bajo Almanzora es donde hay menos sistemas automatizados, como ya sucedía en 1997 (Tabla 22). Además, al contrario que en las otras tres comarcas, las instalaciones con sistema de inyectores (40 %) supera

a las que utilizan *Venturi* (20 %). En el Campo de Dalías y el Bajo Andarax el uso de las abonadoras sigue siendo importante, 18,7 % y 10,7 % respectivamente, mientras que en el Campo de Níjar su uso es testimonial (2,3 %).

Tabla 22. Evolución de los sistemas de fertirrigación utilizados por los invernaderos en las diferentes comarcas de invernaderos entre 1997 y 2013. En porcentaje

Comarca	Abonadoras		<i>Venturi</i>		Inyectores	
Encuesta	2013	1997	2013	1997	2013	1997
Campo de Dalías	18,7	72,1	46,7	13,6	31,3	14,3
Campo de Níjar	2,3	88,9	61,4	1,9	34,1	9,2
Bajo Andarax	10,7	87,2	60,7	10,3	28,6	2,5
Bajo Almanzora	40,0	100,0	20,0	0,0	40,0	0,0

La inmensa mayoría de los invernaderos disponen de bomba propia para el sistema de riego, los que carecen de ella son instalaciones que reciben el agua de redes de distribución de comunidades de regantes, y en los que la presión es suficiente para el funcionamiento de los equipos de fertirriego.

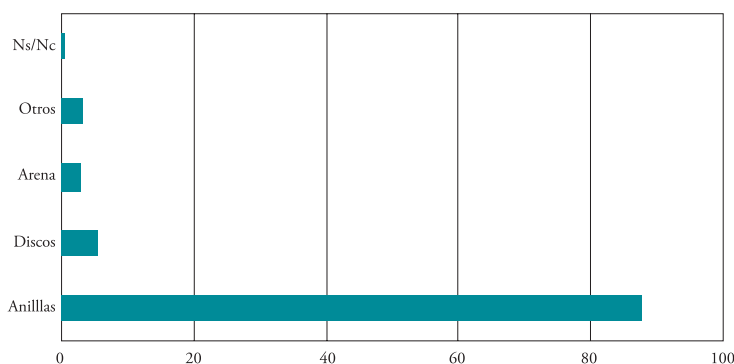
El tipo de bomba mayoritariamente instalado (97,8 %) en los invernaderos de toda la provincia es eléctrico con una potencia media de 5,5 kW (Tabla 23), siendo este el único tipo de impulsión utilizado en las comarcas del Campo de Níjar y del Bajo Andarax. En el Bajo Almanzora un 14,3 % utiliza bombas con motor diésel con una potencia media de 10,3 kW.

Tabla 23. Tipo de bomba utilizada con el sistema de riego y potencia media instalada

Comarca	Eléctrico (%)	Potencia (kW)	Diésel (%)	Potencia (kW)
Campo de Dalías	97,4	5,7	2,6	7,4
Campo de Níjar	100,0	5,4	0,0	
Bajo Andarax	100,0	4,9	0,0	
Bajo Almanzora	85,7	3,9	14,3	10,3
Provincia Almería	97,8	5,5	2,2	7,9

La mayoría de los invernaderos encuestados utiliza filtros de anillas en el sistema de fertirrigación (87,9 %), siendo los siguientes tipos más empleados los de discos y los de arena (Gráfico 46). Los filtros de arena son usados en el Bajo Andarax, donde el 17 % de los invernaderos constan de este tipo de limpieza del agua de riego. En el Campo de Níjar es donde más se utilizan los filtros de discos, en un 9 % de las instalaciones de riego.

Gráfico 46. Tipos de filtros utilizados en el sistema de riego.
En porcentaje



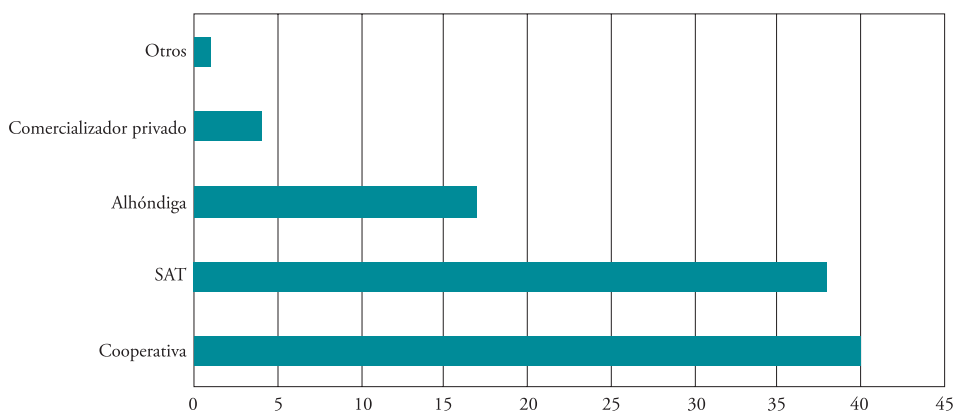
4.6. Comercialización

Otro de los aspectos que caracterizan la producción agrícola de los invernaderos de Almería es su comercialización. Esto determina en gran medida la forma de trabajar de los agricultores, ya que en muchos casos las comercializadoras les proporcionan asesoramiento técnico, les imponen protocolos de trabajo en función de las normas de calidad que tienen implantadas, e incluso programan la distribución de cultivos.

Entidades comercializadoras

Los agricultores encuestados se reparten en partes iguales en Cooperativas (40 %) y Sociedades Agrarias de Transformación (SAT) (38 %), siendo algo menor la proporción de los mismos que vende sus productos en las Alhóndigas (17 %). Una proporción muy pequeña de agricultores (4 %) venden su producción a través de comercializadores privados (Gráfico 47).

Gráfico 47. Entidades de comercialización donde venden los agricultores su producción. En porcentaje



Además, la gran mayoría de los agricultores encuestados (92 %) comercializa su producción a través de una única entidad.

La mayoría de agricultores encuestados es socia de entidades de comercialización (72,6 %), más de la mitad (51,4 %) con una antigüedad superior a los 10 años (Gráfico 48). En el Campo de Níjar el porcentaje de asociados es el mayor (81,4 %), variando ligeramente en las otras tres comarcas entre un 66,7 y un 71,4 %.

El 98,5 % de los agricultores encuestados recibe asesoramiento técnico tal y como ya ocurría en 1997 (Gráfico 49).

Gráfico 48. Agricultores asociados a entidades de comercialización en función de su antigüedad. En porcentaje

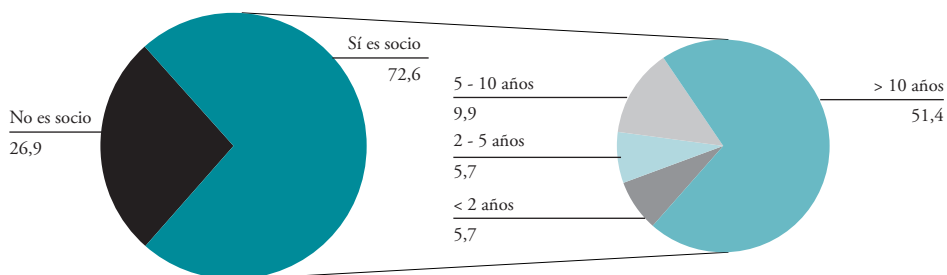
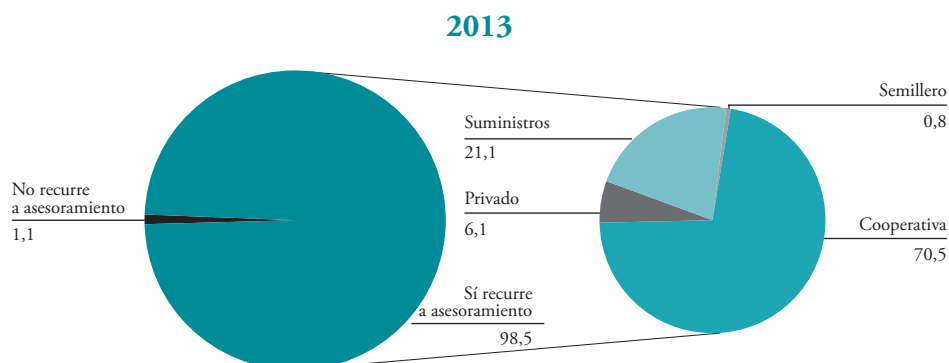
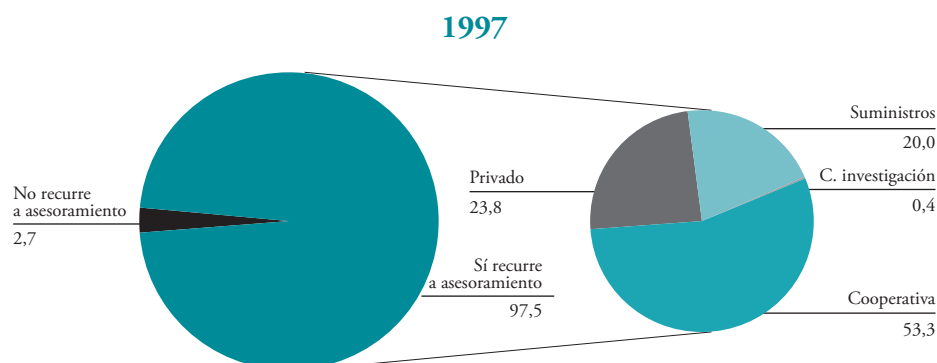


Gráfico 49. Evolución del tipo de asesoramiento que reciben los agricultores. En porcentaje



Fuente: encuesta realizada a agricultores. Elaboración propia.



Fuente: Molina-Aiz (1997).

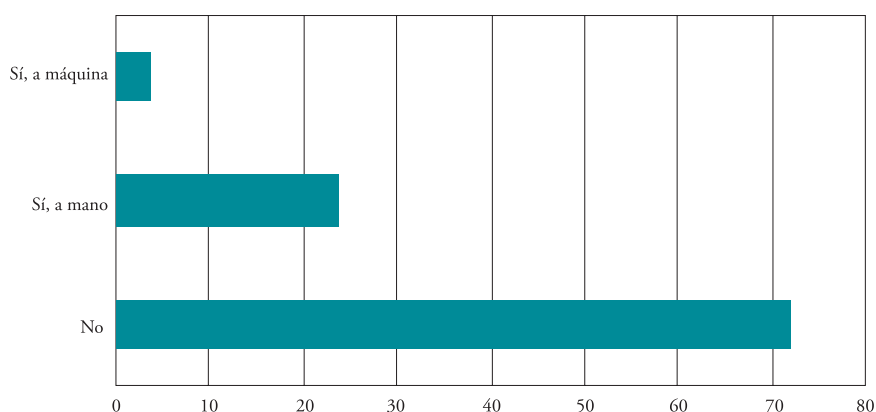
El principal cambio es el aumento del asesoramiento por parte de las cooperativas, llegando hasta el 70,5 %, en detrimento del asesoramiento privado que era del 23,8 % en 1997, y hoy día es de solo un 6,1 %.

Acondicionamiento de la producción y normas de calidad

Un 72 % de los agricultores encuestados no acondiciona el género directamente (Gráfico 50), lo que se corresponde aproximadamente con el 78 % (Gráfico 47) que comercializa su producto a través de empresas cooperativas

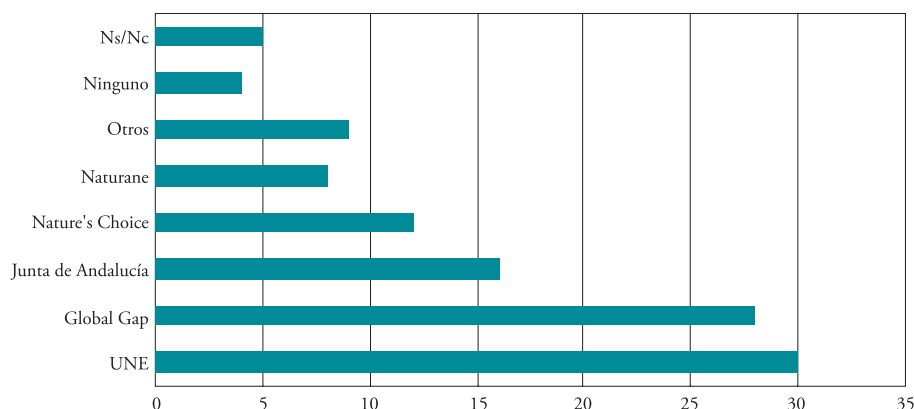
o SAT, donde existen sistemas automatizados y a gran escala de acondicionamiento mediante calibradores y empaquetadoras automáticas. El 24 % de los agricultores realiza la selección, calibración y colocación en cajas de forma manual (40 % en el Bajo Andarax), mientras que un 4 % lo hace con pequeñas máquinas calibradoras de tomate, concentradas en las comarcas especializadas en la producción de esta hortaliza del Bajo Andarax (20 %) y del Campo de Níjar (5 %).

Gráfico 50. Acondicionamiento del género por parte de los agricultores. En porcentaje



La mayoría de los agricultores encuestados (91 %) cumple con sistemas de certificación o normas de buenas prácticas agrícolas en campo (Gráfico 51), principalmente la serie de normas UNE 155001 «Frutas y hortalizas para consumo en fresco. Producción controlada de cultivos protegidos» en un 30 % de los casos, la norma Global Gap en un 28 %, la norma de producción integrada de la Junta de Andalucía en un 16 %, Nature's Choice en un 12,2 % y la norma Naturane en un 8 % de las explotaciones. Otras normas que siguen los agricultores son, BRC, GRAP, QS e ISO 9000. En general, los agricultores se acogen a diferentes normas de certificación en función del tipo de cliente, así cumplen por término medio con dos protocolos de calidad.

Gráfico 51. Sistemas de certificación o normas de buenas prácticas agrícolas en campo. En porcentaje



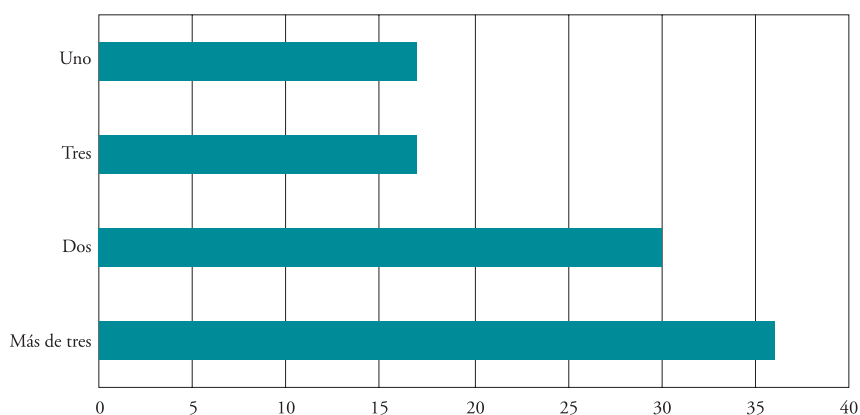
4.7. Características estructurales del invernadero

Sin duda el elemento más importante de la explotación agrícola es el propio invernadero, que en función de sus características constructivas y de diseño, va a condicionar la potencialidad productiva de los cultivos a lo largo de toda su vida útil (en función de su capacidad para transmitir la radiación solar o para ventilar de forma natural). Además puede limitar en algunos casos la aplicación de diversas tecnologías.

Número y tipología de los invernaderos de la explotación

La inmensa mayoría de los agricultores encuestados posee más de un invernadero (83 %), correspondiendo la mayor proporción a aquellos que tienen más de tres (Gráfico 52). Es destacable que ninguno de los agricultores encuestados en el Bajo Almanzora posee un único invernadero y que en el Campo de Níjar solo un 2 % posee nada más que un invernadero, mientras que la mayoría (65 %) es propietario de más de tres invernaderos.

Gráfico 52. Número de invernaderos que poseen los agricultores encuestados. En porcentaje

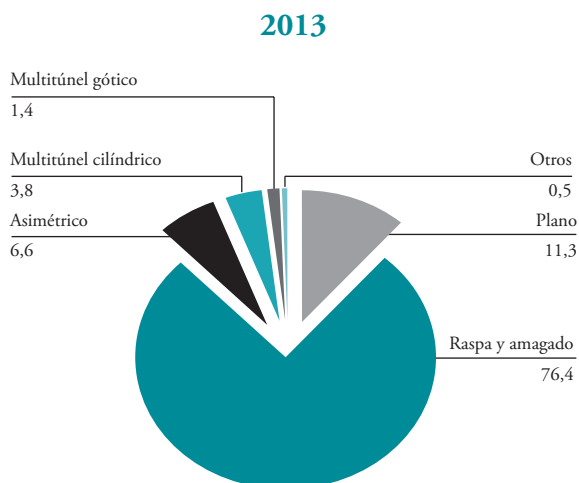


Sin duda el principal cambio tecnológico relativo a la estructura de los invernaderos que se ha producido en Almería, ha sido la sustitución de los tradicionales invernaderos de cubierta plana por el subtipo de invernadero Almería en raspa y amagado (Gráfico 53). Los invernaderos planos presentan deficiencias en su microclima por excesos de humedad y de temperatura. Por el contrario, los de raspa y amagado ofrecen mejores prestaciones y un bajo coste, en comparación con los invernaderos multitúnel o los de tipo *venlo*.

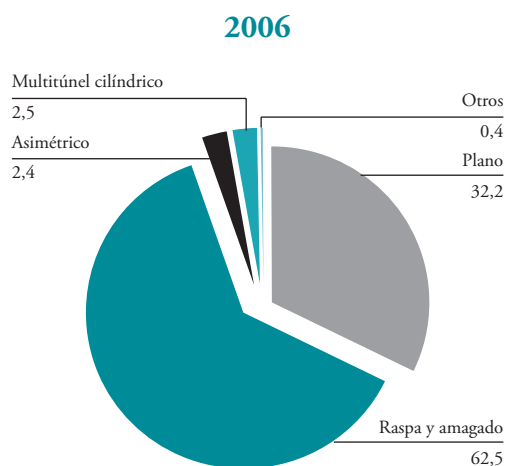
También se puede observar como, a lo largo de los años, el porcentaje de invernaderos tipo Almería asimétrico se mantuvo estancado entre un 2,4 % y un 3,3 %, y muy recientemente se ha incrementado hasta representar en la actualidad un 6,6 % del total.

En la provincia los invernaderos tipo Almería (planos, en raspa y amagado y asimétricos), suponen el 94,3 % del total, muy similar al 95,4 % que había en 1997. Los invernaderos con cubierta de malla, a dos aguas y *venlo* representan un pequeño porcentaje. Esto es debido principalmente a que se trata de estructuras muy caras o implantadas en un área muy restringida de la provincia, como sucede con los de malla, que se construyen principalmente en la comarca del Bajo Almanzora. En el caso de los invernaderos a dos aguas son estructuras que surgieron hace muchos años y que dejaron de construirse posteriormente.

Gráfico 53. Evolución de los tipos de invernaderos a lo largo de los últimos 16 años. En porcentaje

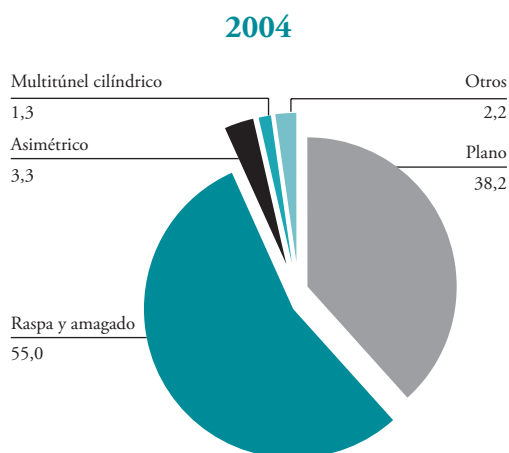


Fuente: encuesta realizada a agricultores. Elaboración propia.

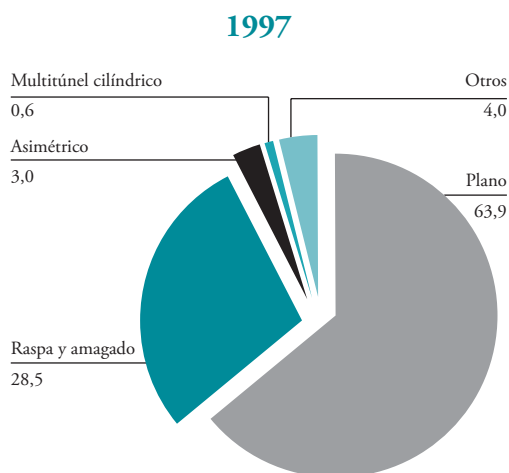


Fuente: Junta de Andalucía (2006).

Figura 53 (cont.). Evolución de los tipos de invernaderos a lo largo de los últimos 16 años. En porcentaje



Fuente: Fernández y Pérez Parra (2004).



Fuente: Molina-Aiz (1997).

Los invernaderos multitúnel sí muestran un continuo y mantenido aumento, de forma que en 1997 un 0,6 % de los invernaderos eran de este tipo y en la actualidad ya suponen un 5,2 % (1,4 % de tipo gótico). Además, este incremen-

to se ha concentrado sobre todo en el Campo de Níjar donde en la actualidad este tipo de estructuras constituyen un 18,7 %, que contrasta con las zonas del Bajo Andarax y del Bajo Almanzora, donde no se ha encuestado a ningún agricultor con este tipo de invernadero, como ya sucediera en 1997 (Tabla 24). También se observa que el porcentaje de invernaderos de tipo asimétrico es superior en el Bajo Andarax y el Bajo Almanzora, que en las otras tres comarcas.

Tabla 24. Evolución de los porcentajes de los distintos tipos de invernadero en las comarcas muestreadas en 2013 y 1997

Comarca	Plano	Raspa y amagado	Asimétrico	Multitúnel cilíndrico	Gótico/a dos aguas*	Malla
2013						
Campo de Dalías	15,2	75,8	6,1	1,5	0,8	0,8
Campo de Níjar	0,0	79,1	2,3	14,0	4,7	0,0
Bajo Andarax	14,3	75,0	10,7	0,0	0,0	0,0
Bajo Almanzora	0,0	77,8	22,2	0,0	0,0	0,0
Provincia Almería	11,3	76,4	6,6	3,8	1,4	0,5
1997						
Campo de Dalías	64,2	29,2	3,5	0,4	2,7*	0,0
Campo de Níjar	64,2	30,4	1,8	1,8	1,8*	0,0
Bajo Andarax	71,8	15,3	2,6	0,0	10,3*	0,0
Bajo Almanzora	23,1	30,7	0,0	0,0	23,1*	23,1
Provincia Almería	63,9	28,5	3,0	0,6	3,6*	0,4

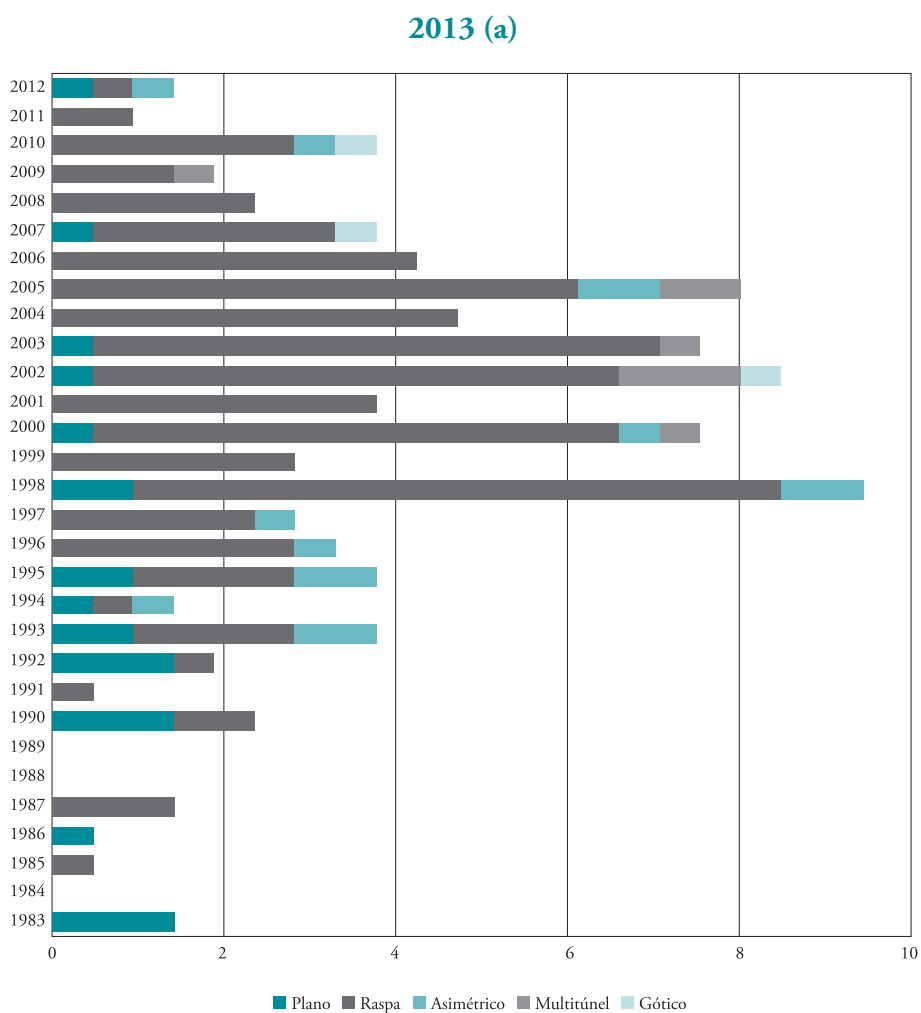
El retroceso de los invernaderos de tipo plano ha sido generalizado en toda la provincia, destacando su completa desaparición de las encuestas realizadas en el Campo de Níjar y del Bajo Almanzora.

También es destacable la diferente evolución que han seguido las dos principales comarcas productoras, ya que partiendo de unas condiciones muy similares en cuanto a la distribución de los invernaderos de tipo plano y en raspa y amagado en 1997, en la actualidad aproximadamente un 15,2 % de invernaderos en el Campo de Dalías son de tipo plano (antiguos y de bajas prestaciones), mientras que en el Campo de Níjar una proporción similar (14 %) es ocupada por invernaderos multitúnel (más modernos y con mejores prestaciones).

Edad y coste del invernadero

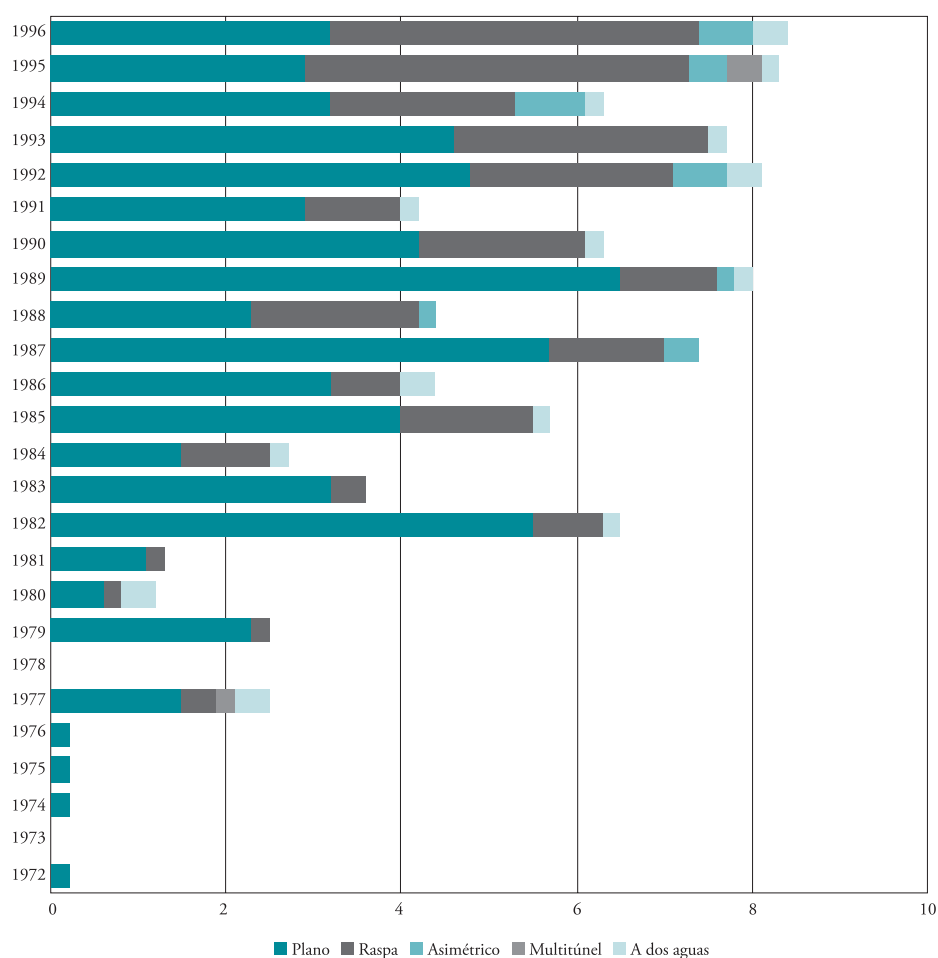
La edad media de los invernaderos actuales es superior a los 12,7 años ya que a principios de los noventa se experimentó un fuerte incremento de la superficie invernada (Gráfico 54). Además, muchos de los invernaderos construidos con anterioridad han sido renovados por nuevas estructuras y en algunos casos incluso abandonados.

Gráfico 54. Año de construcción de los invernaderos de los agricultores encuestados en 2013 y encuestados en 1997. En porcentaje



Los resultados de las encuestas realizadas en la actualidad (Gráfico 54a) y en 1997 (Gráfico 54b) muestran como la construcción de invernaderos en Almería fue aumentando desde los años 70 hasta finales del siglo pasado, fecha a partir de la cual esta fue decayendo. Así, en 1997 predominaban los invernaderos nuevos y como resultado de ello la edad media era de 8,1 años (4,6 menos que la media actual). Ambas encuestas también muestran como la mayoría de los invernaderos construidos a partir de 1995 son de tipo Almería y subtipo raspa y amagado, lo que confirma que se está produciendo un paulatino aumento de esta estructura en detrimento de los «planos» que ya prácticamente no se construyen.

1997 (b)



Los nuevos invernaderos suelen sustituir a antiguas estructuras como la mayoría de las que se construyeron antes de 1990 que eran del subtipo plano. La renovación de estas estructuras obsoletas es obligada, ya que no queda prácticamente terreno para nueva construcción y los nuevos invernaderos deben edificarse sobre parcelas ya invernadas.

El aumento de la edad media de los invernaderos se debe a la diferente situación del sector en cada momento, siendo en 1997 una situación de expansión de la producción y la superficie, y en 2013, la propia de un sector en proceso de maduración. Las actuales condiciones económicas dificultan, por otro lado, el proceso de renovación de estructuras, y desemboca en algunos casos en el mantenimiento de estructuras poco eficientes o directamente en su abandono.

El análisis de la edad de los invernaderos por comarcas muestra como los más antiguos son los del Bajo Almanzora, con una edad media de 16 años (Gráfico 55), lo cual contrasta con lo observado en 1997 cuando la edad de los invernaderos en esta zona no mostraba diferencias con respecto al resto de comarcas (Tabla 24).

En el caso opuesto encontramos la comarca del Campo de Níjar, en la que la edad media de los invernaderos apenas se ha incrementado en 1 año con respecto a lo prospectado en 1997. Esto se explica por una mayor renovación de estructuras en esta comarca, en la que el precio de construcción es el más alto debido a la mayor presencia de invernaderos multitúnel (19 % considerando los de cubierta cilíndrica y gótica), con un precio superior al doble de los invernaderos de tipo Almería (Tabla 25). En el caso de los invernaderos góticos su precio medio se eleva al triple del coste medio de un invernadero en raspa y amagado, lo que explica la escasa expansión de este tipo de estructuras en la provincia.

En cuanto a la edad de los distintos tipos de invernaderos cabe mencionar como los más modernos son los de tipo gótico, seguidos de los multitúnel (Tabla 25). Los invernaderos asimétricos son en promedio más antiguos que los de raspa y amagado, aunque en los últimos tres años este tipo ha vuelto a resurgir con fuerza (Gráfico 53a).

En el coste de los invernaderos por comarca (Tabla 25) existe un fuerte efecto de la presencia en menor o mayor medida de los invernaderos de tipo multitúnel (Tabla 24), cuyo precio es muy superior al de las otras estructuras (Gráfico 56).

Gráfico 55. Antigüedad media de los invernaderos según comarcas.
En años

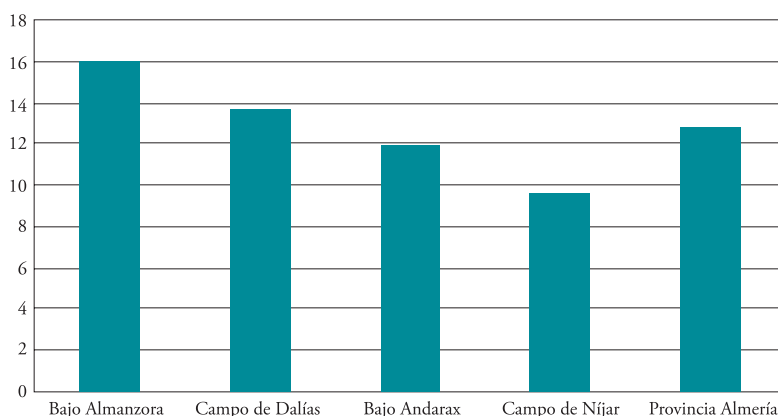
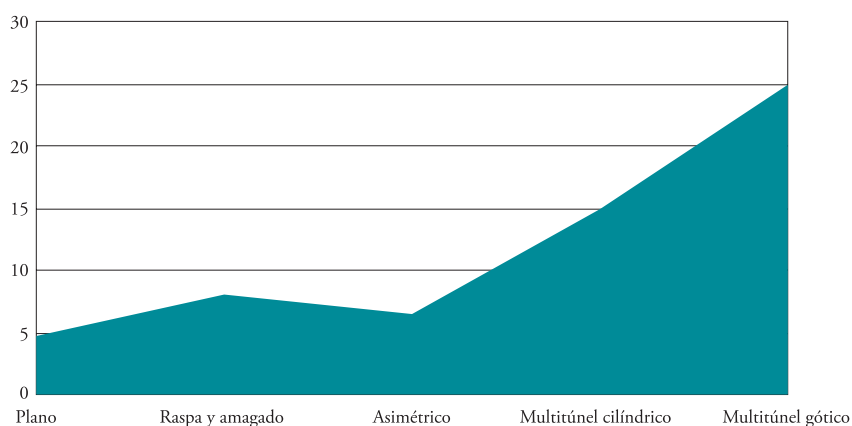


Tabla 25. Coste, edad y orientación de los invernaderos en función del tipo y por comarcas y comparación con los datos de 1997

Invernadero/Comarcas	Coste (€/m ²)	Edad	N-S	E-O	Edad	N-S	E-O
		2013			1997		
Plano	4,7	19,6	75,0	20,8	9,1	34,2	28,6
Raspa y amagado	8,0	11,8	81,5	16,7	6,1	30,1	30,8
Asimétrico	6,4	13,6	21,4	78,6	4,4	25,0	31,3
Multitúnel cilíndrico	15,0	9,5	87,5	12,5	8,0	33,3	0,0
Multitúnel gótico/a dos aguas*	25,0	6,7	100,0	0,0	9,4	23,5	29,4
Campo de Dalías	8,4	13,7	79,5	18,9	8,0	38,8	30,0
Campo de Níjar	9,1	9,6	76,7	20,9	8,7	10,1	21,1
Bajo Andarax	7,0	11,9	75,0	21,4	7,9	41,0	35,9
Bajo Almanzora	5,8	16,0	44,4	55,6	8,5	0,0	58,3
Provincia de Almería	8,3	12,7	76,9	21,2	8,1	32,2	29,2

* Datos de multitúnel gótico para el año 2013 y en 1997 datos para a dos aguas.

Gráfico 56. Coste aproximado de la construcción de los invernaderos en función del tipo de estructura. En €/m²



Superficie y geometría del invernadero

La superficie media de los invernaderos encuestados es de 10.503 m² (Gráfico 57) con una anchura de 76,9 m y una longitud de 136,3 m (Tabla 26). Estos valores son considerablemente superiores a los observados en 1997, cuando la superficie de los invernaderos era de 6.457 m² en el conjunto de la provincia, con una anchura media de unos 52,5 m y una longitud de 124,9 m.

Gráfico 57. Superficie media de los invernaderos por comarcas. En m²

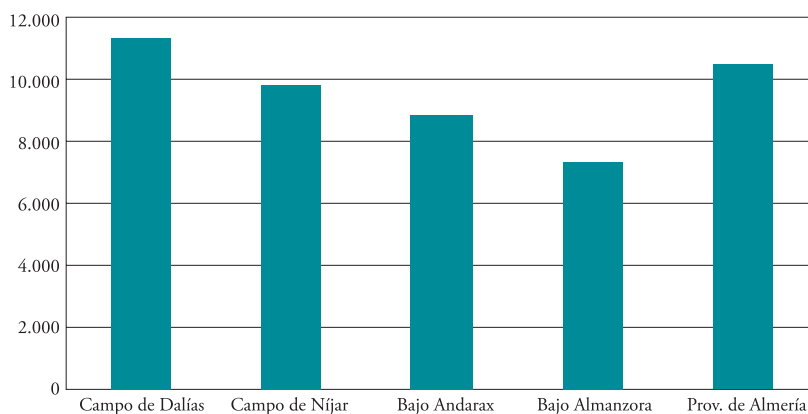


Tabla 26. Características geométricas de los invernaderos en las encuestas realizadas en 2013 y 1997*

Encuesta de 2013											
Invernadero /Comarcas	B (m)	L (m)	S_c (m ²)	V (m ³)	l_i (m)	t_i (m)	t_e (m ²)	h_{max} (m)	h_{min} (m)	h_b (m ²)	α (°)
Plano	77,8	115,8	9.452,7	29.537,0	1,3	1,7	1,8	3,2	3,1	2,9	3,7
Raspa y amagado	76,1	137,3	10.443,1	42.025,0	2,0	7,3	2,1	4,4	3,5	2,9	13,0
Asimétrico	75,7	146,1	10.758,6	42.932,0	2,0	9,8	2,2	4,6	3,4	2,8	8,6/24,1
Multitúnel cilíndrico	83,8	150,6	12.400,0	67.249,0	6,1	7,7	2,4	6,1	4,4	4,6	
Multitúnel gótico	93,3	167,0	15.166,7	89.283,0	5,0	8,5	3,5	6,9	4,7	4,7	
Campo de Dalías	81,7	134,8	11.303,7	43.896,6	1,9	6,6	2,2	4,1	3,4	2,9	
Campo de Níjar	75,3	135,4	9.795,1	44.533,2	2,1	6,4	2,1	5,0	3,8	3,4	
Bajo Andarax	64,4	146,4	8.826,6	36.430,0	1,9	7,2	2,1	4,5	3,6	3,1	
Bajo Almanzora	54,8	130,4	7.288,9	26.769,4	2,2	9,2	2,2	4,5	2,7	2,3	
Provincia Almería	76,9	136,3	10.503,0	42.293,3	1,9	7,1	2,2	4,4	3,5	3,0	

Encuesta de 1997											
Invernadero /Comarcas	B (m)	L (m)	S_c (m ²)	V (m ³)	l_i (m)	t_i (m)	t_e (m ²)	h_{max} (m)	h_{min} (m)	h_b (m ²)	α (°)
Plano	51,3	123,0	6 189,3	15 366,7	2,2	3,4	2,0	2,8	2,1	2,0	
Raspa y amagado	54,4	131,2	7 037,6	20 728,5	2,1	4,1	2,1	3,3	2,4	2,2	7,2
Asimétrico	59,1	119,2	7 150,0	22 994,4	2,1	4,1	2,0	3,6	2,5	2,3	7,6/14,0
Multitúnel cilíndrico	54,3	134,0	7 276,0	27 489,9	3,6	6,1	3,6	4,0	2,9	2,9	
I. a dos aguas	52,1	113,5	5 892,3	14 893,5	2,4	4,0	2,0	3,1	2,1	2,1	4,7
Campo de Dalías	53,7	125,0	6 755,5	17 403,8	2,2	3,6	2,0	2,9	2,1	2,1	
Campo de Níjar	48,9	131,8	5 824,6	16 937,8	2,0	3,7	2,0	2,9	2,4	2,1	
Bajo Andarax	52,2	109,2	5 848,4	16 316,0	2,1	3,7	1,9	3,0	2,4	2,2	
Bajo Almanzora	48,3	106,5	4 793,5	15 348,8	2,8	4,5	2,5	3,9	2,5	2,3	
Provincia Almería	52,5	124,9	6 456,9	17 186,7	2,2	3,7	2,0	2,9	2,2	2,1	

* B anchura, L longitud del invernadero, S_c superficie de suelo cubierta, V volumen del invernadero, l_i separación transversal entre apoyos interiores, t_i separación longitudinal entre apoyos interiores, t_e separación longitudinal en los apoyos exteriores, h_{max} altura bajo cumbre, h_{min} altura bajo canal, h_b altura en las bandas, α pendiente de la cumbre (véase la Figura 147).

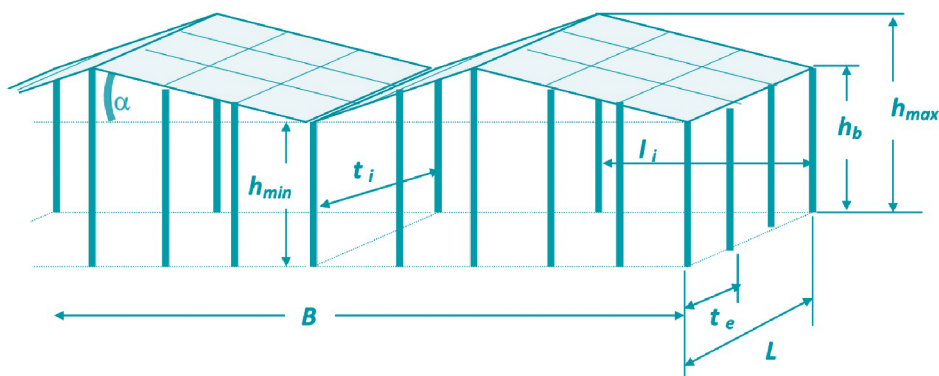
Otro aspecto a considerar con respecto a la evolución de las estructuras, es el considerable aumento que se observa en la altura de los invernaderos, del promedio de 2,9 m observado en 1997 al actual de 4,4 m (Tabla 26). El incremento se observa en todos los tipos de invernadero, siendo de 1-1,1 m en los

invernaderos de tipo Almería, excepto para el tipo plano que sólo ha aumentado en 0,4 m, en este caso por la desaparición de invernaderos más bajos y no por la construcción de otros más altos. En el caso de los invernaderos multitúnel, el aumento de la altura ha sido aun más considerable, 2,1 m de media.

Un 17 % de los agricultores ha incrementado la altura de su invernadero sustituyendo los apoyos de las estructuras de tipo Almería, normalmente de madera, por otros de mayor longitud, y generalmente de tubo galvanizado.

El crecimiento en la superficie y la altura del invernadero ha permitido aumentar espectacularmente el volumen unitario, pasando de un valor medio de 17.186,7 m³ al promedio actual de 42.293,3 m³, unas 2,4 veces superior. El incremento de la cantidad de aire confinado en el invernadero repercute en una mejora del microclima interior, al aumentar la inercia térmica y facilitar el movimiento de aire por encima del cultivo.

Figura 147. Características geométricas del invernadero

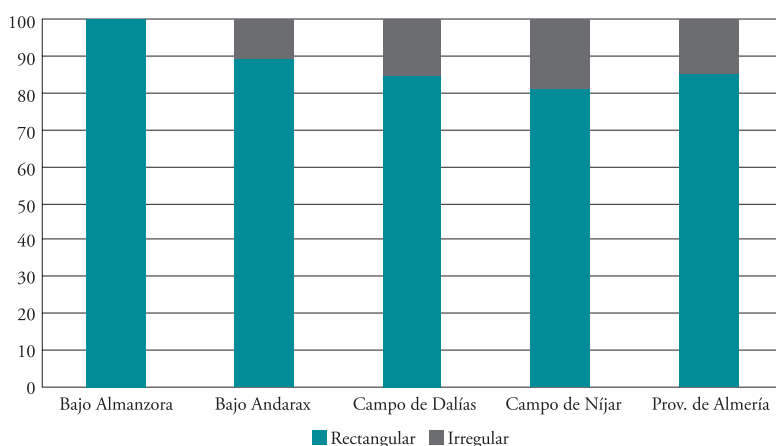


Además de aumentar la superficie y la altura también se aprecia un aumento en la pendiente de la cumbrera, que se ha incrementado desde los 7,2° de 1997 a los 13,0° actuales (Tabla 25). Como es sabido, el aumento de la pendiente de la cubierta permite mejorar la captación de radiación solar durante los meses invernales.

La mayoría de los invernaderos tiene forma rectangular, aunque en un 15 % de los casos la estructura debe adaptarse a la forma de la parcela (Gráfico 58), lo que en algún caso puede comprometer la seguridad estructural.

Los invernaderos tipo Almería presentan mayor capacidad de adaptación a las parcelas que presentan desviaciones con respecto a una forma rectangular (descuadres), ya que la construcción de la estructura se realiza *in situ* mediante la elaboración de un entramado de cables de acero que constituyen la estructura horizontal del invernadero. En el caso de los invernaderos multitúnel de estructura prefabricada de acero, y cuyo montaje en campo debe ser casi milimétrico, las piezas de los descuadres se deben fabricar una a una para adaptarse a las medidas exactas de los descuadres. Al tener que realizar los arcos, tirantes y diagonales, con una medida distinta en los descuadres, se produce un gran incremento en el coste de fabricación, que encarece el invernadero.

Gráfico 58. Geometría del invernadero. En porcentaje



Los invernaderos de los agricultores encuestados presentan descuadres en un 40 % de los casos (Gráfico 59), consecuencia de la escasa planificación parcelaria realizada en Almería y que se ha traducido en la existencia de parcelas con formas muy irregulares.

Dentro de la geometría que caracteriza los invernaderos se puede incluir su orientación, mayoritariamente N-S en un 77 % de los casos (Gráfico 60), debido posiblemente a que los agricultores han priorizado como factor de diseño el situar las ventanas longitudinales perpendicularmente a los vientos predominantes en Almería de *Levante* y *Poniente*. En el caso de los invernaderos asimétricos (Tabla 25) la orientación es justo la contraria (un 78,6 % se orientan en dirección E-O), buscando maximizar la captación de radiación solar para que las plantas puedan incrementar su actividad fotosintética.

Gráfico 59. Número de descuadres con respecto a una parcela rectangular. En porcentaje

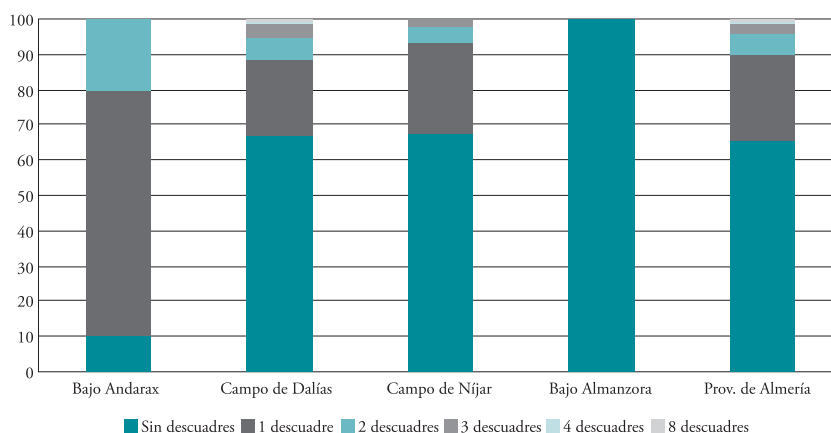
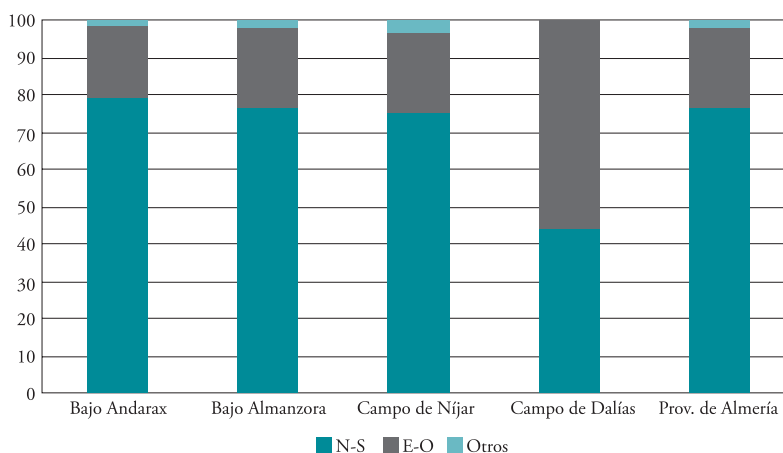


Gráfico 60. Orientación de las cubreras de los invernaderos. En porcentaje



Materiales constructivos del invernadero

Los invernaderos que se construyen actualmente tienen en su mayoría apoyos metálicos, ya sean de tubo de hierro galvanizado o de perfiles laminados (Tabla 27). Además, como se comentó anteriormente, muchos agricultores han sustituido los apoyos de madera deteriorados de sus invernaderos antiguos por soportes metálicos nuevos.

Tabla 27. Material de construcción de los apoyos del invernadero

Material	Tipo de apoyos interiores					Tipos de apoyos perimetrales				
	Madera	Tubo	Viga	Perfil	Otros	Madera	Tubo	Viga	Perfil	Otros
2013										
Plano	4,2	70,8	16,7	4,2	4,1	16,7	25,0	50,0	8,3	
Raspa	12,3	79,6	4,9	0,6	2,6	8,0	38,9	50,6	1,9	0,6
Asimétrico		85,7		7,1	7,2		35,7	57,1	7,1	0,1
Multitúnel		87,5	12,5				75,0	25,0		
Gótico		100,0					33,3	66,7		
Almería	11,0	79,0	5,9	1,4	2,7	8,3	35,5	52,1	3,7	0,5
1997										
Comarca	Madera	Tubo	Viga	Perfil	Hormigón	Madera	Tubo	Viga	Perfil	Hormigón
Plano	63,5	30,2	5,4		0,9	53,0	26,3	20,1		0,6
Raspa	44,1	50,7	3,7		1,5	36,6	40,3	23,1		
Asimétrico	43,7	43,7	12,6			25,0	31,2	43,8		
A dos aguas	47,0	35,3	17,7			29,4	35,3	35,3		
Multitúnel		100,0				0,0	100,0	0,0		
Almería	56,4	37,0	5,6		1,0	46,4	31,3	21,9		0,4

Evolución de los sistemas de ventilación natural

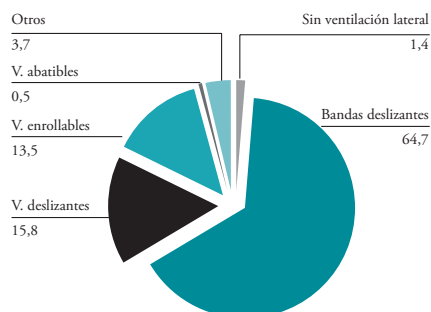
Los invernaderos de Almería han perfeccionado sus sistemas de ventilación en los últimos 16 años, de forma que se han mejorado los sistemas de accionamiento de las ventanas laterales (Gráfico 61).

Así, en la actualidad el 64,6 % de los invernaderos tiene bandas en las que se desliza hacia abajo el plástico, que queda entre la doble malla de alambre vertical (Gráfico 62). Aunque este sistema sigue siendo el más empleado, en 1997 lo utilizaban un 87,7 % de los agricultores, hoy día se instalan sistemas más elaborados como las ventanas enrollables (13,5 %) o las deslizantes con sistema de accionamiento mecánico (15,8 %).

El análisis de los sistemas de ventilación cenital indica un gran aumento del porcentaje de invernaderos que disponen de ella, desde el 68,9 % de 1997 hasta el 95,4 % de 2013 (Gráfico 62). Además, se observa una gran diversificación de los tipos de ventanas utilizadas, siendo mayoritario el uso de las ventanas abatibles (65,1 %).

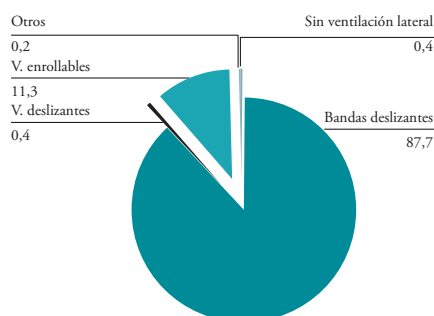
Gráfico 61. Evolución de los tipos de ventanas laterales a lo largo de los últimos 16 años. En porcentaje

2013



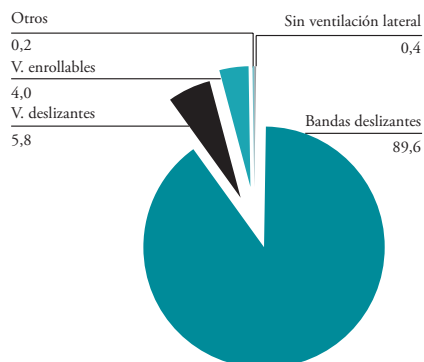
Fuente: encuesta realizada a agricultores. Elaboración propia.

1997



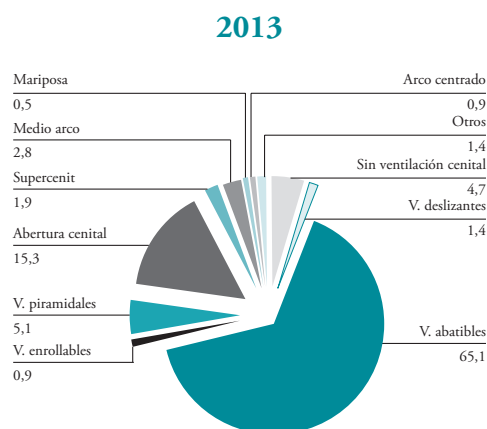
Fuente: Molina-Aiz (1997).

2004

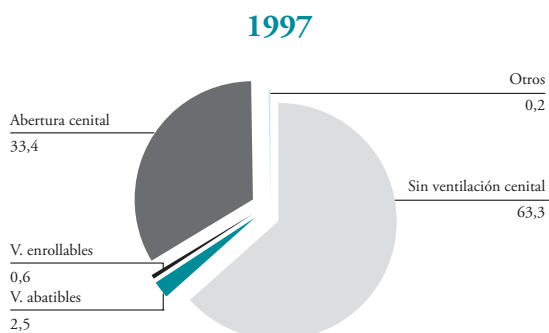


Fuente: Fernández y Pérez-Parra (2004).

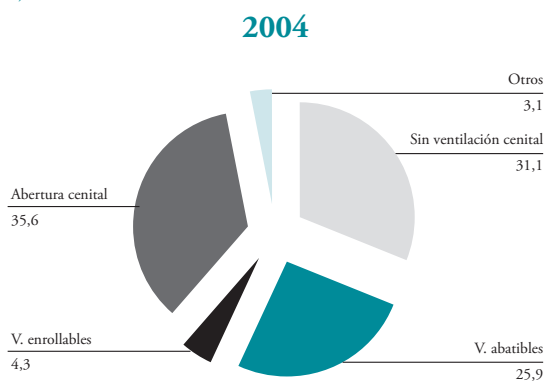
Gráfico 62. Evolución de los tipos de ventanas cenitales a lo largo de los últimos 16 años. En porcentaje



Fuente: encuesta realizada a agricultores. Elaboración propia.



Fuente: Molina-Aiz (1997).



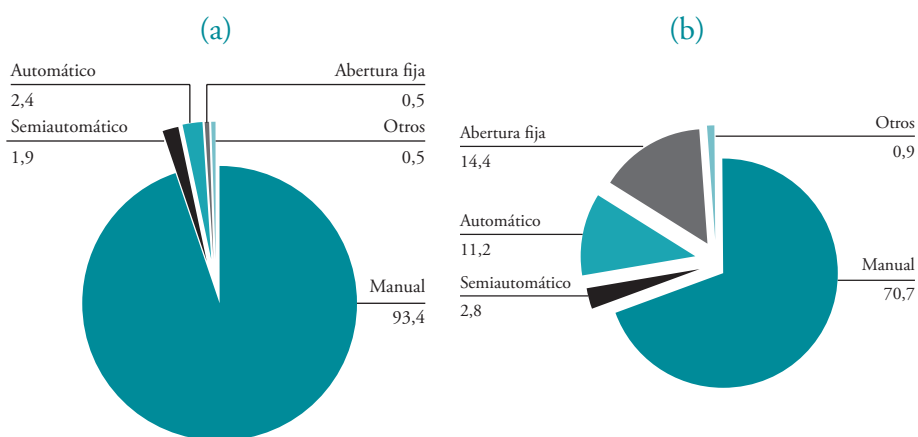
Fuente: Fernández y Pérez-Parra (2004).

Del mismo modo, se puede observar cómo se ha reducido el porcentaje de invernaderos con aberturas de ventilación cenitales fijas (del 33,4 % de 1997 al 15,4 % actual), no han aumentado las de tipo enrollable de difícil automatización y se han instalado nuevos diseños como las ventanas de tipo piramidal (Gráfico 62).

En el caso de los invernaderos multitúnel han surgido diferentes tipos de ventanas, aunque las más utilizadas siguen siendo las de medio arco que fueron las primeras que se instalaron en este tipo de invernaderos.

La mayoría de los agricultores abren y cierran las ventanas laterales de forma manual (Gráfico 63a) y solo un 2,4 % las gestiona de forma automatizada, correspondiéndose en casi todos los casos de invernaderos de tipo multitúnel. En las ventanas cenitales (Gráfico 63b) se ha extendido mucho más la apertura automatizada (11,2 %) o semiautomatizada con motorreductores que el agricultor pone en marcha mediante un interruptor manual (2,8 %).

Gráfico 63. Sistemas de accionamiento de las ventanas laterales (a) y cenitales (b)



Superficie de ventilación

La superficie de ventilación disponible es un parámetro que influye de forma directa en las condiciones climáticas dentro del invernadero; de forma que en el tipo Almería la superficie de ventilación disponible junto con la velocidad del viento, determinan directamente el gradiente térmico entre el interior y el exterior del invernadero (Molina-Aiz, 2010).

El análisis de la evolución de la superficie de ventilación muestra un claro incremento de la superficie media de ventilación total (A_v/S_c) para los invernaderos de tipo Almería, mientras que se puede observar una disminución para los invernaderos de tipo multitúnel. El incremento de superficie en los invernaderos planos y en raspa y amagado se basa tanto en un ligero incremento de la superficie media instalada, como sobre todo en el gran aumento del porcentaje de invernaderos que poseen ventilación cenital (Tabla 28).

En el caso de los invernaderos multitúnel se observa una reducción de la superficie total de ventilación (A_v/S_c). Esta disminución se debe a la reducción de la superficie de ventilación lateral (A_{vl}/S_c), como consecuencia de la no instalación de ventanas laterales en los frontales del invernadero, y al gran aumento de la superficie de suelo cubierta (S_c) por los invernaderos de este tipo (que han pasado de una superficie media de 7.276 m² en 1997 a 12.400 m², Tabla 26).

Tabla 28. Porcentajes medios de superficie de ventilación lateral (A_{vl}/S_c), ventilación cenital (A_{vc}/S_c) en los invernaderos que constan de ellas (VC) y porcentaje medio de la superficie de ventilación total (A_v/S_c) para el conjunto de todos los invernaderos

Invernadero/comarcas	A_{vl}/S_c	A_{vc}/S_c	VC	A_v/S_c	A_{vl}/S_c	A_{vc}/S_c	VC	A_v/S_c
Encuesta	2013				1997			
Plano	8,6	4,5	95,8	13,0	9,1	3,4	31,5	8,8
Raspa y amagado	10,4	4,7	88,9	14,5	9,2	4,4	40,7	9,1
Asimétrico	10,5	4,1	85,7	14,5	9,6	8,4	46,7	10,2
Multitúnel cilíndrico	6,6	9,9	100,0	16,5	12,2	8,1	100,0	20,3
Multitúnel gótico/A dos aguas*	1,0	16,0	100,0	16,4	8,7*	3,0*	57,8*	8,3*
Campo de Dalías	8,5	4,9	88,6	9,0	9,3	4,0	40,4	8,3
Campo de Níjar	10,3	6,1	81,4	15,0	10,1	3,3	18,3	8,6
Bajo Andarax	14,5	4,5	89,3	18,6	9,4	3,3	46,1	8,6
Bajo Almanzora	10,1	4,3	100,0	14,3	11,3	5,0	50,0	11,2
Provincia de Almería	10,0	5,1	95,4	14,4	9,1	3,8	36,3	8,9

Es destacable el hecho de que los invernaderos de tipo gótico poseen una superficie de ventilación lateral (A_{vl}/S_c) extremadamente reducida, además de por su mayor superficie de suelo cubierta, porque muchos de ellos carecen de este tipo de ventanas. Los agricultores piensan que los insectos plaga pueden

entrar con más facilidad a través de estas ventanas que por las cenitales situadas a gran altura, por lo que en muchos casos prescinden de ellas. Esto supone un grave problema en condiciones de viento débil y elevadas temperaturas, pues al no disponer de ventanas laterales se reduce el flujo de aire por efecto de la flotabilidad del aire caliente.

La capacidad de ventilación de los invernaderos es un elemento que necesita mejorar, puesto que aún sigue siendo muy deficiente, con un valor medio del 14,4 % (Gráfico 64), lejos del valor mínimo del 30 % de la superficie cubierta A_v/S_c necesaria para una correcta ventilación (Molina-Aiz, 2010), o incluso del valor recomendado del 25 % en el Reglamento de Producción Integrada.

Para lograr aumentar la superficie al nivel necesario en los invernaderos de tipo Almería en raspa y amagado se deberían instalar aperturas cenitales en las cubreras de todos los módulos y aumentar la superficie de las aberturas laterales al máximo posible en las cuatro bandas del invernadero (Figura 148). Para obtener una adecuada tasa de renovación de aire en los invernaderos ($R=45 \text{ h}^{-1}$), y limitar el gradiente térmico a unos $5 \text{ }^\circ\text{C}$ sería necesario, aumentar la superficie de ventilación a un 35 % de la superficie cubierta, para compensar las disminuciones de caudal ocasionadas por las mallas anti-insectos y el cultivo (Molina-Aiz, 2010).

Gráfico 64. Superficies de ventilación lateral, cenital y total de los diferentes tipos de invernaderos. En porcentaje

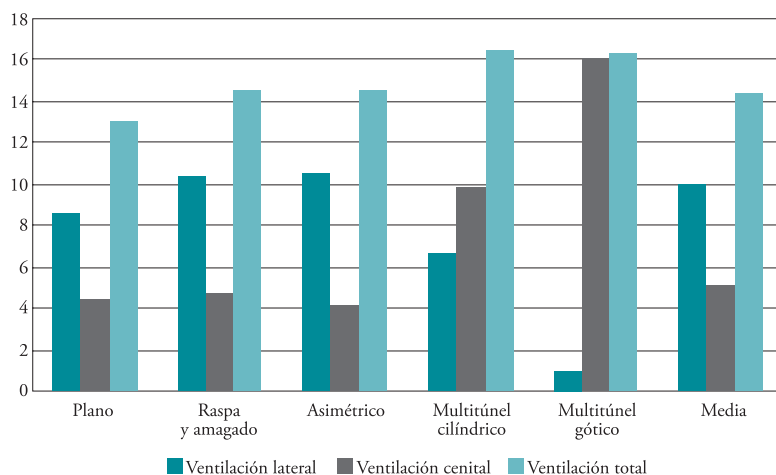
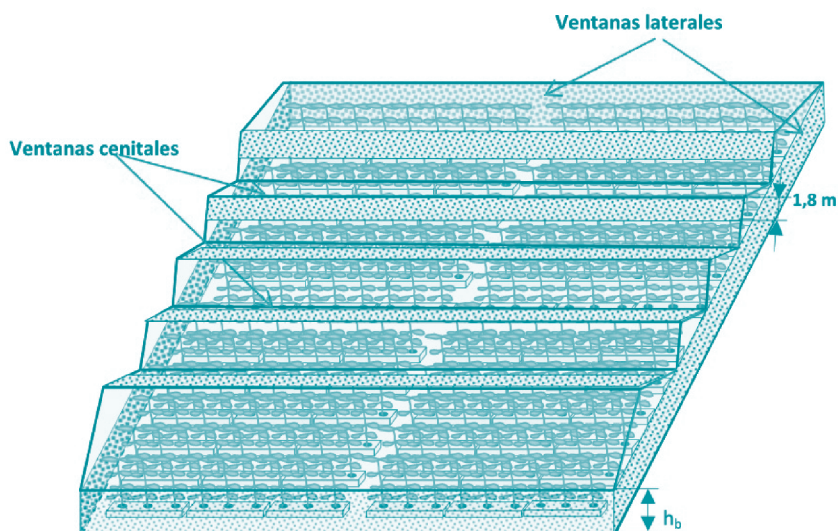


Figura 148. Esquema del invernadero tipo Almería con las ventanas necesarias para alcanzar una superficie de ventilación del 35 % de la superficie cubierta

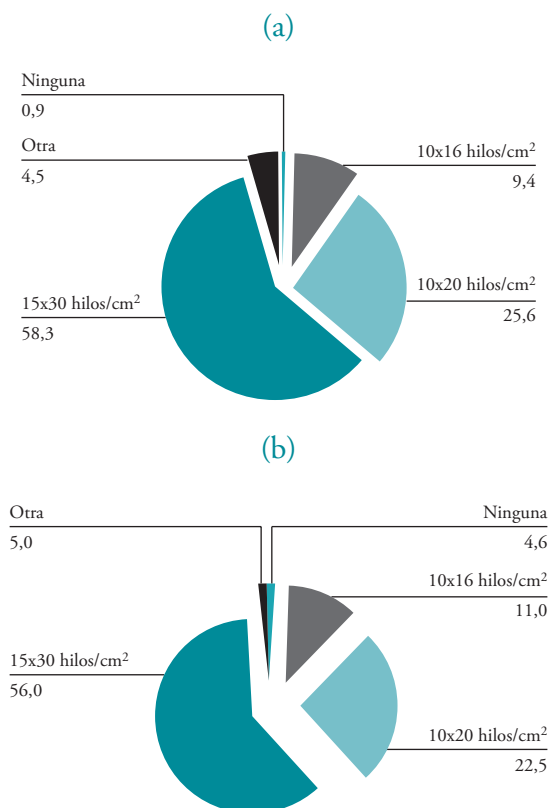


Fuente: Molina-Aiz (2010).

Sistemas pasivos de protección contra plagas

La gran mayoría de invernaderos de Almería dispone de algún tipo de mallas anti-insectos como sistema de protección pasivo contra la entrada de insectos plaga (Gráfico 65). La más utilizada en las ventanas cenitales es la de 15×30 hilos/cm² (Gráfico 65b), aunque la obligatoria en la legislación andaluza por la que se establecen las medidas de control obligatorias en la lucha contra las enfermedades víricas en los cultivos hortícolas (ORDEN de 12 de diciembre de 2001, BOJA núm. 3 Sevilla, 8 de enero 2002) es la de 10×20 hilos/cm². El empleo de este tipo de mallas es igualmente obligatorio en el Reglamento Específico de Producción Integrada de Cultivos Hortícolas Protegidos comentado anteriormente.

Gráfico 65. Densidad de las mallas anti-insectos utilizados en las ventanas laterales (a) y cenitales (b) de los invernaderos de Almería encuestados. En porcentaje



En las ventanas laterales sometidas a una mayor presión de trips, las mallas más utilizadas son más densas (15×30 hilos/cm²) que las exigidas por las normas anteriormente comentadas (Gráfico 65).

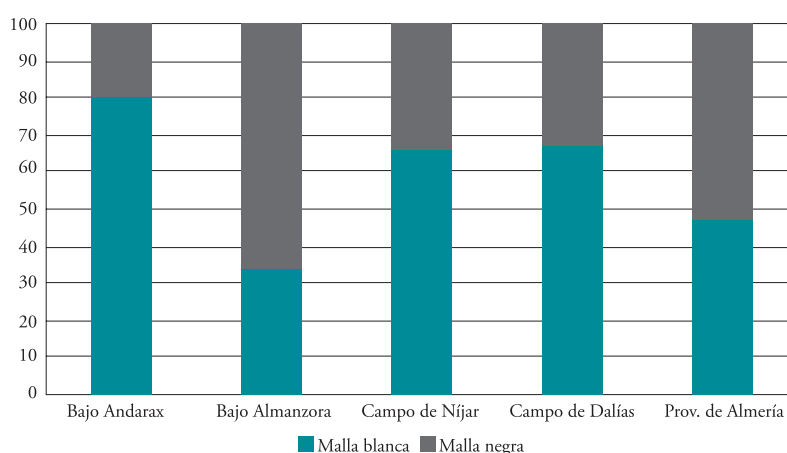
Las mallas de 10×16 hilos/cm² se utilizan en un 9,4 % de las ventanas laterales y en un 11 % de las ventanas cenitales (Gráfico 65). Aunque estas mallas tienen menos densidad que las indicadas por la normativa andaluza, su uso está autorizado por esta en el caso de una deficiente ventilación del invernadero.

En cuanto al tipo de material utilizado para la confección de las mallas, se reparten a partes iguales las mallas de polietileno de alta densidad (PEad) de coloración negra y las de hilos semitransparentes o blancas (Gráfico 66),

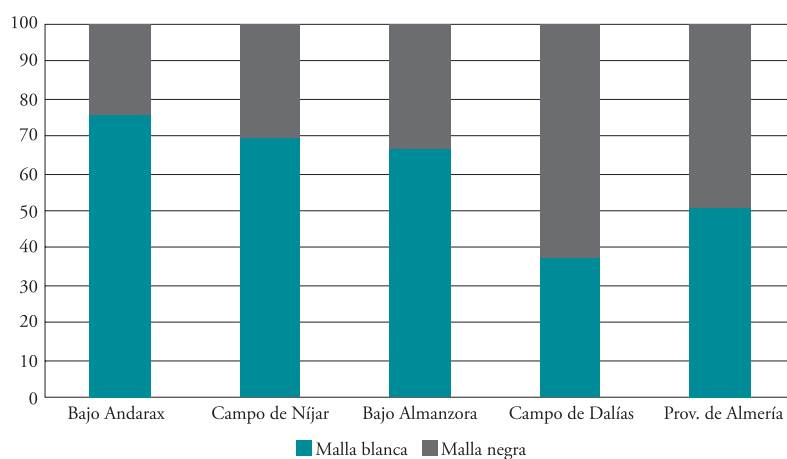
siendo estas últimas mucho menos utilizadas en el Campo de Dalías (36 %) en las ventanas cenitales y en el Bajo Almanzora en la laterales que en las otras tres comarcas (66-80 %). Las mallas blancas presentan una transparencia a la radiación solar en torno al 75 %, mientras que las de color negro suelen tener transmisividades inferiores al 30 %.

Gráfico 66. Color de las mallas anti-insectos en las ventanas laterales (a) y cenitales (b)

a) Ventanas laterales

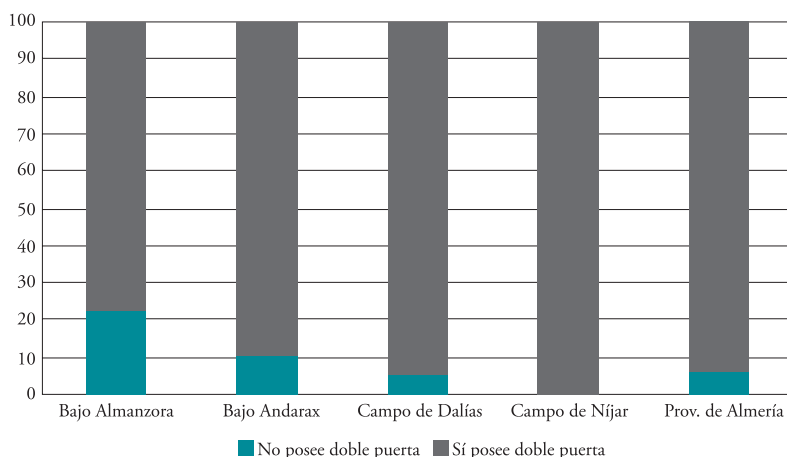


b) Ventanas cenitales



Otra de las medidas de protección pasiva obligatorias en la normativa andaluza para la protección contra enfermedades víricas son las dobles puertas. Así, el 94 % de los invernaderos de Almería pose doble puerta, siendo la comarca del Bajo Almanzora en la que menos se utilizan con un 78 % (Gráfico 67).

Gráfico 67. Porcentajes de invernaderos encuestados con doble puerta



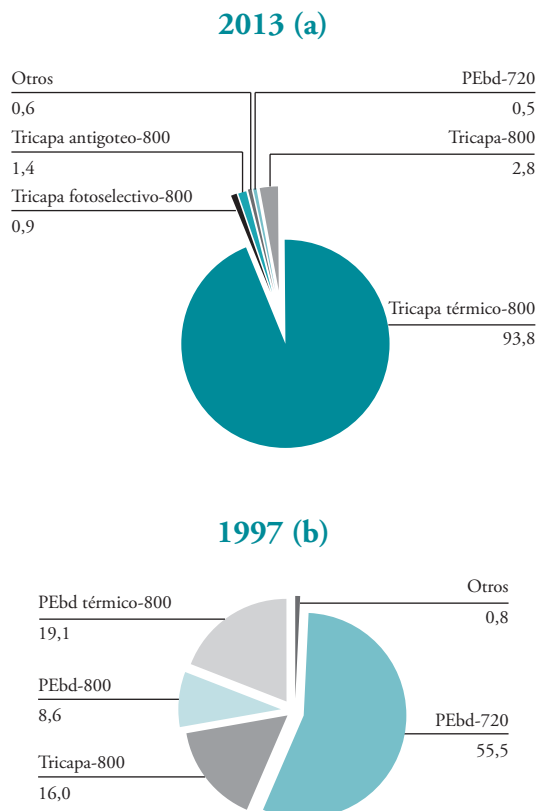
Materiales de cubierta del invernadero

El análisis de la evolución de los materiales de cubierta muestra como, desde 1997 hasta la actualidad, se ha producido un cambio importante (Gráfico 68). Las láminas de polietileno de baja densidad (PEbd) con un espesor de 720 galgas cubrían un 55 % de los invernaderos muestreados en 1997. Sin embargo, las láminas tricapa de coextrusión PE-EVA-PE con un espesor de 800 galgas, con aditivos para mejorar su efecto térmico, se utilizan de forma mayoritaria en la actualidad (en un 93,8 % de los invernaderos muestreados).

En 1997 la distribución de los diferentes materiales de cubierta era más heterogénea, de forma que el PEbd de 800 galgas, que era el cuarto menos utilizado, representaba el 8,6 % de los invernaderos. Sin embargo, el plástico tricapa de 800 galgas, que ahora es el segundo tipo más usado, solo se instala en un 2,8 % de los invernaderos.

Además del plástico tricapa con propiedades térmicas, se utilizan en mucha menor medida los tricapa antigoteo y fotoselectivos, con porcentajes del 1,4 y del 0,9 %, respectivamente.

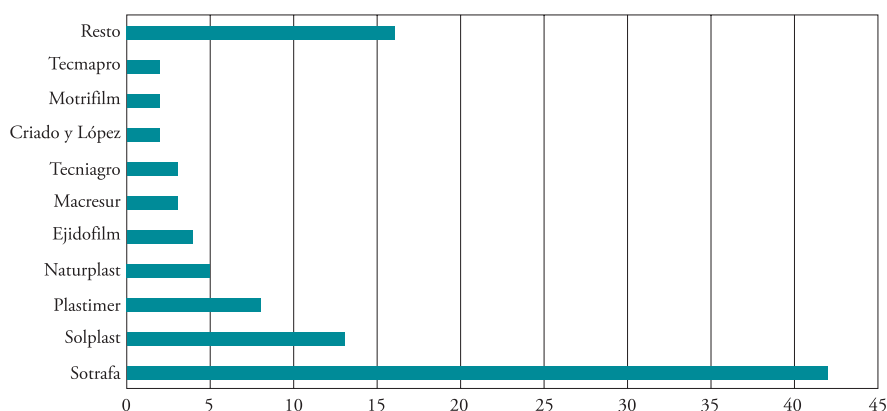
Gráfico 68. Evolución de los materiales de cubierta a lo largo de los últimos 16 años: encuestas de 2013 (a) y 1997 (b). En porcentaje



En cuanto a la coloración del *film* también existe una gran homogeneidad, ya que el 96,2 % de los agricultores utiliza plástico transparente de color blanco (el 100 % en el Bajo Andarax, el Campo de Dalías y el Campo de Níjar), el 2,8 % plástico amarillo y el 0,5 % de color verde, concentrados estos dos tipos únicamente en la comarca del Bajo Andarax.

La procedencia del plástico del invernadero es muy variada, aunque uno de los fabricantes acapara el 42 % del mercado, el segundo un 13 % y el resto entre un 2 y un 8 % (Gráfico 69).

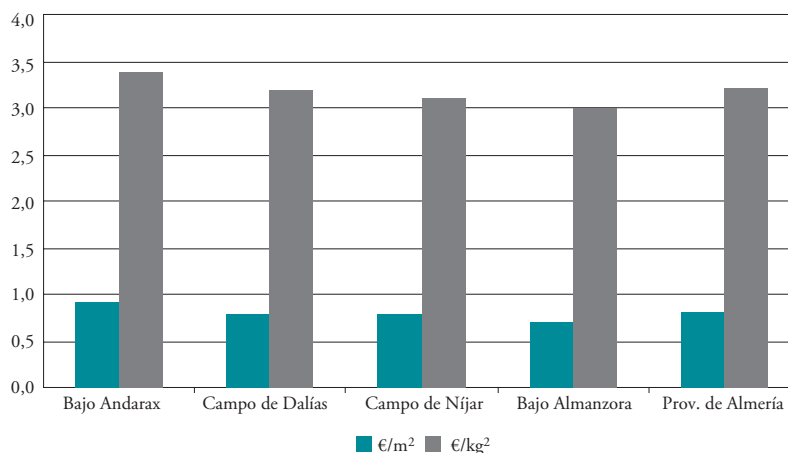
Gráfico 69. Procedencia del plástico utilizado por los agricultores encuestados. En porcentaje



La duración del plástico de cubierta es de 3 años en el 92 % de los agricultores encuestados, aunque pueden llegar a mantenerse hasta 4-5 años, obteniéndose mayores duraciones en el Campo de Níjar.

En el precio del material de cubierta se observa una clara variación en función de la comarca en la que se encuentra el invernadero. El precio del plástico resulta ser más caro en la comarca del Bajo Andarax, seguido del Campo de Dalías y del Campo de Níjar, obteniéndose el menor coste en el Bajo Almanzora. Además, esta variación se observa tanto para el precio indicado en €/m² por algunos agricultores, como en €/kg facilitado por otros agricultores diferentes (Gráfico 70).

El 95 % de los agricultores contrata a cuadrillas especializadas para cambiar el plástico en los invernaderos (siendo el 100 % en el Bajo Andarax y el Bajo Almanzora), mientras que solo el 2,3 % lo instala él mismo con la ayuda de los agricultores vecinos.

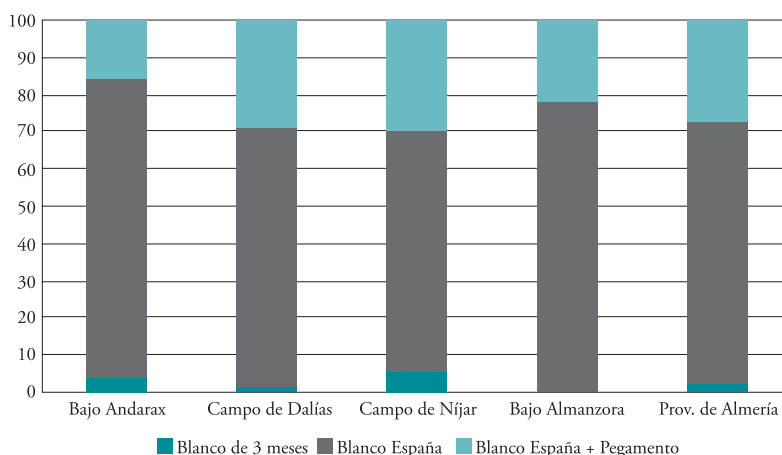
Gráfico 70. Coste medio del plástico de cubierta

Blanqueo de la cubierta del invernadero

La inmensa mayoría de los agricultores de Almería (99 %) blanquea la cubierta del invernadero para aumentar el coeficiente de reflexión de ésta a la radiación solar, lo que permite reducir el aporte de energía que calienta el invernadero en las horas centrales del día.

La mayoría de los agricultores encuestados utiliza carbonato cálcico micronizado (Blanco de España) para blanquear la cubierta del invernadero (88,1 %), mientras que una cuarta parte además le añade adhesivo (Gráfico 71) para mejorar su permanencia sobre la cubierta del invernadero. Muy pocos agricultores añaden encalado de 3 meses (2,4 %). No se observan grandes variaciones entre las diferentes comarcas productoras en cuanto al uso del encalado con adhesivo.

Gráfico 71. Productos usados en el blanqueo de la cubierta de los invernaderos. En porcentaje



La aplicación del producto se realiza mediante sistemas de pulverización con lanza y boquillas que permiten dirigir el flujo, lo que origina que la distribución nunca sea totalmente uniforme. Mediante la dosificación del carbonato cálcico en el agua se puede regular la intensidad del sombreado (la transmisividad de la cubierta). La dosis empleada varía mucho según las comarcas (Gráfico 72), utilizando mayores valores en el Campo de Dalías ($0,43-0,46 \text{ kg ha}^{-1}$) y el Campo de Níjar ($0,34-0,37 \text{ kg ha}^{-1}$). En estas dos comarcas se aprecia además como los agricultores reducen la dosis de blanqueo conforme aumenta la edad del plástico puesto que éste pierde transmisividad con el tiempo. En el Bajo Almanzora y el Bajo Andarax se utilizan concentraciones mucho más pequeñas de carbonato cálcico y con menor variación en función de la antigüedad del plástico.

Los agricultores realizan el blanqueo (Gráfico 73) al inicio de los cultivos de otoño-invierno (agosto) y de primavera-verano (febrero, marzo y abril).

La mayor parte de los agricultores limpia la cubierta del invernadero (Gráfico 74) cuando la radiación solar es insuficiente (principalmente al final del otoño o inicio del invierno) mediante agua a presión (38,5 %) o cepillo con agua (29,8 %). También se está generalizando el uso de máquinas de limpieza que cepillan de forma automática el plástico (11,1 %). En algunos casos simplemente dejan que la lluvia lave de forma natural el carbonato cálcico (17,9 %).

Gráfico 72. Dosis usada en el blanqueo en las diferentes comarcas y según la edad del plástico. En kg ha⁻¹

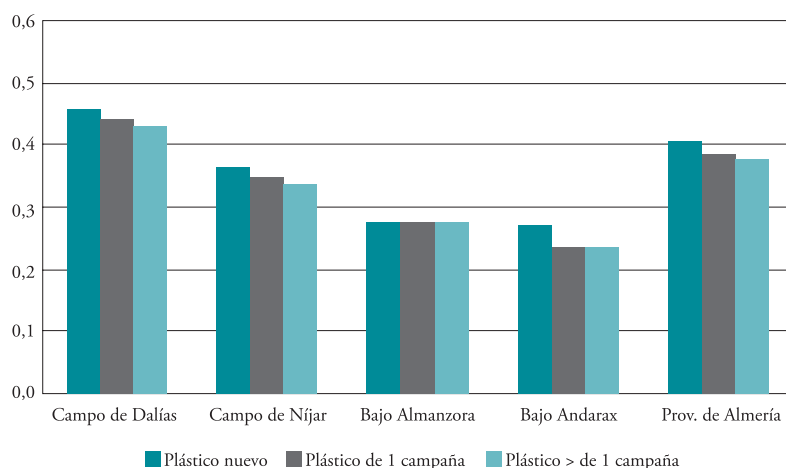


Gráfico 73. Agricultores que blanquean en los diferentes meses de cultivo. En porcentaje

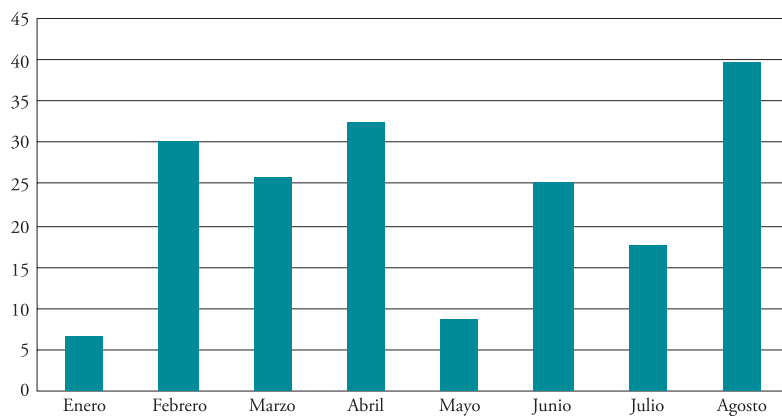
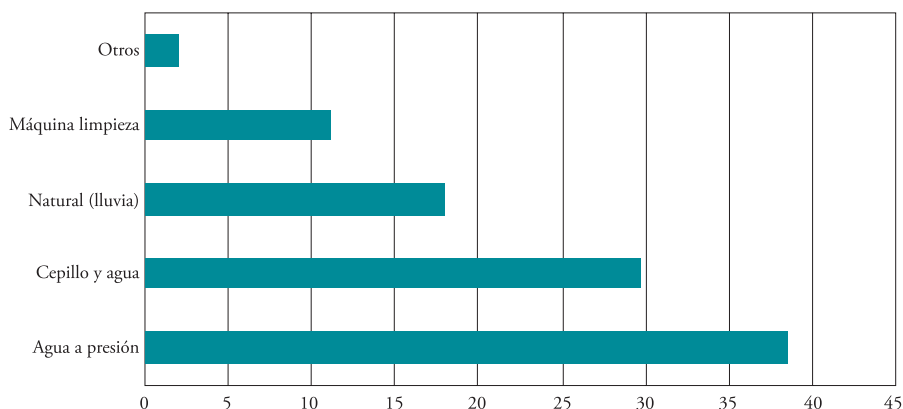


Gráfico 74. Sistemas de limpieza de la cubierta



4.8. Sistemas de control climático

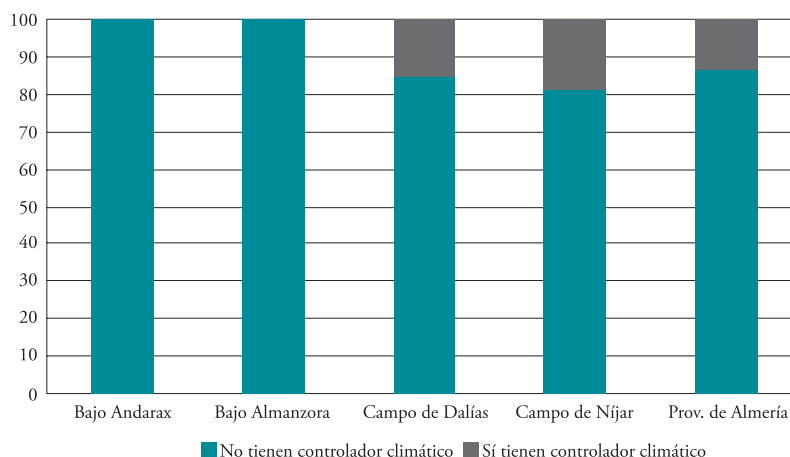
Uno de los aspectos que puede mejorar la productividad de los cultivos agrícolas es el uso de activos de control climático. Sin embargo, los elevados costes energéticos que llevan asociados algunos de estos sistemas, como por ejemplo la calefacción, junto con el estancamiento de los precios de venta de las frutas y hortalizas, hacen difícil su incorporación generalizada en el sector.

Sistemas automáticos de gestión del clima

El uso de los sistemas de gestión del clima mediante microprocesadores y ordenador (Gráfico 75) está íntimamente ligado al nivel de tecnología del control climático instalado en el invernadero. Del mismo modo, la instalación de sistemas de pantallas térmicas o de calefacción está directamente relacionada con el tipo de estructura. Así, los invernaderos tipo multitúnel cilíndricos o góticos suelen disponer de más equipos que deben ser gestionados por un controlador del clima. De esta forma el 94 % de los invernaderos multitúnel muestreados dispone de estos equipos, mientras que solo el 14,3 % de los asimétricos o el 9,9 % de los raspa y amagado los utilizan. También se puede destacar, como era previsible, que ninguno de los agricultores con invernaderos de tipo plano dispone de esta tecnología.

En cuanto al reparto por comarcas, un 19 % de los invernaderos del Campo de Níjar y un 15 % de los del Campo Dalías disponen de controladores climáticos, mientras que no existen en ninguno de los invernaderos analizados en las comarcas del Bajo Andarax y Bajo Almanzora.

Gráfico 75. Invernaderos equipados con controlador climático.
En porcentaje



Sistemas de ahorro de energía móviles

El uso de pantallas térmicas para reducción de las pérdidas de energía radiativa durante la noche se restringe a sólo el 2,4 % de los invernaderos encuestados. Un 25 % de los invernaderos con pantallas térmicas eran de tipo multitúnel con calefacción de aire por combustión directa y con controlador climático. El 75 % restante son invernaderos en raspa y amagado sin calefacción ni gestión del clima con microprocesador.

Del mismo modo, sólo el 1,9 % de los agricultores encuestados dispone de mallas de sombreo para controlar la radiación solar incidente a lo largo del día. Es destacable que se trata de invernaderos en raspa y amagado sin calefacción ni controlador climático (75 %) o góticos con sistema de gestión del clima (25 %). Por tanto, un 94,8 % no utiliza ningún tipo de malla o pantalla térmica.

Sistemas de ventilación forzada

La gran mayoría de los invernaderos de Almería no utiliza ningún sistema de ventilación forzada (92 %), debido a que estos sistemas implican una fuerte inversión y, sobre todo, conllevan un elevado consumo de energía eléctrica, con el consiguiente incremento en los costes de producción. Así, solo un 4,2 % de los invernaderos encuestados está dotado de extractores de aire para realizar ventilación forzada e incrementar el nivel de renovación de aire cuando la velocidad del viento es baja y la ventilación natural es insuficiente. Del mismo modo, un escaso 3,3 % de los invernaderos dispone de ventiladores dentro del invernadero (desestratificadores) para mover y recircular el aire interior con el objetivo de obtener unas condiciones micro-climáticas más homogéneas.

Es destacable que sólo un 9 % de los invernaderos multitúnel (incluyendo cilíndricos y góticos) utiliza ventiladores desestratificadores y ninguno de ellos extractores. También es llamativo como un 4,3 % de los invernaderos planos encuestados utiliza extractores, posiblemente para intentar paliar la ineficiencia de su sistema de ventilación natural. Este porcentaje es muy parecido para el caso de los invernaderos en raspa y amagado que disponen de extractores (3,7 %) concentrados en el Bajo Andarax. En esta comarca un 11 % del total de invernaderos instala extractores. Un porcentaje equivalente de los invernaderos en raspa y amagado (3,1 %) instala pequeños ventiladores desestratificadores, sobre todo en el Campo de Níjar, donde un 7 % del total de invernaderos muestreados está dotados de estos equipos.

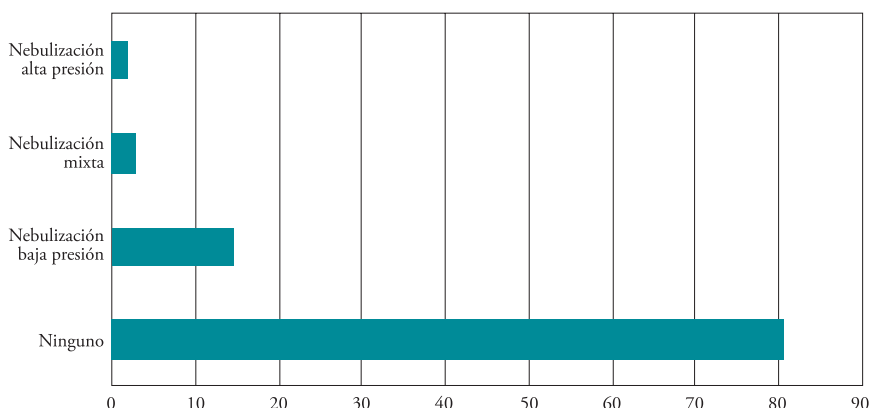
Sistemas de refrigeración por evaporación de agua

El sistema de control climático activo más extendido en los invernaderos de Almería es la refrigeración por evaporación de agua mediante redes fijas de nebulización, de las que disponen un 19,3 % de los invernaderos, principalmente con sistemas de agua a baja presión (Gráfico 76). Este sistema está sobre todo incorporado en los invernaderos del Campo de Dalías, donde un 23 % de ellos lo utiliza, en contraste con el 2 % del Campo de Níjar, o la inexistencia en las comarcas del Bajo Andarax y Bajo Almanzora.

El uso de la nebulización no parece estar exclusivamente relacionado con el tipo de estructura, puesto que los porcentajes de utilización esta técnica varían entre el 16,7 % de los invernaderos planos al 22 % de los multitúnel de cubierta semicilíndrica. En el caso de los invernaderos de tipo gótico su

uso llega a ser del 66,7 %. Probablemente es debido a que esta técnica no requiere de hermeticidad del invernadero, para de esta manera evitar que se sature de vapor de agua la mezcla de aire húmedo y pueda seguir refrigerando el ambiente.

Gráfico 76. Sistemas de refrigeración por evaporación de agua en los invernaderos de Almería. En porcentaje



Sistemas de calefacción

En el mismo sentido que los sistemas de ventilación o de refrigeración evaporativa, la implantación de sistemas de calefacción es aún muy minoritaria en los invernaderos de Almería, siendo solo del 8,4 %. El sistema más difundido es la calefacción por combustión indirecta (3,3 %) mediante calefactores dotados de intercambiador de calor y chimenea para evacuación de gases fuera del invernadero. El segundo sistema más utilizado son los denominados cañones o calefactores de combustión directa (2,8 %) que presentan el inconveniente de descargar los humos procedentes de la combustión dentro del invernadero pero con la ventaja de un rendimiento térmico del 100 %.

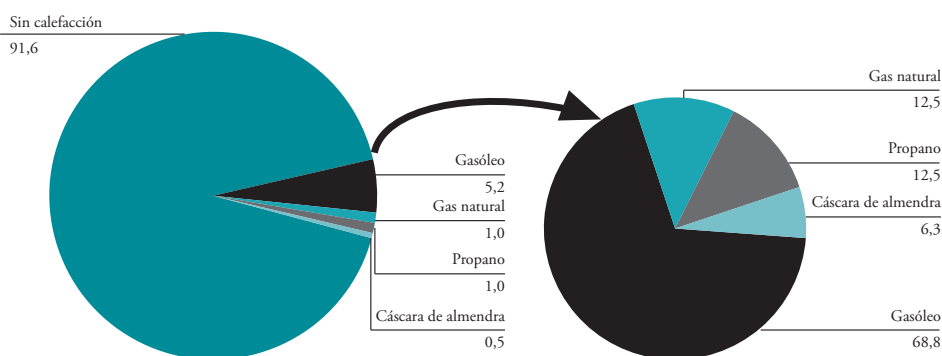
Los sistemas de calefacción mediante tuberías de agua caliente sólo se han encontrado en un 0,5 % de los invernaderos encuestados, lo que da idea de su baja implantación en el sector. Posiblemente su poca difusión se deba principalmente a la gran inversión necesaria para su instalación, justificable sólo para un uso continuado durante gran parte del periodo de cultivo, algo que por lo general no es necesario en la provincia de Almería debido a su clima cálido.

Este sistema de control climático sí está estrechamente ligado al tipo de estructura, ya que el 66,7 % de los multitúnel dispone de calefacción, mientras que en el caso de los invernaderos en raspa y amagado es de sólo un 4,9 %. También es destacable cómo el 50 % de los invernaderos con sistemas de calefacción está dotado de controladores climáticos para su gestión automatizada.

En cuanto a los combustibles utilizados por los sistemas de calefacción, el más empleado es el gasóleo, que supone el 68,8 % del conjunto de invernaderos calefactados (Gráfico 77), seguido del gas natural y del gas propano, cada uno de ellos con un 12,5 % de las instalaciones.

Cabe hacer especial mención al uso de cáscara de almendra como combustible, por ejemplo en sistemas de calefacción por aire mediante horno con tubos de circulación forzada de aire impulsado por extractores. Almería es una provincia productora tanto de cáscara de almendra como de hueso de aceituna, dos biocombustibles que pueden llegar a ser una alternativa de futuro para calefactores de aire utilizados como sistema de seguridad, en caso de peligro de bajadas bruscas de temperaturas, algo que suele ocurrir en Almería cada década.

**Gráfico 77. Combustibles empleados en los sistemas de calefacción.
En porcentaje**



Técnicas de ahorro energético

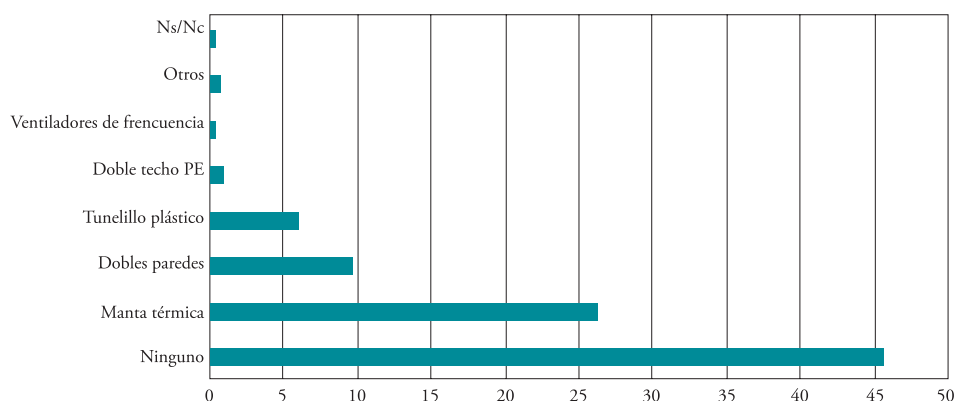
A diferencia de los de calefacción, los sistemas de ahorro de energía sí parecen estar extendidos entre los invernaderos de Almería, de forma que el 43,9 % de los encuestados dispone de algún método de reducción de las pérdidas de energía, durante el periodo invernal principalmente (Gráfico 78).

El sistema más utilizado es la manta térmica que se extiende sobre el cultivo, bien directamente o sobre los propios tutores del mismo, empleándose en un 26,2 % de los invernaderos, sobre todo en el Bajo Almanzora donde es usado por un 65 %, debido al mayor riesgo de heladas existente en esta comarca.

De igual forma, el uso de túneles de semiforzado (microtúneles o tunelillos) de láminas de polietileno se utiliza principalmente en el Bajo Almanzora (en un 18 % de los invernaderos), suponiendo en el conjunto de la provincia un 6,0 % del total.

El segundo sistema más utilizado es el de dobles paredes, disponible en el 13 % de los invernaderos del Campo de Dalías, lo que supone un 9,7 % del total provincial.

Gráfico 78. Técnicas de ahorro energético utilizadas en los invernaderos de Almería. En porcentaje



Sistemas de control climático avanzado

Ninguno de los encuestados utiliza sistemas de control climático avanzado como la inyección de CO₂ o la iluminación artificial. Aunque el enriquecimiento carbónico es una técnica implantada en Almería, su uso se restringe a menos de una docena de invernaderos multitúnel o *venlo*.

4.9. Análisis de costes y beneficios

En el análisis de la rentabilidad de las explotaciones, aparece nuevamente la importancia de la especialización. La zona más especializada, la comarca del Bajo Andarax gracias al cultivo de tomate, obtiene el mayor margen bruto: 3,2 €/m². La media provincial tiene unos ingresos de 7,01 €/m² y unos gastos de 4,12 €/m² (Gráfico 79), por el que su margen es de 2,89 €/m². Por otro lado, la media provincial del margen bruto por campaña agrícola ha sido de 39.083 €.

Cada comarca tiene su producto estrella, así el 96 % de los agricultores del Bajo Andarax ha declarado que el cultivo que le proporciona mayores beneficios es el tomate. Con porcentajes no tan altos para el resto de comarcas, los cultivos más rentables han sido: pimiento (38 %) en el Campo de Dalías, tomate (34 %) en el Campo de Níjar y otra vez tomate (44 %) en el Bajo Almanzora. Se puede observar nuevamente la especialización de estas comarcas en los cultivos de pimiento y tomate.

El 44 % de los agricultores no recibe ninguna subvención, porcentaje que coincide con los que tampoco recurren a financiación externa (Gráfico 80), siendo la comarca menos endeudada la del Bajo Andarax (57,1 %).

No obstante, más de la mitad de los agricultores de la provincia requiere financiación, concretamente el 56,3 % de los mismos (Gráfico 81). Merece la pena destacar la importante labor de apoyo que siempre ha tenido con el sector Cajamar Caja Rural, que es la primera caja rural y cooperativa de crédito española y que, según este trabajo, en Almería financia al 76 % de las explotaciones de invernaderos que lo requieren.

Por otro lado, la mitad de los encuestados tiene pensado hacer mejoras en su explotación a corto plazo, por lo que posiblemente requerirán ser financiados.

Gráfico 79. Ingresos y gastos a lo largo de la campaña. En €/m²

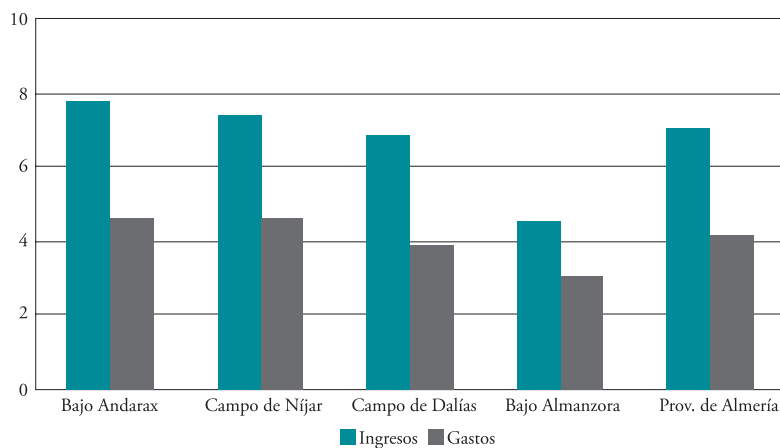
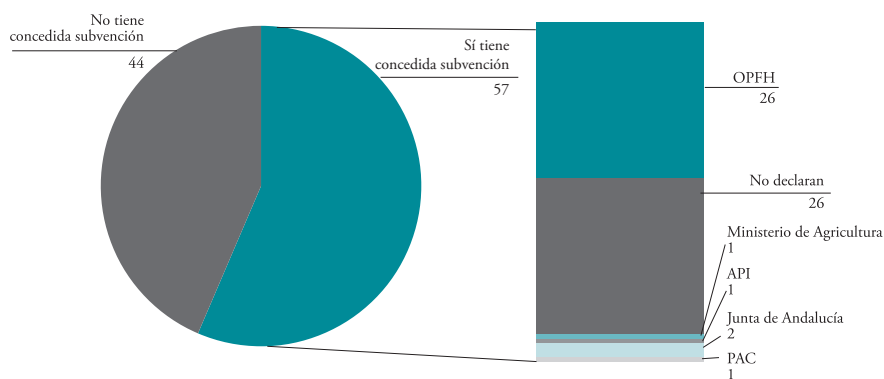
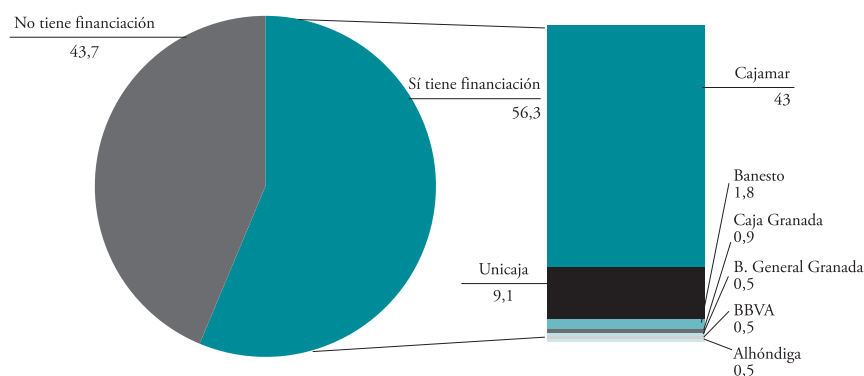


Gráfico 80. Procedencia de las subvenciones obtenidas por los agricultores encuestados. En porcentaje



**Gráfico 81. Entidades que financian a los agricultores encuestados.
En porcentaje**



4.10. Mano de obra

Más del 40 % de los costes de la explotación se pueden imputar a la mano de obra, que es el mayor de todos ellos. El 64 % de la mano de obra es contratada y de ella un 90,4 % inmigrante (Gráfico 82).

La plantilla media es de 5 trabajadores por explotación, recurriendo mayoritariamente a empleados fijos discontinuos (Gráfico 83).

**Gráfico 82. Mano de obra empleada por los agricultores encuestados.
En porcentaje**

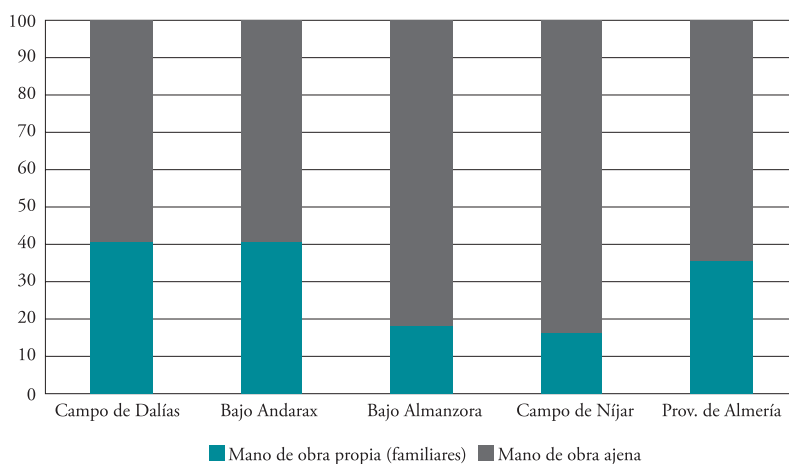
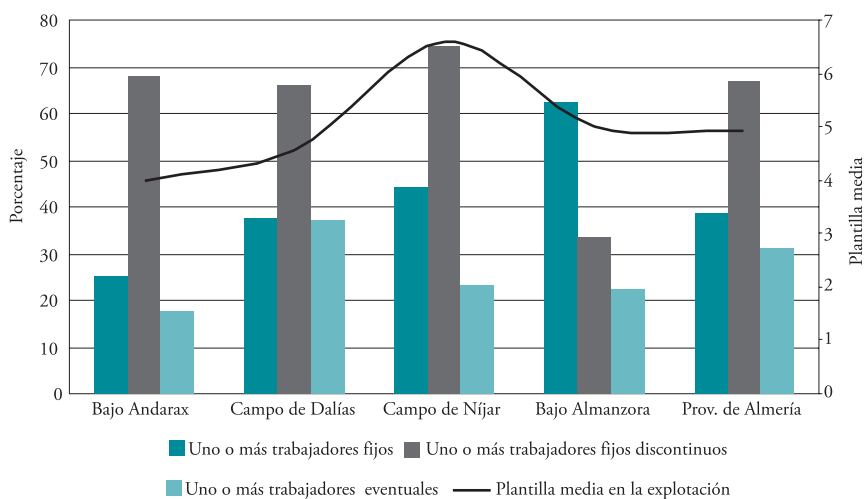


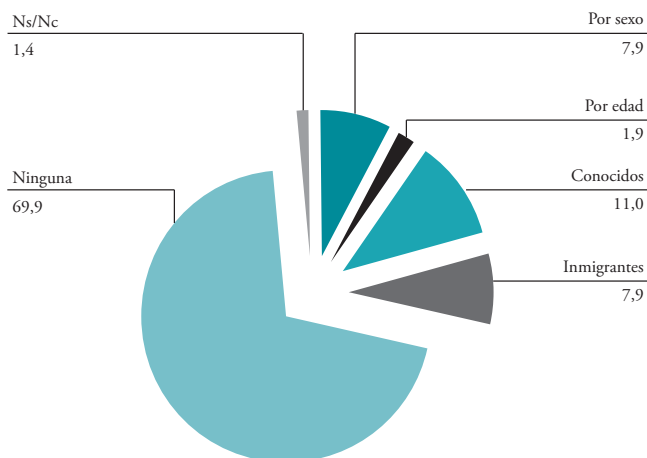
Gráfico 83. Características de la mano de obra empleada por los agricultores encuestados



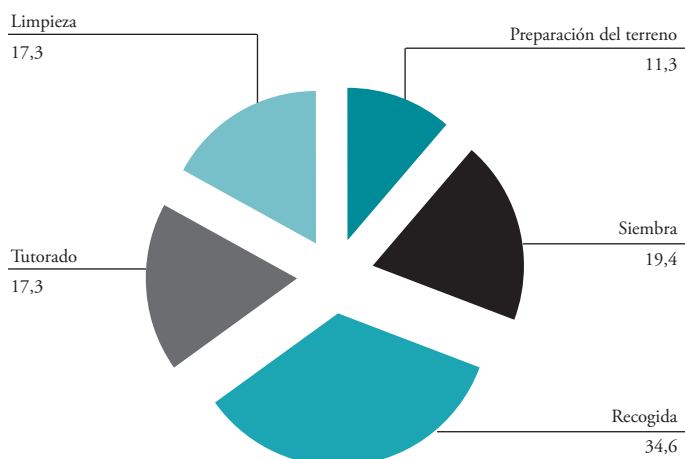
Mayoritariamente los agricultores han declarado no tener preferencia alguna a la hora de contratar mano de obra (69,9 %), siendo en todo caso el criterio más importante conocer a la persona que emplean (Gráfico 84).

La mano de obra contratada es en un 35 % de los casos requerida para las labores de recolección de las frutas y hortalizas (Gráfico 85).

Gráfico 84. Preferencias para contratar personal. En porcentaje



**Gráfico 85. Labores para las que contrata a personal eventual.
En porcentaje**



5. Perfiles más rentables

Para obtener los perfiles medios de las explotaciones más rentables en cada comarca agrícola, se han utilizado los datos de las tres últimas campañas (desde 2010/11 hasta 2012/13) y se ha efectuado la media de las diez mejores explotaciones. Para las preguntas de carácter cualitativo, se ha especificado el número de respuestas de cada tipo o en su defecto se ha considerado el valor más frecuente (moda).

Para evitar la posible distorsión que sobre la caracterización de las infraestructuras productivas más eficientes, pudiera provocar la efectividad comercial de las empresas que ponen los productos en el mercado (que podría ser otro enfoque del estudio), se ha decidido trabajar además con un patrón homogéneo. Para ello, hemos utilizado los rendimientos (kg m^{-2}) de cada explotación concreta, para cada cultivo, ciclo y campaña; pero considerando los precios medios mensuales de venta en cada periodo concreto de recolección (en función del tipo de cultivo y ciclo), facilitados por el Observatorio de Precios y Mercados de la Junta de Andalucía. No obstante, no se han observado grandes variaciones entre los ingresos medios brutos declarados por los agricultores y los calculados para sus explotaciones utilizando como patrón homogéneo el Observatorio de Precios y Mercados.

Por otro lado, hemos analizado el perfil de las diez mejores explotaciones según el rendimiento productivo medio obtenido en las tres campañas analizadas. Para ello se ha estudiado independientemente cada una de las combinaciones de cultivos, por campaña, que han aparecido con mayor frecuencia en la muestra:

- Dos ciclos cortos de tomate.
- Tomate de ciclo largo.
- Pimiento en otoño-invierno y melón en primavera-verano.
- Pimiento en otoño-invierno y sandía en primavera-verano.
- Pimiento de ciclo largo.
- Pepino en otoño-invierno y sandía en primavera-verano.
- Pepino en otoño-invierno y melón en primavera-verano.
- Dos ciclos cortos de calabacín.
- Calabacín en otoño-invierno y sandía en primavera-verano.
- Calabacín en otoño-invierno y melón en primavera-verano.
- Berenjena en otoño-invierno y sandía en primavera-verano.
- Berenjena de ciclo largo.

5.1. Perfil medio de la explotación con mayores ingresos medios estimados, por comarcas

El perfil medio del agricultor que ha obtenido mayores ingresos en su explotación, tiene una edad superior a 42 años, posee gran experiencia, más de 25 años, es el propietario de la finca y se dedica a tiempo completo a ella. En todas las comarcas las explotaciones más rentables utilizan lucha integrada e injertos.

La combinación de invernadero tipo Almería y cultivos enarenados continúa después de 50 años gozando de una excelente salud, puesto que es la alternativa que mayoritariamente se ha mostrado más rentable. Las estructuras que han presentado un mejor comportamiento han incrementado su altura y poseen ventilación cenital en al menos la mitad de las cubiertas.

La importancia del cooperativismo también ha quedado plasmada en este estudio, de manera que los agricultores con más de 10 años de pertenencia a este tipo de estructura comercial han obtenido un mejor resultado.

Por otro lado, todas las fincas de máxima rentabilidad están sometidas a varios sistemas de certificación. (Ver Tablas 29, 30, 31 y 32; pp. 336-343).

5.2. Perfil medio de la explotación con mayores rendimientos productivos por campaña, en función de la combinación de cultivos y ciclos utilizados

En este apartado presentamos el perfil medio de las diez explotaciones que han obtenido mayor rendimiento productivo (kg m^{-2}), en función de los cultivos que han utilizado en cada campaña. En todos los casos se han analizado los datos de las tres últimas campañas (desde 2010/11 hasta 2012/13).

Se ha realizado una ficha resumen de cada una de las doce combinaciones de cultivos que más frecuentemente han aparecido en la muestra.

El invernadero tipo Almería continúa en este análisis mostrando su buen comportamiento en todas las combinaciones de cultivos. Solo en los ciclos largos, especialmente los de tomate, adquieren relevancia estructuras de tipo multitúnel; que también aparecen en algunas especialidades como las de pepino, donde a veces se utiliza también calefacción. (Ver Tablas 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44; pp. 344-367).

Tabla 29. Perfil de la explotación con mejor ingreso bruto estimado en el Campo de Dalías

RENTABILIDAD BRUTA				
Datos declarados por el productor en la campaña 2012/2013				
Estimación	Ingresos medios €/m²	Gastos corrientes medios €/m²	Margen bruto €/m²	¿Percebe alguna subvención?
Ingreso medio estimado (μ.) €/m²				¿Ha solicitado financiación ajena?
6,9 Ciclos cortos	9,5	6,6	2,9	Algo (4/10)
10,2 Ciclo largo				

PERFIL DEL PRODUCTOR			
Edad media	Experiencia	Titularidad de la finca	Dedicación a la finca
46	27	Propietario	Basícos
			Agricultor a TC

DATOS DE CULTIVOS						
Campañas	Cultivo/s	Ciclo/s	Rendimiento medio (kg/m²)	Orientación líneas de cultivo	Plantas por m²	¿Realiza análisis foliares?
2010/2011 Primavera: calabacín; melón; sandía a 2012/2013	Oroño: tomate; pimiento californiano; pepino		Oroño: 14,0 tomate; 7,8 pimiento californiano;			
	Primavera: calabacín; melón; sandía	cortos	Primavera: 7,5 calabacín; 8,0 sandía;	Longitudinal (8/10)	1,1 tomate	¿Utiliza alternativas a fitosanitarios?
	Largo: pimiento tipo ramito; tomate	y largo	5,3 melón	Perpendicular (2/10)	0,6 pepino	¿Utiliza injerros?
			Largo: 18,0 pimiento tipo ramito; 18,0 tomate; 9,0 tomate <i>cherry</i>		1,4 pimiento	
					0,3 sandía	

DATOS DEL SUELO			
Tipo de suelo	¿Realiza desinfección del suelo?	¿Realiza retranqueo?	Superficie y frecuencia
Hidropónico (4/10)	Si, solarización y desinfección anual	Si (6/10)	Carillas / cada 3-4 años
Arenado (6/10)			Oveja (4/10)
			Preparados (2/10)
			¿Realiza análisis de suelo?
			¿Aporta ácidos húmicos?
			Si (9/10)

SISTEMA DE RIEGO	
Agua de pozo propio (%)	Conductividad media total (dS/m)
0	0,9
	0,3

Tabla 29 (cont.). Perfil de la explotación con mejor ingreso bruto estimado en el Campo de Dalias

DATOS DE COMERCIALIZACIÓN									
¿Dónde vende?	¿Lleva al mismo sitio?	¿Es socio de alguna cooperativa?	¿Años de socio?	¿Recorre a asesoramiento?	Tipo de asesoramiento	¿Aregla el género usted mismo?	Tiempo de recolección para arreglar el género (%)	Sistemas de certificación	
Cooperativa (8/10) SAT (2/10)	Sí	Sí	>10	Siempre	Cooperativa	No (8/10)		Global Gap, UNE-155.000, Naturane y prod. integrada	

DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO									
Antigüedad (años)	Tipo de invernadero		Orientación	Superficie (m²)	Materia de la cubierta	Tipos de apoyos	Altura máxima (cumbre)	Altura mínima (Bajo Canal)	
11	Raspa y amagado (5/10) Asimétrico (2/10) Multitúnel (2/10) Paral plano (1/10)		Norte a Sur (7/10)	14.242	Plástico tricapa	Tubo metálico	4,6 (R-A) 4,4 (Asimétrico) 7,7 (Multitúnel) 3,5 (Plano)	3,6 (R-A) 3,5 (Asimétrico) 5,5 (Multitúnel) 3,5 (Plano)	

SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO				
¿Posee controlador climático?	¿Posee algún sistema de ventilación forzada?	¿Posee algún sistema de refrigeración por evaporación de agua?	¿Sistema de calefacción?	
No	No	No	No	

DATOS DE LA MANO DE OBRA		
¿Propia o ajena?	¿Vinculación de la mano de obra ajena?	Utilización de la mano de obra ajena
Ajena (8/10)	30 % eventuales; 47 % fijos disc.	Recogida

Tabla 30. Perfil de la explotación con mejor ingreso bruto estimado en el Bajo Andarax

RENTABILIDAD BRUTA					
Estimación			Datos declarados por el productor en la campaña 2012/2013		
Ingreso medio estimado (μ.) €/m²	Ingresos medios €/m²	Gastos corrientes medios €/m²	Margen bruto €/m²	¿Percibe alguna subvención?	¿Ha solicitado financiación ajena?
8,0 Ciclos cortos 11,1 Ciclo largo	8,1	4,6	3,5	Sí (6/10) - OPEFH	Algo (4/10)

PERFIL DEL PRODUCTOR			
Edad media	Experiencia	Titularidad de la finca	Dedicación a la finca
46	24	Propietario	FP Agricultor a TC

DATOS DE CULTIVOS						
Campañas	Cultivo/s	Ciclo/s	Rendimiento medio (kg/m²)	Orientación líneas de cultivo	Plantas por m²	¿Realiza análisis foliares?
2010/2011 Primavera: tomate Largo: tomate; tomate <i>cherry</i>	Otoño: tomate Primavera: tomate Largo: tomate; tomate <i>cherry</i>	2 cortos (6/10) 1 largo (4/10)	Otoño: 9,0 tomate Primavera: 11,4 tomate Largo: 17,9 tomate; 14,0 tomate <i>cherry</i>	Longitudinal (4/10) Perpendicular (5/10)	1,4 tomate	Sí, coop.
						Sí (tomate) Lucha integrada; control biológico

DATOS DEL SUELO			
Tipo de suelo	¿Realiza desinfección del suelo?	¿Realiza retranqueo?	¿Realiza análisis de suelo?
Hidropónico (1/10) Arenado (9/10)	Sí, desinfección cada dos años	Sí (5/10)	Sí
		Cartillas / cada 2-3 años	¿Aporta ácidos húmicos?
		Oveja y vacuno	Sí (7/10)

SISTEMA DE RIEGO	
Agua de pozo propio (%)	Conductividad media total (dS/m)
13,0	0,3 2,8

Tabla 30 (cont.). Perfil de la explotación con mejor ingreso bruto estimado en el Bajo Andarax

DATOS DE COMERCIALIZACIÓN									
¿Dónde vende?	¿Lleva al mismo sitio?	¿Es socio de alguna cooperativa?	¿Años de socio?	¿Recurre a asesoramiento?	Tipo de asesoramiento	¿Aregla el género usted mismo?	Tiempo de recolección para arreglar el género (%)	Sistemas de certificación	
Cooperativa	Sí	Sí	>10	Siempre	Cooperativa	Sí (6/10)	35,0	Global Gap, UNE-155.000, Natuane y prod. integrada	

DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO									
Antigüedad (años)	Tipo de invernadero		Orientación	Superficie (m²)	Materia de la cubierta		Tipos de apoyos	Altura máxima (cumbre)	Altura mínima (Bajo Canal)
12	Raspa y amagado (5/10) Asimétrico (2/10) Paral plano (3/10)		Norte - Sur (5/10)	8.025	Plástico tricapa		Tubo metálico	4,9 (R-A) 4,6 (Asimétrico) 3,3 (Plano)	3,7 (R-A) 3,3 (Asimétrico) 3,3 (Plano)
Tipo de ventana cenital	Ventanas por capilla (%)	Superf. con ventilación cenital (%)	Tipo de ventana lateral	Núm. de ventanas laterales	Superf. con ventilación lateral (%)	Ventilación total (%)			
	67,2	6,1					18,3		
Abatible (6/10) Fijas (3/10)			Bandas deslizantes	4	12,2				

SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO			
¿Posee controlador climático?	¿Posee algún sistema de ventilación forzada?	¿Posee algún sistema de refrigeración por evaporación de agua?	¿Sistema de calefacción?
No	No	No	No

DATOS DE LA MANO DE OBRA		
¿Propia o ajena?	¿Vinculación de la mano de obra ajena?	Utilización de la mano de obra ajena
Ajena y propia	12 % eventuales; 68 % fijos disc.	Recogida

Tabla 31. Perfil de la explotación con mejor ingreso bruto estimado en el Campo de Níjar

RENTABILIDAD BRUTA					
Estimación					
Datos declarados por el productor en la campaña 2012/2013					
Ingreso medio estimado (μ.) €/m ²	Ingresos medios €/m ²	Gastos corrientes medios €/m ²	Margen bruto €/m ²	¿Percebe alguna subvención?	¿Ha solicitado financiación ajena?
5,6 Ciclos cortos 13,9 Ciclo largo	8,4	5,4	3,0	Sí (7/10) - OPEFH	Frecuente (7/10)

PERFIL DEL PRODUCTOR			
Edad media	Experiencia	Titularidad de la finca	Dedicación a la finca
42	25	Propietario	Básicos Agricultor a TC

DATOS DE CULTIVOS						
Campañas	Cultivo/s	Ciclo/s	Rendimiento medio (kg/m ²)	Orientación líneas de cultivo	Plantas por m ²	¿Realiza análisis foliares? ¿Utiliza alternativas a fitosanitarios? ¿Utiliza iniertos?
2010/2011 Primavera: tomate sandía a 2012/2013	Oroño: tomate Primavera: tomate sandía Largo: tomate <i>cherry</i>	Ciclos cortos y largo	Oroño: 7,7 tomate; 6,0 tomate <i>cherry</i> Primavera: 7,2 sandía Largo: 13,5 tomate <i>cherry</i>	Longitudinal (7/10) Perpendicular (3/10)	0,9 tomate 0,6 pepino 0,3 sandía	Sí, coop. (6/10) Lucha integrada; arroyentes color Sí (tomate y sandía)

DATOS DEL SUELO			
¿Realiza desinfección del suelo?	¿Realiza retranqueo?	Superficie y frecuencia	¿Realiza análisis de suelo? ¿Aporta ácidos húmicos?
Tipos de suelo Hidropónico (1/10) Arenado (9/10)	Sí, solarización y desinfección cada 2 años	Sí (5/10) Carillas / cada 5 años	Sí Oveja (3/10) Preparados (2/10) Sí

SISTEMA DE RIEGO	
Agua de pozo propio (%)	Conductividad media total (dS/m)
10,0	0,2 2,3

Tabla 31 (cont.). Perfil de la explotación con mejor ingreso bruto estimado en el Campo de Níjar

DATOS DE COMERCIALIZACIÓN							
¿Dónde vende?	¿Lleva al mismo sitio?	¿Es socio de alguna cooperativa?	¿Años de socio?	¿Recorre a asesoramiento?	Tipo de asesoramiento	¿Aregla el género usted mismo?	Tiempo de recolección para arreglar el género (%)
Cooperativa (8/10) SAT (2/10)	Sí	Sí	>10	Siempre	Cooperativa	No (8/10)	Global Gap, UNE-155.000, Naturane y prod. integrada

DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO							
Antigüedad (años)	Tipo de invernadero		Orientación	Superficie (m²)	Materia de la cubierta	Tipos de apoyos	Altura máxima (cumbre)
9	Raspa y amagado (7/10) Asimétrico (2/10) Multitúnel (1/10)		Este - Oeste (7/10)	11.860	Plástico tricapa	Tubo metálico	5,1 (R-A) 5,0 (Asimétrico) 6,6 (Multitúnel)
Tipo de ventana central	Ventanas por capilla (%)	Superf. con ventilación central (%)	Tipo de ventana lateral		Núm. de ventanas laterales	Superf. con ventilación lateral (%)	Ventilación total (%)
	51,7	5,3	Bandas deslizantes (7/10) Poleas (2/10) Enrollable (1/10)		4 (8/10)	13,0	18,3

SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO			
¿Posee controlador climático?	¿Posee algún sistema de ventilación forzada?	¿Posee algún sistema de refrigeración por evaporación de agua?	¿Sistema de calefacción?
No (9/10) Sí (1/10)	No (9/10) Sí, ventilador interior (1/10)	No (9/10) Sí, nebulización (1/10)	No (8/10) Sí (2/10)

DATOS DE LA MANO DE OBRA	
¿Propia o ajena?	¿Vinculación de la mano de obra ajena?
Ajena	23 % eventuales; 75 % fijos disc.
Utilización de la mano de obra ajena	
Recogida	

Tabla 32. Perfil de la explotación con mejor ingreso bruto estimado en el Bajo Almanzora

RENTABILIDAD BRUTA					
Estimación			Datos declarados por el productor en la campaña 2012/2013		
Ingreso medio estimado (μ), €/m²	Ingresos medios €/m²	Gastos corrientes medios €/m²	Margen bruto €/m²	¿Percebe alguna subvención?	¿Ha solicitado financiación ajena?
4,9 Ciclos cortos 6,83 Ciclo largo	4,6	3,1	1,5	Sí (2/9) - OPFH	Frecuente (7/10)

PERFIL DEL PRODUCTOR			
Edad media	Experiencia	Titularidad de la finca	Dedicación a la finca
53	31	Propietario	Otras ocupaciones

DATOS DE CULTIVOS						
Campañas	Cultivo/s	Ciclo/s	Rendimiento medio (kg/m²)	Orientación líneas de cultivo	Plantas por m²	¿Realiza análisis foliares?
2010/2011 a 2012/2013	Otoño: tomate; pepino Primavera: tomate; berenjena; sandía Largo: tomate; tomate <i>cherry</i>	cortos y largo	Otoño: 7,50 tomate; 9,0 pepino Primavera: 11,0 tomate; 6,8 berenjena Largo: 17,5 tomate; 12,0 tomate <i>cherry</i>	Longitudinal (1/9) Perpendicular (8/9)	1,3 tomate 0,6 pepino 0,5 berenjena 0,6 sandía	¿Realiza análisis foliares? Sí, coop. (7/9)
						¿Utiliza alternativas a fitosanitarios?
						Lucha integrada; arrayentes color
						¿Utiliza inerts?
						Sí (tomate y berenjena)

DATOS DEL SUELO			
Tipo de suelo	¿Realiza desinfección del suelo?	¿Realiza retranqueo?	Superficie y frecuencia
Autóctono (6/9) Arenado (3/9)	Sí, solarización anualmente	Sí (4/9)	Carillas / cada 3-4 años
			Preparados (4/9)
			¿Realiza análisis de suelo?
			Sí
			¿Aporta ácidos húmicos?
			Sí

SISTEMA DE RIEGO	
Agua de pozo propio (%)	Conductividad media total (dS/m)
0	0,4
	2,2

Tabla 32 (cont.). Perfil de la explotación con mejor ingreso bruto estimado en el Bajo Almanzora

DATOS DE COMERCIALIZACIÓN								
¿Dónde vende?	¿Lleva al mismo sitio?	¿Es socio de alguna cooperativa?	¿Años de socio?	¿Recurrir a asesoramiento?	Tipo de asesoramiento	¿Arregla el género usted mismo?	Tiempo de recolección para arreglar el género (%)	Sistemas de certificación
Cooperativa (8/9) Privado (1/9)	Sí (8/9)	Sí (6/9)	>10	Siempre	Cooperativa; suministros	No (6/8)		Global Gap y UNE-155.000

DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO									
Antigüedad (años)	Tipo de invernadero		Orientación	Superficie (m²)	Materia de la cubierta	Tipos de apoyos		Altura máxima (cumbra)	Altura mínima (Bajo Canal)
16	Raspa y amagado (7/9) Asimétrico (2/9)		Norte a Sur (4/9) Este - Oeste (5/9)	7.289	Plástico tricapa	Tubo metálico		4,5 (R-A) 4,6 (Asimétrico)	3,4 (R-A) 3,6 (Asimétrico)
Tipo de ventana cenital	Ventanas por capilla (%)	Superf. con ventilación cenital (%)	Tipo de ventana lateral	Núm. de ventanas laterales	Superf. con ventilación lateral (%)	Ventilación total (%)			
Abatible (4/9) Fijas (5/9)	87,0	4,04	Bandas deslizantes (7/9) Enrollable (2/9)	4 (8/9)	9,6	13,6			

SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO			
¿Posee controlador climático?	¿Posee algún sistema de ventilación forzada?	¿Posee algún sistema de refrigeración por evaporación de agua?	¿Sistema de calefacción?
No	No	No	No (8/9) Sí (1/9)

DATOS DE LA MANO DE OBRA		
¿Propia o ajena?	¿Vinculación de la mano de obra ajena?	Utilización de la mano de obra ajena
Ajena (7/9)	16 % eventuales; 33 % fijos disc.	Todas las labores

Tabla 33 (cont.). Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para dos cultivos de ciclo corto de tomate por campaña

DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO									
Antigüedad (años)	Tipo de invernadero		Orientación	Superficie (m²)	Materia de la cubierta	Tipos de apoyos	Altura máxima (cumbre)	Altura mínima (Bajo Canal)	
19	Raspa y amagado (1/2) Parral plano (1/2)		Norte a Sur (1/2)	11.800	Plástico tricapa	Tubo metálico	5,0 (Raspa) 2,6 (Plano)	4,7 (Raspa) 2,6 (Plano)	
Tipo de ventana cenital	Ventanas por capilla (%)	Superf. con ventilación cenital (%)	Tipo de ventana lateral	Núm. de ventanas laterales	Superf. con ventilación lateral (%)	Ventilación total (%)			
	47,0	7,4							
Abatible (1/2) Enrollable (1/2)			Bandas deslizantes (10/10)	4	9,0	16,4			
SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO									
¿Posee controlador climático?	¿Posee algún sistema de ventilación forzada?	¿Posee algún sistema de refrigeración por evaporación de agua?	¿Sistema de calefacción?						
No	No	Sí, nebulización (1/2)	No						
DATOS DE LA MANO DE OBRA									
¿Propia o ajena?			¿Vinculación de la mano de obra ajena?			Utilización de la mano de obra ajena			
Ajena y propia			36 % eventuales; 64 % fijos disc.			Recogida			

Tabla 34. Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para un ciclo largo de tomate por campaña

Ubicaciones	Bajo Andarax	Campo de Dalías	Campo de Níjar	Bajo Almanzora
Número	4	1	4	1

PERFIL DEL PRODUCTOR			
Edad media	Experiencia	Titularidad de la finca	Dedicación a la finca
46	24	Propietario	Básicos Agricultor a TC

DATOS DE CULTIVOS								
Campañas	Cultivo/s	Ciclo/s	Rendimiento medio (kg/m²)	Orientación líneas de cultivo	Plantas por m²	¿Realiza análisis foliares?	¿Utiliza alternativas a fitosanitarios?	¿Utiliza injertos?
2010/2011 a 2012/2013	Tomate ciclo largo	Largo	20,9	Norte - Sur (8/10)	1,5	Si, coop. (4/10)	Lucha integrada	Si (tomate)

DATOS DEL SUELO				
Tipo de suelo	¿Realiza desinfección del suelo?	Superficie y frecuencia	¿Realiza análisis de suelo?	¿Aporta ácidos húmicos?
Arenado (7/10) Hidropónico (2/10)	Si, solarización y desinfección anualmente	Cartillas / cada 3-4 años	Si (6/10)	Si

SISTEMA DE RIEGO	
Agua de pozo propio (%)	Conductividad media total (dS/m)
23	0,3 2,3

DATOS DE COMERCIALIZACIÓN								
¿Dónde vende?	¿Lleva al mismo sitio?	¿Es socio de alguna cooperativa?	¿Años de socio?	¿Recurrir a asesoramiento?	Tipo de asesoramiento	¿Arregla el género usted mismo?	Tiempo de recolección para arreglar el género (%)	Sistemas de certificación
Cooperativa y SAT	Siempre	Si	>10	Siempre	Cooperativa; suministros	Si (6/10)	23,0	Global, GAP, UNE-155.000, Natuane y prod. integrada

Tabla 34 (cont.). Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para un ciclo largo de tomate por campaña

DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO									
Antigüedad (años)	Tipo de invernadero		Orientación	Superficie (m²)	Materia de la cubierta	Tipos de apoyos	Altura máxima (cumbrea)	Altura mínima (Bajo Canal)	
10	Raspa y amagado (6/10) Multitúnel cilíndrico (4/10)		Norte a Sur (9/10)	9,093	Plástico tricapa	Tubo metálico	4,7 (Raspa) 5,8 (Multitúnel)	3,5 (Raspa) 4,3 (Multitúnel)	
Tipo de ventana cenital	Ventanas por capilla (%)	Superf. con ventilación cenital (%)	Tipo de ventana lateral	Núm. de ventanas laterales	Superf. con ventilación lateral (%)	Ventilación total (%)			
Medio arco (4/10) Abatible (3/10)	58,0	8,6	Enrollable (5/10) Abatible (3/10)	4 (8/10)	9,2	17,8			
SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO									
¿Posee controlador climático?	¿Posee algún sistema de ventilación forzada?	¿Posee algún sistema de refrigeración por evaporación de agua?	¿Sistema de calefacción?						
No	No	No	No (6/10); Por aire (4/10)						
DATOS DE LA MANO DE OBRA									
¿Propia o ajena?			¿Vinculación de la mano de obra ajena?			Utilización de la mano de obra ajena			
Ajena (8/10)			45 % eventuales; 34 % fijos disc.			Todas las tareas			

Tabla 35. Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para dos cultivos de ciclo corto de pimiento y melón por campaña

Ubicaciones	Bajo Andarax	Campo de Dalías	Campo de Níjar	Bajo Almanzora
Número	0	10	0	0

PERFIL DEL PRODUCTOR			
Edad media	Experiencia	Titularidad de la finca	Dedicación a la finca
44	23	Propietario	Básicos Agricultor a TC

DATOS DE CULTIVOS						
Campañas	Cultivo/s	Ciclo/s	Rendimiento medio (kg/m ²)	Orientación líneas de cultivo	Plantas por m ²	¿Realiza análisis foliares? ¿Utiliza alternativas a fitosanitarios? ¿Utiliza injertos?
2010/2011 a 2012/2013	Oroño: pimiento californiano Primavera: melón	2 cortos	Oroño: 7,6 Primavera: 4,6	Norte - Sur	1,7 pimiento 0,7 sandía	Sí, coop. Lucha integrada; arrayentes color No

DATOS DEL SUELO			
Tipo de suelo	¿Realiza desinfección del suelo?	Superficie y frecuencia	¿Realiza análisis de suelo? ¿Aporta ácidos húmicos?
Atenado (9/10) Hidropónico (1/10)	Sí, desinfección anualmente	Cartillas / cada 3-4 años	Sí Sí (8/10)

SISTEMA DE RIEGO	
Agua de pozo propio (%)	Conductividad media total (dS/m)
0	0,3 0,9

DATOS DE COMERCIALIZACIÓN					
¿Dónde vende?	¿Lleva al mismo sitio?	¿Es socio de alguna cooperativa?	¿Años de socio?	¿Recurrir a asesoramiento?	¿Arregla el género usted mismo?
Cooperativa y SAT	Siempre	Sí	>10	Siempre	No (9/10)
					Sistemas de certificación Global, GAP, UNE-155.000, Naturane y prod. integrada

Tabla 35 (cont.). Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para dos cultivos de ciclo corto de pimiento y melón por campaña

DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO									
Antigüedad (años)	Tipo de invernadero			Orientación	Superficie (m²)	Materia de la cubierta	Tipos de apoyos	Altura máxima (cumbre)	Altura mínima (Bajo Canal)
17	Raspa y amagado (5/10) Parral plano (4/10) Asimétrico (1/10)			Norte a Sur (7/10)	12.304	Plástico tricapa	Tubo metálico	4,0 (Raspa) 3,4 (Plano) 4,0 (Asimétrico)	3,1 (Raspa) 4,4 (Plano) 3,0 (Asimétrico)
Tipo de ventana central	Ventanas por capilla (%)	Superf. con ventilación central (%)	Tipo de ventana lateral		Núm. de ventanas laterales	Superf. con ventilación lateral (%)		Ventilación total (%)	
	47	4,6	Bandas deslizantes (10/10)		4	7,3		13,4	
SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO									
¿Posee controlador climático?	¿Posee algún sistema de ventilación forzada?	¿Posee algún sistema de refrigeración por evaporación de agua?	¿Sistema de calefacción?						
No	No	Si, nebulización (5/10)	No						
DATOS DE LA MANO DE OBRA									
¿Propia o ajena?		¿Vinculación de la mano de obra ajena?			Utilización de la mano de obra ajena				
Ajena (8/10)		44 % eventuales; 44 % fijos disc.			Todas las tareas				

Tabla 36. Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para dos cultivos de ciclo corto de pimiento y sandía por campaña

Ubicaciones		Bajo Andarax	Campo de Dalías	Campo de Níjar	Bajo Almanzora
Número		0	8	0	0

PERFIL DEL PRODUCTOR			
Edad media	Experiencia	Titularidad de la finca	Dedicación a la finca
52	31	Propietario	Agricultor a TC

DATOS DE CULTIVOS								
Campañas	Cultivo/s	Ciclo/s	Rendimiento medio (kg/m²)	Orientación líneas de cultivo	Plantas por m²	¿Realiza análisis foliares?	¿Utiliza alternativas a fitosanitarios?	¿Utiliza inyectos?
2010/2011 a 2012/2013	Otoño: pimiento californía Primavera: sandía	2 cortos	Otoño: 7,4 Primavera: 5,9	Norte - Sur	1,6 pimiento 0,3 sandía	Sí, coop.	Lucha integrada; arrayentes color	Sí (sandía)

DATOS DEL SUELO					
Tipo de suelo	¿Realiza desinfección del suelo?	Superficie y frecuencia	Tipo de abono	¿Realiza análisis de suelo?	¿Aporta ácidos húmicos?
Atenado (6/8) Hidropónico (2/8)	Sí, solarización y desinfección anualmente	No (7/8)		Sí	Sí

SISTEMA DE RIEGO	
Agua de pozo propio (%)	Conductividad media total (dS/m)
0	0,3
	0,8

DATOS DE COMERCIALIZACIÓN								
¿Dónde vende?	¿Lleva al mismo sitio?	¿Es socio de alguna cooperativa?	Años de socio?	¿Recurrir a asesoramiento?	Tipo de asesoramiento	¿Arregla el género usted mismo?	Tiempo de recolección para arreglar el género (%)	Sistemas de certificación
Cooperativa y SAT	Sí (7/8)	Sí (4/8)	Entre 5 y 10 (4/8)	Siempre	Cooperativa	No (6/8)		UNE-155.00. Naturane y prod. integrada

Tabla 36 (cont.). Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para dos cultivos de ciclo corto de pimiento y sandía por campaña

DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO									
Antigüedad (años)	Tipo de invernadero		Orientación	Superficie (m ²)	Materia de la cubierta	Tipos de apoyos	Altura máxima (cumbre)	Altura mínima (Bajo Canal)	
9	Raspa y amagado (7/8) Parral plano (1/8)		Norte a Sur	14,588	Plástico tricapa	Tubo metálico	4,4 (Raspa) 3,5 (Plano)	3,7 (Raspa) 3,5 (Plano)	
Tipo de ventana cenital	Ventanas por capilla (%)	Superf. con ventilación cenital (%)	Tipo de ventana lateral	Núm. de ventanas laterales	Superf. con ventilación lateral (%)	Ventilación total (%)			
Abatible (6/8) Fijas (2/8)	41	6,3	Bandas deslizantes (5/8)	4	8,2	14,4			
SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO									
¿Posee controlador climático?	¿Posee algún sistema de ventilación forzada?		¿Posee algún sistema de refrigeración por evaporación de agua?		¿Sistema de calefacción?				
No	No		Sí, nebulización (1/8)		No				
DATOS DE LA MANO DE OBRA									
¿Propia o ajena?			¿Vinculación de la mano de obra ajena?			Utilización de la mano de obra ajena			
Ajena y propia			23 % eventuales, 17 % fijos disc.			Recogida			

Tabla 37. Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para un cultivo de ciclo largo de pimiento

Ubicaciones	Bajo Andarax	Campo de Dalías	Campo de Níjar	Bajo Almanzora
Número	0	9	1	0

PERFIL DEL PRODUCTOR			
Edad media	Experiencia	Titularidad de la finca	Dedicación a la finca
43	20	Propietario	Universitarios Agricultor a TC

DATOS DE CULTIVOS						
Campañas	Cultivo/s	Ciclo/s	Rendimiento medio (kg/m ²)	Orientación líneas de cultivo	Plantas por m ²	¿Realiza análisis foliares?
2010/2011 a 2012/2013	Pimiento ciclo largo	Largo	Tipo ramito 14,4 Dulce italiano 11,8	Norte - Sur (6/10)	1,8	Sí, coop. (6/10)
						¿Utiliza alternativas a fitosanitarios?
						¿Utiliza inyectos?
						Lucha integrada; arrayentes color
						No

DATOS DEL SUELO			
Tipo de suelo	¿Realiza desinfección del suelo?	¿Realiza retranqueo?	Superficie y frecuencia
Arenado (10/10)	Sí, solarización y desinfección anualmente	Sí (5/10)	Toda superficie (4/10) / 3-4 años
			¿Realiza análisis de suelo?
			Sí (8/10)
			¿Aporta ácidos húmicos?
			Sí (9/10)

SISTEMA DE RIEGO	
Agua de pozo propio (%)	Conductividad media total (dS/m)
12	0,4
	1,0

DATOS DE COMERCIALIZACIÓN						
¿Dónde vende?	¿Lleva al mismo sitio?	¿Es socio de alguna cooperativa?	¿Años de socio?	¿Recurrir a asesoramiento?	Tipo de asesoramiento	¿Arregla el género usted mismo?
Cooperativa (4/10) Privado (4/10) Alhóndiga (1/10) SAT (1/10)	Siempre	No (6/10) Sí (4/10)	> 10	Sí	Suministros	No
						Sistemas de certificación
						UNE-155.000, Natuane y prod. integrada

Tabla 37 (cont.). Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para un cultivo de ciclo largo de pimiento

DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO									
Antigüedad (años)	Tipo de invernadero		Orientación	Superficie (m²)	Materia de la cubierta	Tipos de apoyos	Altura máxima (cumbre)	Altura mínima (Bajo Canal)	
11	Raspa y anagado (7/10) Parral plano (2/10) Asimétrico (1/10)		Norte a Sur (8/10)	11.250	Plástico tricapa	Tubo metálico	4,1 (Raspa) 2,9 (Plano) 4,2 (Asimétrico)	3,6 (Raspa) 2,9 (Plano) 3,2 (Asimétrico)	
Type	Ventanas por capilla (%)	Superf. con ventilación cenital (%)	Type de ventana lateral	Núm. de ventanas laterales	Superf. con ventilación lateral (%)		Ventilación total (%)		
Abatible (7/10) Abertura fija (2/10)	73,0	7,3	Bandas deslizantes (10/10)	4	8,3		15,6		
SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO									
¿Posee controlador climático?	¿Posee algún sistema de ventilación forzada?		¿Posee algún sistema de refrigeración por evaporación de agua?		¿Sistema de calefacción?				
No (9/10) Sí (1/10)	No (9/10) Sí (1/10) - extractores		No (8/10) Sí, nebulización baja presión (2/10)		No				
DATOS DE LA MANO DE OBRA									
¿Propia o ajena?				¿Vinculación de la mano de obra ajena?			Utilización de la mano de obra ajena		
Ajena				40 % eventuales; 31 % fijos disc.			Todas las labores		

Tabla 38. Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para dos cultivos de ciclo corto de pepino y sandía por campaña

Ubicaciones	Bajo Andarax	Campo de Dalías	Campo de Níjar	Bajo Almanzora
Número	0	4	0	0

PERFIL DEL PRODUCTOR			
Edad media	Experiencia	Titularidad de la finca	Dedicación a la finca
52	34	Propietario	Básicos Agricultor a TC

DATOS DE CULTIVOS								
Campañas	Cultivo/s	Ciclo/s	Rendimiento medio (kg/m²)	Orientación líneas de cultivo	Plantas por m²	¿Realiza análisis foliares?	¿Utiliza alternativas a fitosanitarios?	¿Utiliza inyectos?
2010/2011 a 2012/2013	Otoño: pepino Primavera: sandía	2 cortos	Otoño: 9,3 Primavera: 5,6	Norte - Sur (2/4)	1,1 pimiento 0,5 sandía	Sí, coop.	Lucha integrada; arroyentes color	Sí (sandía)

DATOS DEL SUELO			
Tipo de suelo	¿Realiza desinfección del suelo?	Superficie y frecuencia	¿Realiza análisis de suelo?
Arenado (2/4) Hidropónico (2/4)	Sí, desinfección anualmente (2/4)	Cartillas / cada 2-3 años	¿Realiza análisis de suelo?
		Preparados (3/4) Oveja (1/4)	Sí (2/4)
			Sí

SISTEMA DE RIEGO	
Agua de pozo propio (%)	Conductividad media total (dS/m)
0	1,1
	0,2

DATOS DE COMERCIALIZACIÓN								
¿Dónde vende?	¿Lleva al mismo sitio?	¿Es socio de alguna cooperativa?	¿Años de socio?	¿Recurrir a asesoramiento?	Tipo de asesoramiento	¿Arregla el género usted mismo?	Tiempo de recolección para arreglar el género (%)	Sistemas de certificación
Cooperativa	Sí	Sí	> 10	Siempre	Cooperativa	No		Global GAP; UNE-155.000; Natuane y prod. integrada

Tabla 38 (cont.). Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para dos cultivos de ciclo corto de pepino y sandía por campaña

DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO						
Antigüedad (años)	Tipo de invernadero		Orientación	Superficie (m²)	Materia de la cubierta	Tipos de apoyos
15	Raspa y amagado (4/4)		Norte a Sur	11.175	Plástico tritapa	Tubo metálico
	Tipo de ventana central	Ventanas por capilla (%)	Superf. con ventilación cenital (%)	Tipo de ventana lateral	Núm. de ventanas laterales	Superf. con ventilación lateral (%)
Abarible	53	3,8	Bandas deslizantes	4	10,1	14,5
						Ventilación total (%)
						3,1
						Altura máxima (cumbre)
						Altura mínima (Bajo Canal)

SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO			
¿Posee controlador climático?	¿Posee algún sistema de ventilación forzada?	¿Posee algún sistema de refrigeración por evaporación de agua?	¿Sistema de calefacción?
No (3/4)	No	Sí, nebulización (1/4) No (3/4)	No
Pantalla térmica (1/4)			

DATOS DE LA MANO DE OBRA		
¿Propia o ajena?	¿Vinculación de la mano de obra ajena?	Utilización de la mano de obra ajena
Ajena	35 % eventuales; 65 % fijos disc.	Recogida y tutorado

Tabla 39. Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para dos cultivos de ciclo corto de pepino y melón por campaña

Ubicaciones	Bajo Andarax	Campo de Dalías	Campo de Níjar	Bajo Almanzora
Número	0	10	0	0

PERFIL DEL PRODUCTOR			
Edad media	Experiencia	Titularidad de la finca	Dedicación a la finca
48	29	Propietario	Básicos Agricultor a TC

DATOS DE CULTIVOS						
Campañas	Cultivo/s	Ciclo/s	Rendimiento medio (kg/m²)	Orientación líneas de cultivo	Plantas por m²	¿Realiza análisis foliares? ¿Utiliza alternativas a fitosanitarios? ¿Utiliza injertos?
2010/2011 a 2012/2013	Otoño: pepino Primavera: melón	2 cortos	Otoño: 10,6 Primavera: 5,3	Norte - Sur (7/10)	0,8 pepino 0,7 melón	Si, coop. Lucha integrada; control biológico No

DATOS DEL SUELO				
Tipo de suelo	¿Realiza desinfección del suelo?	¿Realiza retranqueo?	Superficie y frecuencia	¿Realiza análisis de suelo? ¿Aporta ácidos húmicos?
Arenado (10/10)	Si, desinfección anualmente (9/10)	Si (7/10)	Carillas / cada 2-3 años	Si (8/10) Si (8/10)

SISTEMA DE RIEGO	
Agua de pozo propio (%)	Conductividad media total (dS/m)
2,0	1,1 1,0

DATOS DE COMERCIALIZACIÓN						
¿Dónde vende?	¿Lleva al mismo sitio?	¿Es socio de alguna cooperativa?	¿Años de socio?	¿Recurrir a asesoramiento?	Tipo de asesoramiento	¿Arregla el género usted mismo?
Cooperativa y SAT	Si	Si	> 10	Siempre	Cooperativa	No (8/10)
					Sistemas de certificación UNE-155.000, Natuane y prod. integrada	

Tabla 39 (cont.). Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para dos cultivos de ciclo corto de pepino y melón por campaña

DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO								
Antigüedad (años)	Tipo de invernadero		Orientación	Superficie (m²)	Materia de la cubierta	Tipos de apoyos	Altura máxima (cumbre)	Altura mínima (Bajo Canal)
13	Raspa y anagado (7/4) Plano (1/10) Asimétrico (1/10) Multitúnel (1/10)		Norte a Sur	12.160	Plástico tricapa	Tubo metálico	4,2 (raspa) 2,7 (plano) 5,3 (asimétrico) 6,5 (multitúnel)	3,4 (raspa) 2,7 (plano) 3,5 (asimétrico) 4,5 (multitúnel)
Tipo de ventana cenital	Ventanas por capilla (%)	Superf. con ventilación cenital (%)	Tipo de ventana lateral	Núm. de ventanas laterales	Superf. con ventilación lateral (%)	Ventilación total (%)		
Abatible (4/10)								
Fija (2/10)	43,0	3,6 (R-A) 6,4 (multitúnel)	Bandas deslizantes	4	8,4 (R-A) 7,4 (multitúnel)	12,0 (R-A) 13,8 (multitúnel)		
Piramidal (1/10)								
Medio arco (1/10)								
SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO								
¿Posee controlador climático?	¿Posee algún sistema de ventilación forzada?	¿Posee algún sistema de refrigeración por evaporación de agua?	¿Sistema de calefacción?					
No (8/10)	No	Sí, nebulización (7/10) No (3/10)	No					
Pantalla térmica/plástico (2/10)								
DATOS DE LA MANO DE OBRA								
¿Propia o ajena?	¿Vinculación de la mano de obra ajena?	Utilización de la mano de obra ajena						
Ajena	1 % eventuales; 64 % fijos disc.	Todas las tareas						

Tabla 40. Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para dos cultivos de ciclo corto de calabacín por campaña

Ubicaciones		Bajo Andarax	Campo de Dalías	Campo de Níjar	Bajo Almanzora
Número		0	10	0	0

PERFIL DEL PRODUCTOR			
Edad media	Experiencia	Titularidad de la finca	Dedicación a la finca
45	24	Propietario	Básicos Agricultor a TC

DATOS DE CULTIVOS								
Campañas	Cultivo/s	Ciclo/s	Rendimiento medio (kg/m²)	Orientación líneas de cultivo	Plantas por m²	¿Realiza análisis foliares?	¿Utiliza alternativas a fitosanitarios?	¿Utiliza injertos?
2010/2011 a 2012/2013	Otoño: calabacín Primavera: calabacín	2 cortos	Otoño: 5,2 Primavera: 6,4	Norte - Sur (7/10)	0,79 calabacín	Sí, coop.	Lucha integrada; arrayentes color	No

DATOS DEL SUELO				
Tipo de suelo	¿Realiza desinfección del suelo?	Superficie y frecuencia	Tipo de abono	¿Realiza análisis de suelo?
Atenado (9/10) Autóctono (1/10)	Sí, desinfección anualmente	Cartillas / cada 2-3 años	Oveja (3/10) Gallinaza (1/10)	Sí (7/10) Sí (9/10)

SISTEMA DE RIEGO	
Agua de pozo propio (%)	Conductividad media total (dS/m)
5,0	0,4 1,0

DATOS DE COMERCIALIZACIÓN								
¿Dónde vende?	¿Lleva al mismo sitio?	¿Es socio de alguna cooperativa?	¿Años de socio?	¿Recurrir a asesoramiento?	Tipo de asesoramiento	¿Arregla el género usted mismo?	Tiempo de recolección para arreglar el género (%)	Sistemas de certificación
Cooperativa y SAT	Sí (9/10)	Sí (7/10)	> 10	Siempre	Cooperativa; suministros	No (6/10)		UNE-155.000, Naturane y prod. integrada

Tabla 40 (cont.). Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para dos cultivos de ciclo corto de calabacín por campaña

DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO							
Antigüedad (años)	Tipo de invernadero	Orientación	Superficie (m²)	Materia de la cubierta	Tipos de apoyos	Altura máxima (cumbre)	Altura mínima (Bajo Canal)
11	Raspa y amagado (7/10) Paral plano (2/10) Asimétrico (1/10)	Norte a Sur	9.100	Plástico tricapa	Tubo metálico	4,3 (raspa) 3,5 (plano) 4,2 (asimétrico)	3,4 (raspa) 3,5 (plano) 3,5 (asimétrico)
Tipo de ventana central	Ventanas por capilla (%)	Superf. con ventilación central (%)	Núm. de ventanas laterales	Superf. con ventilación lateral (%)	Ventilación total (%)		
Abatible (5/10) Enrollable (3/10) Deslizante (1/10)	46,0	4,8	4	9,7	14,5		
SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO							
¿Posee controlador climático?	¿Posee algún sistema de ventilación forzada?	¿Posee algún sistema de refrigeración por evaporación de agua?	¿Sistema de calefacción?				
No	No	Sí, nebulización (3/10) No (7/10)	No				
DATOS DE LA MANO DE OBRA							
¿Propia o ajena?	¿Vinculación de la mano de obra ajena?	Utilización de la mano de obra ajena					
Ajena y propia	17 % eventuales, 43 % fijos disc.	Siembra, recogida y limpieza					

Tabla 41. Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para dos cultivos de ciclo corto de calabacín y sandía por campaña

Ubicaciones	Bajo Andarax	Campo de Dalías	Campo de Níjar	Bajo Almanzora
Número	0	1	1	1

PERFIL DEL PRODUCTOR			
Edad media	Experiencia	Titularidad de la finca	Dedicación a la finca
56	32	Propietario	Básicos Agricultor a TC

DATOS DE CULTIVOS								
Campañas	Cultivo/s	Ciclo/s	Rendimiento medio (kg/m²)	Orientación líneas de cultivo	Plantas por m²	¿Realiza análisis foliares?	¿Utiliza alternativos a fitosanitarios?	¿Utiliza injertos?
2010/2011 a 2012/2013	Otoño: calabacín Primavera: sandía	2 cortos	Otoño: 4,2 Primavera: 5,1	Norte - Sur (1/3)	0,8 calabacín 0,4 sandía	Sí, coop.	Lucha integrada; arroyentes color	Sí (sandía)

DATOS DEL SUELO				
Tipo de suelo	¿Realiza desinfección del suelo?	Superficie y frecuencia	Tipo de abono	¿Realiza análisis de suelo?
Arrenado (2/3) Autóctono (1/3)	Sí, desinfección anualmente	Sí (2/3) Carillas / cada 2-3 años	Compost y preparados	Sí

SISTEMA DE RIEGO	
Agua de pozo propio (%)	Conductividad media total (dS/m)
0	0,3 3,1

DATOS DE COMERCIALIZACIÓN							
¿Dónde vende?	¿Lleva al mismo sitio?	¿Es socio de alguna cooperativa?	Años de socio?	¿Recurrir a asesoramiento?	Tipo de asesoramiento	¿Arregla el género usted mismo?	Tiempo de recolección para arreglar el género (%)
Alhóndiga y SAT	Sí	Sí (2/3)	> 10	Siempre	Cooperativa; suministros	No (2/3)	Sistemas de certificación
							Producción integrada

Tabla 41 (cont.). Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para dos cultivos de ciclo corto de calabacín y sandía por campaña

DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO									
Antigüedad (años)	Tipo de invernadero		Orientación	Superficie (m ²)	Materia de la cubierta		Tipos de apoyos	Altura máxima (cumbre)	Altura mínima (Bajo Canal)
10	Raspa y anagado (2/3) Multitúnel (1/3)		Norte a Sur	8.633	Plástico tricapa		Tubo metálico	4,3 (raspa) 6,5 (multitúnel)	3,0 (raspa) 4,5 (multitúnel)
Tipo de ventana central	Ventanas por capilla (%)	Superf. con ventilación central (%)	Tipo de ventana lateral		Núm. de ventanas laterales	Superf. con ventilación lateral (%)	Ventilación total (%)		
	Abatible (1/3) Enrollab/Fijas (1/3) Medio arco (1/3)	67,0	4,4	Bandas deslizantes (2/3)	4	4,2 (R-A)	8,6		

SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO			
¿Posee controlador climático?	¿Posee algún sistema de ventilación forzada?	¿Posee algún sistema de refrigeración por evaporación de agua?	¿Sistema de calefacción?
No	No	No	No

DATOS DE LA MANO DE OBRA		
¿Propia o ajena?	¿Vinculación de la mano de obra ajena?	Utilización de la mano de obra ajena
Ajena y propia	43 % eventuales, 57 % fijos disc.	Siembra y limpieza

Tabla 42. Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para dos cultivos de ciclo corto de calabacín y melón por campaña

Ubicaciones	Bajo Andarax	Campo de Dalías	Campo de Níjar	Bajo Almanzora
Número	0	1	0	0

PERFIL DEL PRODUCTOR			
Edad media	Experiencia	Titularidad de la finca	Dedicación a la finca
32	5	Propietario	Básicos Otras ocupaciones

DATOS DE CULTIVOS						
Campañas	Cultivo/s	Ciclo/s	Rendimiento medio (kg/m ²)	Orientación líneas de cultivo	Plantas por m ²	¿Realiza análisis foliares?
2010/2011 a 2012/2013	Otoño: calabacín Primavera: melón	2 cortos	Otoño: 3,5 Primavera: 5,5	Norte - Sur	1,0 calabacín 0,5 melón	No
					Arrayentes color	No

DATOS DEL SUELO			
Tipo de suelo	¿Realiza desinfección del suelo?	Superficie y frecuencia	¿Realiza análisis de suelo?
Atenado	Sí, desinfección anualmente	Sí Carillas / cada 1-2 años	No
		Sacos preparados	Sí

SISTEMA DE RIEGO	
Agua de pozo propio (%)	Conductividad media total (dS/m)
0	0,6

DATOS DE COMERCIALIZACIÓN					
¿Dónde vende?	¿Lleva al mismo sitio?	¿Es socio de alguna cooperativa?	¿Años de socio?	¿Recorre a asesoramiento?	¿Arregla el género usted mismo?
Cooperativa	Sí	Sí	< 2	Siempre	No
		Suministros			Producción integrada

¿Aporta ácidos húmicos?			

Tabla 42 (cont.). Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para dos cultivos de ciclo corto de calabacín y melón por campaña

DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO							
Antigüedad (años)	Tipo de invernadero	Orientación	Superficie (m²)	Materia de la cubierta	Tipos de apoyos	Altura máxima (cumbre)	Altura mínima (Bajo Canal)
20	Parral plano	Norte a Sur	6,000	Plástico tricapa	Tubo metálico	3,5	3,5
Tipo de ventana central	Ventanas por capilla (%)	Superf. con ventilación central (%)	Núm. de ventanas laterales	Superf. con ventilación lateral (%)	Ventilación total (%)		
Fijas		0	4	11,3	11,3		
SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO							
¿Posee controlador climático?	¿Posee algún sistema de ventilación forzada?	¿Posee algún sistema de refrigeración por evaporación de agua?	¿Sistema de calefacción?				
No	No	No	No				
DATOS DE LA MANO DE OBRA							
¿Propia o ajena?	¿Vinculación de la mano de obra ajena?	Utilización de la mano de obra ajena					
Propia							

Tabla 43. Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para dos cultivos de ciclo corto de berenjena y sandía por campaña

Ubicaciones		Bajo Andarax	Campo de Dalías	Campo de Níjar	Bajo Almanzora
Número		0	1	0	0

PERFIL DEL PRODUCTOR			
Edad media	Experiencia	Titularidad de la finca	Dedicación a la finca
45	25	Arrendatario	FP Agricultor a TC

DATOS DE CULTIVOS								
Campañas	Cultivo/s	Ciclo/s	Rendimiento medio (kg/m²)	Orientación líneas de cultivo	Plantas por m²	¿Realiza análisis foliares?	¿Utiliza alternativas a fitosanitarios?	¿Utiliza injertos?
2010/2011 a 2012/2013	Otoño: berenjena Primavera: sandía	2 cortos	Otoño: 7,0 Primavera: 4,0	Norte - Sur	0,7 berenjena 0,5 sandía	Sí, coop.	Atrayentes color	Sí (sandía)

DATOS DEL SUELO				
Tipo de suelo	¿Realiza desinfección del suelo?	Superficie y frecuencia	Tipo de abono	¿Realiza análisis de suelo?
Arenado (2/3)	Sí, solarización y desinfección anualmente	Sí	Carillas / cada 2-3 años	Sí

SISTEMA DE RIEGO	
Agua de pozo propio (%)	Conductividad media total (dS/m)
0	0,8

DATOS DE COMERCIALIZACIÓN							
¿Dónde vende?	¿Lleva al mismo sitio?	¿Es socio de alguna cooperativa?	¿Años de socio?	¿Recurrir a asesoramiento?	Tipo de asesoramiento	¿Arregla el género usted mismo?	Tiempo de recolección para arreglar el género (%)
Cooperativa	Sí	Sí	> 10	Siempre	Cooperativa	No	Sistemas de certificación UNE-155.000, Global GAP y prod. integrada

Tabla 43 (cont.). Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para dos cultivos de ciclo corto de berenjena y sandía por campaña

DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO							
Antigüedad (años)	Tipo de invernadero	Orientación	Superficie (m²)	Materia de la cubierta	Tipos de apoyos	Altura máxima (cumbre)	Altura mínima (Bajo Canal)
12	Raspa y amagado	Norte a Sur	5.500	Plástico tricapa	Tubo metálico	4,7	4,3
Tipo de ventana central	Ventanas por capilla (%)	Superf. con ventilación central (%)	Tipo de ventana lateral	Núm. de ventanas laterales	Superf. con ventilación lateral (%)	Ventilación total (%)	
Abatible	100	7,6	Bandas deslizantes	4	14,6	22,2	
SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO							
¿Posee controlador climático?	¿Posee algún sistema de ventilación forzada?	¿Posee algún sistema de refrigeración por evaporación de agua?	¿Sistema de calefacción?				
No	No	Sí, nebulización	No				
DATOS DE LA MANO DE OBRA							
¿Propia o ajena?	¿Vinculación de la mano de obra ajena?			Utilización de la mano de obra ajena			
Ajena	25 % eventuales, 75 % fijos disc.			Recogida			

Tabla 44. Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para un cultivo de ciclo largo de berenjena por campaña

Ubicaciones	Bajo Andarax	Campo de Dalías	Campo de Níjar	Bajo Almanzora
Número	0	10	0	0

PERFIL DEL PRODUCTOR			
Edad media	Experiencia	Titularidad de la finca	Dedicación a la finca
46	28	Propietario	Básicos Agricultor a TC

DATOS DE CULTIVOS						
Campañas	Cultivo/s	Ciclo/s	Rendimiento medio (kg/m ²)	Orientación líneas de cultivo	Plantas por m ²	¿Realiza análisis foliares? ¿Utiliza alternativas a fitosanitarios? ¿Utiliza injertos?
2010/2011 a 2012/2013	Berenjena en ciclo largo	Largo	14,7	Norte - Sur (7/10)	0,6	Si, coop. (5/10) Lucha integrada; arroyentes color Si (berenjena) (3/10)

DATOS DEL SUELO			
Tipo de suelo	¿Realiza desinfección del suelo?	¿Realiza retranqueo?	¿Realiza análisis de suelo?
Arenado (9/10) Hidropónico (1/10)	Si, solarización y desinfección anualmente	Si (7/10) Carillas / cada 3-4 años	Si (4/10) Sacos (3/10) Si

SISTEMA DE RIEGO	
Agua de pozo propio (%)	Conductividad media total (dS/m)
0	0,2 0,7

DATOS DE COMERCIALIZACIÓN						
¿Dónde vende?	¿Lleva al mismo sitio?	¿Es socio de alguna cooperativa?	¿Años de socio?	¿Recurrir a asesoramiento?	Tipo de asesoramiento	¿Arregla el género usted mismo?
Cooperativa y SAT	Siempre	Si	> 10	Siempre	Cooperativa	No (8/10)
						Sistemas de certificación UNE-155.000, Natuane y prod. integrada

Tabla 44 (cont.). Perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo medio para un cultivo de ciclo largo de berenjena por campaña

DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO							
Antigüedad (años)	Tipo de invernadero	Orientación	Superficie (m²)	Materia de la cubierta	Tipos de apoyos	Altura máxima (cumbre)	Altura mínima (Bajo Canal)
15	Raspa y anagado (9/10) Paral plano (1/10)	Norte a Sur (9/10)	12.680	Plástico tricapa	Tubo metálico	4,1 (raspa) 2,6 (plano)	3,5 (raspa) 2,6 (plano)
Tipo de ventana central	Ventanas por capilla (%)	Superf. con ventilación central (%)	Núm. de ventanas laterales	Superf. con ventilación lateral (%)	Ventilación total (%)		
Abatible (6/10)	31,0	3,6	4	7,1 (R-A)	10,7		
SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO							
¿Posee controlador climático?	¿Posee algún sistema de ventilación forzada?	¿Posee algún sistema de refrigeración por evaporación de agua?	¿Sistema de calefacción?				
No	No	No	No				
DATOS DE LA MANO DE OBRA							
¿Propia o ajena?	¿Vinculación de la mano de obra ajena?	Utilización de la mano de obra ajena					
Ajena (10/10)	23 % eventuales; 65 % fijos disc.	Siembra y recogida					

6. Conclusiones

Se ha realizado un análisis exhaustivo de la evolución tecnológica del sector en los dieciséis últimos años. Se han cuantificado los rendimientos de los principales cultivos en los invernaderos de Almería, en función de la comarca agrícola y del tipo de invernadero utilizado. Se ha determinado el perfil medio de las diez mejores explotaciones con mayores ingresos brutos estimados de cada una de las comarcas agrícolas de Almería, así como el perfil medio de las mejores explotaciones con mayores rendimientos productivos por campaña, en función de la combinación de cultivos y ciclos utilizados. A partir del análisis anterior, podemos extraer las siguientes conclusiones:

La combinación de invernadero tipo Almería y suelo arenado, continúa después de 50 años gozando de una excelente salud, puesto que es la alternativa que mayoritariamente se ha mostrado más rentable. Solo en los ciclos largos, especialmente los de tomate, adquieren relevancia estructuras de tipo multitúnel; que también son interesantes en algunas especialidades como las de pepino, donde a veces se utiliza además calefacción.

Los invernaderos de Almería son muy eficientes en el uso de la energía, ya que en ellos se obtienen más kilogramos de frutas y hortalizas por unidad de energía consumida en comparación con otras zonas de invernaderos muy tecnificados, aunque también con mayores rendimientos por metro cuadrado. Además, las producciones medias en Almería son competitivas frente a otras zonas con invernaderos sin elevada tecnología, especialmente la utilizada para modificar su microclima. El Modelo de Almería es probablemente el más adaptado al nuevo contexto de exigencias de los consumidores europeos, que demandan gran calidad en los productos, con el menor coste medioambiental posible.

La gestión de cultivos realizada bajo la mayor implementación tecnológica, no redundante directamente en una mayor productividad comercial y en un superior rendimiento en términos generales, apuntándose el interés de la especialización en determinadas producciones que sí rentabilizan las inversiones efectuadas, así como en la reducción de costes de producción y en una adecuada orientación productiva.

La mejora de la ventilación natural induce incrementos productivos, sin un coste significativo frente a otros sistemas de control climático. La capacidad de ventilación del invernadero tipo Almería es un elemento que necesita mejorar, puesto que aunque se ha incrementado en los últimos años sigue siendo deficiente en la actualidad. La media en 2013 es del 14,4 %, lejos del valor mínimo del 30 % de superficie de ventanas por superficie del invernadero necesario para una correcta ventilación, o incluso del valor recomendado del 25 % en el Reglamento de Producción Integrada.

Referencias bibliográficas

- ABBES, K. y CHERMITI, B. (2011): «Comparison of two marks of sex pheromone dispensers commercialized in Tunisia for their efficiency to monitor and to control by mass-trapping *Tuta absoluta* under Greenhouses»; *Tunisian Journal of Plant Protection*, 6(2); pp. 133-148.
- ACEBEDO, M. M. (2004): «*Bemisia tabaci*, una de las principales plagas en cultivos bajo abrigo»; *Vida Rural* (189); pp. 31-34.
- AGUILAR, B. (1981): *Diversos tipos de estructuras de los abrigos de la zona del Campo de Dalías (Almería)*. Comunicación a las Jornadas de los Estudios Internacionales de la Sección Técnica de la Comisión Internacional de Ingeniería Rural. Almería, febrero de 1981.
- AIKMAN, D. P. (1996): «A procedure for optimizing carbon dioxide enrichment of a glasshouse tomato crop»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (63); pp. 171-184.
- ALBADALEJO, J. (1991): «Pantalla térmica. Microclima óptimo para sus plantas»; *Horticultura* (62); pp. 136-138.
- ALBADALEJO, J. y PLAISIER, H. (1991): «Tecnología de umbráculos con pantallas térmicas aluminizadas. Parte I»; *Horticultura* (67); pp. 70-76.
- ALBRIGHT, L. D. y BOTH, A. J. (1990): *Screening materials for thrips exclusion in greenhouses*. Proceedings of the Fifty-second annual Nueva York State Pest Management Conference. Cornell University. 12-15 de noviembre, Ithaca (EEUU); p. 7.

- AL-HELAL, M. S. (1998): *A computational fluid dynamics study of natural ventilation in arid region greenhouses*. Tesis Doctoral, Ohio State University, Ohio (EEUU); p. 186.
- ÁLVAREZ, A. J. (2009): *Estudio de las características geométricas y del comportamiento aerodinámico de las mallas antiinsectos utilizadas en los invernaderos como medida de protección vegetal*. Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Rural, Universidad de Almería, Almería (España); p. 423.
- ÁLVAREZ, A. J.; VALERA, D. L. y MOLINA-AIZ, F. D. (2003): *Importancia de la caracterización geométrica y del comportamiento aerodinámico de los agrotexiles utilizados en invernaderos*. I Congreso Andaluz de Ingenieros Agrónomos. 16, 17 y 18 de octubre, Sevilla. Comunicación 4c-2; p. 13.
- AL-SHOSHAN, A.; SHORT T. H.; McMAHON R. W. y FYNN R. P. (1991): *Evapotranspiration measurment and modeling of a greenhouse grown chrysanthemum crop*. ASAE paper No. 91-4043. ASAE, St. Joseph (EEUU).
- AMSEN, M. G. (1981): «Environmental conditions in different types of greenhouses»; *Acta Horticulturae* (115); pp. 99-104.
- ANNESI, T. A. y MOTTA, E. (1994): «Soil solarization in an Italian forest nursery»; *European Journal of Plant Pathology* (24); pp. 203-209.
- APARICIO, V.; BELDA, J. E.; CASADO, E.; GARCÍA, M.; GÓMEZ, V.; LASTRES, J.; MIRASOL, E.; ROLDAN, E.; SÁEZ, E.; SÁNCHEZ, A. y TORRES, M. (1998): *Plagas y enfermedades en cultivos hortícolas de la provincia de Almería: control racional*. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía, Andalucía (España); p. 356.
- ARBEL, A.; YEKUTIEH, O. y BARAK, M. (1999): «Performance of a fog system for cooling greenhouses»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (72); pp. 129-36.
- ARBEL, A.; BARAK, M. y SHKLYAR, A. (2003): «Combination of Forced Ventilation and Fogging Greenhouses»; *Biosystems Engineering*, 84 (1); pp. 45-55.
- ARELLANO, M. A.; VALERA, D. L.; URRESTARAZU, M. y MOLINA-AIZ, F. D. (2002): *Characterisation of the microclimate in an Almería type greenhouse* paper nº 02-SE-058. International Conference on Agricultural Engineering EurAgEng 2002, 30 Junio-4 Julio 2004. Budapest, Hungría; p. 4.

- ARELLANO, M. A.; VALERA, D. L.; MOLINA-AIZ, F. D. y URRESTARAZU, M. (2003): *Efecto del microclima originado en un invernadero Almería en el rendimiento y calidad de un cultivo de pepino*. Actas del 2º Congreso Nacional de Agroingeniería, Córdoba (España), AG03-0703; pp. 570-575.
- ARELLANO, M. A. (2004): *Caracterización Microclimática del Invernadero Almería y Análisis de la Ventilación Forzada como Vía de Mejora de los Parámetros Ambientales que Optimicen la Producción y Calidad de Diversos Cultivos Hortícolas*. Tesis Doctoral. Universidad de Almería, Almería (España).
- ASAE (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS) (1981): «Heating, ventilating and cooling greenhouses»; *Agricultural Engineers Yearbook, ASAE Engineering Practice* (406); pp. 401-404.
- ASAE (1994): *Heating, Ventilating and Cooling Greenhouses*. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph (EEUU), ANSI-ASAE Standard. EP406.1; pp: 565-568.
- ASAE (2003): *Heating, Ventilating and Cooling Greenhouses*. ANSI/ASAE EP406.4 JAN03. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, Michigan (EEUU).
- ASHRAE (1972): *ASHRAE Handbook of Fundamentals*. Chapter 10. American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers. New York (EEUU).
- AZNAR, J. A.; GALDEANO, E.; ÁLVAREZ, J.; TAPIA, J. J. y GODOY, A. (2013): *El sector de la comercialización hortícola en Almería*. Ed. Cajamar Caja Rural, Almería (España), p. 121.
- BAILEY, B. J. (1978): «Heat consevation in glasshouses with aluminised thermal screens»; *Acta Horticulturae* (76); pp. 275-278.
- BAILEY, B. J. (1980): «The evaluation of thermal screens in glasshouses on commercial nurseries»; *Acta Horticulturae* (115); pp. 663-670.
- BAILEY, B. J. (1985): «Microclimate, physical processes and greenhouse technology»; *Acta Horticulturae* (174); pp. 35-42.
- BAILLE, M.; LAURY, J. C. y BAILLE, A. (1984): «Influence d'un écran thermique sur le bilan énergétique et le microclimat nocturnes d'une serre»; *Agronomie*, 4(4); pp. 327-332.

- BAILLE, A.; ARIES, F.; BAILLE, M. y LAURY, J. C. (1985): «Influence of thermal screen optical properties on heat losses and microclimate of greenhouses»; *Acta Horticulturae* (174); pp. 111-117.
- BAILLE, A.; KITTAS, C. y KATSOULAS, N. (2001): «Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning»; *Agricultural and Forest Meteorology* (107); pp. 293-306.
- BAKER, J. R. y JONES, R. K. (1989): «Screening as part of insect and disease management in the greenhouse»; *N.C. Flower Growers' Bull* (34); pp. 1-9.
- BAKER, J. R. y JONES, R. K. (1990): «An update on screening as part of insect and disease management in the greenhouse»; *N.C. Flower Growers' Bull* (35); pp. 1-3.
- BALACHOWSKY, A. S. (1951): *La Lutte contre les Insectes*. Ed. Payot, París (Francia); p. 380.
- BARRAL, J. R.; GALIMBERTI, P. D.; BARONE, A. y MIGUEL A. L. (1999): «Integrated thermal improvements for greenhouse cultivation in the central part of Argentina»; *Solar Energy*, 67(1-3); pp. 111-118.
- BARRETT, R. E.; ORMROD, D. P. y JUNG, R. (1978): «Soil heating effects on bench-grown Chrysanthemums»; *HortScience*, 13(5); pp. 591-592.
- BARTZANAS, TH.; BOULARD, T. y KITTAS, C. (2002): «Numerical simulation of the airflow and temperature distribution in a tunnel greenhouse equipped with insect-proof screen in the openings»; *Computers and Electronics in Agriculture* (34); pp. 207-221.
- BARTZANAS, T. y KITTAS, C. (2004): *Heat and Mass Transfer in a Large Evaporative Cooled Greenhouse Equipped with a Progressive Shading*. GREEN-SYS 2004, 12-16 Septiembre, Leuven (Bélgica).
- BAUERLE, W. L. y SHORT, T. H. (1977): «Conserving heat in glass greenhouses with surface-mounted air-inflated plastic»; *Ohio Agricultural Research and Development Center*. Special circular 101.
- BAUERLE, W. L. y SHORT, T. H. (1981): «Changes in practices for energy conservative greenhouses»; *Acta Horticulturae* (115); pp. 309-310.
- BAXTER, D. O. (1994): «Energy exchanges and related temperatures of an earth-tube heat exchanger in the cooling mode»; *Transactions of the ASAE*, 37(1); pp. 257-267.

- BELL, M. L. y BAKER, J. R. (2000): «Comparison of greenhouse screening materials for excluding Whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) and Thrips (Thysanoptera: Thripidae)»; *Journal of Economic Entomology* (93); pp. 800-804.
- BELL, M. L. y BAKER, J. R. (2001): «Greenhouse insect-screens making the right selection»; *The Nursery Papers* (1999-91); pp. 1-6.
- BEN YEPHET, Y.; STAPLETON, J. J.; WAKEMAN, R. J. y DEVAY, J. E. (1987): «Comparative effect of soil solarization with single and double layer of polyethylene film on survival of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*»; *Phytoparasitica* (15); pp. 181-185.
- BENASSY, C. (1977): «Lucha biológica e integrada en la protección de plantas»; *Bol. Serv. Plagas* (3); pp. 75-86.
- BERLINGER, M. J.; MORDECHL, S. y LEEPER, A. (1991): «Application of screens to prevent whitefly penetration into greenhouses in the Mediterranean Basin»; proceedings of the Working Group Integrated Control in *Protecting Crops under Mediterranean Climate*, 29 de septiembre-2 de octubre, Alassio (Italia); pp. 105-110.
- BERLINGER, M. J.; MORDECHL, S.; FRIDJA, D. y MAR, N. (1992): «The effect of types of greenhouse screens on the presence of western flower thrips: a preliminary study»; *Contribution from the Agricultural Research Organization* (3716-E); 1992 series. The Volcán Center, Bet Dagan (Israel); pp. 13-16.
- BETHKE, J. A. (1994): «Considering installing screening? This is what you need to know»; *Greenhouse Manager*, 13(1); pp. 34-37.
- BETHKE, J. A. y PAINE, T. D. (1991): «Screen hole size and barriers for exclusion of insect pests of glasshouse crops»; *Journal of Entomological Science*, 26(1); pp. 169-177.
- BETHKE, J. A.; REDAK, R. A. y PAINE, T. D. (1994): «Screens deny specific pests entry to greenhouses»; *California Agriculture*, Mayo-Junio; pp. 37-40.
- BIANCHI, A. (1989): «Tipologie costruttive ed impiantistiche nelle colture protette»; *Colture Protette* (7); pp. 23-26.
- BOESMAN, G.; DEROUICH, M. y VERLODT, H. (1984): «Influence of solar heating and thermal screen on the greenhouse climate and the yield of pepper (*Capsicum annuum* L.)»; *Acta Horticulturae* (154); pp. 267-279.
- BOT, G. P. A. (1983): *Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model*. Tesis Doctoral. Agricultural University of Wageningen. Holanda; p. 240.

- BOTH, A. J.; ALBRIGHT, L. D. y LANGHANS, R. W. (1997): «Considedated management of daily PAR integratal and carbon dioxide for hydroponic lettuce production»; *Acta Horticulturae* (456); pp. 45-51.
- BOULARD, T. y BAILLE, A. (1993): «Simple greenhouse climate control incorporating effects of ventilation and evaporative cooling»; *Agricultural and Forest Meteorology* (65); pp. 3-4.
- BOULARD, T. y DRAOUI, B. (1995): «Natural ventilation of a greenhouse with continuous roof vents: measurements and data analysis»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (61); pp. 27-36.
- BOULARD, T.; FEUILLOLEY, P. y KITTAS, C. (1997): «Natural ventilation performance of six greenhouse and tunnel types»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (67); pp. 249-266.
- BOULARD, T.; RAEPPEL, C.; BRUN, R.; LECOMPTE, F.; HAYER, F.; CARMAS- SI, G. y GAILLARD, G. (2011): «Environmental impact of greenhouse tomato production in France»; *Agronomy for Sustainable Development*, 31(4); pp. 757-777.
- BRADER, L. (1975): *Integrated control, a new approach in crop protection*. C. R. 5è Svmp. Lutte int. vergers OilblSrop, 9-1.
- BRETONES, F. (2003): «El enarenado»; en CAMACHO FERRE, F., coord.: *Técnicas de producción en cultivos protegidos* (1); Caja Rural Intermediterránea, Cajamar, Almería; pp. 109-118.
- BRIASSOULIS, D.; WAAIJENBERG, D.; GRATRAUD, J. y VON ESLNER, B. (1997): «Mechanical properties of covering materials for greenhouses: part 1, general overview»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (67); pp. 81-96.
- BUFFINGTON, D. E.; BUCKLIN, R. A.; HENLEY, R. W. y MCCONNELL, D. B. (1987): *Greenhouse ventilation*. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Fact Sheet AE-10, Gainesville (EEUU); p. 5.
- BUSINGER, J. A. (1963): «The glasshouse (greenhouse) climate»; en VAN WIJK, ed.: *Physics of Plant Environment*. North-Holland Publishing Co., Amsterdam (Holanda); pp. 277-318.
- BYRNE, D. N.; BRETZEL, P. K. V. y HOFFMAN, C. J. (1986): «Impact of trap design and placement when monitoring for the bandedwinged whitefly and the sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae)»; *Environmental Entomology* (15); pp. 300-304.

- CALVERT, A. y SLACK, G. (1975): «Light-dependent control of day temperature for early tomato crops»; *Acta Horticulturae* (51); pp. 163-168.
- CAMACHO-FERRE, F. (1980): «Cultivos intensivos en la provincia almeriense. Equipo de Ciencias Naturales 'Los Filabres1'; en *Serie Monografías*. Almería (España), p. 16.
- CAMACHO, F. (2003): *Técnicas de Producción en Cultivos Protegidos*. Ed. Caja Rural Intermediterránea (Cajamar), Almería (España); p. 776.
- CAMACHO, F. y CORTÉS, F. J. (2009): «La innovación, base del sostenimiento de la horticultura protegida de Almería»; *Distribución y consumo*; pp. 52-62.
- CAMPEN, J. B. (2003): «Greenhouse characteristics and climatic conditions using 3D computational fluid dynamics calculations»; *Acta Horticulturae* (614); pp. 347-351.
- CAMPEN, J. B. (2005): «Greenhouse design applying CFD for Indonesian conditions»; *Acta Horticulturae* (691); pp. 419-424.
- CAMPEN, J. B. y BOT, G. P. A. (2003): «Determination of greenhouse-specific aspect of ventilation using three-dimensional computational fluid dynamics»; *Biosystems Engineering*, 84(1); pp. 69-77.
- CAMPRA, P.; GARCÍA, M.; CANTON, Y. y PALACIOS-ORUETA, A. (2008): «Surface temperature cooling trends and negative radiative forcing due to land use change toward greenhouse farming in southeastern Spain»; *Journal of Geophysical Research* (113); D18109.
- Campra, P. y Millstein, D. (2013): «Mesoscale climatic simulation of surface air temperature cooling by highly reflective greenhouses in SE Spain»; *Environmental Science & Technology*, 47(21); pp. 12284-12290.
- CAMPRUBI, A.; ESTAÚN, V.; EL BAKALI M. A.; GARCIA-FIGUERES, F. y CALVET, C. (2007): «Alternative strawberry production using solarization, metham sodium, and beneficial soil microbes as plant protection methods»; *Agronomy for Sustainable Development*, 27(3); pp. 179-184.
- CAPMA (2012): «Fichas de productos. Campaña 2011/12»; *Sector hortícolas protegidos*. Observatorio de precios y mercados. Consejería de Agricultura Pesca y Medio Ambiente. Junta de Andalucía, Andalucía (España).
- CAPMA (2013a): «Boletín Final»; *Avance valoración de campaña 2012/13 hortalizas protegidas*. Almería. Observatorio de precios y mercados. Junta de Andalucía, Andalucía (España).

- CAPMA (2013b): *Cartografía de invernaderos en el litoral de Andalucía Oriental. Campaña 2012*. Consejería de Agricultura Pesca y Medio Ambiente. Junta de Andalucía, Andalucía (España), p. 21.
- CARLSSON-KANYAMA, A. (1998): «Climate change and dietary choices-how can emissions of greenhouse gases from food consumption be reduced?»; *Food Policy*, 23(3-4); pp. 277-293.
- CASTILLA, N.; GIMENEZ, C. y FERERES, E. (1986): «Tomato root development on sand mulch, plastic greenhouse in Almería (Spain)»; *Acta Horticulturae* (191); pp. 113-122.
- CASTILLA, N. (1994): «Greenhouse in the mediterranean area: technological level and strategic management»; *Acta Horticulturae* (361); pp. 44-56.
- CASTILLA, N. (2001): «La radiación solar en invernadero en la costa mediterránea española»; en CAJAMAR, ed.; *Incorporación de tecnología al invernadero mediterráneo*. El Ejido, Almería (España); pp: 36-47.
- CASTILLA, N. (2005): *Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid (España), p. 462.
- CASTILLA, N. y HERNADEZ, J. (1995): «Protected cultivation in the Mediterranean area»; *Plasticulture*, 107(3); pp. 13-20.
- CELLURA, M.; LONGO S. y MISTRETTA M. (2012): «Life Cycle Assessment (LCA) of protected crops: an Italian case study»; *Journal of Cleaner Production* (28); pp. 56-62.
- CEPLA (1992): «Actas del XII Congreso Internacional de Plásticos en Agricultura 3-8 Mayo 1992». Granada (España).
- CHALABI, Z. S. y CRITTEN, D. L. (1990): «The influence of real time filtering strategies on optimal CO₂ concentration for a greenhouse lettuce crop»; *Acta Horticulturae* (268); 139-148.
- CHAVARRÍA-CARVAJAL, J. A.; RODRÍGUEZ-KABANA, R.; KLOEPPER, J. W. y MORGAN JONES, G. (2001): «Changes in populations of microorganisms associated with organic amendments and benzaldehyde to control plant-parasitic nematodes»; *Nematropica* (31); pp. 165-180.
- CHEN, Y.; GAMLIEL, A.; STAPLETON J. J. y AVIAD, T. (1991): «Chemical, physical, and microbial changes related to plant growth in disinfested soils»; in KATAN, J.; DEVAY, J. E., eds.: *Soil Solarization*. CRC Press, Boca Raton; pp. 103-129.

- CHRISTENSEN, L. K. y THINGGAARD, K. (1999): «Solarization of greenhouse soil for prevention of *Pythium* root rot in organically grown cucumber»; *Journal of Plant Pathology* (81); pp. 137-144.
- COEXPHAL (2013): «La Asamblea General de COEXPHAL hace balance de la pasada campaña y analiza las acciones desarrolladas durante la misma»; nota de prensa de la Asociación de Organizaciones de Productores de Frutas y Hortalizas de Almería de 11 de octubre de 2013, Almería (España).
- D'EMILIO, A.; MAZZARELLA, R.; PORTO, S. M. C. y CASCONI, G. (2012): «Neural networks for predicting greenhouse thermal regimes during Soil Solarization»; *Transactions of the ASABE*, 55(3); pp. 1093-1103.
- DAVIS, P. F. y HOOPER, A. W. (1991): «Improvement of greenhouse heating control»; *Proc. Institution of Electrical Engineers*, Part D, 138(3); pp. 249-255.
- DE GRAAF, R. (1985): «The influence of thermal screening and moisture gap on the transpiration of glasshouse tomatoes during the night»; *Acta Horticulturae* (174); pp. 57-66.
- DE HALLEUX, D. y GAUTHIER, L. (1998): «Energy consumption due to dehumidification of greenhouses under northern latitudes»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (69); pp. 35-42.
- DELTOUR, J.; DE HALLEUX, D.; NIJSKENS, J.; COUTISSE, S. y NISEN, A. (1985): «Dynamic modelling of heat and mass transfer in greenhouses»; *Acta Horticulturae* (174); pp. 119-126.
- DESNEUX, N.; WAJNBERG, E.; WYCKHUY, K. A. G.; BURGIO, G.; ARPAIA, S.; NARVÁEZ-VASQUEZ, C. A.; GONZÁLEZ-CABRERA, J.; CATALÁN, D.; TABONE, E.; FRANDON, J.; PIZZOL, J.; PONCET, C.; CABELLO, T. y URBANEJA, A. (2010): «Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: ecology, geographic expansion and prospects for biological control»; *Journal of Pest Science* (83); pp. 197-215.
- DÍAZ, M.; CARMONA, J. J.; FERNÁNDEZ, E. J.; GALLARDO, D. y CAMACHO, F. (2003): «Utilización de mallas anti-insectos como protección en invernaderos mediterráneos. Efectos de la densidad de hilos y de la fotoselectividad sobre la difusión del TYLCV (Virus de la cuchara) en el cultivo de tomate»; en FERNÁNDEZ, E. J., ed.: *Innovaciones tecnológicas en cultivos de invernadero*. Ediciones Agrotécnicas SL. Madrid (España); pp. 165-175.

- DIERICKX, W. (1998): «Flow reduction of synthetic screens obtained with both a water and airflow apparatus»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (71); pp. 67-73.
- DOBLE, S. J.; MATTHEWS, G. A.; RUTHERFORD, I. y SOUTHCORBE, E. S. E. (1985): «A system for classifying hydraulic nozzles and other atomisers into categories of spray quality»; *Proceedings of the British Crop Protection Conference-Weeds* (3); pp. 1125-1133.
- DUFF, J. D. y CONNELLY, M. I. (1993): «Effect of solarization using single and double layers of clear plastic mulch in *Pythium*, *Phytophthora* and *Sclerotium* species in a nursery potting mix»; *Australasian Plant Pathology* (22); pp. 28-35.
- DUNCAN, G. A.; LOEWER, JR. O. J. y COLLIVER, D. G. (1981): «Simulation of energy flows in a greenhouse: magnitudes and conservation potential»; *Transactions of the ASAE*, 24(4); pp. 1014-1021.
- ENOCH, H. Z. (1984): «Carbon dioxide uptake efficiency in relation to crop intercepted solar radiation»; *Acta Horticulturae* (162); pp. 137-147.
- EGUARAS, J. (1988): *Ibn Luyun: tratado de agricultura*. Patronato de la Alhambra y Generalife, Granada, 302 pp.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2002): «El cultivo protegido en clima mediterráneo»; *Estudio FAO Producción y Protección Vegetal* (90). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma (Italia); p. 320.
- FATNASSI, H.; BOULARD, T. y BOUIRDEN, L. (2002a): «Simulation of air flux and temperature patterns in a large scale greenhouse equipped with insect proof nets»; *Acta Horticulturae* (578); pp. 329-338.
- FATNASSI, H.; BOULARD, T.; DEMRATI, H.; BOUIRDEN, L. y SAPPE, G. (2002b): «Ventilation performance of a large Canarian type greenhouse equipped with insect-proof nets»; *Biosystems Engineering*, 82(1); pp. 97-105.
- FATNASSI, H.; BOULARD, T.; PONCET, C. y CHAVE, M. (2006): «Optimisation of greenhouse insect screening with computational fluid dynamics»; *Biosystems Engineering*, 93(3); pp. 301-312.
- FATNASSI, H.; LEYRONAS, C.; BOULARD, T.; BARDIN, M. y NICOT, P. (2009): «Dependence of greenhouse tunnel ventilation on wind direction and crop height»; *Biosystems engineering* (103); pp. 338-343.
- FERARE, J. y GOLDSBERRY, K. L. (1984): «Environmental conditions created by plastic greenhouse covers»; *Acta Horticulturae* (148); pp. 675-682.

- FERENTINOS, K. P.; ALBRIGHT, L. D. y RAMANI, D. V. (2000): «Optimal light integral and carbon dioxide concentration combinations for lettuce in ventilated greenhouses»; *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77(3); pp. 309-315.
- FERGUSON, J. H. A. (1960): «A comparison of two planting systems in orchards as regards the amount of radiation intercepted by the trees»; *Netherlands Journal of Agricultural Science* (8); pp. 271-280.
- FERNÁNDEZ, O. y PIZARRO, A. (1981): «Almería: la técnica del 'enarenado' transforma un desierto»; *Revista de Estudios Agrosociales* (115); pp. 31-70.
- FERNÁNDEZ, J. E. y BAILEY, B. J. (1993): «Predicting greenhouse ventilation rates»; *Acta Horticulturae* (328); pp. 107-114.
- FERNÁNDEZ, C. y PÉREZ-PARRA, J. J. (2004): *Caracterización de los invernaderos de la provincia de Almería*. Cajamar, El Ejido (Almería); p. 20.
- FERNÁNDEZ, E. J.; CAMACHO, F.; DÍAZ, M. y MARTÍNEZ, E. J. (2002a): «Efectos de la utilización de mallas de 20x10 hilos-cm-1 (50 mesh) sobre los niveles de poblaciones de mosca blanca y trips bajo invernadero en cultivo de tomate y sobre la incidencia de TYLCV en el sureste español»; *Phytoma* (135); pp. 206-207.
- FERNÁNDEZ, E. J.; CAMACHO, F. y DÍAZ, M. (2002b): «Influencia de la utilización de mallas 20x10 hilos-cm-1 (50 mesh) fotoselectivas y no fotoselectivas sobre la incidencia del TYLCV en invernaderos mediterráneos del sureste español: primer avance»; *Phytoma* (135); pp. 210-211.
- FERRÁNDEZ-VILLENA, M.; ROCAMORA, M. C.; PUERTO, H. M.; GARCÍA, T.; ANDREU, J.; RUIZ, A.; CÁMARA, J. M.; MELIÁN, A. y ABADÍA, R. (2002): «Study of the head losses along the nozzles conduct of a fog-forming system with venturi effect for the control of temperature in a greenhouse»; *EurAgEng 2002*, Budapest (Hungría): 02-SE-050.
- FEUILLOLEY, P.; GUILLAUME, S. y ISSANCHOU, G. (1989): «Couverture de serre. Mesure de la transparence thermique des matériaux»; *CEMAGREF BTMEA* (35); janvier 1989; pp. 24-32.
- FEUILLOLEY, P.; ISSANCHOU, G.; JACQUES, J. C.; GUILLAUME, S.; MEKIKDJIAN, CH.; MIRABELLA, J. F. y MERLOT, A. (1994a): «Films plastique de couverture de serre: condensations et propriétés thermiques. Résultats de mesure»; *Plasticulture* (103); pp. 2-10.
- FEUILLOLEY, P.; MEKIKDJIAN, CH. y LAGIER, J. (1994b): «Aération naturelle des serres-tunnels plastique en zone méditerranéenne»; *Plasticulture* (104); pp. 33-46.

- FEUILLOLEY, P. y ISSANCHOU, G. (1996): «Greenhouse covering materials measurement and modelling of thermal properties using the hot box method and condensation effects»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (65); pp. 129-142.
- FIERRO, A.; TREMBLAY, N. y GOSSELIN, A. (1994): «Supplemental carbon dioxide and light improved tomato and pepper seedling growth and yield»; *HortScience*, 29(3); pp. 152-154.
- FILHO, M. M.; VILELA, E. F.; ATTYGALLE, A. B.; MEINWALD, J.; SVATOŠ, A. y JHAM, G. N. (2000): «Field trapping of tomato moth, *Tuta absoluta* with pheromone traps»; *Journal of Chemical Ecology*, 26(4); pp. 875-881.
- FRENCH-MONAR, R. D.; JONES, J. B.; OZORES-HAMPTON, M. y ROBERTS, P. D. (2007): «Survival of inoculum of *Phytophthora capsici* in soil through time under different soil treatments»; *Plant Disease*, 91(5); pp. 593-598.
- FRENKEL, H. (1986): «Pesticide application, technique and efficiency»; en PALTÍ, J. y AUSER, R., ed.: *Advisory Work in Crop Pest and Disease Management*, Springer, Nueva York (EEUU); pp. 132-160.
- FUCHS, M.; DAYAN, E.; SHMUEL, D. y ZIPORI, I. (1997): «Effects of ventilation on the energy balance of a greenhouse with bare soil»; *Agricultural and Forest Meteorology* (86); pp. 273-282.
- FULLER, R. J.; MEYER, C. P. y SALE, P. J. M. (1987): «Validation of a dynamic model for predicting energy use in greenhouses»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (38); pp. 1-14.
- FUNDACIÓN CAJAMAR (2012): *Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería Campaña 2011/2012*; ed. Fundación Cajamar, Almería (España), p. 90.
- GAMLIEL, A.; AUSTERWEIL, M. y KRITZMAN, G. (2000): «Non-chemical approach to soil-borne pest management organic amendments»; *Crop Protection* (19); pp. 847-853.
- GARCÍA, J. L.; PLAZA, S.; DURÁN, J. M.; NAVAS, L. M.; BENAVENTE, R. M. y LUNA, L. (1997): *Calefacción por suelo radiante. Horticultura* (124); pp. 105-108.
- GARDNER, P. (1984): «Energy Management Systems in Buildings»; *Energy Publications*; Newmarket (Inglaterra).
- GARIBALDI, A. y TAMIETTI, G. (1983): «Attempts to use soil solarization in closed glasshouses in northern Italy»; *Acta Horticulturae* (152); pp. 237-243.

- GARZOLI, K. V. (1989): «Energy efficient greenhouses»; *Acta Horticulturae* (245); pp. 53-62.
- GHIDIU, G. M. y ROBERTS, W. J. (2003): *Greenhouse screening for insect control*; The State University of New Jersey, Rutgers Cooperative Extension, New Jersey (EEUU), FS640. p. 2.
- GHOSAL, M. K. y TIWARI, G. N. (2004): «Mathematical modeling for greenhouse heating by using thermal curtain and geothermal energy»; *Solar Energy* (76); pp. 603-613.
- GIACOMELLI, G. A. y TING, K. C. (1999): «Horticultural and engineering considerations for the design of integrated greenhouse plant production systems»; *Acta Horticulturae* (481); pp. 475-481.
- GIACOMELLI, G. A. (2002): *Considerations for energy management of greenhouse heating and cooling*; Southern Greenhouse Vegetable Growers Association Conference. 19-20 Julio, Shreveport (EEUU); p. 10.
- GIANNAKOU, I. O.; SIDIROPOULOS, A. y PROPHETOU-ATHANASIADOU, D. (2002): «Chemical alternatives to methyl bromide for the control of root-knot nematodes in greenhouses»; *Pest Management Science* (58); pp. 290-296.
- GILLESPIE, D. R. y QUIRINO, D. J. M. (1992): «Flight behaviour of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleurodidac), in relation to yellow sticky traps»; *The Canadian Entomologist* (124); pp. 907-916.
- GONZÁLEZ BENAVENTE-GARCÍA, A. y MARTINEZ GARCÍA, P. F. (1981): «Improvement of the thermal environment of the propagation house and its effect on the tomato fruit-set»; *Acta Horticulturae* (115); pp. 301-307.
- GUIRAO, P.; BEITIA, F. y CENIS, J. L. (1997): «Biotype determination of Spanish populations of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae)»; *Bulletin of Entomological Research* (87); pp. 587-593.
- GULLINO, M. L.; MINUTO, A. y GARIBALDI, A. (1998): «Improved method of bench solarization for the control of soil-borne diseases in basil»; *Crop Protection* (17); pp. 497-501.
- GUTIERREZ MONTES, J. L.; ADRADOS BLAISE-OMBRECHT, C.; GARCIA MARI, E. y CRUZ GONZALEZ, J. M. (1992): «Suelo caliente e infrarrojos como calefacción»; *Horticultura* (76); pp. 46-53.

- HAND, D. W. (1984): «Crop responses to winter and summer CO₂ enrichment»; *Acta Horticulturae* (162); pp. 45-61.
- HAND, D. W. y HANNAH, M. A. (1978): «Sweet pepper: application of lower-than-normal temperatures for varying durations within the night period»; en *Report Glasshouse Crops Research*. Institute Littlehampton (Reino Unido); pp. 53-55.
- HEIJ, G. y SCHAPENDONK, A. H. C. M. (1984): «CO₂ depletion in greenhouses»; *Acta Horticulturae* (148); pp. 351-355.
- HEINZ, K. M.; PARRELLA, M. P. y NEWMAN, J. P. (1992): «Time-efficient use of yellow sticky traps in monitoring insect populations»; *Journal of Economic Entomology* (85); pp. 2263-2269.
- HELLICKSON, M. A. y WALKER, J. N. (1983): «Ventilation of Agricultural Structures»; *ASAE Monograph* (6). American Society of Agricultural Engineers (ASAE), St Joseph (EEUU), p. 374.
- HENDRICKS, P. (2012): «Life Cycle Assessment of greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production in southwestern Ontario». Tesis, University of Guelph, Ontario (Canadá), p. 95.
- HOITINK, H. A. J. y FAHY, P. C. (1988): «Basis for the control of soil-borne plant pathogens with compost»; *Annual Review of Phytopathology* (24); pp. 93-114.
- HORIUCHI, S. (1991): «Solarization for greenhouse crops in Japan»; en DEVAY, J. E.; STAPLETON, J. J. y ELMORE, C. L., eds.: *Soil Solarization. Plant Production and Protection*; paper 109. FAO, Roma; pp. 16-27.
- HORTICULTURAL STATISTICS (1994): LEI-DLO and CBS. S-Gavenhage (Holanda).
- HURD, R. G. y GRAVES, C. J. (1984): «The influence of different temperature patterns having the same integral on the earliness and yield of tomatoes»; *Acta Horticulturae* (148); pp. 547-554.
- HUYLENBROECK VAN, J. M. y DEBERGH, P. C. (1993): «Year-round production of flowering *Calathea crocata*: influence of light and carbon dioxide»; *HortScience*, 28(9); pp. 897-898.
- HUYS, J. F. G. y MULDER, W. P. (1981): «Economic aspect of heat pumps in glasshouse horticulture»; *Acta Horticulturae* (115); pp. 511-515.

- IOSLOVICH, I.; SEGNER, I.; GUTMAN, P. O. y BORSHCHEVSKY, M. (1995): «Sub-optimal CO₂ enrichment of greenhouses»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (60); pp. 117-136.
- JACKSON, J. E. (1980): «Theory of light interception by orchards and a modelling approach to optimizing orchard design»; *Acta Horticulturae* (114); pp. 69-79.
- JACKSON, J. E. y PALMER, J. W. (1972): «Interception of light by model hedgerow orchards in relation to latitude, time of year and hedgerow configuration and orientation»; *Journal of Applied Ecology* (9); pp. 341-357.
- JAFFRIN, A. y URBAN, L. (1990): «Optimization of light transmission in modern greenhouses»; *Acta Horticulturae* (281); pp. 25-33.
- JANES, H. W. y McAVOY, R. (1983): «Deleterious effects of cool air temperature reversed by root-zone warming in poinsettia»; *HortScience*, 18(3); pp. 363-364.
- JAYARAJ, J. y RADHAKRISHNAN, N. V. (2008): «Enhanced activity of introduced biocontrol agents in solarized soils and its implications of the integrated control of tomato damping-off caused by *Pythium* spp»; *Plant and Soil*, 304(1-2); pp. 189-197.
- JUNTA DE ANDALUCÍA (2006): *Caracterización de la deuda del sector hortícola de Almería 2005/06*. Consejería de Agricultura y Pesca, Secretaría General de Agricultura y Ganadería, Delegación Provincial de Almería, Almería, p. 34.
- JUNTA DE ANDALUCÍA (2010): *Anuario de estadísticas agrarias y pesqueras de Andalucía*. Ed. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Andalucía (España).
- KACIRA, M.; SASE, S. y OKUSHIMA, L. (2004): «Review: Effects of side vents and span numbers on wind-induced natural ventilation of a gothic multi-span greenhouse»; *Japan Agricultural Research Quarterly*, 38(4); pp. 227-233.
- KACIRA, M.; SASE, S. y OKUSHIMA, L. (2004b): «Optimization of vent configuration by evaluating greenhouse and plant canopy ventilation rates under wind-induced ventilation»; *Transactions of the ASAE*, 47(6); pp. 2059-2067.
- KATAN, J.; GREENBERGER, A.; ALON, H. y GRINSTEIN, A. (1976): «Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens»; *Phytopathology* (66); pp. 683-688.

- KATAN, J.; GRINSTEIN, A.; GREENBERGER, A.; YARDEN, O. y DEVAY, J. E. (1987): «The first decade (1976-1986) of soil solarization (solar heating): A cronological bibliography»; *Phytoparasitica* (15); pp. 229-255.
- KEMPKE, F. L. K. y VAN DE BRAAK, N. J. (2000): «Heating system position and vertical microclimate distribution in chrysanthemum greenhouse»; *Agricultural and Forest Meteorology* (104); pp. 133-142.
- KITTAS, C.; BARTZANAS, T. y JAFFRIN, A. (2003): «Temperature gradients in a partially shaded large greenhouse equipped with evaporative cooling pads»; *Biosystems Engineering*, 85(1); pp. 87-94.
- KITTAS, C.; BOULARD, T.; MERMIER, M. y PAPADAKIS, G. (1996): «Wind induced air exchange rates in a greenhouse tunnel with continuous side openings»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (65); pp. 37-49.
- KITTAS, C.; BOULARD, T. y PAPADAKIS, G. (1997a): «Natural ventilation of a greenhouse with ridge and side openings: sensitivity to temperature and wind effects»; *Transactions of the ASAE*, 40(2); pp. 415-425.
- KITTAS, C.; KATSOULAS, N.; BARTZANAS, T.; BOULARD, T. y MERMIER, M. (2005): *Effect of vents' opening and insect screen on greenhouse ventilation*. International Conference Passive and low energy cooling for the built environment. Mayo 2005, Santoini (Grecia); pp. 59-64.
- KITTAS, C.; KATSOULAS, N.; BARTZANAS, T.; BOULARD, T. y MERMIER, M. (2006): «Effect of vent opening and insect screens on greenhouse microclimate distribution»; *Acta Horticulturae* (719); pp. 615-622.
- KITTAS, C.; KATSOULAS, N.; BARTZANAS, T.; MERMIER, M. y BOULARD, T. (2008): «The impact of insect screens and ventilation openings on the greenhouse microclimate»; *Transactions of the ASABE*, 51(6); pp. 2151-2165.
- KOSMOS, S. R.; RISKOWSKI, G. L. y CHRISTIANSON, L. L. (1993): «Force and static pressure resulting from airflow through screens»; *Transactions of ASAE* (36); pp. 1467-1472.
- LACASA, C. M.; GUERRERO, M. M.; ROS, C.; MARTÍNEZ, V.; LACASA, A.; FERNÁNDEZ, P.; NÚÑEZ-ZOFÍO, M.; LARREGLA, S.; MARTÍNEZ, M. A.; Díez-ROJO, M. A. y BELLO, A. (2010): «Efficacy of biosolarization with sugar beet vinasses for soil disinfestation in pepper greenhouses»; *Acta Horticulturae* (883); pp. 345-352.
- LA MALFA, G.; NOTO, G.; PARRINI, F. y PULVIRENTI, S. (1993): «Riscaldamento di serre con refluì termici per la produzione di piante ornamentali»; *Colture Protette* (1); pp. 73-80.

- LAMONT, W. J. (1993): «Plastic mulches for the production of vegetable crops»; *HortTechnology*, 3(1); pp. 35-39.
- LANGHANS, R. W.; WOLFE, M. y ALBRIGHT, L. D. (1982): «Use of average night temperatures for plant growth for potential energy savings»; *Acta Horticulturae* (115); pp. 31-37.
- LI, S.; MURATA, K. y TAKAKURA, T. (2000): «Direct solar radiation penetration into row crop canopies in a lean-to greenhouse»; *Agricultural and Forest Meteorology* (100); pp. 243-253.
- LIAO, Z. y DEXTER, A. L. (2004): «The potential for energy saving in heating systems through improving boiler controls»; *Energy and Buildings* (36); pp. 261-271.
- LÓPEZ, J. C.; LORENZO, P.; MEDRANO, E.; SÁNCHEZ-GUERRERO, M. C.; PÉREZ, J.; PUERTO, H. M. y ARCO, M. (2000): *Calefacción de invernaderos en el Sudeste Español*. Ed. Caja Rural de Almería; p. 54.
- LÓPEZ, A.; VALERA, D. L.; MOLINA-AIZ, F. D. y PEÑA, A. A. (2010): «Experimental evaluation by sonic anemometry of airflow in a Mediterranean greenhouse equipped with a pad-fan cooling system»; *Transactions of the ASAE*, 53(3); pp. 945-957.
- LÓPEZ, A. (2011): *Contribución al conocimiento del microclima de los invernaderos mediante anemometría sónica y termografía*. Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Rural, Universidad de Almería, Almería (España); p. 559.
- LÓPEZ, A.; VALERA, D. L.; MOLINA-AIZ, F. D. y PEÑA, A. A. (2012a): «Pad-fan systems in mediterranean greenhouses: determining optimal setup by sonic anemometry»; *Transaction of the ASABE*, 55(3); pp. 1077-1089.
- LÓPEZ, A.; VALERA, D. L.; MOLINA-AIZ, F. D. y PEÑA, A. A. (2012b): «Sonic anemometry to evaluate airflow characteristics and temperature distribution in empty Mediterranean greenhouses equipped with pad-fan and fog systems»; *Biosystems Engineering*, 113(4); pp. 334-350.
- LÓPEZ, A.; MOLINA-AIZ, F. D.; VALERA, D. L. y PEÑA, A. A. (2012c): «Determining the emissivity of the leaves of nine horticultural crops by means of infrared thermography»; *Scientia Horticulturae*, 137(1); pp. 49-58.
- LÓPEZ, A.; VALERA, D. L.; MOLINA-AIZ, F. D. y PEÑA, A. A. (2012d): «Air patterns in a Mediterranean greenhouse equipped with a cooling system»; *Acta Horticulturae* (927); pp. 651-658.

- LÓPEZ, A.; VALERA, D. L.; MOLINA-AIZ, F. D. y PEÑA, A. A. (2012f): «Thermography and sonic anemometry to analyze air heaters in Mediterranean greenhouses»; *Sensors* (12); pp. 12852-13870.
- MAHRER, Y.; AVISSAR, R.; NAOT, O. y KATAN, J. (1987): «Intensified soil solarization with closed greenhouse: numerical and experimental studies»; *Agricultural and forest meteorology* (41); pp. 325-334.
- MAJDOUBI, H.; BOULARD, T.; HANAFI, A.; BEKKAOUI, A.; FATNASSI, H.; DEMRATI, H.; NYA, M. y BOURDEN, L. (2007): «Natural ventilation performance of a large greenhouse equipped with insect screens»; *Transactions of the ASABE*, 50(2); pp. 641-650.
- MARÍN, J. (2013): *Portagrano 2013-2014: Vademécum de Variedades Hortícolas* (13ª edición). Ed. Portagrano, El Ejido, Almería (España), p. 439.
- MARTÍNEZ, M. A.; MARTÍNEZ, M. C.; BIELZA, P.; TELLO, J. y LACASA, A. (2011): «Effect of biofumigation with manure amendments and repeated biosolarization on *Fusarium* densities in pepper crops»; *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 38(1); pp. 3-11.
- MCAVOY, R. J. (1992): «In situ plant canopy and potting medium temperatures under two greenhouse temperature regimes»; *HortScience*, 27(8); pp. 918-920.
- MEARS, D. R. y BOTH, A. J. (2000): *Insect exclusión from greenhouses*. Proceedings of the 15th Workshop on Agricultural Structures, and ACESYS (Automation, Culture, Environment and Systems) IV Conference. 4-5 de Diciembre, Tsukuba (Japón); pp. 18-26.
- MENDIZABAL, M. y VERDEJO, G. (1959): «Conservation de l'humidité et utilisation des sols salins par la culture sous sable ('arenado')»; *Symposium on Plant-Water Relationships in Arid and Semi-arid Conditions*, Madrid, 24-30 de septiembre de 1959; p. 5.
- MENESES, J. F. y MONTEIRO, A. A. (1990): «Ducted air heating systems in greenhouses: experimental results. International Symposium on Simple Ventilation and Heating Methods for Greenhouses in Mild Winter Climates»; *Acta Horticulturae* (263); pp. 285-292.
- MENESES, J. F. y MONTEIRO, A. A. (1993): «Greenhouses and protected crops in Portugal, some constraints and problems»; *Proceedings of Workshop on Environmentally Sound Water Management of Protected Agriculture under Mediterranean and Arid Climates*. Valenzano (Italia), 16-18 Julio; p. 609.

- MIGUEL, A. F. (1998a): *Transport phenomena through porous screens and openings: from theory to greenhouse practice*. Tesis Doctoral. Agricultural University of Wageningen (Holanda), p. 239.
- MIGUEL, A. F. (1998b): «Airflow through porous screens: from theory to practical considerations»; *Energy and Building* (28); pp. 63-69.
- MIGUEL, A. F.; VAN DE BRAAK, N. J. y BOT, G. P. A. (1997): «Analysis of the airflow characteristics of greenhouse screening materials»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (67); pp. 105-112.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE (MAGRAMA) (2012): *Encuesta de Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE)*, Resultados 2012. Ed Secretaría General Técnica Subdirección General de Estadística, Madrid (España); p. 166.
- MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA (2007): Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). REAL DECRETO 1027/2007, de 20 de julio. BOE núm. 207 de Miércoles 29 agosto 2007: 35931-35984.
- MINUTO, A.; SPADAI, D.; GARIBALDI, A. y GULLINO, M. L. (2006): «Control of soil-borne pathogens of tomato using a commercial formulation of *Streptomyces griseoviridis* and solarization»; *Crop Prot.*, 25(5); pp. 468-475.
- MISTRIOSIS, A.; BOT, G. P. A.; PICUNO, P. y SCARASCIA-MUGNOZZA, G. (1997): «Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation using computational fluid dynamics»; *Agricultural and Forest Meteorology* (85); pp. 217-228.
- MISTRIOTIS, A.; ARCIDIACONO, C.; PICUNO, P.; BOT, G. P. A. y SCARASCIA-MUGNOZZA, G. (1997b): «Computational analysis of ventilation in greenhouses at zero- and low-wind-speeds»; *Agricultural and Forest Meteorology* (88); pp. 121-135.
- MOLINA-AIZ, F. D. (1997): *Identificación y valoración de los distintos tipos de invernaderos de la provincia de Almería para el análisis y control de sus condiciones ambientales*. Trabajo profesional fin de carrera. E.T.S.I.A.M. Córdoba (España); p. 229.
- MOLINA-AIZ, F.D. (2010): *Simulación y modelación de la ventilación en invernaderos de Almería mediante la utilización de dinámica de fluidos computacional*. Tesis Doctoral, Universidad de Almería, Almería (España); p. 868.
- MOLINA-AIZ, F.D.; VALERA, D. L.; ÁLVAREZ, A. y ARELLANO, M. A. (2003): «Análisis y optimización de la ventilación de invernaderos mediante dinámica de fluidos computacional»; I Congreso Andaluz de Ingenieros Agrónomos. 16, 17 y 18 de octubre, Sevilla (España). *Comunicación*, 4c(1); p. 23.

- MOLINA-AIZ, F. D.; VALERA, D. L. y ÁLVAREZ, A. J. (2004a): «Using Computational Fluid Dynamics tool to model the internal climate of an Almería-type greenhouse»; *Acta Horticulturae* (654); pp. 271-278.
- MOLINA-AIZ, F. D.; VALERA, D. L. y ÁLVAREZ, A. J. (2004b): «Measurement and simulation of climate inside Almería-type greenhouses using Computational Fluid Dynamics»; *Agricultural and Forest Meteorology* (125); pp. 33-51.
- MONTERO, J. I.; ANTÓN, A.; KAMARUDDIN, R. y BAILEY, B. J. (2001): «Analysis of thermally driven ventilation in tunnel greenhouses using small scale models»; *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79(2); pp. 213-222.
- MONTERO, J. I. (1994): «Instalaciones y métodos de control climático: calefacción»; en *Tecnología de invernaderos*. Curso superior de especialización. Dirección General de Investigación Agraria de la Junta de Andalucía y Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería (FIA-PA), Almería (España); pp. 201-217.
- MONTERO, J. I.; ANTÓN, A. y BIEL, C. (1992): «Refrigeración de invernaderos II. Ventilación natural»; *Hortofruticultura* (6); pp. 69-71.
- MONTERO, J. I.; MUÑOZ, P. y ANTON, A. (1997): «Discharge coefficients of greenhouse windows with insect-proof screens»; *Acta Horticulturae* (443); pp. 71-77.
- MONTERO, J. I.; SHORT, T. H.; CURRY, R. B. y BAUERLE, W. L. (1981): «Influence of evaporative cooling systems on greenhouse environment»; *ASAE paper No. 81-4027*. ASAE, St. Josepp (EEUU).
- MOREAU, T. L. y ISMAN, M. B. (2012): «Combining reduced-risk products, trap crops and yellow sticky traps for greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) management on sweet peppers (*Capsicum annum*)»; *Crop Protection* (34); pp. 42-46.
- MORIONES, E.; ARNÓ, J.; ACCOTTO, G. P.; NORIS, E. y CAVALLARIN, L. (1993): «First report of tomato yellow leaf curl virus in Spain»; *Plant Disease* (77); p. 953.
- MOSS, G. I. (1983): «Root-zone warming of greenhouse tomatoes in nutrient film as a means of reducing heating requirements»; *Journal of Horticultural Science*, 58(1); pp. 103-109.
- MUÑOZ, I.; CAMPRA, P. y FERNÁNDEZ-ALBA, A. M. (2010): «Including CO₂-emission equivalence of changes in land surface albedo in life cycle assessment. Methodology and case study on greenhouse agriculture»; *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(7); pp. 672-681.

- MUÑOZ, P.; MONTERO, J. I.; ANTÓN, A. y GIUFFRIDA, F. (1999): «Effect of insect-proof screens and roof openings on greenhouse ventilation»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (73); pp. 171-178.
- NEDERHOFF, E. M. (1988): «Dynamic optimization of the CO₂ concentration in greenhouses: an experiment with cucumber (*Cucumis sativus* L.)»; *Acta Horticulturae* (229); pp. 341-348.
- NEDERHOFF, E. M. (1990): «Technical aspects, management and control of CO₂ enrichment in greenhouses»; *Acta Horticulturae* (268); pp. 127-138.
- NIJSKENS, J.; DELTOUR, J.; NISEN, A. y COUTISSE, S. (1984a): «Agronomic and radiometric characterization of greenhouse materials»; *Acta Horticulturae* (148); pp. 663-673.
- NIJSKENS, J.; DELTOUR, J.; NISEN, A. y COUTISSE, S. (1984b): «Propriétés radiométriques des matériaux plastiques»; *Acta Horticulturae* (154); pp. 33-42.
- NIJSKENS, J.; DELTOUR, J.; COUTISSE, S. y NISEN, A. (1989): «Radiometric and thermal properties of the new plastic films for greenhouse covering»; *Acta Horticulturae* (245); pp. 71-77.
- NISEN, A. (1969): *L'éclairage naturel de serres*. Edition I., Duculot, Gembloux (Belgica).
- NISEN, A. y COUTISSE, S. (1981): «Photometric properties of double wall plastics used as covering for greenhouses»; *Acta Horticulturae* (115); pp. 85-97.
- NISEN, A.; NIJSKENS, J.; DELTOUR, J. y COUTISSE, S. (1984): «Détermination des propriétés radiométriques des matériaux plastiques utilisés en couverture des serres»; *Acta Horticulturae* (154); pp. 19-30.
- NISEN, A.; GRAFIADELLIS, M.; JIMENEZ, R.; LA MALFA, G.; MARTINEZ GARCÍA, P. F.; MONTEIRO, A.; VERLODT, H.; DE VILLELE, O.; ZABELTITZ VON, C. H.; DENIS, I. C. y BAUDOIN, W. O. (1988): «Cultures protégées en climat méditerranéen»; *Étude FAO production végétale et protection des plantes* (90). Roma (Italia); p. 317.
- OKA, Y.; SHAPIRA, N. y FINE, P. (2007): «Control of root-knot nematodes in organic farming systems by organic amendments and soil solarization»; *Crop Protection* (26); pp. 1556-1565.
- PAPADAKIS, G.; MERMIER, M.; MENESES, J. F. y BOULARD, T. (1996): «Measurement and analysis of air exchange rates in a greenhouse with continuous roof and side openings»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (63); pp. 219-228.

- PAPADAKIS, G.; MANOLAKOS, D. y KYRITSIS, S. (1998): «Solar radiation transmissivity of a single-span greenhouse through measurements on scale models»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (71); pp. 331-338.
- PAPADOPOULOS, A. P. y HAO, X. (1997): «Effects of greenhouse covers on seedless cucumber growth, productivity, and energy use»; *Scientia Horticulturae* (68); pp. 113-123.
- PAPADOPOULOS, A. P. y PARARAJASINGHAM, S. (1997): «The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): A review»; *Scientia Horticulturae* (69); pp. 1-29.
- PARK, J. J.; KIM, J. K.; PARK, H. y CHO, K. (2001): «Development of time-efficient method for estimating aphids density using yellow sticky traps in cucumber greenhouses»; *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 4(2); pp. 143-148.
- PARR, J. F. y PAPENDICK, R. I. (1997): «Soil quality: relationship and strategies for sustainable dry land farming systems»; *Annals of Arid Zone* (36); pp. 181-191.
- PASCUAL, J. A.; HERNANDEZ, T. y GARCIA, C. (1998): «Enzymatic activities in an arid soil amended with urban organic wastes. Laboratory experiment»; *Bioresource Technology* (68); pp. 255-264.
- PEET, M. M.; WILLITS, D. H. y GARDNER, A. E. (1997): «Response of ovule development and post-pollen production processes in male-sterile tomatoes to chronic, sub-acute high temperature stress»; *Journal of Experimental Botany*, 48(306); pp. 101-111.
- PERDIGONES, A.; PASCUAL, V.; GARCÍA, J. L.; NOLASCO, J. y PALLARÉS, D. (2004): *Interactions of crop and cooling equipment on greenhouse climate*. GREENSYS 2004, 12-16 Septiembre, Leuven (Bélgica).
- PIEDRA-BUENA, A.; GARCÍA-ALVAREZ, A.; DÍEZ-ROJO, M. A.; ROS, C.; FERNÁNDEZ, P. y LACASA, A. (2007): «Use of pepper crop residues for the control of root-knot nematodes»; *Bioresource Technology* (98); pp. 2846-2851.
- PIRARD, G.; DELTOUR, J. y NIJSKENS, J. (1994): «Gestion des écrans thermiques en serre»; *Plasticulture* (103); pp. 11-22.
- PIVONIA, S.; COHEN, R.; LEVITA, R. y KATAN, J. (2002): «Improved solarization of containerized medium for the control of *Monosporascus* collapse in melon»; *Crop Protection* (21); pp. 907-912.

- PLAISIER, H. F. (1991): «L'importance d'écrans LS aluminisés pour la production de tomates, poivrons et aubergines en serre non chauffée»; *Plasticulture* (90); pp. 19-28.
- PLASTEUROFILM (1994): *Federatie der Chemische Nijverheid van België, Maria-Louisa Square* (49)B-1040. Bruselas (Bélgica).
- POLIZZI, G.; LA ROSA, R.; ARCIDIACONO, C. y D'EMILIO, A. (2003): «Effects of innovative films in soil solarization for the control of soil-borne pathogens»; *Acta Horticulturae* (614); pp. 805-811.
- PULLMAN, G. S.; DEVAY, J. E. y GARBER, R. H. (1981): «Soil solarization and thermal death: a logarithmic relationship between time and temperature for four soil-borne pathogens»; *Phytopathology* (71); pp. 959-964.
- QIAO, M.; LIM, J.; JI, C. W.; CHUNG, B. K.; KIM, H. Y.; UHM, K. B.; MYUNG, C. S.; CHO, J. y CHON, T. S. (2008): «Density estimation of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in a greenhouse using sticky traps in conjunction with an image processing system»; *Journal of Asia-Pacific Entomology* (11); pp. 25-29.
- RAMPININI, G. (1989): «L'evoluzione dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento»; *Culture Protette* (7); pp. 27-30.
- RAY, S. J.; WILLS, J. B.; HONEA, G. S.; BUSCHERMOHLE, M. J.; STRAW, R. A. y RAMAN, D. R. (2005): «A one-year study of a supplemental air distribution system for greenhouses»; *Applied Engineering in Agriculture*, 21(5); pp. 915-924.
- RIVERA, J. (2000): *La Política de colonización en el Campo de Dalías*. Ed. Instituto de Estudios Almerienses y Caja Rural de Almería, Almería (España); p. 523.
- ROS, M.; HERNÁNDEZ, M. T. y GARCÍA, C. (2003): «Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendments»; *Soil Biology & Biochemistry* (35); pp. 463-469.
- ROS, M.; GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, M. T.; LACASA, A.; FERNÁNDEZ, P. y PASQUAL, J. A. (2008): «Effects of biosolarization as methyl bromide alternative for *Meloidogyne incognita* control on quality of soil under pepper»; *Biology and Fertility of Soils* (45); pp. 37-44.
- ROSOCHA, C. (1993): «Serres plastique non chauffées utilisées tout au long de l'année en pépinière»; *Plasticulture* (97); pp. 33-40.

- SALERNO, M. L.; LORI, G.; CAMPOROTA, P. y PERRIN, R. (1999): «Solarization for the control of soil-borne pathogens in forest nurseries in temperate climate»; *Journal of Plant Pathology* (81); pp. 95-102.
- SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.; RINCÓN, V. J.; PÁEZ, F. y FERNÁNDEZ, M. M. (2012): *Equipos para tratamientos fitosanitarios en invernaderos*. Consejería de Agricultura y Pesca, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Almería (España); p. 17.
- SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.; PÁEZ, F.; RINCÓN, V. J. y CALLEJÓN, A. J. (2013): «Evaluation of a fog cooling system for applying plant-protection products in a greenhouse tomato crop»; *Crop Protection* (48); pp. 76-81.
- SÁNCHEZ-MONTERO SÁEZ, A.; CUADRADO GÓMEZ, I. M. y JUAN RODRÍGUEZ, E. (1989): «Fechas de siembra y protección térmica en melón (*Cucumis melo* L.)». Jornadas Técnicas sobre los cultivos de melón y pepino. *Agrícola Vergel* (91); pp. 384-386.
- SASE, S. y CHRISTIANSON, L. L. (1990): «Screening greenhouses-Some engineering considerations»; Proceeding of the 1990 Northeast Agricultural/Biological Engineering Conference. 29 Julio-1 Agosto. Pennsylvania (EEUU); *ASAE. NABEC*: 90-201; p. 13.
- SASE, S. (1989): «The effect of plant arrangement on airflow characteristics in a naturally ventilated glasshouse»; *Acta Horticulturae* (245); pp. 429-435.
- SAVÉ, R.; PEÑUELAS, J.; MARFÁ, O.; MONTERO, J. J.; SMART, D. y BIEL, C. (1996): «El abonado carbónico en los cultivos protegidos»; *Hortoinformación* (81); pp. 42-45.
- SCARASCIA-MUGNOZZA, G. (1995): «Sustainable greenhouse production in Mediterranean climate: a case study in Italy»; *MEDIT Prospettive e Proposte Mediterranee - Rivista di Economia, Agricoltura e Ambiente*, 6(4); pp. 48-53.
- SCHAPENDONCK, A. H. C. M. y TILBURG, W. (1984): «The CO₂ factor in modelling photosynthesis and growth of greenhouse crops»; *Acta Horticulturae* (162); pp. 83-92.
- SEGINER, I. (1990): «Expected usefulness of CO₂ enrichment and shading in a desert climate»; *Acta Horticulturae* (268); pp. 149-156.
- SEGINER, I. (1997): «Alternative design formulae for the ventilation rate of greenhouses»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (68); pp. 355-365.

- SHUKLA, A.; TIWARI, G. N. y SODHA, M. S. (2006): «Thermal modeling for greenhouse heating by using thermal curtain and an earth-air heat exchanger»; *Building and Environment* (41); pp. 843-850.
- SONI, P.; SALOKHE, V. M. y TANTAU, H. J. (2005): «Effect of screen mesh size on vertical temperature distribution in naturally ventilated tropical greenhouses»; *Biosystems Engineering*, 92(4); pp. 469-482.
- STAPLETON, J. J. (2000): «Soil solarization in various agricultural production systems»; *Crop Protection* (19); pp. 837-841.
- STEINER, M. Y.; SPOHR, L. J.; BARCHIA, I. y GOODWIN, S. (1999): «Rapid estimation of numbers of whiteflies (Hemiptera: Aleurodidae) and thrips (Thysanoptera: Thripidae) on sticky traps»; *Australian Journal of Entomology* (38); pp. 367-372.
- STRECK, N. A.; SCHNEIDER, F. M. y BURIOL, G. A. (1996): «Soil heating by solarization inside plastic greenhouse in Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil»; *Agricultural and Forest Meteorology* (82); pp. 73-82.
- TAKAKURA, T.; MANNING, T. O.; GIACOMELLI, G. A. y ROBERTS, W. J. (1994): «Feedforward control for a floor heat greenhouse»; *Transaction of the ASAE*, 37(3); pp. 939-945.
- TAMIETTI, G. y VALENTINO, D. (2006): «Soil solarisation as an ecological method for the control of *Fusarium* wilt of melon in Italy»; *Crop Protection*, 25(4); pp. 389-397.
- TAYLOR, R. A. J.; SHALHEVET, S.; SPHARIM, I.; BERLINGER, M. I. y LEBIUSH-MORDECHI, S. (2001): «Economic evaluation of insect-proof screens for preventing tomato yellow curl virus tomatoes in Israel»; *Crop Protection* (20); pp. 561-569.
- TEITEL, M. y SHKLYAR, A. (1998): «Pressure drop across insect-proof screens»; *Transactions of the ASAE*, 41(6); pp. 1829-1834.
- TEITEL, M.; BARAK, M.; BERLINGER, M. J. y LEBIUSH-MORDECHAI, S. (1999a): «Insect-proof screens in greenhouses: their effect on roof ventilation and insect penetration»; *Acta Horticulturae* (507); pp. 25-34.
- TEITEL, M.; SEGAL, I.; SHKLYAR, A. y BARAK, M. (1999b): «A Comparison between pipe and air heating methods for greenhouses»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (72); pp. 259-273.

- TEITEL, M.; SHKLYAR, A.; SEGAL, I. y BARAK, M. (1996): «Effects of nonsteady hot-water greenhouse heating on heat transfer and microclimate»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (65); pp. 297-304.
- TESI, R. (1989): «Illuminazione ed ombreggiamento nelle serre»; *Colture Protette* (7); pp. 37-44.
- TORRELLAS, M.; ANTÓN, A.; LÓPEZ, J. C.; BAEZA, E. J.; PÉREZ-PARRA, J.; MUÑOZ, P. y MONTERO, J. I. (2012): «LCA of a tomato crop in a multi-tunnel greenhouse in Almeria»; *International Journal of Life Cycle Assessment* (17); pp. 863-875.
- TORRELLAS, M.; ANTÓN, A. y MONTERO, J. I. (2013): «An environmental impact calculator for greenhouse production systems»; *Journal of Environmental Management* (118); pp. 186-195.
- TZORTZAKAKIS, E. A. y PETSAS, S. E. (2003): «Investigation of alternatives to methyl bromide for management of *Meloidogyne javanica* on greenhouse grown tomato»; *Pest Management Science* (59); pp. 1311-1320.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP) (1992): «Synthesis report of the methyl bromide interim scientific assessment and methyl bromide interim technology and economic assessment»; *Montreal Protocol Assess.* Junio 1992, UNEP, Nairobi (Kenya); p. 33.
- URBAN, L. (1997): «Introduction à la production sous serre. Tome 1: La gestion du climat»; *TEC et DOC*. París (Francia); p. 320.
- URRESTARAZU, M. (2000): *Manual de cultivo sin suelo*. Edit. Mundi-Prensa, p. 648.
- VALERA, D. L.; MOLINA, F. D. y GIL, J. A. (1999a): «Análisis de la situación actual de los invernaderos de la provincia de Almería. Mejora de las condiciones ambientales como vía para la disminución del uso de pesticidas»; en *Conclusiones del encuentro medioambiental almeriense*. Universidad de Almería y Caja Rural de Almería, Almería (España).
- VALERA, D. L.; MOLINA, F. D. y GIL, J. A. (1999b): *Los invernaderos de Almería: Tipología y mecanización del clima*. Universidad de Almería, Almería (España); p. 268.
- VALERA, D. L.; MOLINA, F. D. y GIL, J. A. (2001): «Las mallas como técnica de control climático en invernaderos»; *Vida Rural* (139); pp. 50-52.

- VALERA, D. L.; MOLINA, F. D. y PEÑA, A. (2002a): *Climatización de invernaderos*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería. Almería (España); p. 233.
- VALERA, D. L.; MOLINA, F. D. y GIL, J. A. (2002b): «Sistemas de ventilación cenital utilizados en los invernaderos»; *Vida Rural* (152); pp. 42-45.
- VALERA, D. L.; MOLINA-AIZ, F. D.; ÁLVAREZ, A. J.; PEÑA, A. y LÓPEZ-GÁLVEZ, J. (2004): «Sistemas de protección de cultivos en invernaderos: la experiencia española»; en ACUÑA J.F., VALERA D.L. y AVENDAÑO J.C., ed.: *Invernaderos: La experiencia Iberoamericana. Desarrollo de sistemas de protección de cultivos para zonas cálidas e intertropicales: competitividad y sostenibilidad*. Proyecto N°: XIX.2 Estructuras de Protección para Zonas Intertropicales, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), Almería (España); pp. 131-152.
- VALERA, D. L.; ÁLVAREZ, A. J. y MOLINA-AIZ, F. D. (2006): «Aerodynamic analysis of several insect-proof screens used in greenhouses»; *Spanish Journal of Agricultural Research*, 4(4); pp. 273-279.
- VALERA, D. L.; MOLINA-AIZ, F. D. y ÁLVAREZ, A. J. (2008a): «Ahorro y eficiencia energética en invernaderos»; *Eficiencia y ahorro energética en la Agricultura* (7). Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Madrid (España); p. 64.
- VALERA, D. L.; LÓPEZ, A.; MOLINA-AIZ, F. D. y MARÍN, P. (2013): *Estudio de la eficacia de un sistema de calefacción por combustión indirecta en la distribución de calor en un invernadero*. VII Congreso Íbero de AgroIngeniería y Ciencias Hortícolas, 26 al 29 de agosto 2013, Madrid (España): Comunicación C0293.
- VAN ZUNDERT, T. (2012): «Life Cycle Assessment (LCA) of the Dutch greenhouse tomato production system»; *Masters of Agricultural and Bioresource*, University of Wageningen (Holanda); p. 66.
- VERHEYE, P. y VERLODT, H. (1990): «Comparison of different systems for static ventilation of hemispheric plastic greenhouses»; *Acta Horticulturae* (281); pp. 183-197.
- VON ELSNER, B.; BRIASSOULIS, D.; WAAIJENBERG, D.; MISTRIOTIS, A.; ZABELTITZ VON C.; GRATRAUD, J.; RUSSO, G. y SUAY-CORTES, R. (2000a): «Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries: Part I, Design Requirements»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (75); pp. 1-16.

- VON ELSNER, B.; BRIASSOULIS, D.; WAAIJENBERG, D.; MISTRIOTIS, A.; ZABELTITZ VON C.; GRATRAUD, J.; RUSSO, G. y SUAY-CORTES, R. (2000b): «Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries: Part II, Typical Design»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (75); pp. 111-126.
- VON ZABELTITZ, C. (1992): «L'efficacité énergétique dans la conception des serres méditerranéennes»; *Plasticulture* (96); pp. 6-16.
- WACQUANT, C. (2000): «La construction des serres et abris»; *Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (CTIFL)*. Francia; p. 207.
- WAI, K. S. y NEWMAN, S. E. (1992): «Air and root-zone temperatures influence growth and flowering of snapdragons»; *HortScience*, 27(7); pp. 796-798.
- WALKER, J. N. y COTTER, D. J. (1968): «Cooling greenhouses with various water evaporative systems»; *Transactions of the ASAE* (11); pp. 116-119.
- WELLS, C. M. y AMOS, N. D. (1994): «Design of air distribution systems for closed greenhouses»; *Acta Horticulturae* (361); pp. 93-104.
- WILLIAMS, A. G.; AUDSLEY, E. y SANDARS, D. L. (2006): «Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities»; *Main Report. Defra Research Project IS0205*. Cranfield University and Defra, Bedford (Reino Unido); p. 97. (Disponible en: www.defra.gov.uk).
- WITZGALL, P. (2001): *Pheromones - future techniques for insect control? Pheromones for Insect Control in Orchards and Vineyards IOBC wprs Bulletin*, 24(2); pp. 114-122.
- WITZGALL, P.; KIRSCH, P. y CORK, A. (2010): «Sex pheromones and their impact on pest Management»; *Journal of Chemical Ecology* (36); pp. 80-100.

Anexo I. Modelo de encuesta

Encuesta sobre infraestructuras de invernadero y su relación con la rentabilidad económica

En la Cátedra CAJAMAR de Economía y Agroalimentación se está llevando a cabo un «Estudio empírico de correlación entre las infraestructuras productivas de invernaderos y su rentabilidad económica».

Este cuestionario está dirigido a agricultores que tienen su explotación en alguna de las siguientes comarcas agrícolas: Campo de Dalías, Bajo Andarax, Campo de Níjar y Bajo Almanzora. Es totalmente anónima y Vd. ha sido elegido por azar, por lo que lo rogamos conteste con la máxima sinceridad.

Encuestador: _____ nº entrevista (id): _____

Lugar donde se realiza la encuesta: _____

A.- Datos personales

P.1 Edad _____

P.2 Años dedicados a agricultura _____

P.3 El agricultor es:

Medianero	1
Propietario	2
Arrendatario	3
Ns/Nc	15

P.4 Procedencia geográfica del titular:

Oriundo de la zona	1
No oriundo	2
Ns/Nc	15

P.5 Nivel de estudios

Ninguno	1
Básico	2
Bachiller	3
Universitarios	4
Cursos	5
Otros	6
Ns/Nc	15

P.6 ¿Posee otra ocupación laboral o empresarial adicional?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

¿De qué tipo? _____

P.7 Procedencia laboral del agricultor (profesión antes de ser agricultor)

Siempre ha sido agricultor		1
Antes trabajaba en:	Construcción	2
	Industria auxiliar	3
	Hostelería y otros servicios (especificar): _____	4
Ns/Nc		15

P.8 Situación geográfica de la finca

Localidad: _____

Paraje: _____

P.9 Superficie total de la finca o fincas (si tuviese varias)

Bajo umbráculo _____

Bajo plástico _____

Aire libre _____

B.- Cultivos

P.10 El control de malas hierbas lo realiza con:

Herramientas	1
A mano	2
Herbicida	3
A mano y herbicida	4
A mano y herramientas	5
Ninguno	6
Ns/Nc	15

P.11 Siembra

Directa	1
Plántulas	2
Ns/Nc	15

Cultivos en los que practica siembra directa _____

P.12 La preparación de la plántula la realiza

Agricultor	1
Semillero	2
Otros	3
Ns/Nc	15

P.13 Realiza análisis foliares

No	1
Si, el propio agricultor	2
Si, la cooperativa	3
Si, otro (especificar): _____	4
Ns/Nc	15

Frecuencia _____

P.14 ¿Qué ha cultivado la campaña actual? (especie y variedad)

Otoño _____

Primavera _____

Ciclo largo _____

P.15 ¿Qué cultivó la campaña pasada? (especie y variedad)

Otoño _____

Primavera _____

Ciclo largo _____

P.16 ¿Qué cultivó hace dos campañas? (especie y variedad)

Otoño _____

Primavera _____

Ciclo largo _____

P.17 Orientación de las líneas de cultivo

Siguiendo la dirección de las cumbreras o rasas (longitudinal)	1
Perpendicular a las cumbreras o rasas (transversal)	2
Otros: (especificar) _____	3
Ns/Nc	15

P.18 Marco de plantación

Tomate _____	Judía verde _____
Pepino _____	Sandía _____
Pimiento _____	Melón _____
Calabacín _____	Berenjena _____

P.19 Rendimiento medio obtenido por cultivo

Campaña	Cultivo	kg/m ² (comercial, sin destrío)

P.20 ¿Utiliza algún sistema alternativo o sustitutivo a los tratamientos fitosanitarios?

Atrayentes hormonales	1
Atrayentes de color	2
Lucha integrada	3
Control biológico	4
Cultivo ecológico	5
Otros	6
Ns/Nc	15

P.21 ¿Utiliza algún método para la polinización?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

¿Cuál?

Abejas	1
Abejorros	2
Aire	3
Otros	4
Ns/Nc	15

¿Para qué cultivos? _____

P.22 ¿En sus plantaciones utiliza injertos?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

¿Para qué cultivos? _____

C.- Maquinaria**P.23****¿Qué tipo de maquinaria usa para la aplicación de tratamientos fitosanitarios?**

Aplicadores fijos	Boquillas nebulización		1
	Manguera + pistola (enganchadas a una tubería fija)		2
	Otros		3
Aplicadores portátiles	Cañón		4
	Carretilla		5
	Mochila de espalda		6
	Máquina tratamiento	Sobre raíles de calefacción	7
		Sobre ruedas	8
	Otros		9
Ninguno			10
Ns/Nc			15

P.24**¿Qué vehículos utiliza normalmente en la finca?**

Turismo	1
Furgón	2
Todoterreno	3
Camión	4
Motocicleta	5
Bicicleta	6
Tractor	7
Ninguno	8
Ns/Nc	15

P.25 ¿Alquila o contrata maquinaria y operarios para realizar labores de preparación del terreno?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

P.26 ¿Para que labor alquila o contrata maquinaria y operarios?

Retranqueo general	1
Carillado	2
Limpieza	3
Colocación del sistema riego	4
Sulfatado o espolvoreo de suelo y estructuras	5
Rajado del suelo	6
Ninguno	7
Ns/Nc	15

P.27 ¿Con qué frecuencia realiza las labores de preparación del terreno?

Todas las campañas	1
Cada 2 campañas	2
Más de 2 campañas	3
Ns/Nc	15

D.- Suelo

P.28 ¿Realiza análisis de suelo?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

P.29 ¿Realiza desinfección del suelo?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

¿Qué tipo?

Solarización (agua + plástico)	1
Sólo desinfectante de suelo (metansodio, dicloropropeno, cloropitrina, etc.)	2
Solarización + desinfectante de suelo (pero a menor dosis de metansodio, dicloropropeno, etc.)	3
Biofumigación (sólo incorporar materia orgánica, que fermenta en el suelo y desinfecta)	4
Biosolarización (plástico + materia orgánica)	5
Otros (especificar: _____)	6
Ns/Nc	15

¿Frecuencia?

1 Año	1
2 Años	2
Más de 2 años	3
Ns/Nc	15

P.30 Tipo de suelo

Natural autóctono	1
Enarenado	2
Aporcado	3
Acolchado	4
Hidropónico	5
Otros	6
Ns/Nc	15

Sí, hidropónico:

Sustrato:

Lana de roca	1
Perlita	2
Vermiculita	3
Fibra de coco	4
Otros (especificar): _____	5
Ns/Nc	15

Tipo:

Recirculante	1
No recirculante	2
Ns/Nc	15

P.31 ¿Realiza retransplante?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

Superficie

Toda la superficie	1
Carillas	2
Ns/Nc	15

Frecuencia

1-2 Años	1
3-4 Años	2
Más de 5 años	3
Ns/Nc	15

Tipo

Gallinaza	1
Oveja	2
Vacuno	3
Compost	4
Sacos preparados	5
Otros: (especificar) _____	6
Ns/Nc	15

P.32 Coste aproximado del retranqueo _____ Euros/kg

P.33 Cantidad aportada _____ kg/m²

P.34 Jornales aproximados del retranqueo _____ Jornales/ha

P.35 ¿Realiza aportaciones de ácidos húmicos?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

P.36 ¿Se ha planteado cambiar de enarenado a hidropónico, o viceversa?

No	1
Si (especificar el cambio: de _____ a _____)	2
Ns/Nc	15

E.- Edificaciones auxiliares/sistema de riego**P.37 Edificaciones auxiliares**

Almacenes	Superficie _____	1
Caseta de riego	Superficie _____	2
Balsa de riego	Superficie _____	3
Ns/Nc		15

P.38 Tipo de balsa

Hormigón	1
Tierra y plástico	2
Otros	3
Ns/Nc	15

P.39 Forma de la balsa

Cilíndrica	1
Cúbica	2
Triangular	3
Rectangular	4
Cuadrada	5
Ns/Nc	15

P.40 Tipos de filtro

Arena	1
Discos	2
Anillas	3
Otros	4
Ns/Nc	15

P.41 ¿Recoge agua de lluvia?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

Interior del invernadero	1
Exterior del invernadero	2
Ns/Nc	15

P.42 ¿Qué sistema de riego posee?

A manta	1
Aspersión	2
Goteo	3
Hidropónico (gotero + piqueta)	4
Ns/Nc	15

P.43 ¿Realiza análisis del agua?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

P.44 ¿Utiliza tensiómetros?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

P.45 Origen del agua

	Proporción	Coste (€/m³)	Conductividad eléctrica (dS/m)	
Pozo particular				1
Pozo comunitario				2
Comunidad de regantes				3
Desalación				4
Ns/Nc				15

En caso de tener pozo particular coste diario de gasoil o luz _____

P.46 ¿Posee programador de riego?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

P.47 ¿Posee motor (bomba) en el sistema de riego?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

Potencia _____

¿De qué tipo?

Diesel	1
Eléctrico	2
Ns/Nc	15

P.48 Abonado realizado mediante

Abonadora	1
Venturi	2
Inyectores	3
A voleo	4
Otros	5
Ns/Nc	15

F.- Comercialización

P.49 ¿Dónde vende su producción?

Alhóndiga	1
Cooperativa	2
SAT	3
Comercializador privado	4
Otros	5
Ns/Nc	15

P.50 ¿Lleva todos los productos al mismo sitio?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

P.51 ¿Es socio de alguna cooperativa?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

¿Cuántos años lleva de socio?

< 2 años	1
2-5 años	2
5-10 años	3
>10 años	4
Ns/Nc	15

P.52 ¿Recorre a algún tipo de asesoramiento?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

¿De qué tipo?

Privado	1
Suministros	2
Semillero	3
Cooperativa	4
Ns/Nc	15

P.53 ¿Arregla usted mismo el género antes de llevarlo al punto de venta?

No	1
Si, a mano	2
Si, a máquina (especificar): _____	3
Ns/Nc	15

% Tiempo que le dedica a la preparación del género, durante los días de recolección: _____ %

P.54 ¿Está sometido a algún sistema de certificación o norma de buenas practicas agrícolas en campo?

No		1
Si	Global Gap	2
	UNE 155.000 (AENOR)	3
	Naturane (ANECOOP)	4
	Producción integrada (Junta de Andalucía)	5
	Otros (cadenas de supermercados) (especificar):	6
Ns/Nc		15

G.- Estructura

P.55 Número de invernaderos que posee

Uno	1
Dos	2
Tres	3
Más de tres	4
Ns/Nc	15

P.56 Año de construcción del invernadero (el más representativo) _____

P.57 Coste aproximado de la construcción del invernadero _____ euros/m²

P.58 Tipo de invernadero

Tipo Almería (parral plano)	1
Tipo Almería (raspa y amagado)	2
Tipo Almería (asimétrico)	3
Multitunnel tipo cilíndrico	4
Multitunnel tipo gótico	5
<i>Venlo</i>	6
Malla	7
Otros: (especificar).....	8
Ns/Nc	15

P.59 Geometría del invernadero

Forma rectangular	1
Forma irregular	2
Ns/Nc	15

Superficie (m²): _____

Longitud media (m): _____

Anchura media (m): _____

Nº de descuadres: _____

P.60 Tipos de apoyos interiores

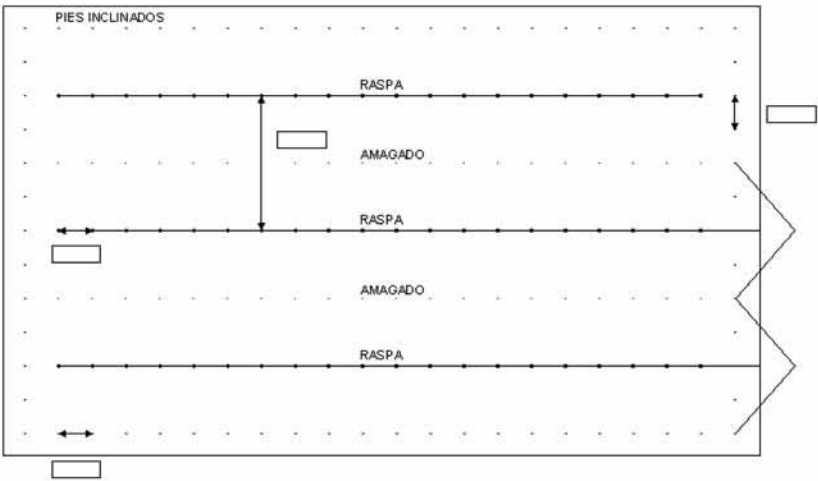
Palos de madera	1
Tubo metálico	2
Viga de acero	3
Perfil (especificar dimensiones): _____	4
Otros (especificar) _____	5
Ns/Nc	15

P.61 Tipos de apoyos perimetrales

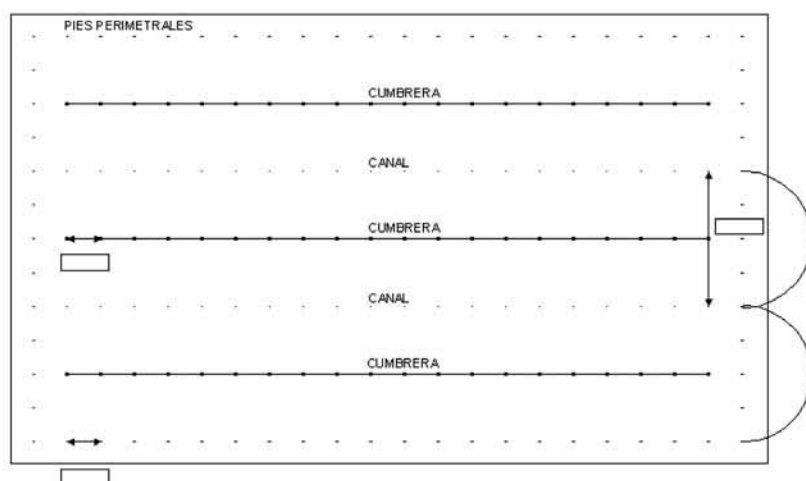
Palos de madera	1
Tubo metálico	2
Viga de acero	3
Perfil (especificar dimensiones): _____	4
Otros (especificar) _____	5
Ns/Nc	15

P.62 Separación entre apoyos:

Para invernadero Almería



Para invernadero multitúnel



P.63 Altura del invernadero

Máximo (cubierta) _____ m

Mínimo (bajo canal) _____ m

Perímetro (bandas) _____ m

P.64 ¿Ha modificado la altura del invernadero?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

¿Qué altura tenía antes? Máximo _____ m

Mínimo _____ m

P.65 Orientación del invernadero (eje principal, cumbreras, raspas)

Norte-sur (N-S)	1
Este-oeste (E-O)	2
Otros: (especificar) _____	15

P.66 Dimensiones del pasillo central

Anchura _____ m

Longitud _____ m

Altura libre del pasillo _____ m

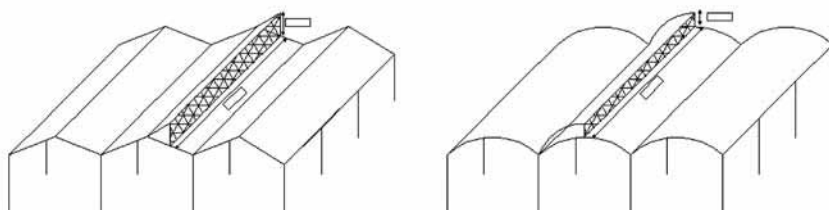
P.67 Orientación del pasillo

Siguiendo la dirección de las cumbreras o raspas (longitudinal)	1
Perpendicular a las cumbreras o raspas (transversal)	2
Otros: (especificar) _____	15

P.68 ¿Posee ventilación cenital?

No	1
Si, en todas las raspas o módulos	2
Si, en raspas o módulos alternos	3
Si, otros (especificar): _____	4
Ns/Nc	15

Dimensiones:



P.69 Tipo de ventanas cenitales

Sin ventilación cenital	1
Ventana deslizante moviendo el plástico	2
Ventana abatible	3
Ventana enrollable	4
Ventana piramidal	5
Abertura fija	6
Supercenit	7
Medio arco	8
Medio arco desplazado	9
Mariposa	10
Centrado	11
Otros: (especificar) _____	12
Ns/Nc	15

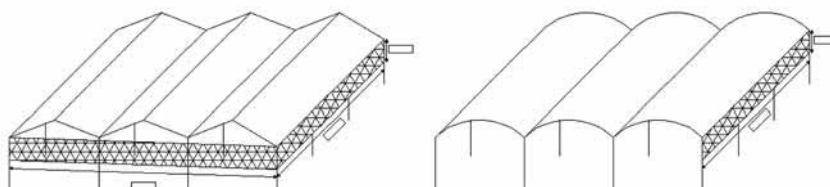
P.70 Accionamiento de las ventanas cenitales

Manual	1
Semiautomático (con motor de accionamiento manual)	2
Automático (con motor accionado por controlador climático)	3
Abertura fija	4
Otros: (especificar) _____	5
Ns/Nc	15

P.71 ¿Posee ventilación lateral?

No	1
Si, nº de bandas con ventanas: _____	2
Ns/Nc	15

Dimensiones:



P.72 Tipo de ventanas laterales

Sin ventilación lateral	1
Bandas laterales deslizantes	2
Ventana deslizante (poleas)	3
Ventana enrollable	4
Ventana abatible	5
Otros: (especificar) _____	6
Ns/Nc	15

P.73 Accionamiento de las ventanas laterales

Manual	1
Semiamatomatico (con motor de accionamiento manual)	2
Automático (con motor accionado por controlador climático)	3
Abertura fija	4
Otros: (especificar) _____	5
Ns/Nc	15

P.74 ¿Posee el invernadero doble puerta?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

P.75 ¿Posee el invernadero doble techo?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

¿De qué tipo?

Plástico blanco	1
Manta térmica	2
Otros	3
Ns/Nc	15

P.76 Tipo de mallas anti-insectos en las ventanas laterales

Ninguna	1
Tela mosquitera (10×16 hilos/cm)	2
Tela standard (10×20 hilos/cm)	3
Tela anti- <i>thrips</i> (15×30 hilos/cm)	4
Otra (indicar densidad): _____ × _____ hilos/cm	5
Ns/Nc	15

Color: _____

P.77 Tipo de mallas anti-insectos en las ventanas cenitales

Ninguna	1
Tela mosquitera (10×16 hilos/cm)	2
Tela standard (10×20 hilos/cm)	3
Tela anti- <i>thrips</i> (15×30 hilos/cm)	4
Otra (indicar densidad): _____ × _____ hilos/cm	5
Ns/Nc	15

Color: _____

P.78 Espesor del plástico _____ Galgas

P.79 Material de cubierta

Plástico tricapa (PE-EVA-PE)	1
Polietileno de baja densidad (PEbd)	2
Malla	3
Cristal	4
Otros: (especificar) _____	5
Ns/Nc	15

Empresa: _____

Marca y modelo: _____

P.80 Características del material de cubierta

Plástico térmico	1
Fotoselectivo	2
Antigoteo	3
Otros: (especificar) _____	4
Ns/Nc	15

P.81 Coloración del plástico _____

P.82 Duración del plástico _____

P.83 Coste del plástico _____ euros/m² _____ euros/kg

P.84 La realización del «echado del plástico» la realiza

Agricultor y vecinos	1
Cuadrilla	2
Otros	3
Ns/Nc	15

P.85 La realización del «quitado del plástico» la realiza

Agricultor y vecinos	1
Cuadrilla	2
Otros	3
Ns/Nc	15

P.86 ¿Realiza blanqueo del techo?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

¿Cuándo? _____

¿Para qué cultivo? _____

¿Qué producto utiliza? _____

¿Qué dosis?:

Cuando el plástico es nuevo _____

Cuando el plástico lleva una campaña _____

Cuando el plástico lleva más de una campaña _____

P.87 ¿Cómo realiza la limpieza del techo?

Natural (lluvia, viento, ...)	1
Agua a presión	2
Cepillo + viento	3
Cepillo + agua	4
Máquina de limpieza	5
Otros	6
Ns/Nc	15

H.- Sistemas de control climático

P.88 ¿Tiene controlador climático?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

Empresa: _____

Marca: _____

Modelo: _____

¿Qué mide? _____

P.89 Tipo de pantallas utilizadas

Ninguno	1
Pantalla térmica	2
Malla de sombreo	3
Pantalla mixta (térmica y sombreo)	4
Otros: (especificar) _____	5
Ns/Nc	15

P.90 Sistemas de ventilación forzada

Ninguno	1
Extractores	2
Ventiladores desestratificadores (interiores)	3
Otros: (especificar) _____	4
Ns/Nc	15

P.91 Sistemas de refrigeración por evaporación de agua

Ninguno	1
Nebulización de alta presión (tuberías metálicas)	2
Nebulización de baja presión (sólo agua)	3
Nebulización mixta aire comprimido + agua	4
Paneles evaporadores y extractores (<i>Cooling system</i>)	5
Otros: (especificar) _____	6
Ns/Nc	15

P.92 Sistemas de calefacción

Ninguno		1
Por agua	Suelo radiante (tuberías enterradas)	2
	Tuberías bajo bandejas (semillero)	3
	Tuberías metálicas sobre el suelo (raíles)	4
	Tuberías de plástico sobre el suelo	5
	Tuberías aéreas metálicas	6
	Tuberías aéreas de plástico	7
	Otros: (especificar):	8
Por aire	Calefactores combustión directa	9
	Calefactores combustión indirecta	10
	Manga de polietileno	11
	Otros: (especificar):	12
Otros: (especificar) _____		13
Ns/Nc		15

Potencia máxima de calefacción: _____ kW ó _____ CV

P.93 Combustible del sistema de calefacción

Gas natural	1
Gasóleo	2
Biocombustible (especificar) _____	3
Propano	4
Otros: (especificar) _____	5
Ns/Nc	15

P.94 Técnicas de ahorro energético

Ninguno	1
Tunelillo de plástico	2
Manta térmica	3
Doble techo	4
Dobles paredes	5
Variadores de frecuencia (especificar para qué: _____)	6
Otros: (especificar) _____	7
Ns/Nc	15

P.95 Otros sistemas avanzados de control climático

Ninguno	1
Inyección de CO ₂	2
Iluminación artificial fotoperiódica	3
Iluminación artificial fotosintética	4
Coogeneración (especificar).....	5
Otros: (especificar).....	6
Ns/Nc	15

I.- Análisis de costes y beneficios

P.96 ¿Qué ingresos obtiene al cabo del año o campaña? _____ €/m²
 _____ €/kg
 _____ €

P.97 ¿Qué gastos aproximados tiene a lo largo del año? _____ €/m²
 _____ €/kg
 _____ €

P.98 ¿Qué cultivos le suelen producir mayores ganancias netas?

1º _____

2º _____

3º _____

P.99 ¿Qué cultivos le provocan mayor inversión al comienzo y desarrollo de la campaña?

1º _____

2º _____

3º _____

P.100 ¿Tiene concedido algún tipo de subvención?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

¿En qué organismo? _____

P.101 ¿Tiene concedido algún tipo de financiación?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

¿En qué banco? _____

J.- Mano de obra

P.102 La mano de obra es

Propia (familiares)	1
Ajena	2
Ns/Nc	15

P.103 ¿De qué tipo es la mano de obra contratada?

Fijo (todo el año), nº: _____	1
Fijo discontinuo (personal de campaña) nº: _____	2
Eventual, nº: _____	3
No contrata	4
Ns/Nc	15

P.104 ¿Cuándo contrata personal eventual?

Preparación del terreno, nº: _____	1
Siembra, nº: _____	2
Recogida de fruto, nº: _____	3
Tutorado, nº: _____	4
Limpieza, nº: _____	5
Otros, especificar: _____ nº: _____	6
Ns/Nc	15

P.105 ¿Posee algún tipo de preferencia para contratar personal?

Sexo	1
Edad	2
Conocidos	3
Inmigrantes	4
Ninguna	5
Ns/Nc	15

P.106 ¿Contrata mano de obra inmigrante?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

P.107 ¿Tiene pensado a corto plazo realizar mejoras en su explotación?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

¿De que tipo? _____

P.108 ¿Cree que esta encuesta puede ayudar al conocimiento de la producción de la cooperativa y su posterior análisis de resultados puede mejorar los sistemas empleados?

No	1
Si	2
Ns/Nc	15

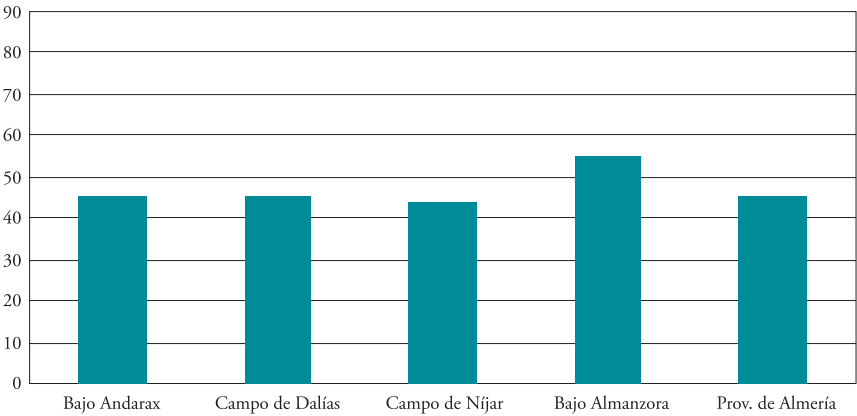
Notas (hechos relevantes): meteorología (lluvias o vientos extremos, fechas), subida de los *inputs*, precios de venta anormales, etc.

Anexo II. Detalle por comarca y pregunta

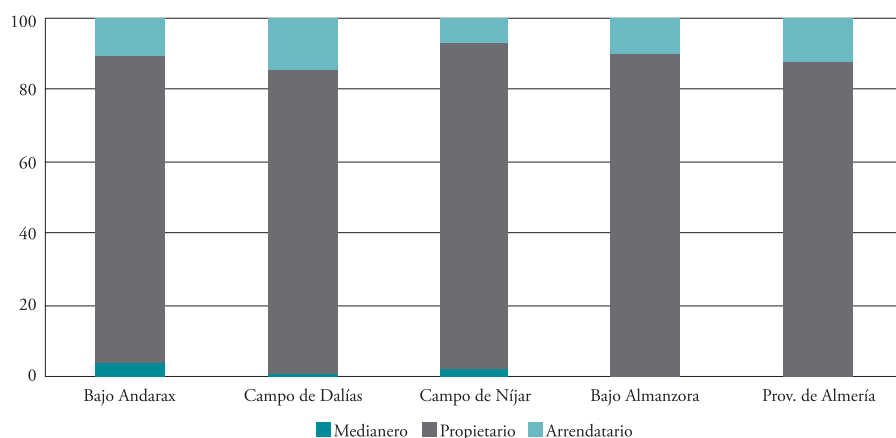
A. DATOS PERSONALES	414
B. CULTIVOS	419
C. MAQUINARIA	430
D. SUELO	435
E. EDIFICACIONES.....	442
F. COMERCIALIZACIÓN	451
G. ESTRUCTURA	456
H. SISTEMAS DE CONTROL CLIMÁTICO	487
I. ANÁLISIS DE COSTES	494
J. MANO DE OBRA.....	500

A. Datos personales

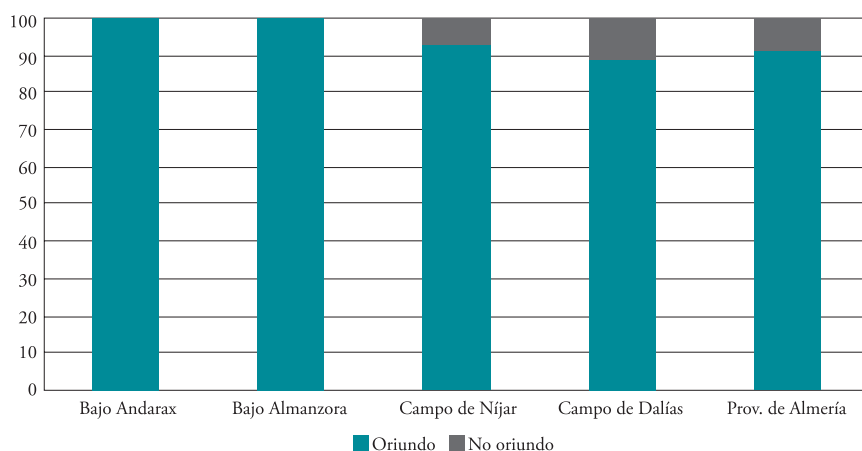
1. y 2. Edad y años dedicados a la agricultura



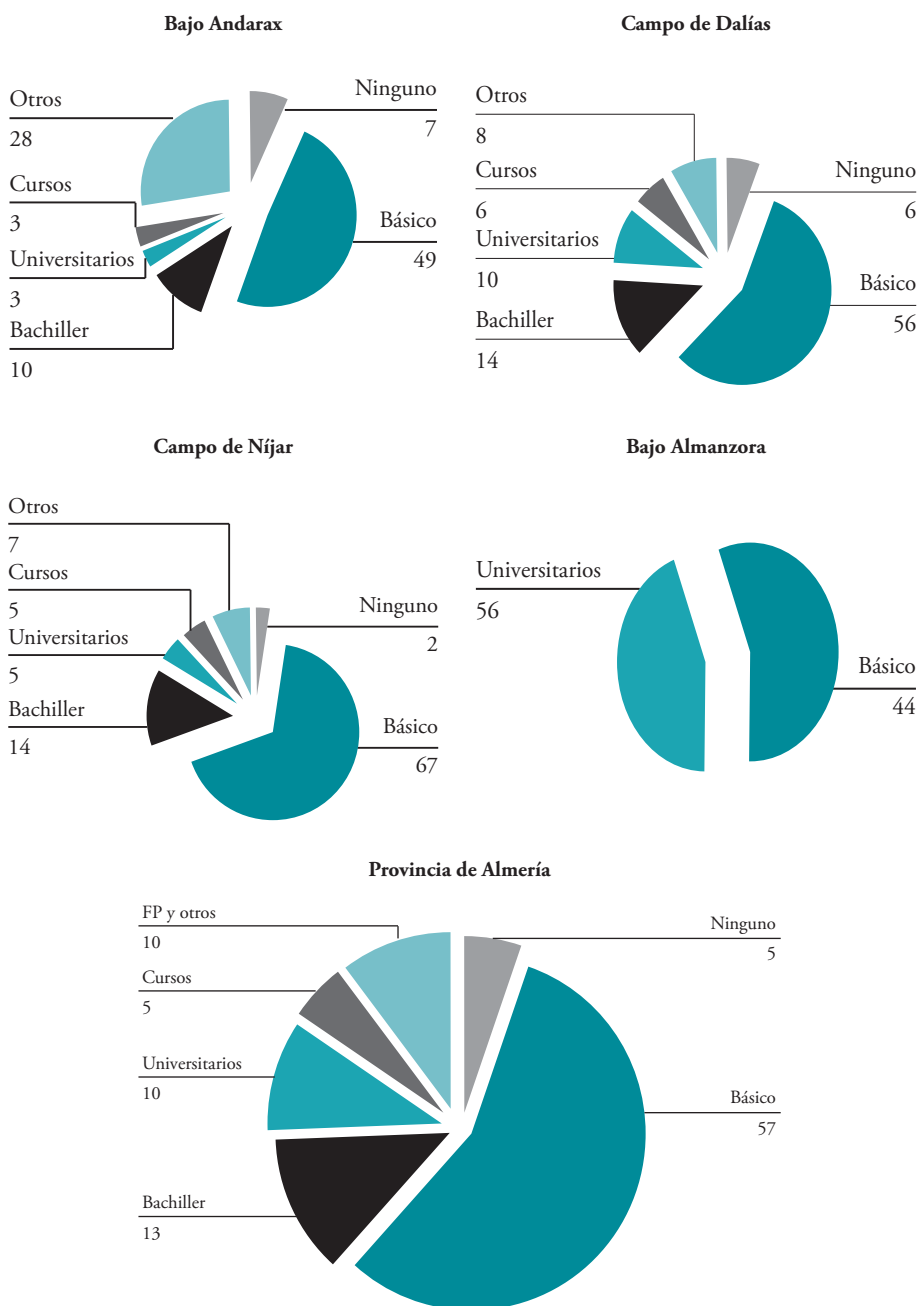
3. El agricultor es: medianero, propietario o arrendatario. En porcentaje



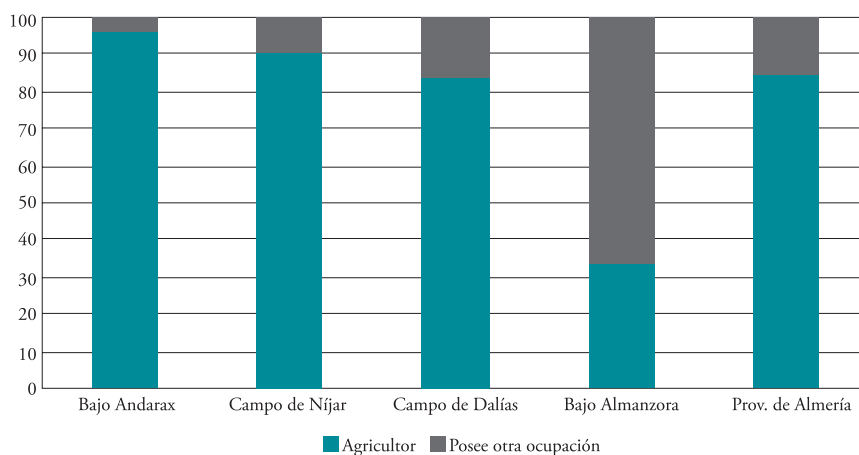
4. Procedencia geográfica del titular. En porcentaje



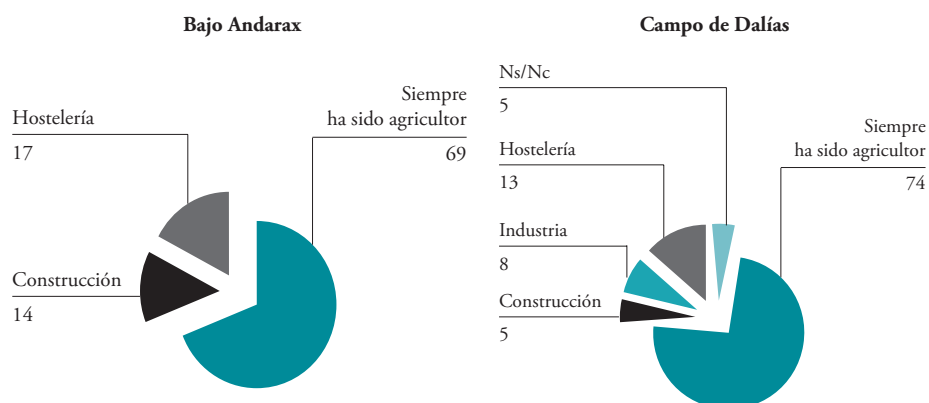
5. Nivel de estudios del agricultor. En porcentaje

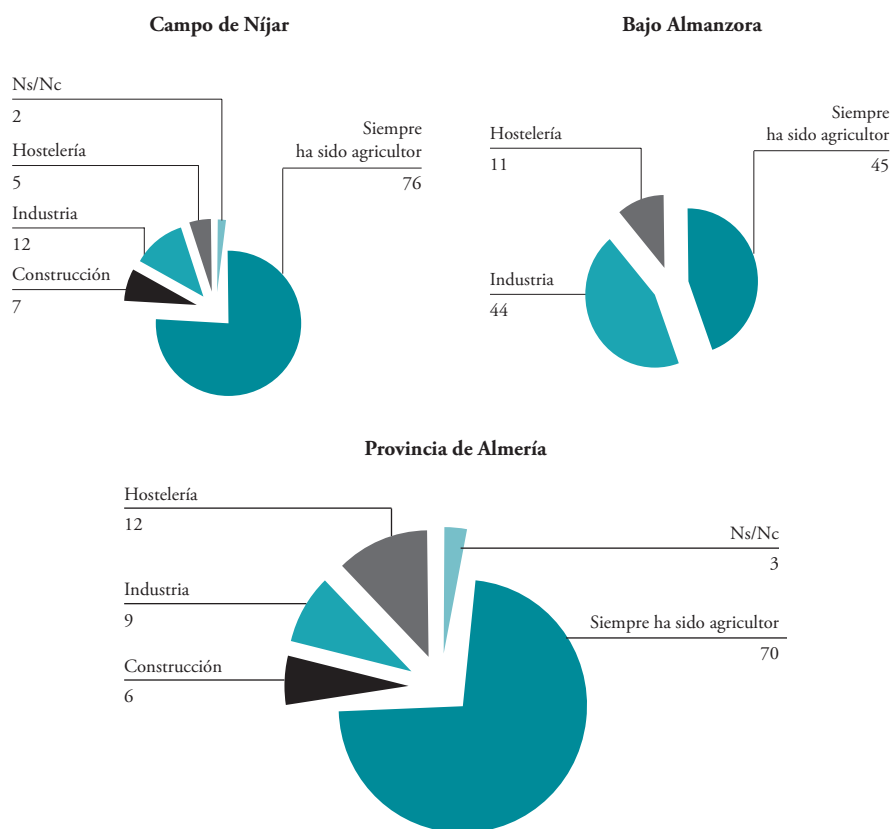


6. ¿Posee otra ocupación laboral o empresarial adicional? En porcentaje

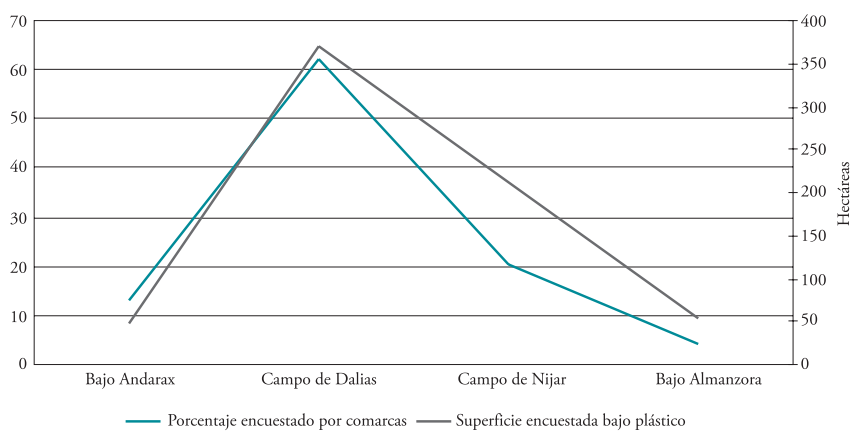


7. Procedencia laboral del agricultor. En porcentaje



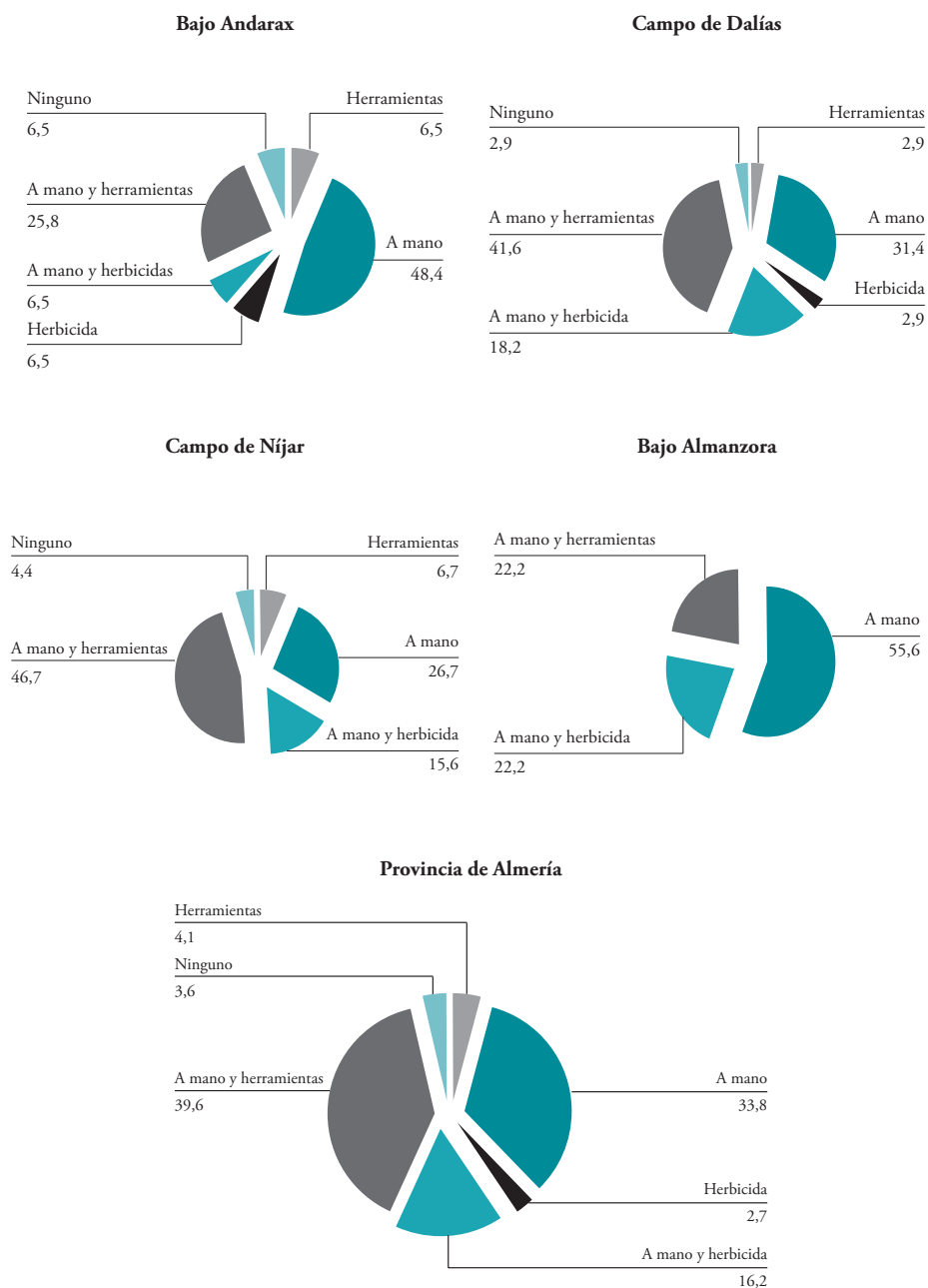


8 y 9. Situación geográfica y superficie total de la finca o fincas

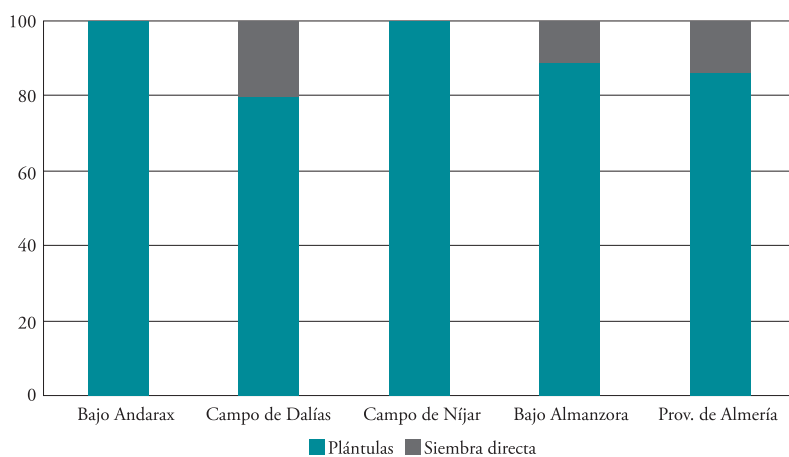


B. Cultivos

10. Forma de realizar el control de las malas hierbas. En porcentaje

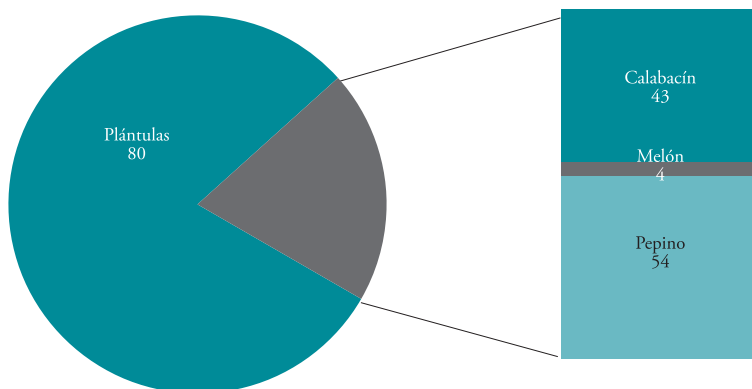


11. Tipos de siembra. En porcentaje

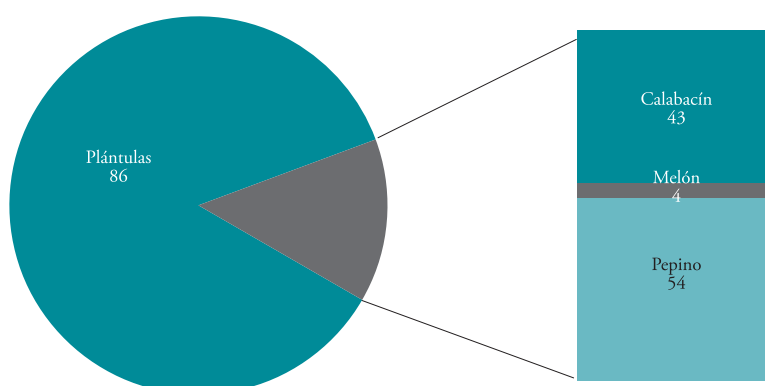


12. Cultivos en los que se practica siembra directa. En porcentaje

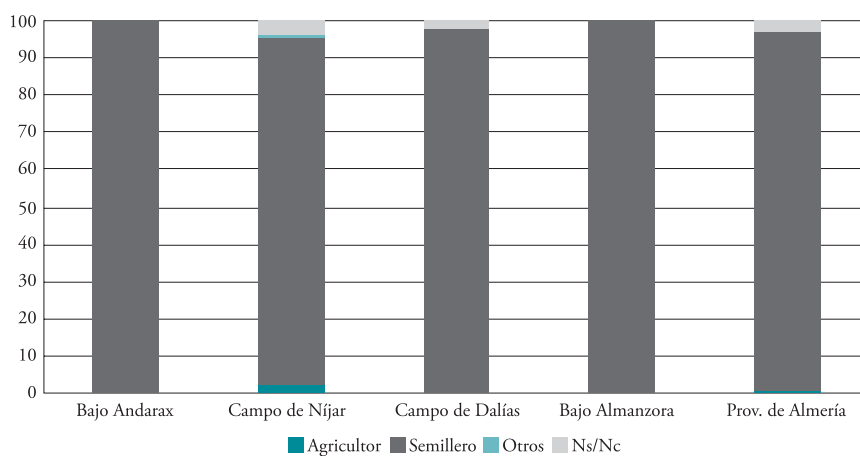
Campo de Dalías



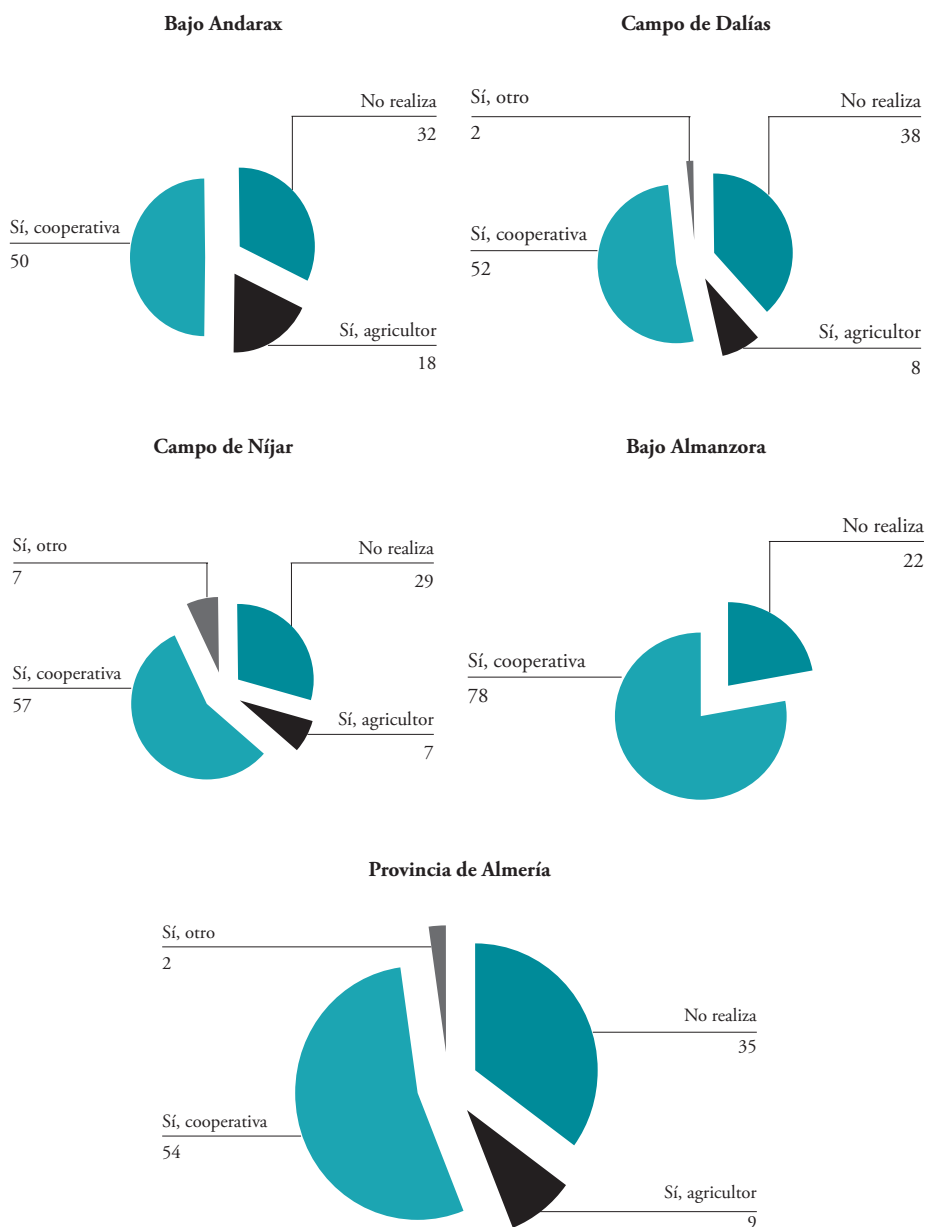
Provincia de Almería



12. Realización de la preparación de la plántula. En porcentaje

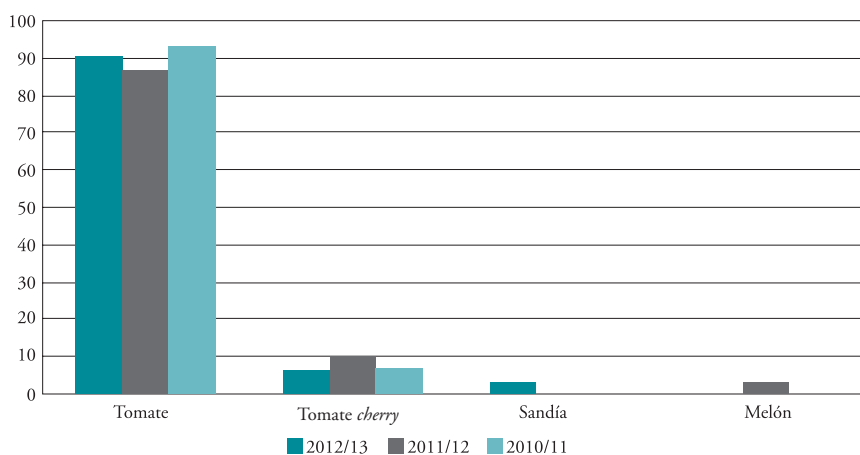


13. Realización de análisis foliares. En porcentaje

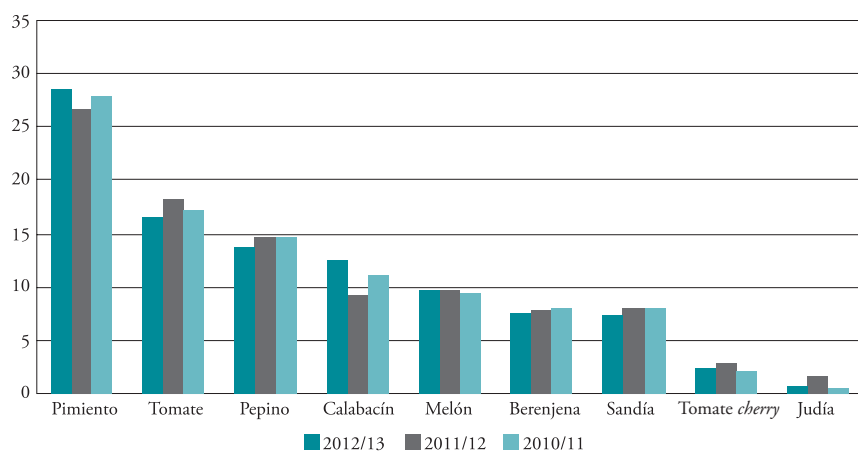


14, 15 y 16. Cultivo de las tres últimas campañas. En porcentaje

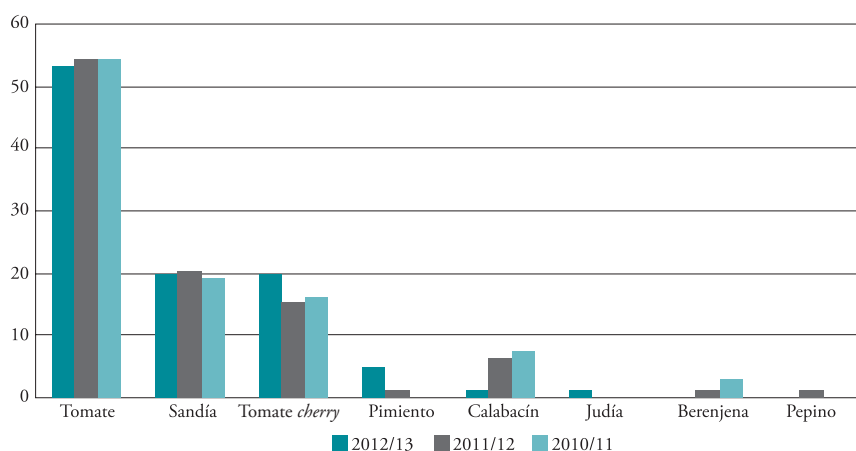
Bajo Andarax



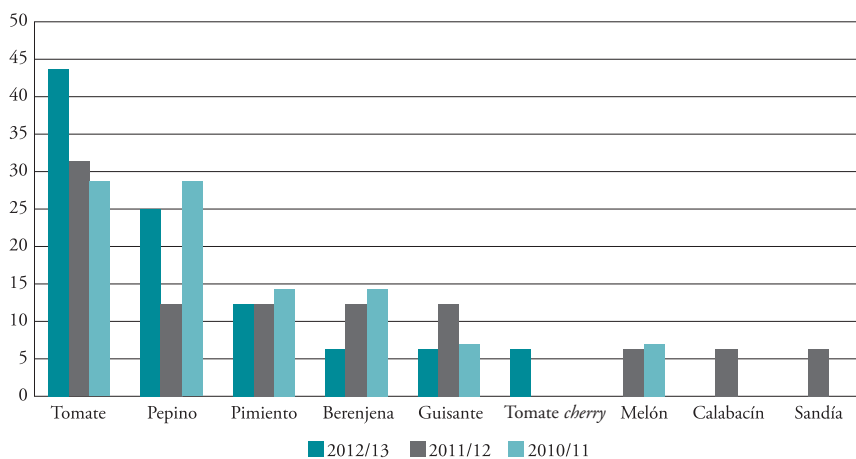
Campo de Dalías



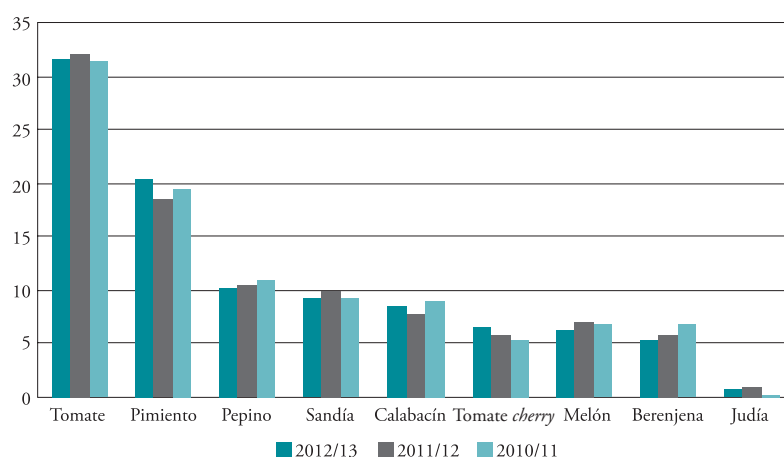
Campo de Níjar



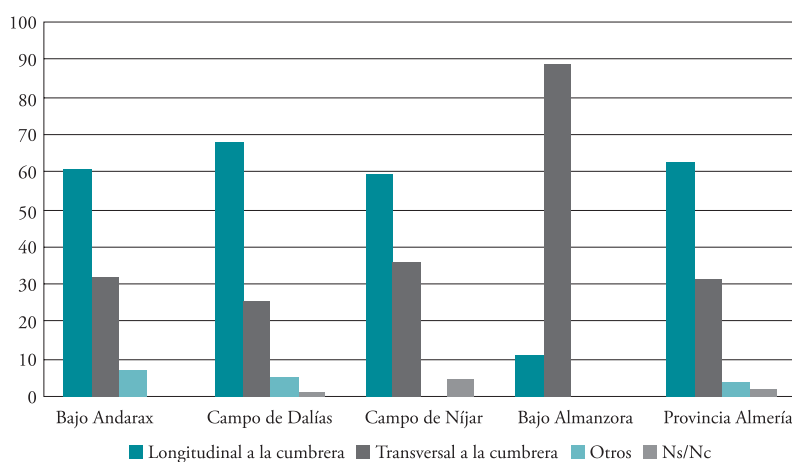
Bajo Almanzora



Provincia de Almería

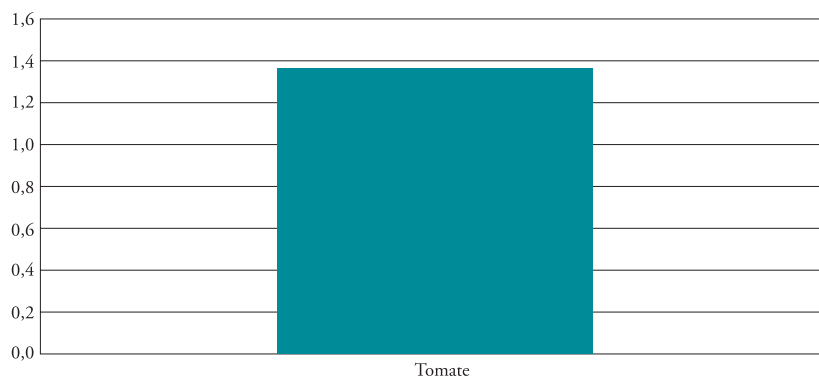


17. Orientación de las líneas de cultivo. En porcentaje

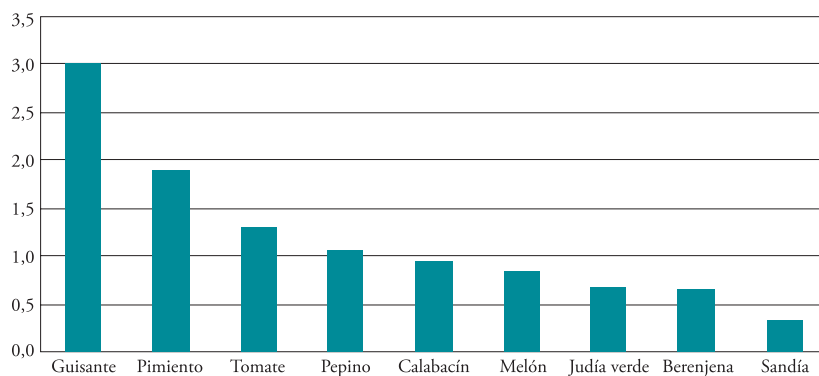


18. Marco de plantación. En plantas/m²

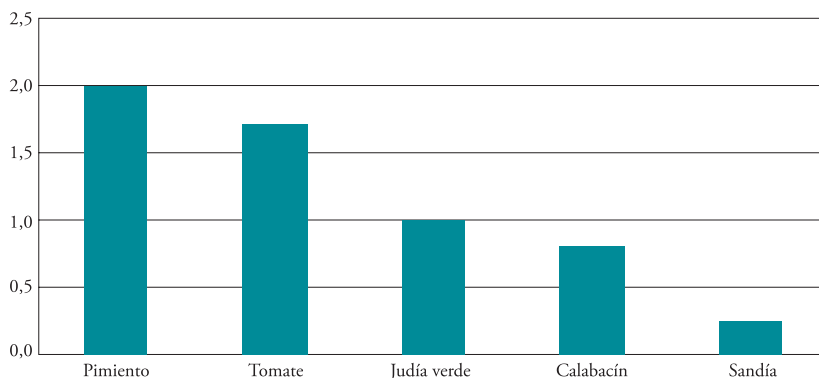
Bajo Andarax



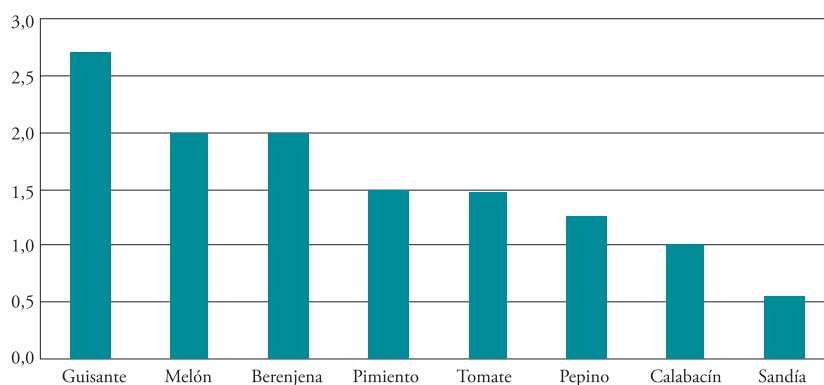
Campo de Dalías



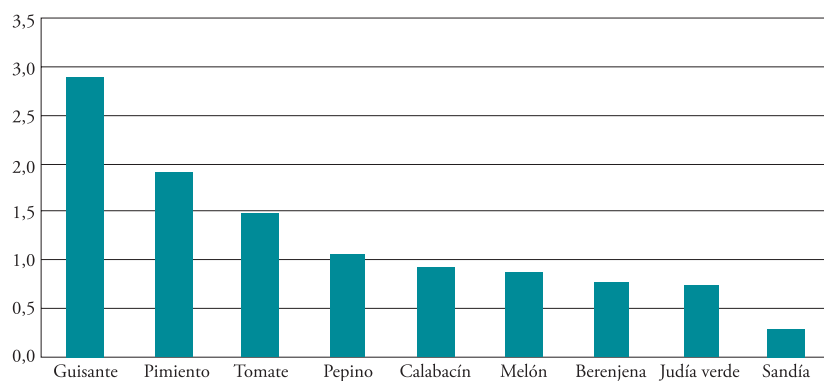
Campo de Níjar



Bajo Almanzora



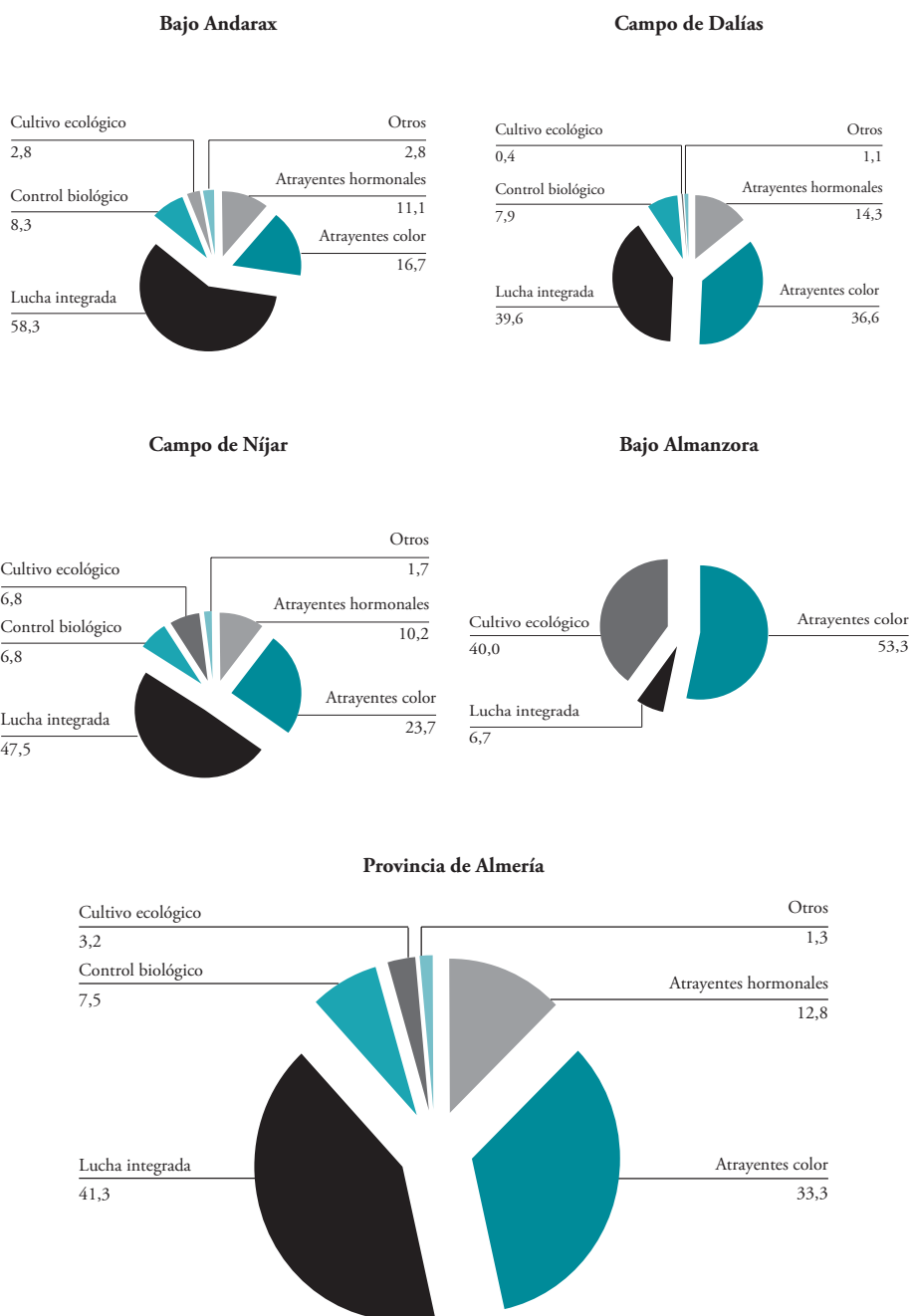
Provincia de Almería



19. Rendimientos de los cultivos

El detalle se puede observar directamente en las Tablas 18 y 19 (páginas 250 y 251), respectivamente.

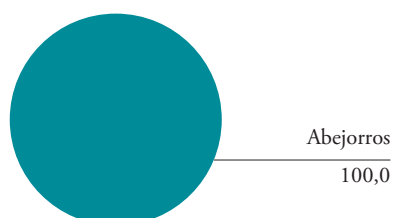
20. Sustitutivos a los tratamientos fitosanitarios. En porcentaje*



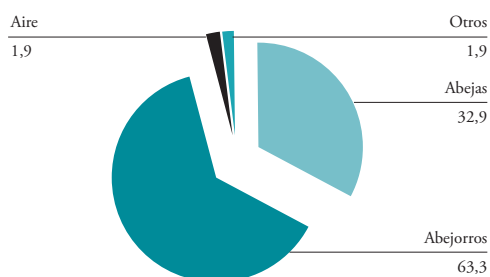
* El valor complementario al 100 % corresponde a los agricultores que han declarado Ns/Nc.

21. Métodos de polinización. En porcentaje

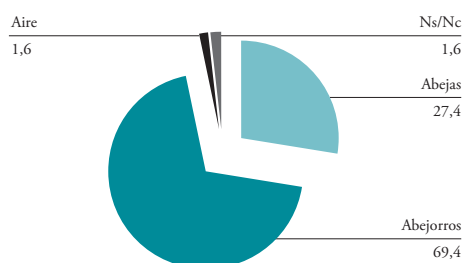
Bajo Andarax



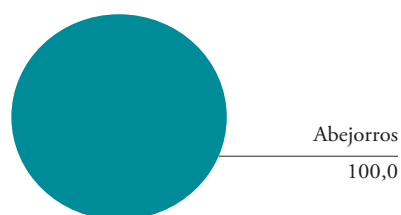
Campo de Dalías



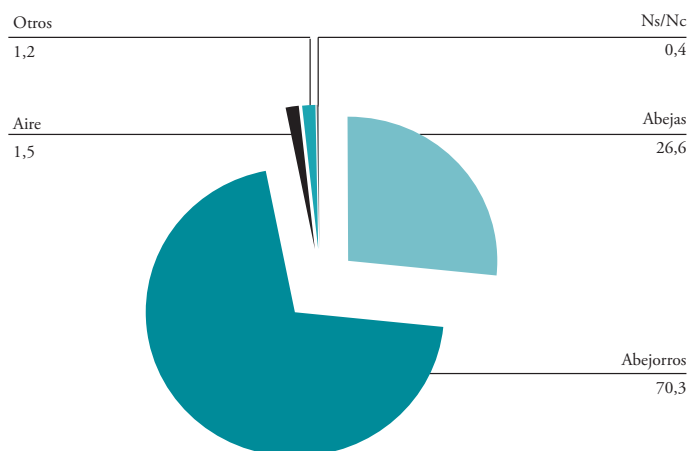
Campo de Níjar



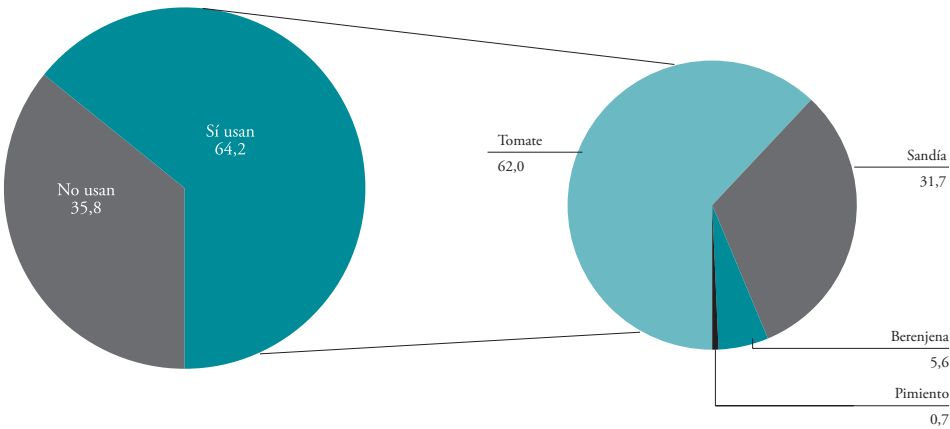
Bajo Almanzora



Provincia de Almería

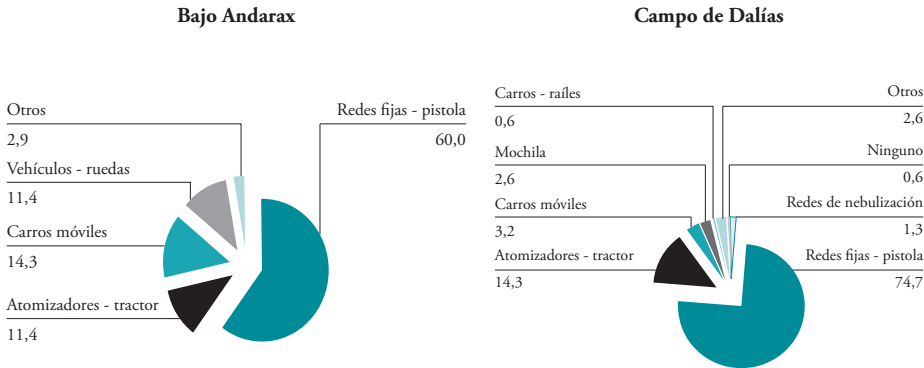


22. Uso de injertos y para qué cultivos. En porcentaje

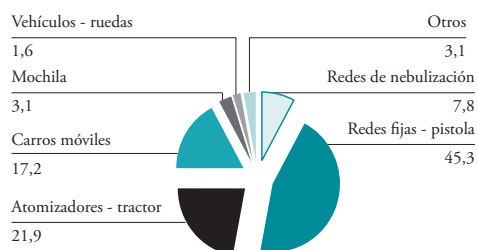


C. Maquinaria

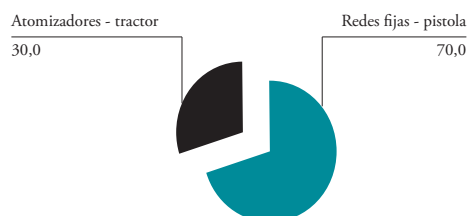
23. Maquinaria utilizada para la aplicación de productos fitosanitarios. En porcentaje



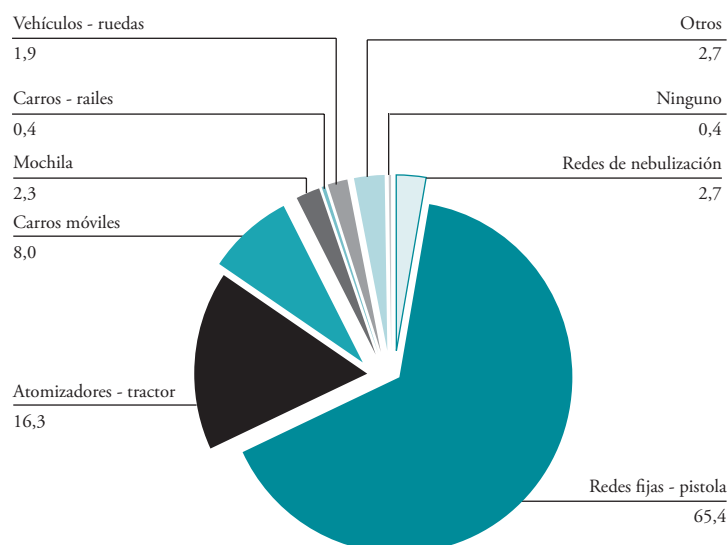
Campo de Níjar



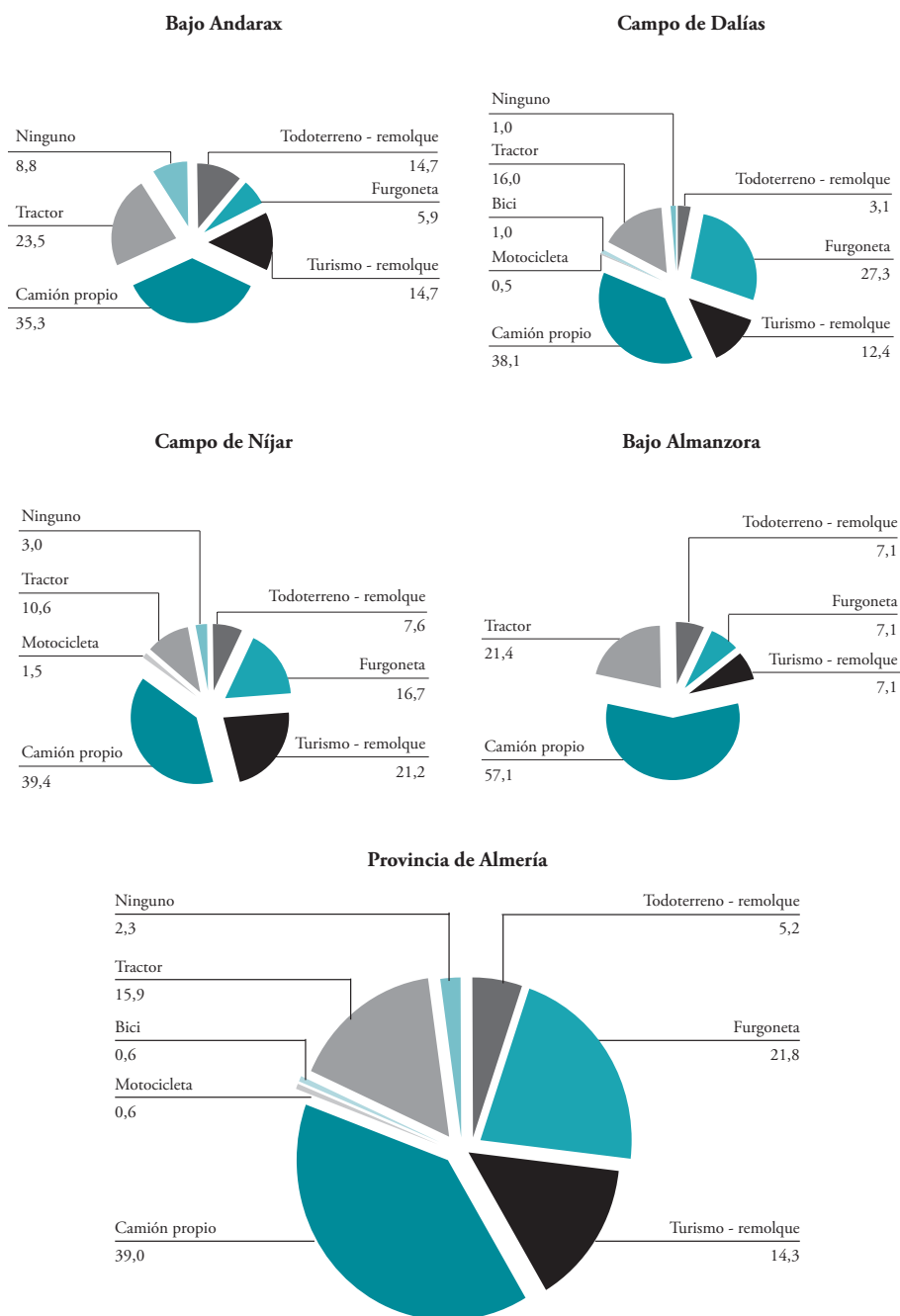
Bajo Almanzora



Provincia de Almería

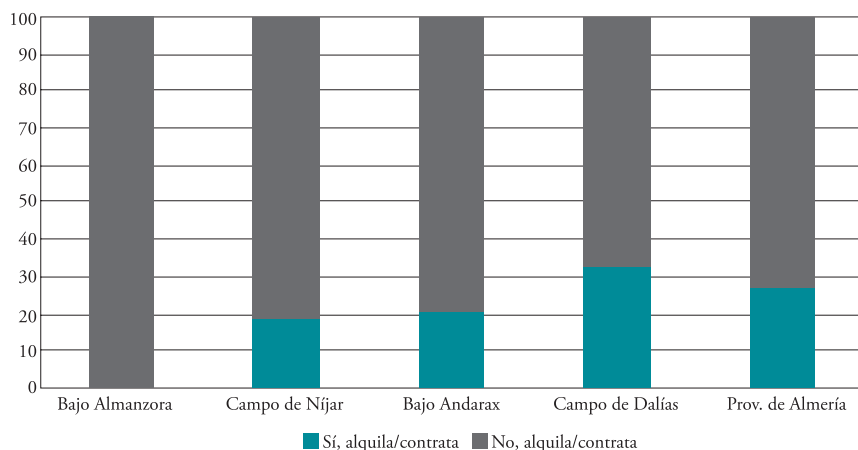


24. Vehículos que normalmente usa en la finca. En porcentaje*

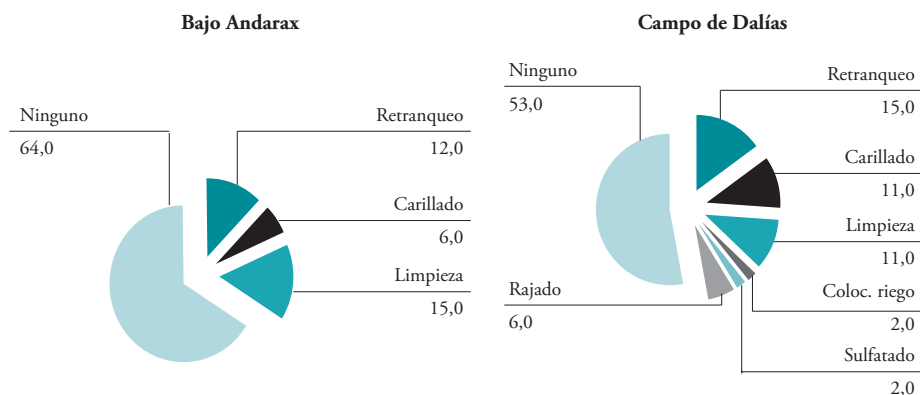


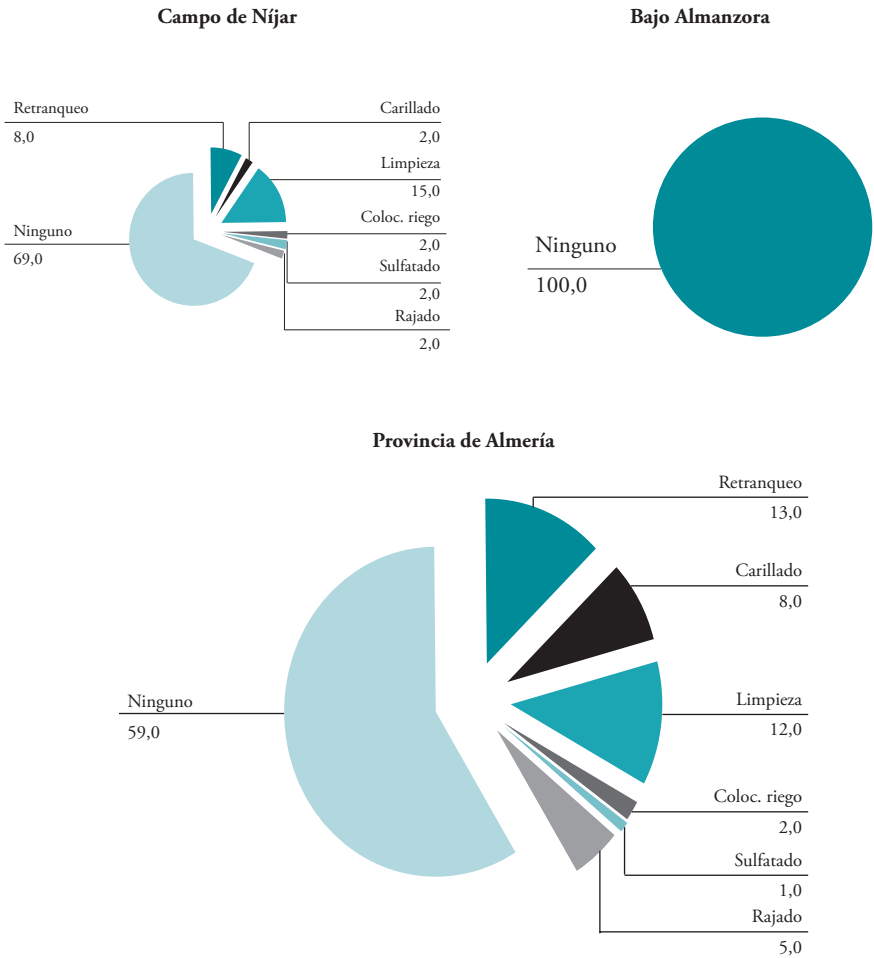
* El valor complementario al 100 % corresponde a los agricultores que han declarado Ns/Nc.

25. Alquiler y contratación de maquinaria y operarios para realizar labores de preparación del terreno. En porcentaje

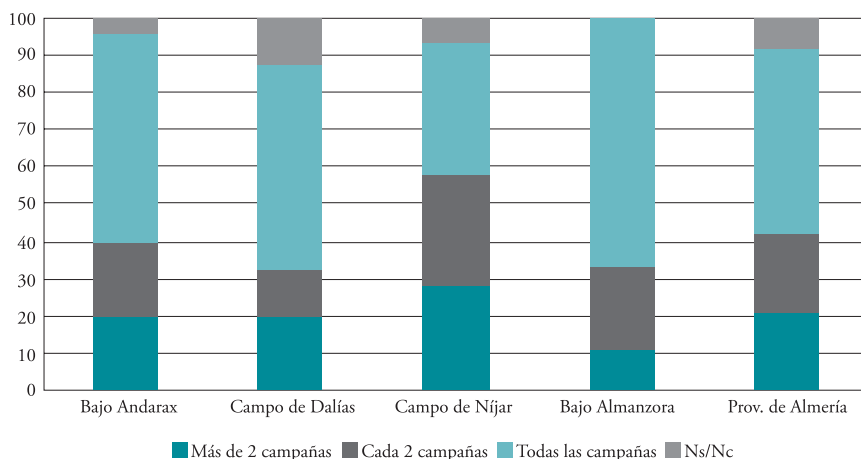


26. Labores en las que alquila o contrata maquinaria y operarios. En porcentaje



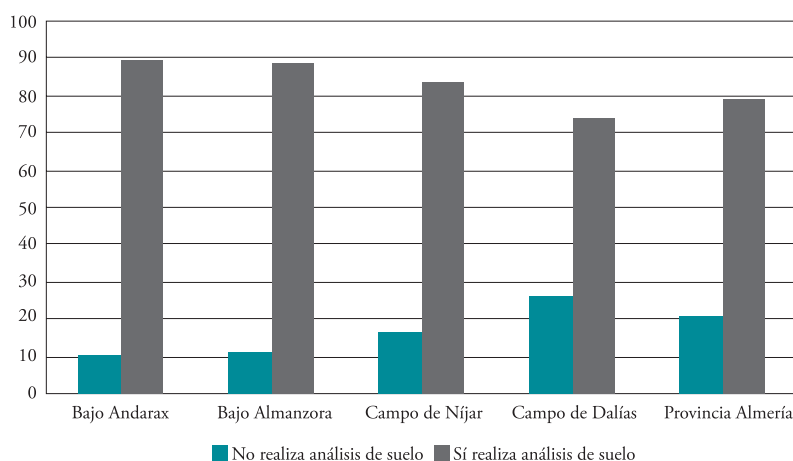


27. Frecuencia en la que realiza las labores de preparación del terreno. En porcentaje



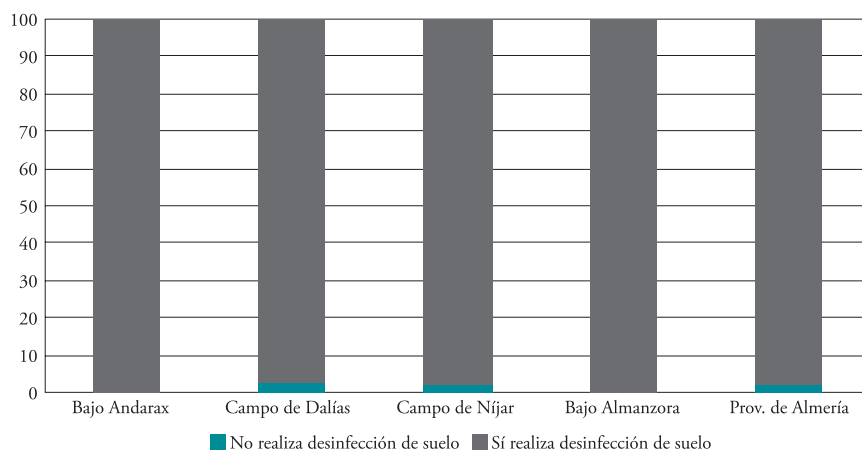
D. Suelo

28. Realización de análisis de suelo. En porcentaje

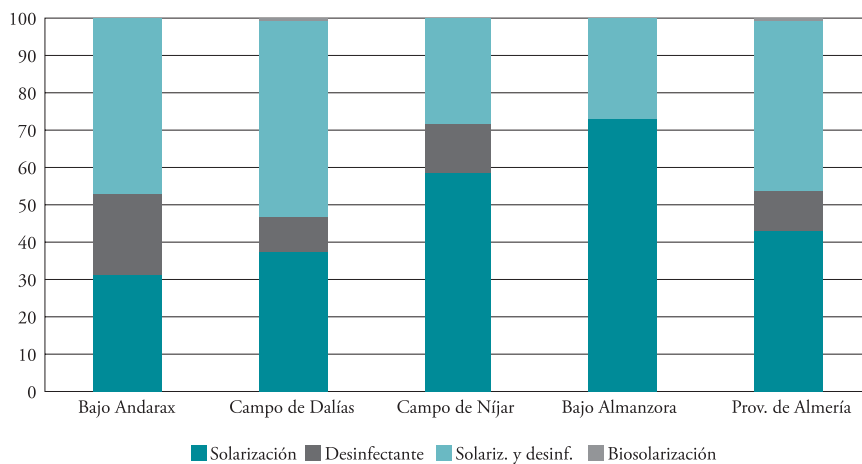


29. ¿Realiza desinfección del suelo? ¿Qué tipo? Frecuencia de desinfección

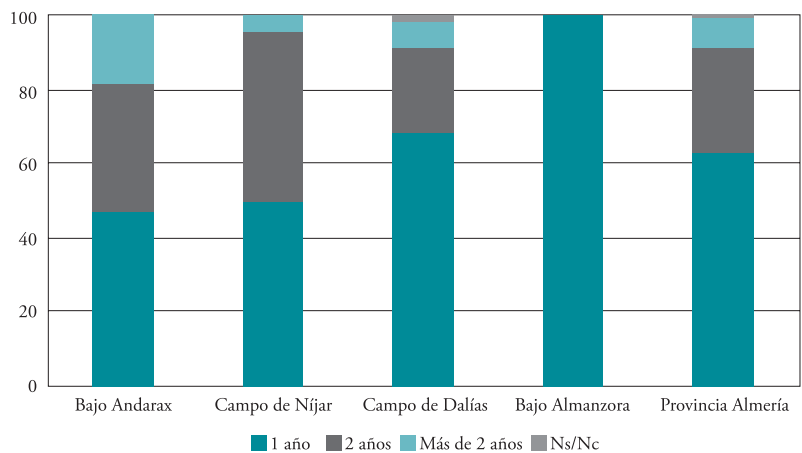
Desinfección del suelo. En porcentaje



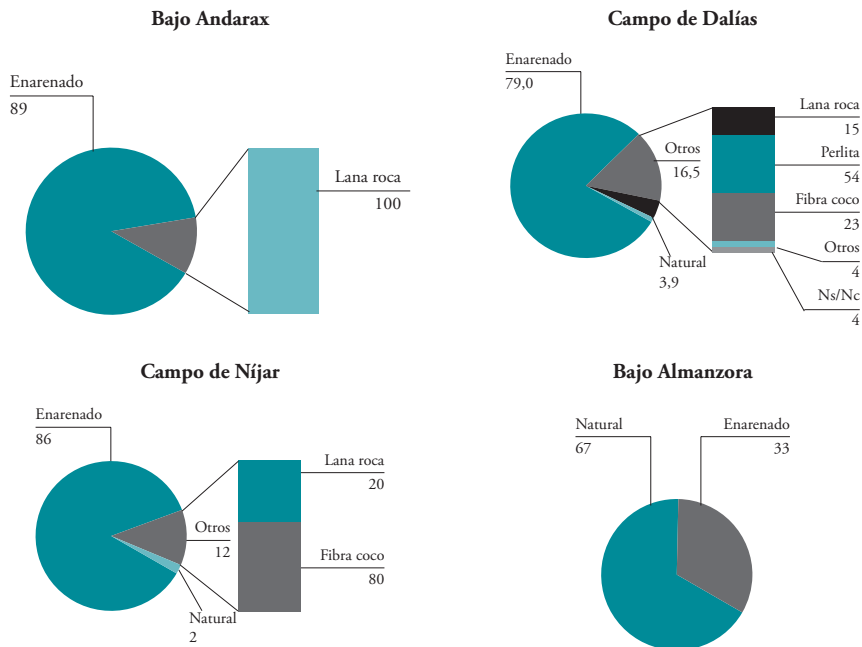
Tipo de desinfección. En porcentaje

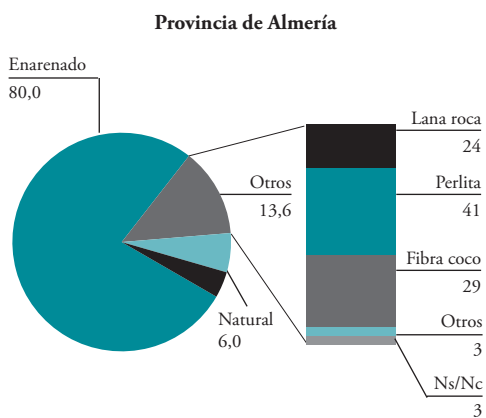


Frecuencia de desinfección del suelo. En porcentaje



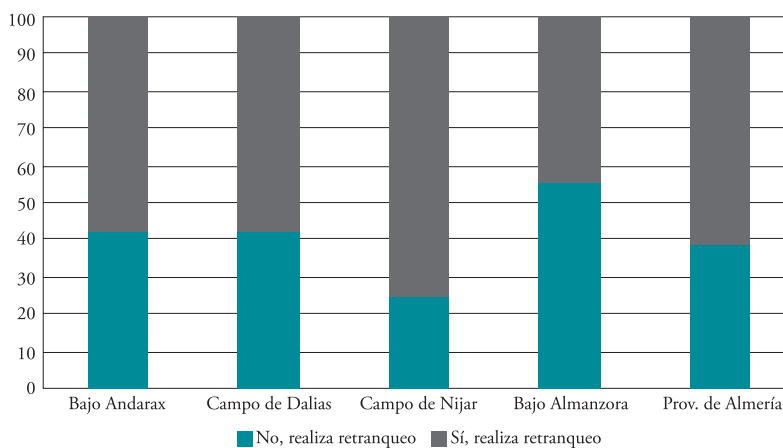
30. Tipo de suelo. En porcentaje



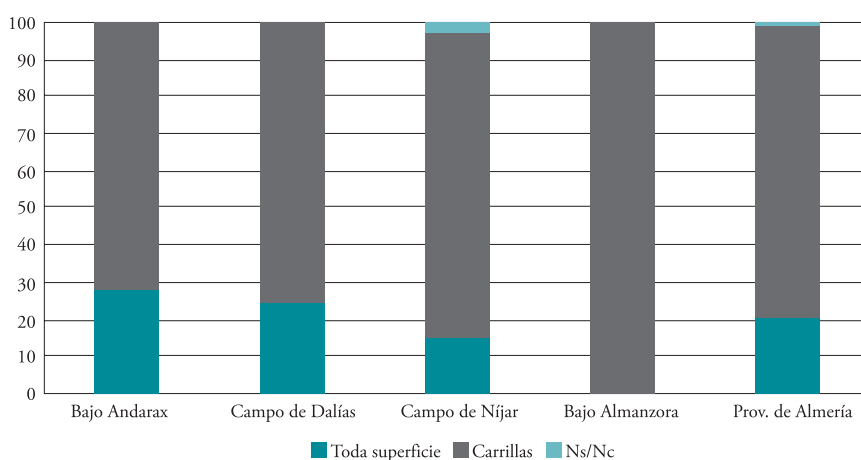


31. ¿Realiza retranqueo? Superficie: frecuencia del retranqueo. Tipo de abono

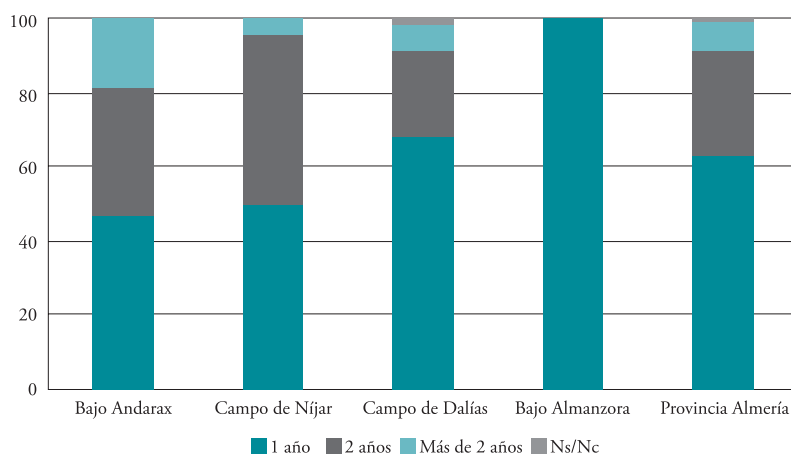
Realización de retranqueo. En porcentaje



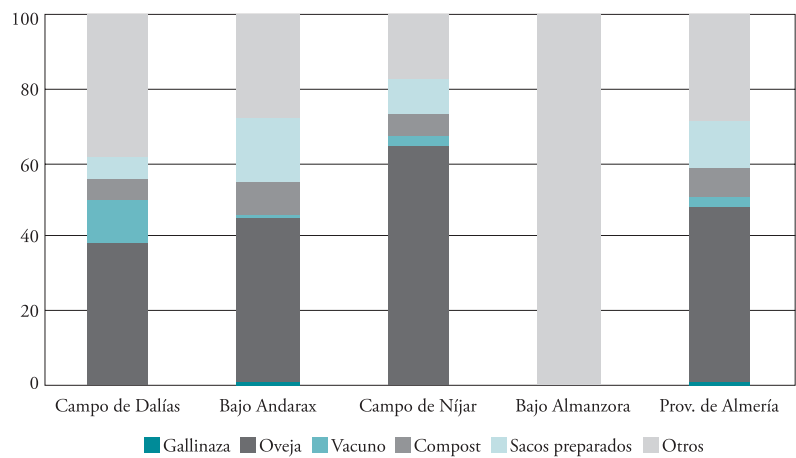
Superficie de retranqueo. En porcentaje



Frecuencia de retranqueo. En porcentaje

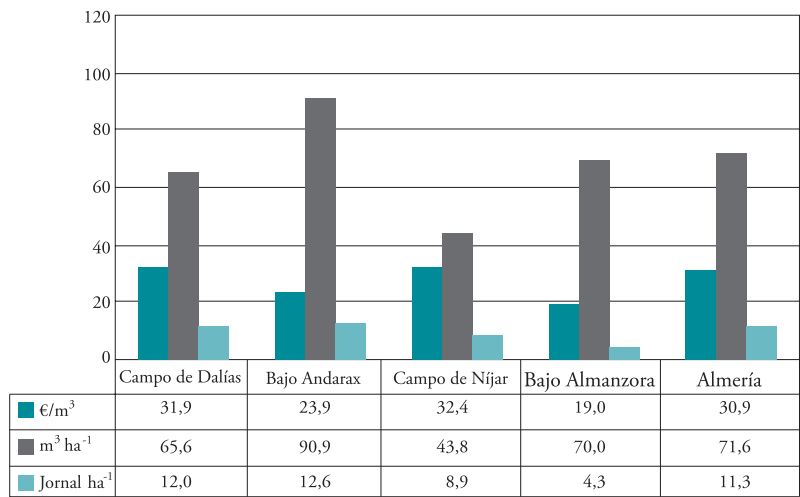


Tipo de abono usado para retranqueo. En porcentaje

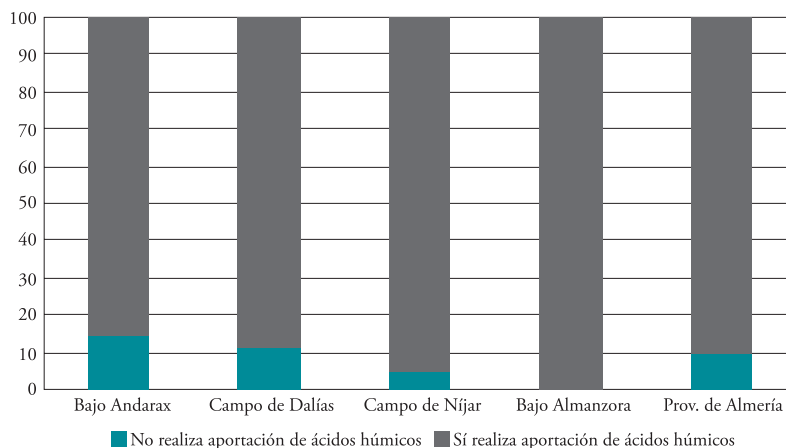


Otros incluyen: Granulado, caballo y gallina, cerdo y oveja, cerdo y vaca y mezcla.

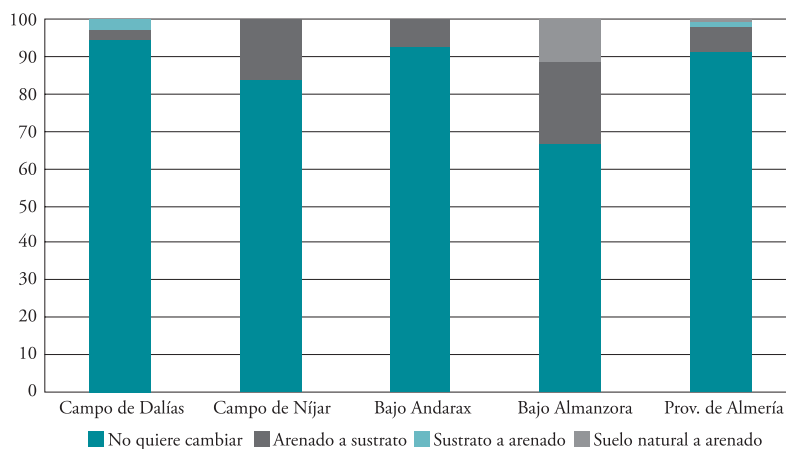
32, 33 y 34. Coste aproximado del retranqueo. Cantidad aportada.
Jornales aproximados del retranqueo



35. Agricultores que aportan ácidos húmicos al suelo por comarcas. En porcentaje

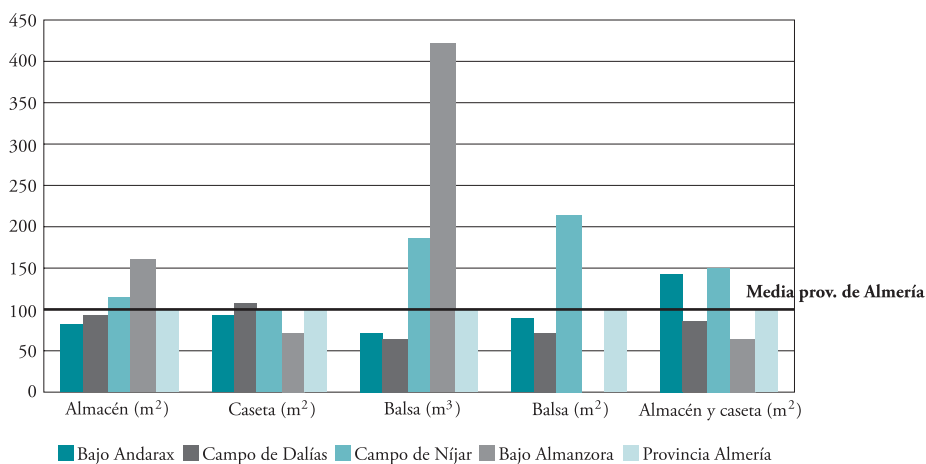


36. Agricultores que han pensado cambiar de tipo de suelo para sus cultivos. En porcentaje



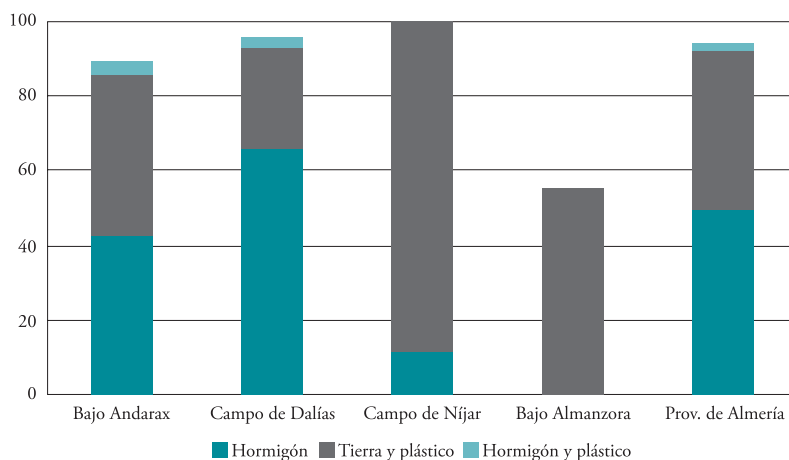
E. Edificaciones

37. Agricultores que han pensado cambiar de tipo de suelo para sus cultivos. En porcentaje

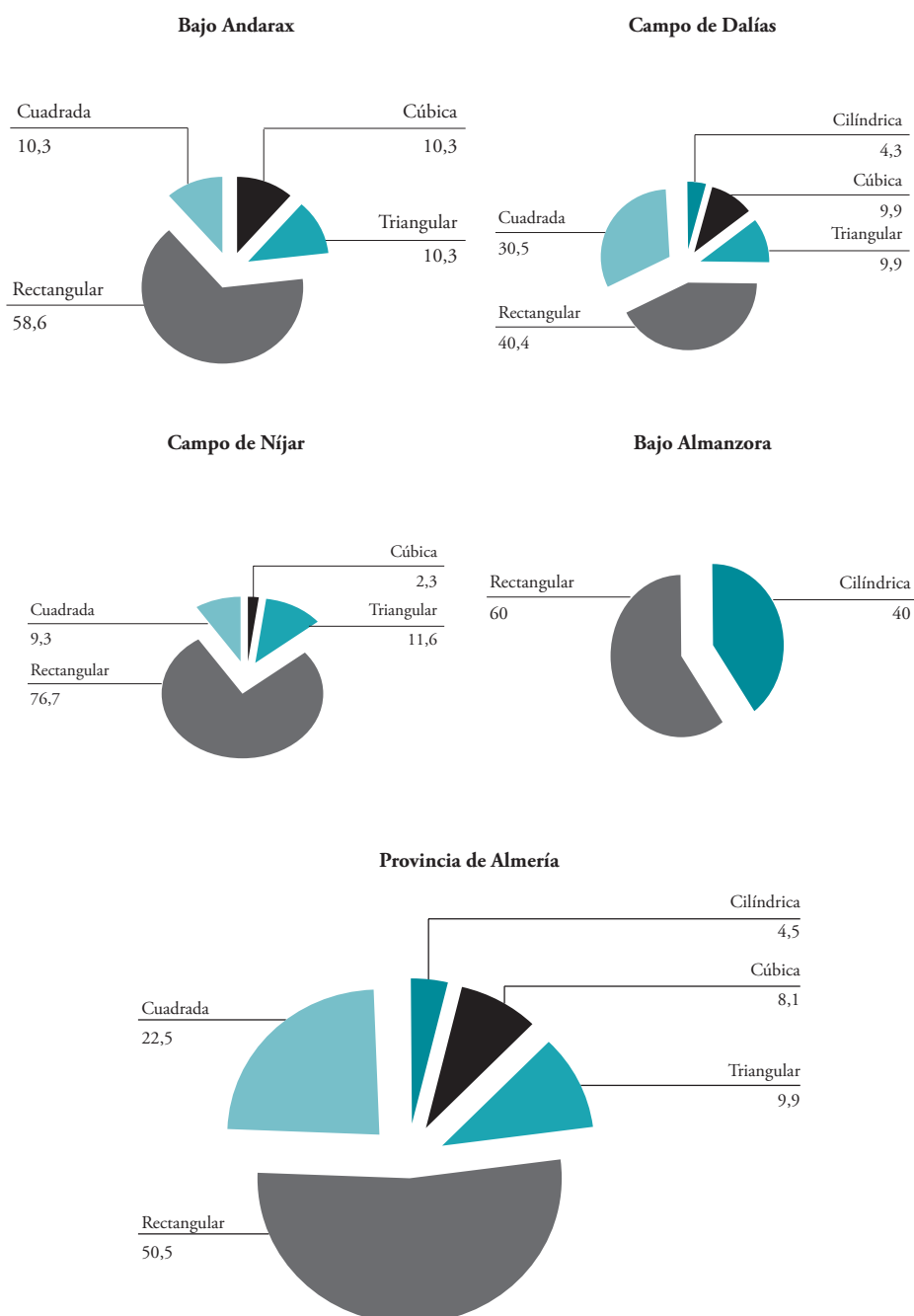


* Todo lo que esté por encima o por debajo de 100, es interpretable con respecto a la media provincial.

38. Material de construcción del tipo de balsas. En porcentaje

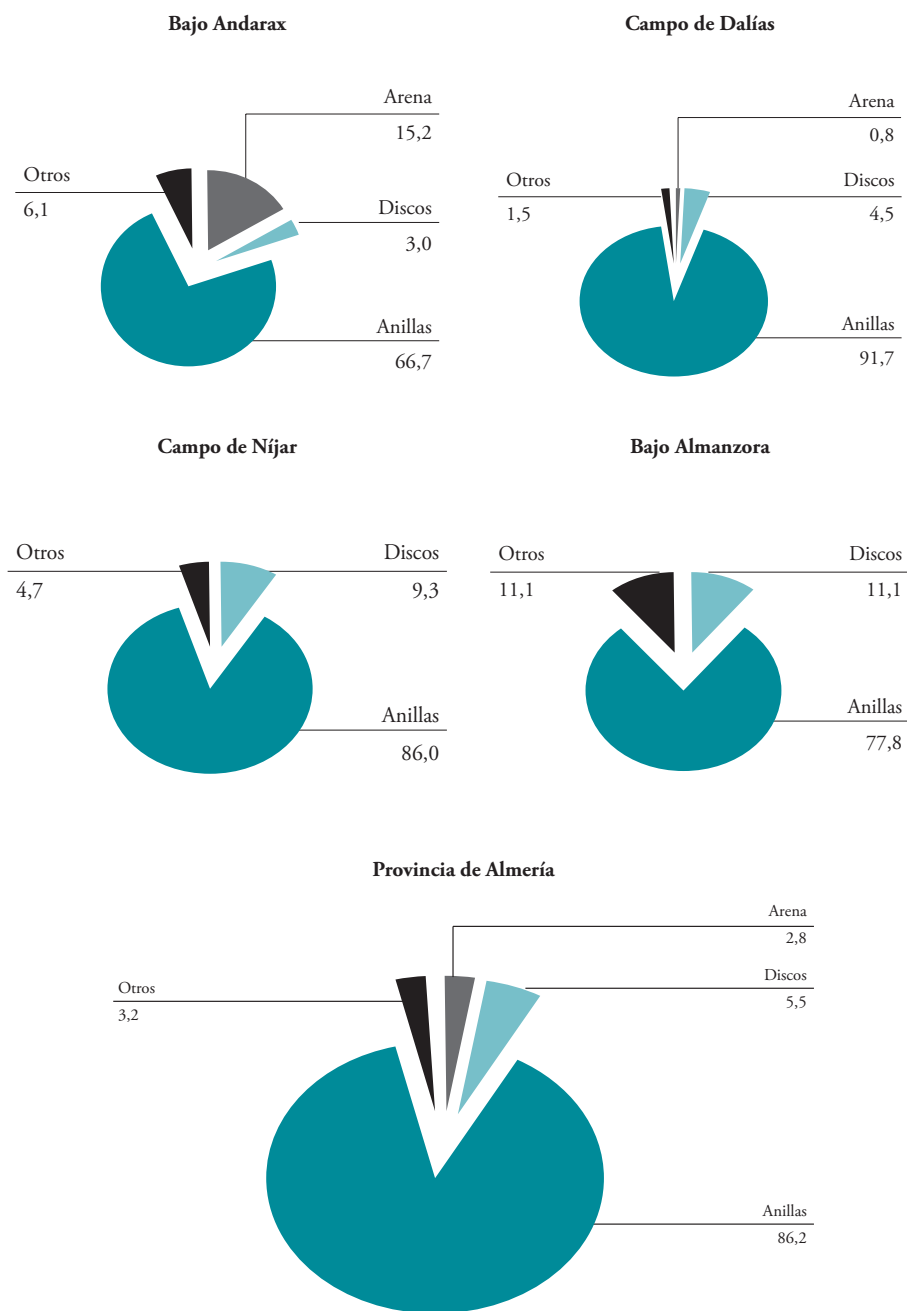


39. Forma de las balsas de riego. En porcentaje*



* El valor complementario al 100 % corresponde a los agricultores que han declarado Ns/Nc.

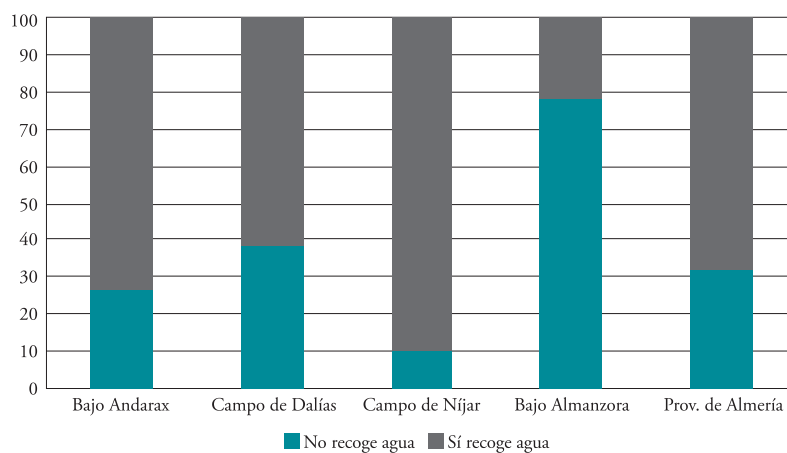
40. Forma de las balsas de riego. En porcentaje*



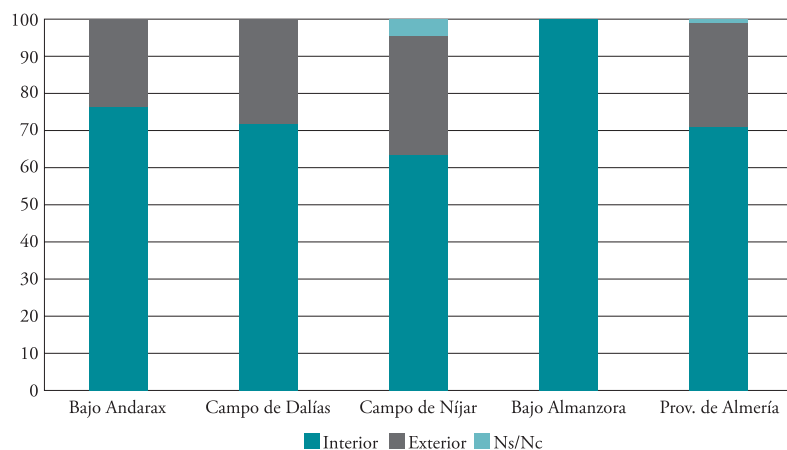
* El valor complementario al 100 % corresponde a los agricultores que han declarado Ns/Nc.

41. ¿Recoge agua de lluvia? ¿Cómo?

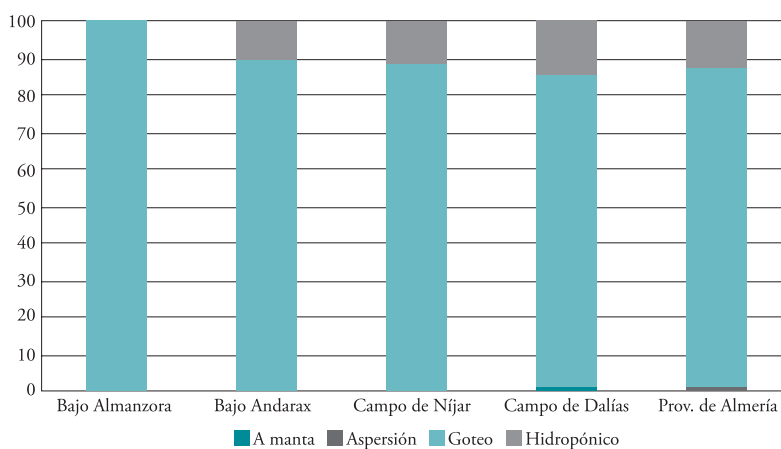
Recogida de agua de lluvia. En porcentaje



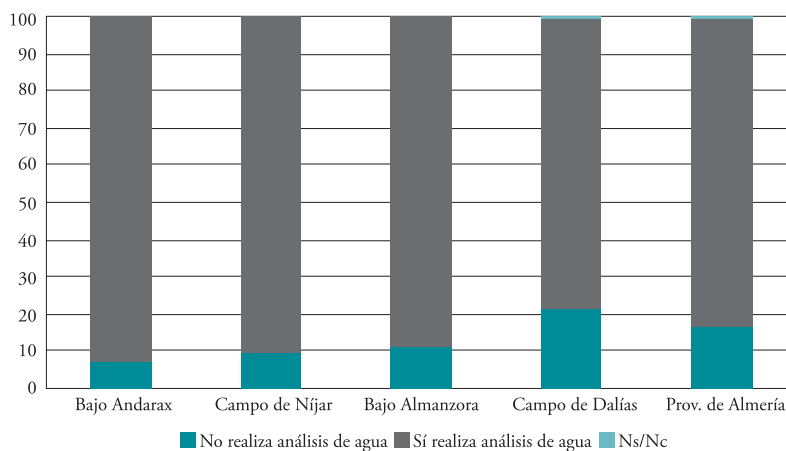
Cómo recoge el agua de lluvia. En porcentaje



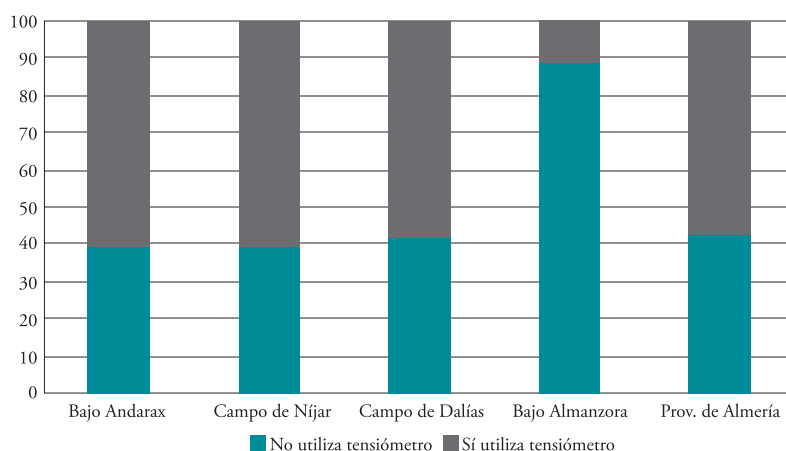
42. Sistema de riego que posee. En porcentaje



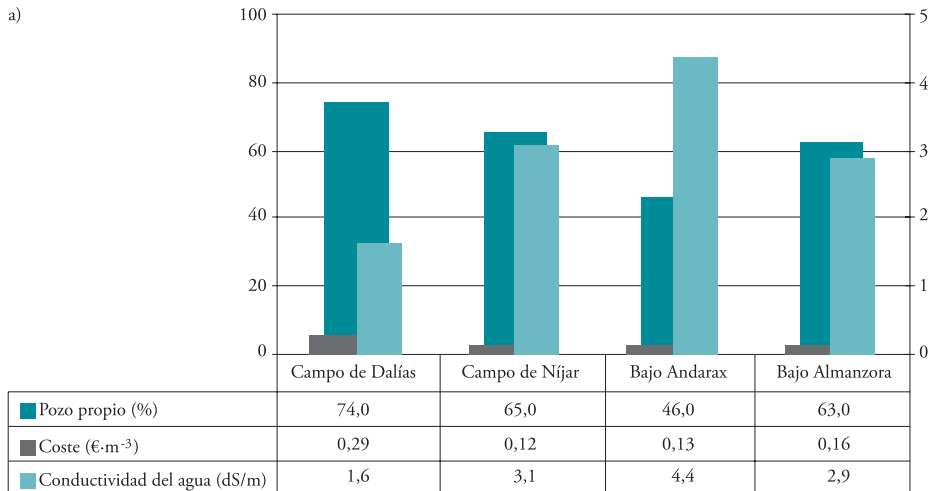
43. Realización de análisis de agua de riego. En porcentaje

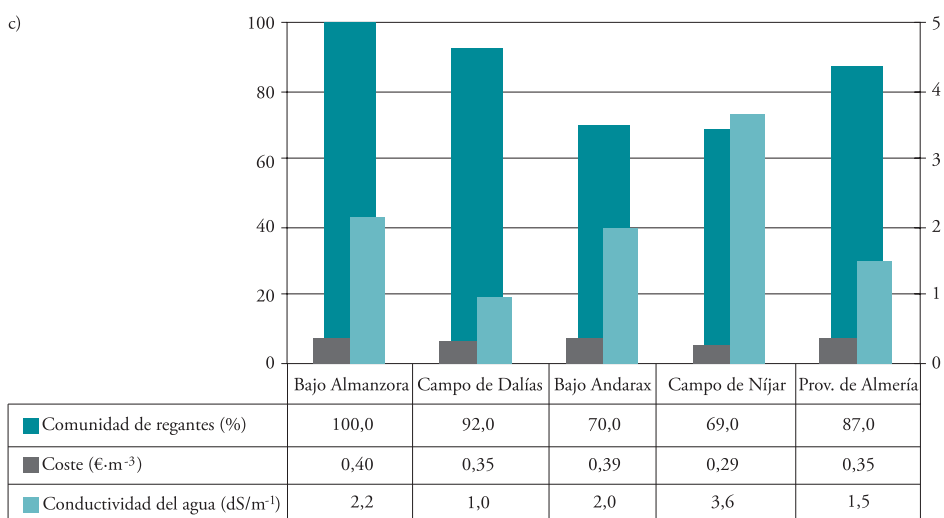
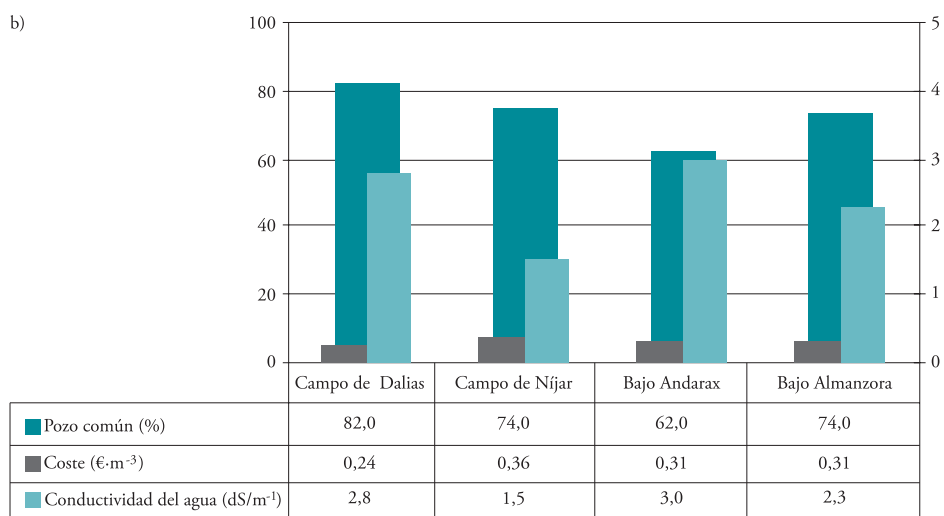


44. Uso de tensiómetros para el control de riego. En porcentaje

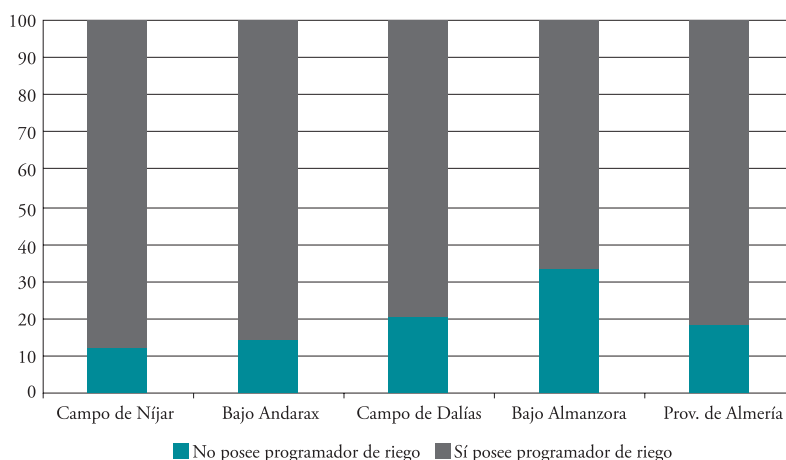


45. Origen, coste y características del agua procedente de: a) pozos propios, b) pozos comunes y c) comunidad de regantes

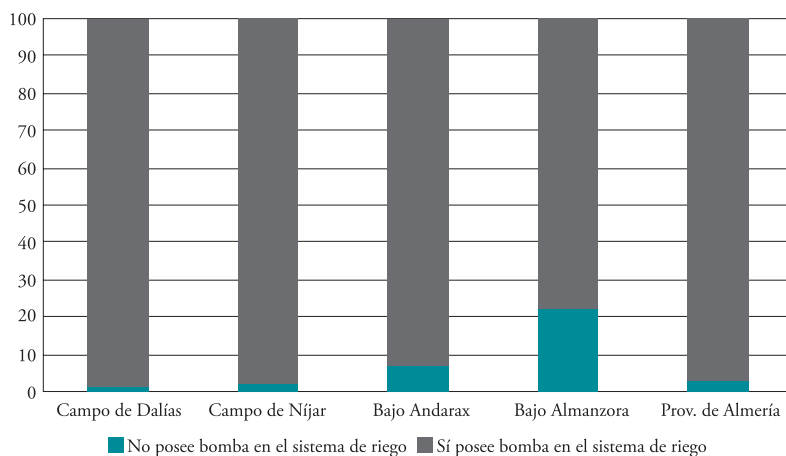




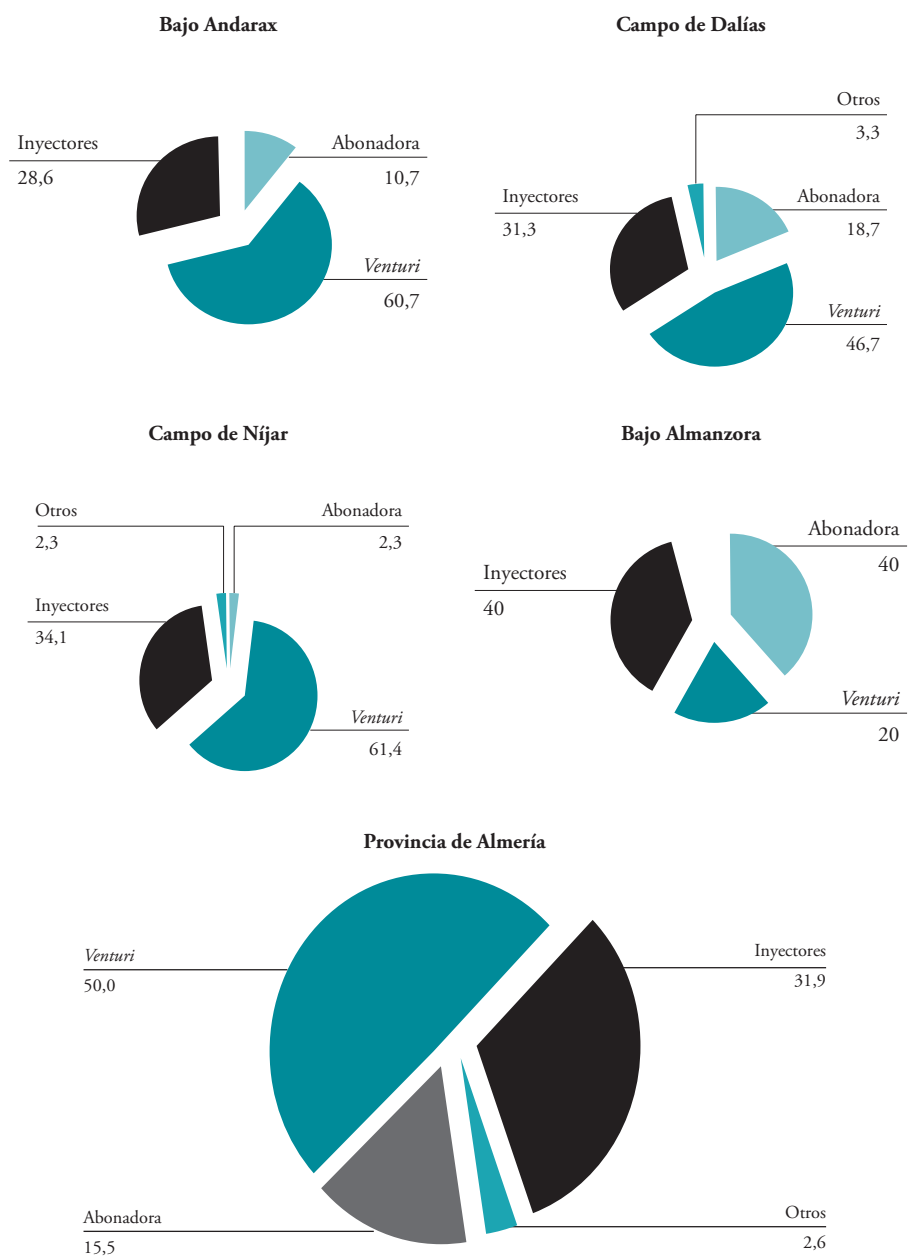
46. Uso de programadores de riego. En porcentaje



47. Disponibilidad de bombas de impulsión para el sistema de riego. En porcentaje

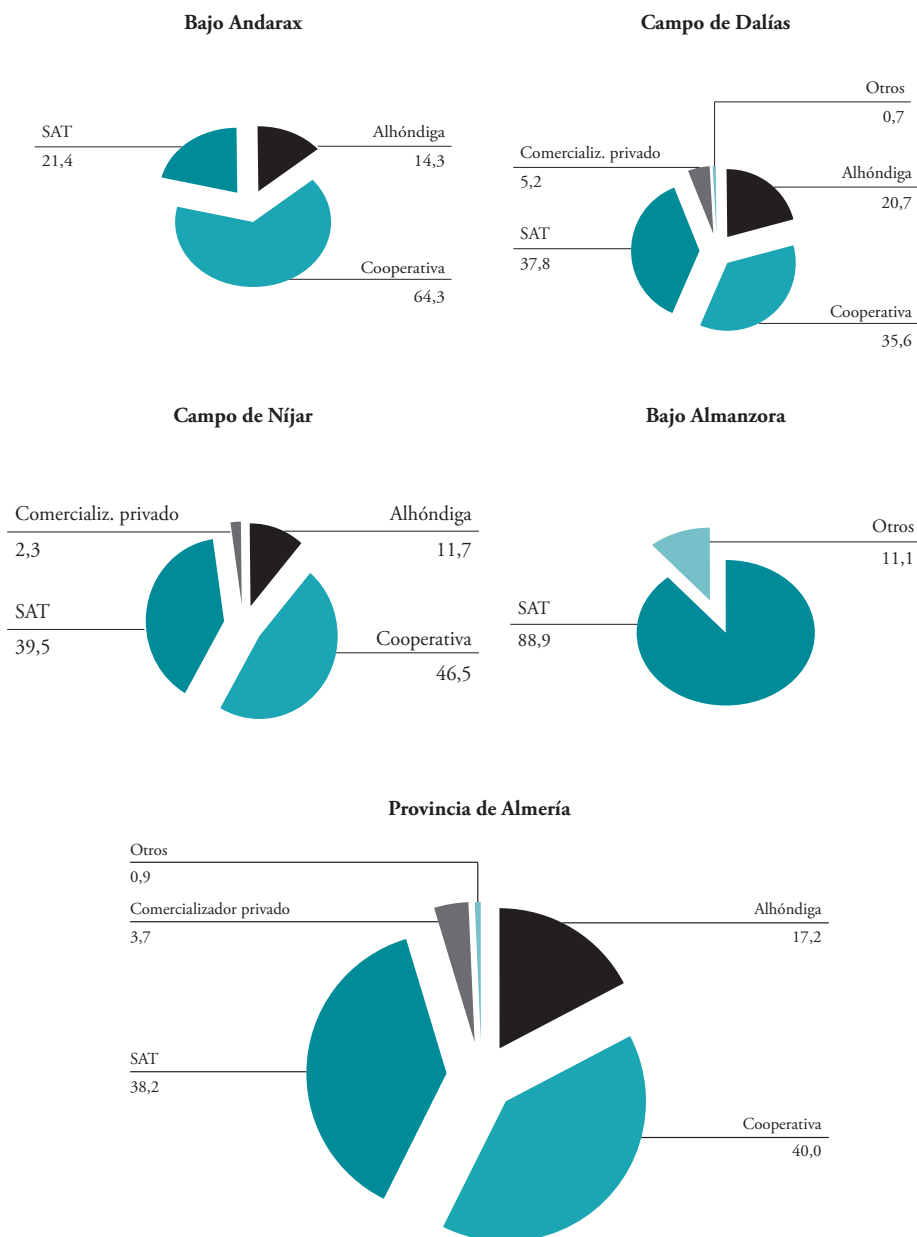


48. Sistemas de abono usado por los agricultores. En porcentaje

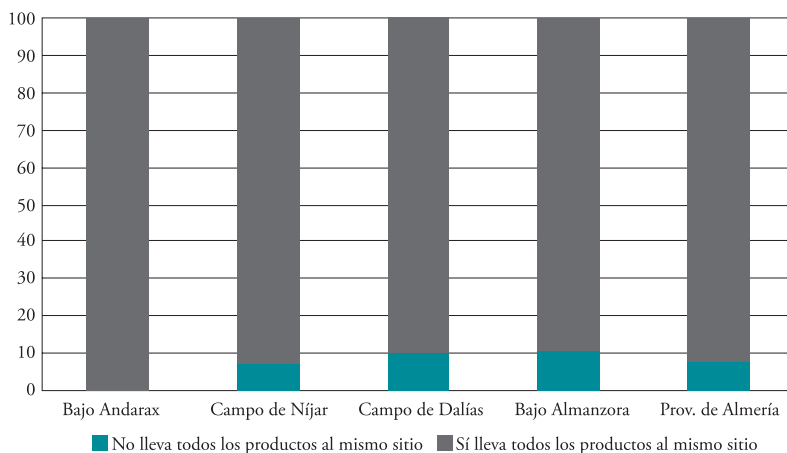


F. Comercialización

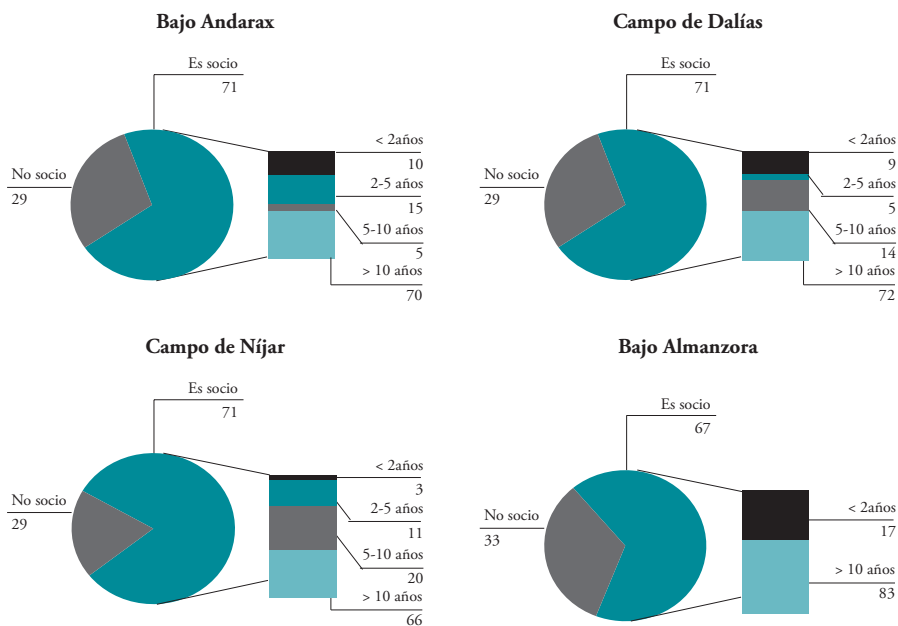
49. Entidades de comercialización donde venden su producción. En porcentaje

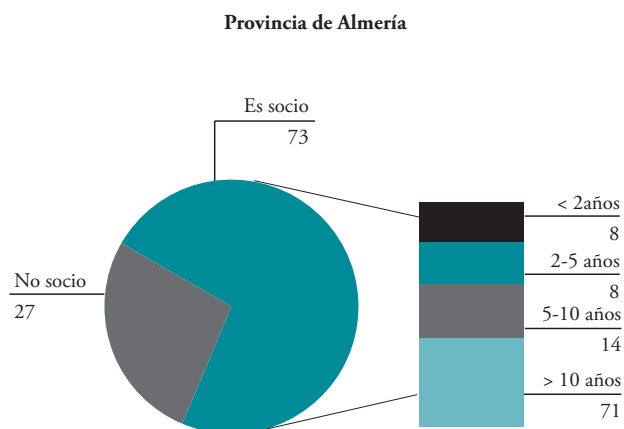


50. Exclusividad del lugar de venta. En porcentaje

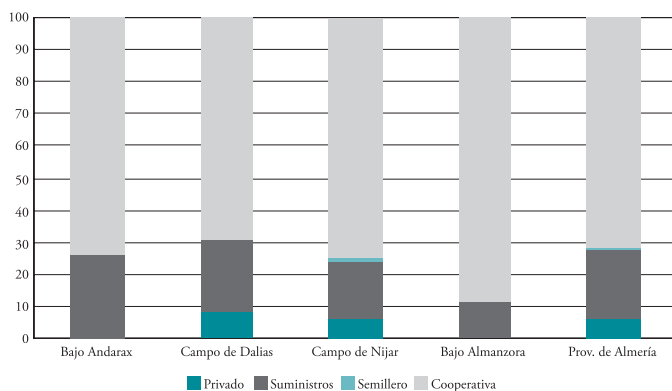
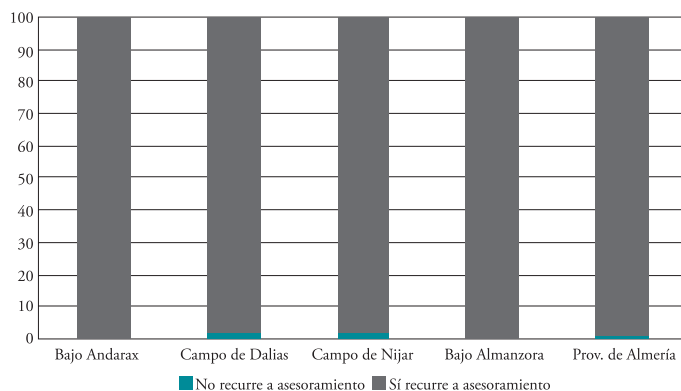


51. Exclusividad del lugar de venta. En porcentaje

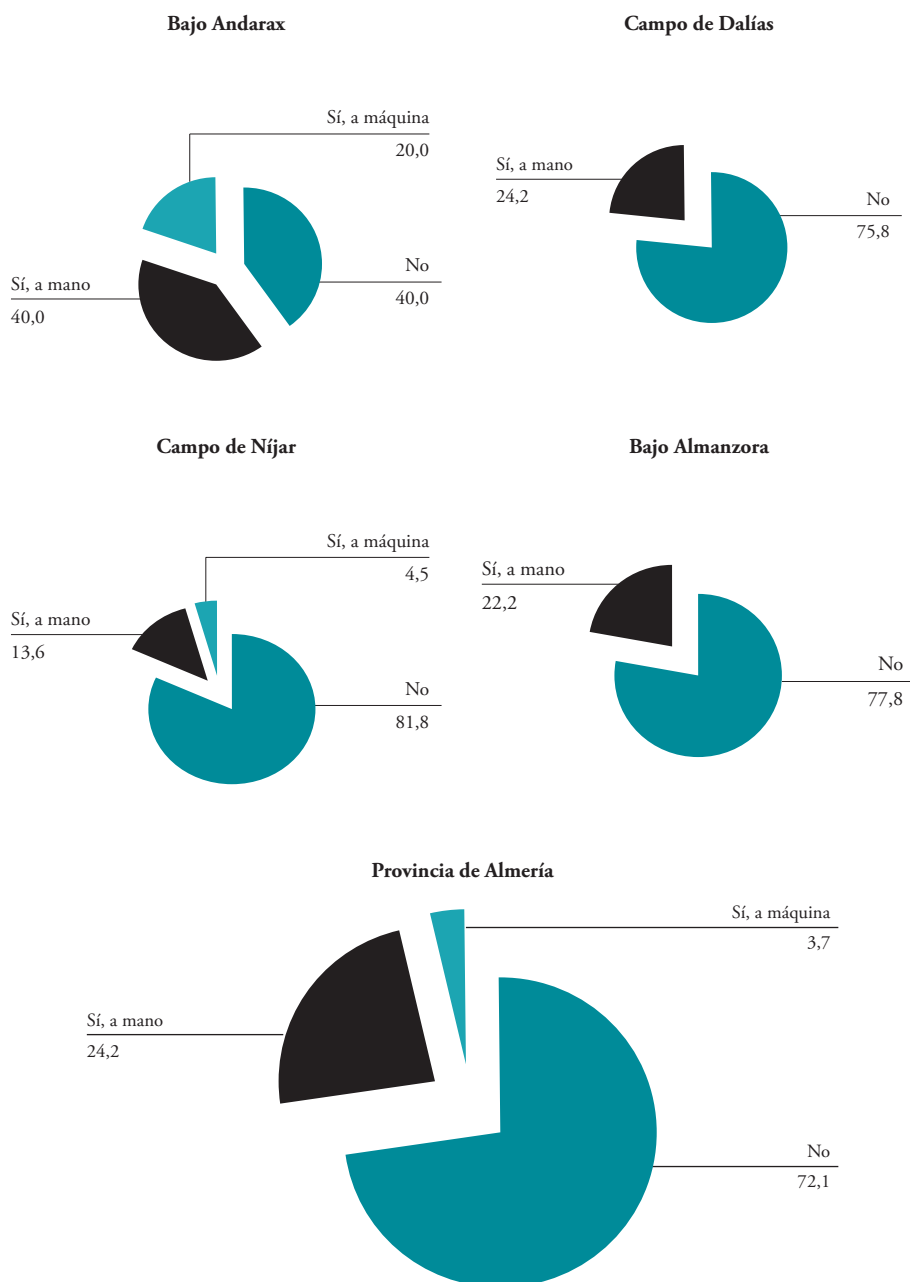




52. ¿Recurre a algún tipo de asesoramiento? ¿De que tipo? En porcentaje

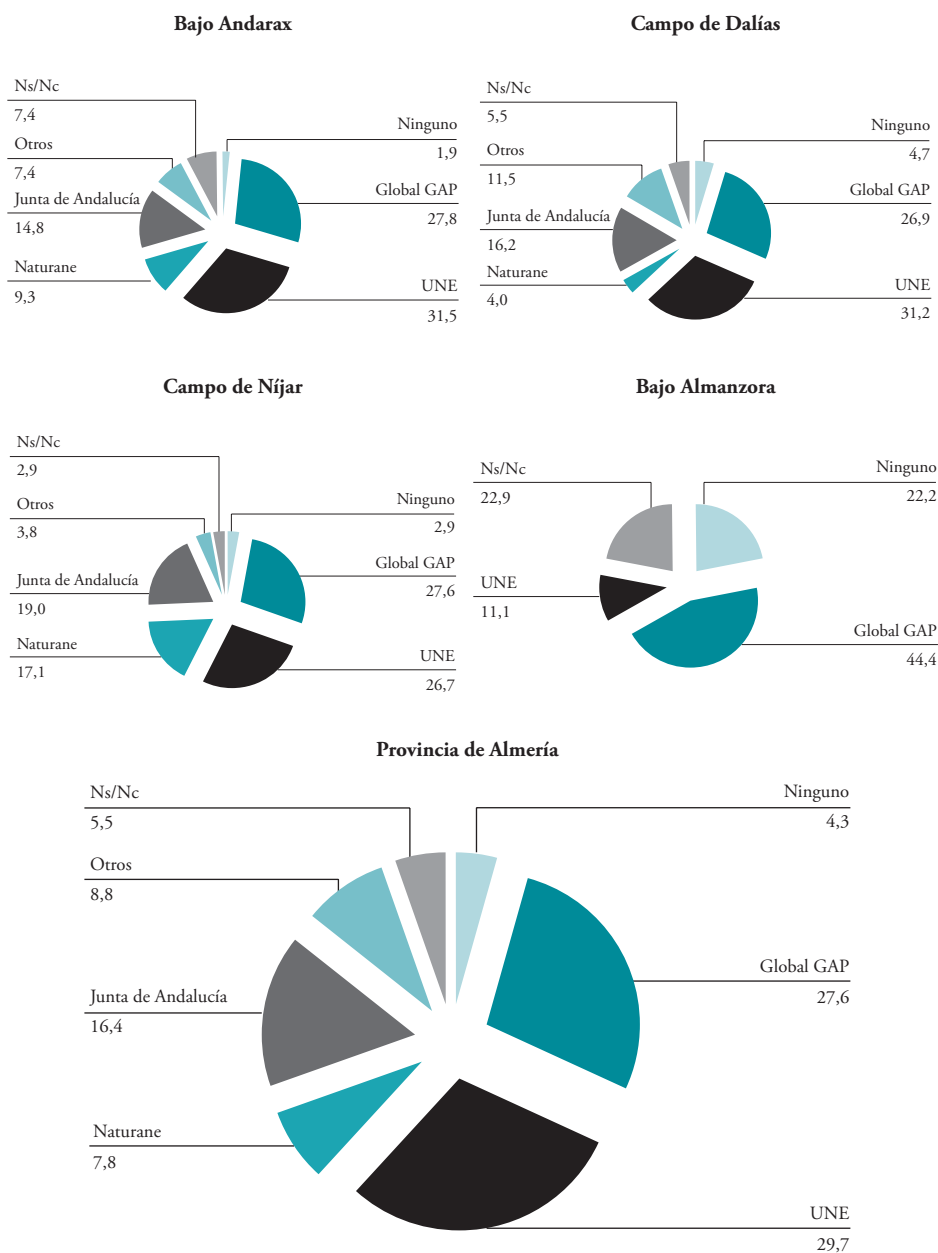


53. Arreglo del género antes de llevarlos al punto de venta. En porcentaje



* Promedio del tiempo dedicado ha sido de 37,5 % durante la recolección.

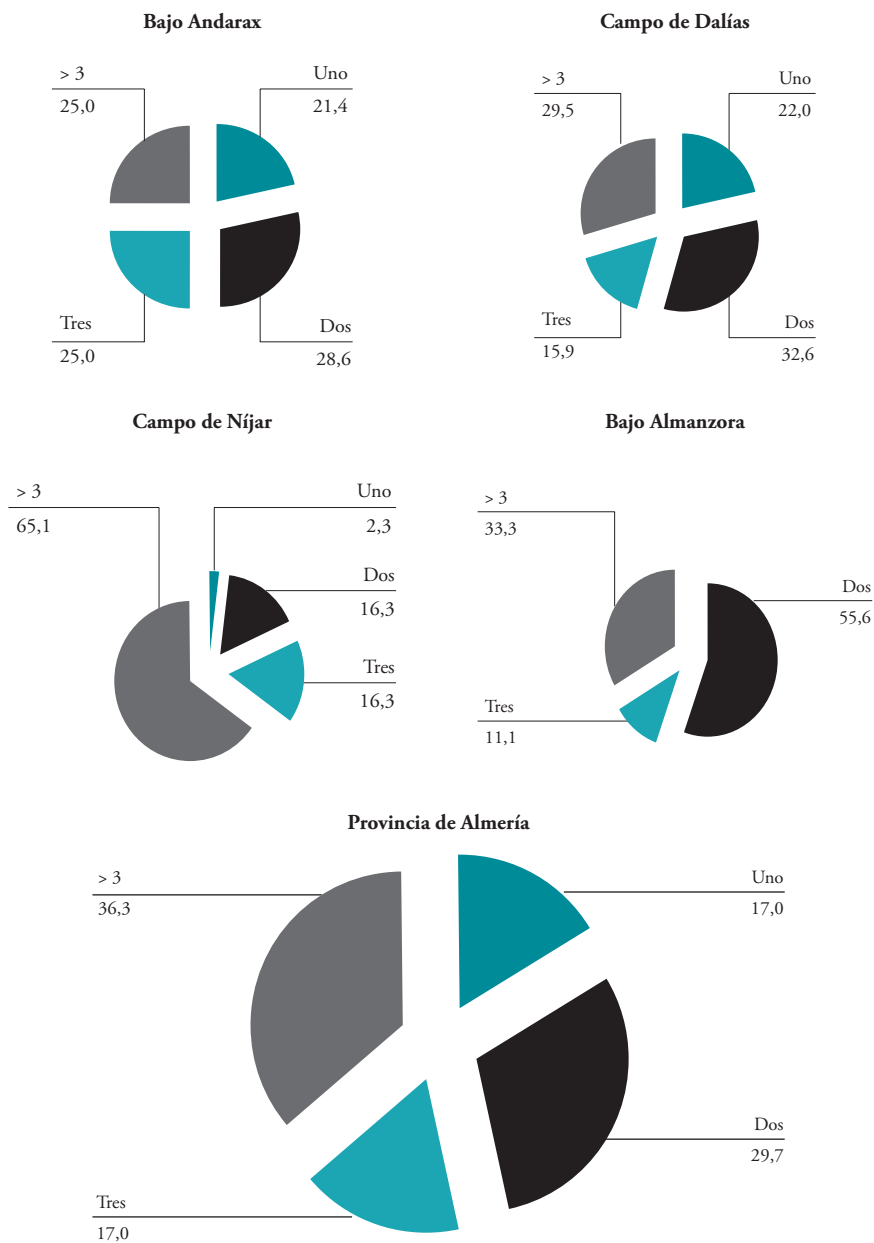
54. Sistemas de certificación o normas de buenas prácticas agrícolas. En porcentaje



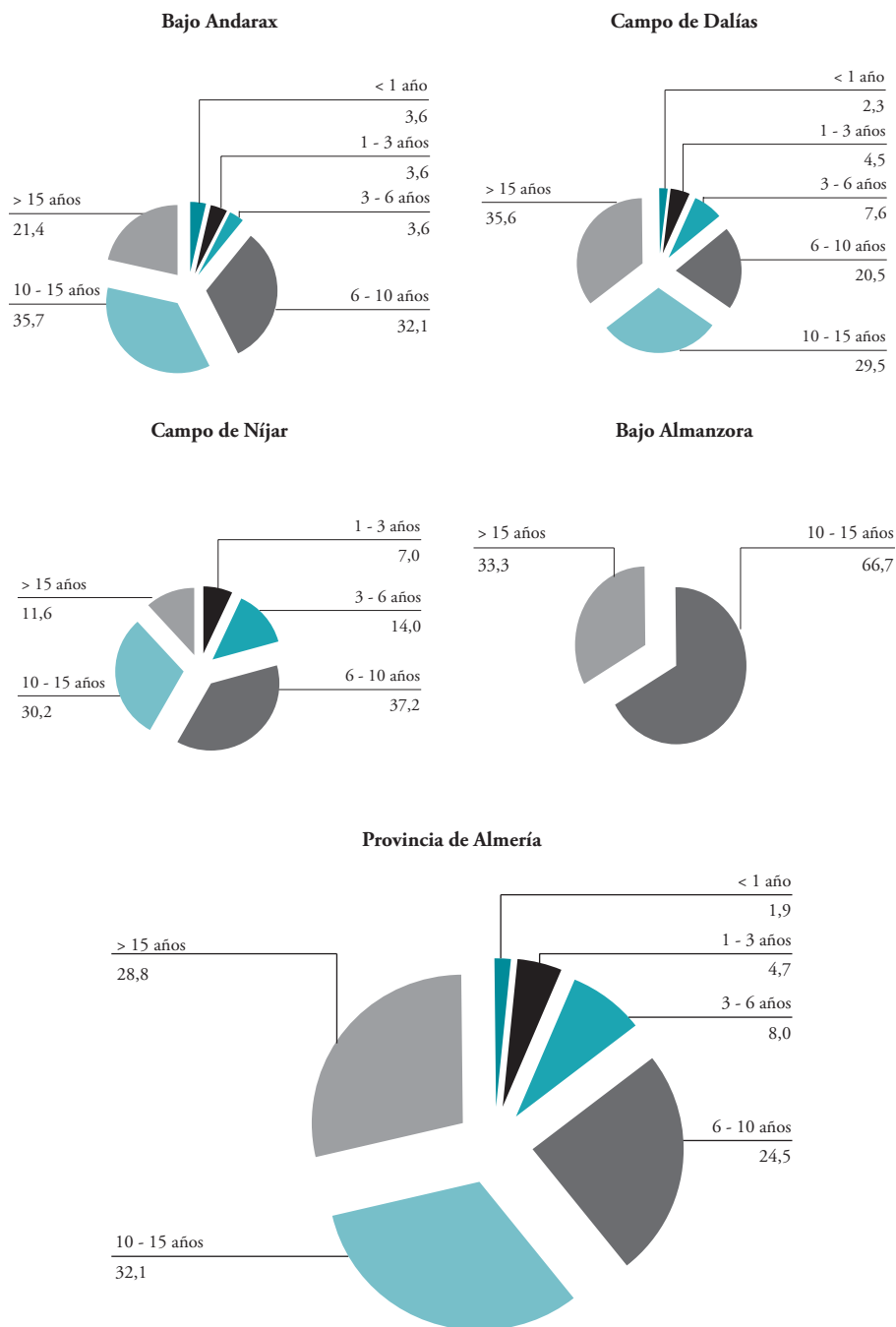
* Casi todos los encuestados están sometidos a varios sistemas de certificación. La media es 1,9 sistemas de certificación por agricultor

G. Estructura

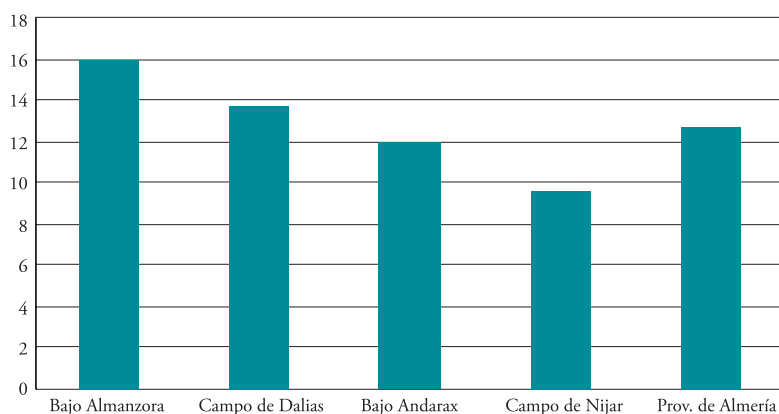
55. Número de invernaderos que poseen los agricultores. En porcentaje



56. Año de construcción del invernadero más representativo. En porcentaje



57. Antigüedad media del invernadero más representativo. En años

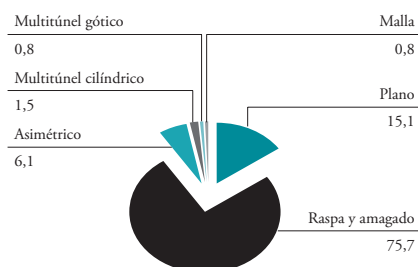


58. Tipo de invernaderos. En porcentaje

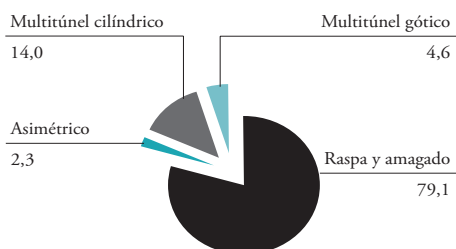
Bajo Andarax



Campo de Dalías

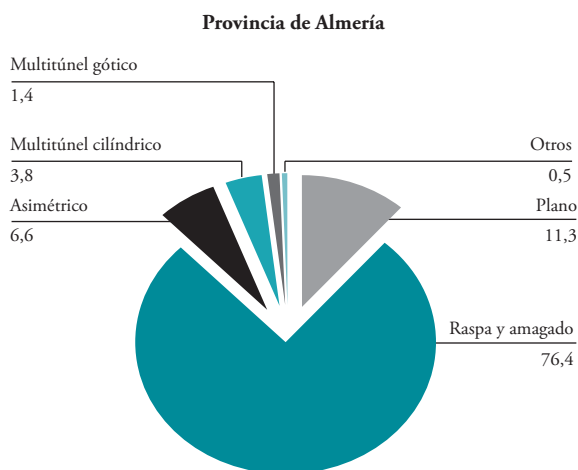


Campo de Níjar



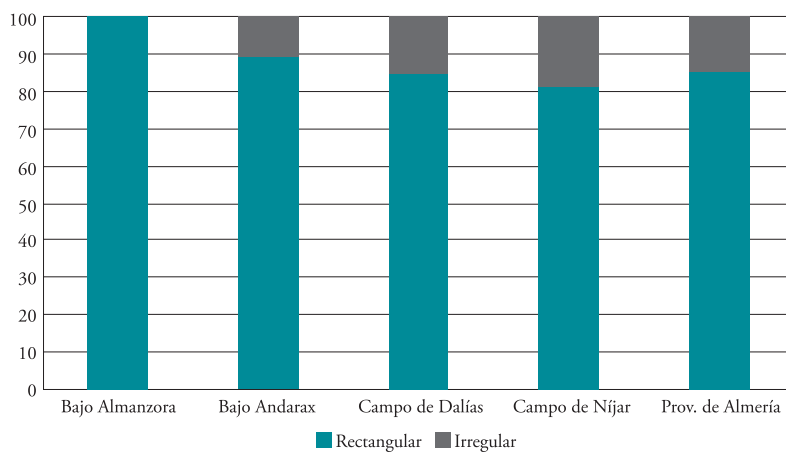
Bajo Almanzora



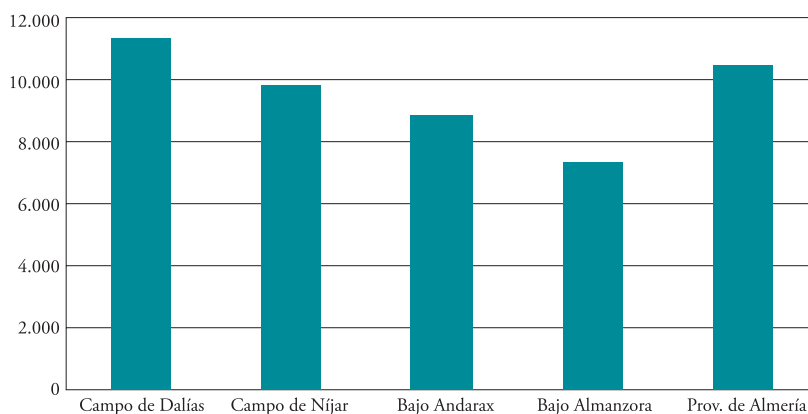


59. Geometría del invernadero. Número de descuadres. Superficie media por invernadero

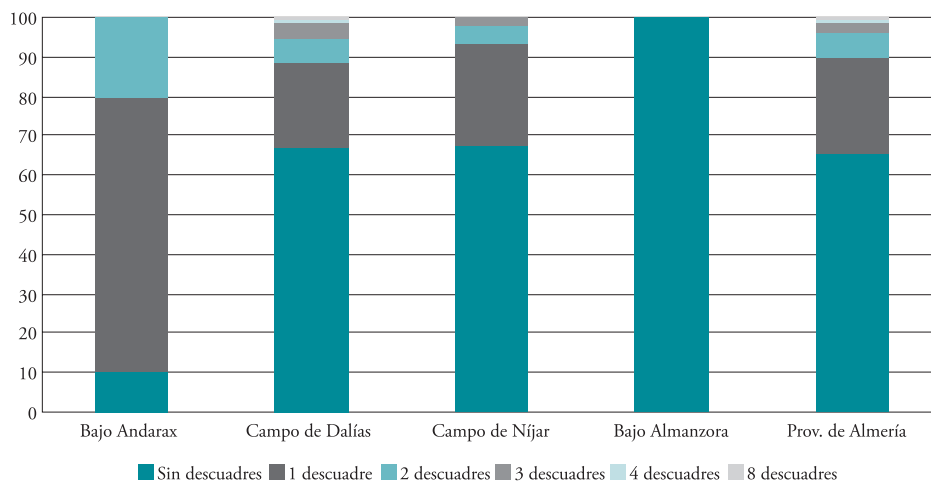
Geometría del invernadero. En porcentaje



Superficie media por invernadero. En m²

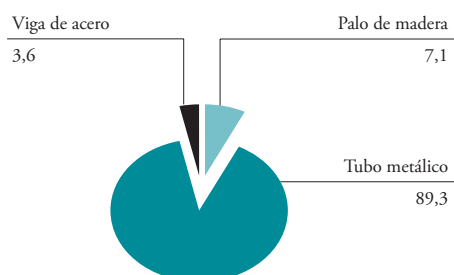


Número de descuadres. En porcentaje

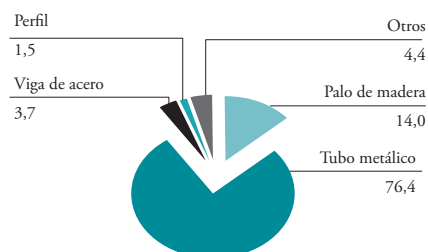


60. Tipos de apoyos interiores. En porcentaje

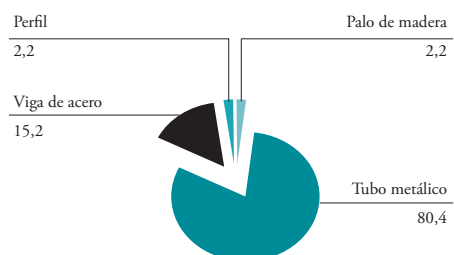
Bajo Andarax



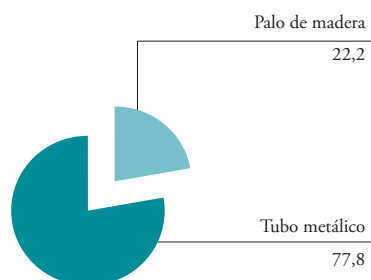
Campo de Dalías



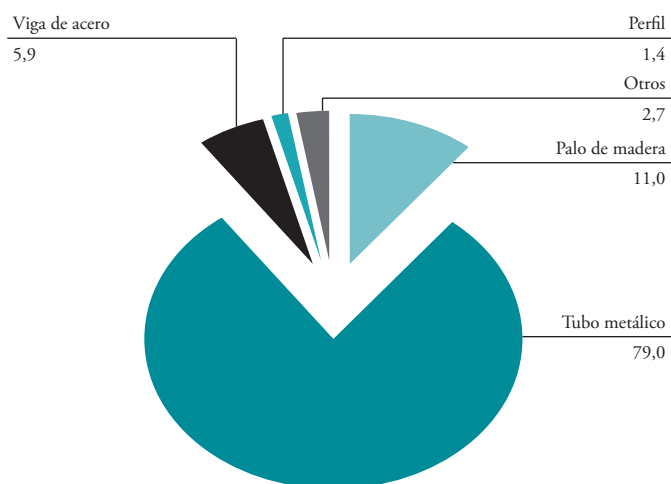
Campo de Níjar



Bajo Almanzora

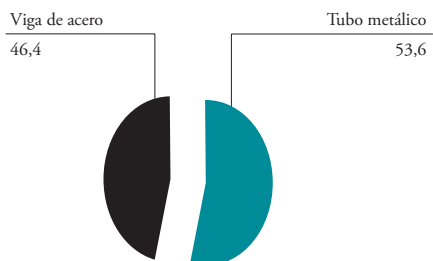


Provincia de Almería

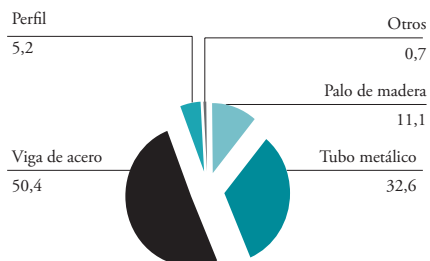


61. Tipos de apoyos perimetrales. En porcentaje

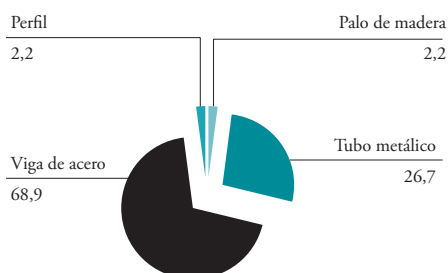
Bajo Andarax



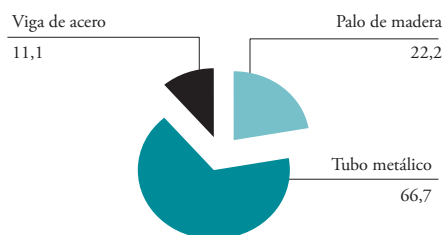
Campo de Dalías



Campo de Níjar



Bajo Almanzora

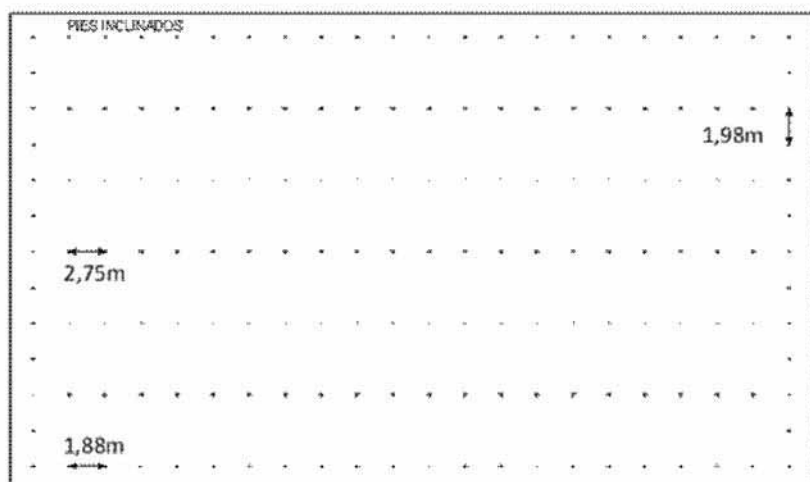


Provincia de Almería

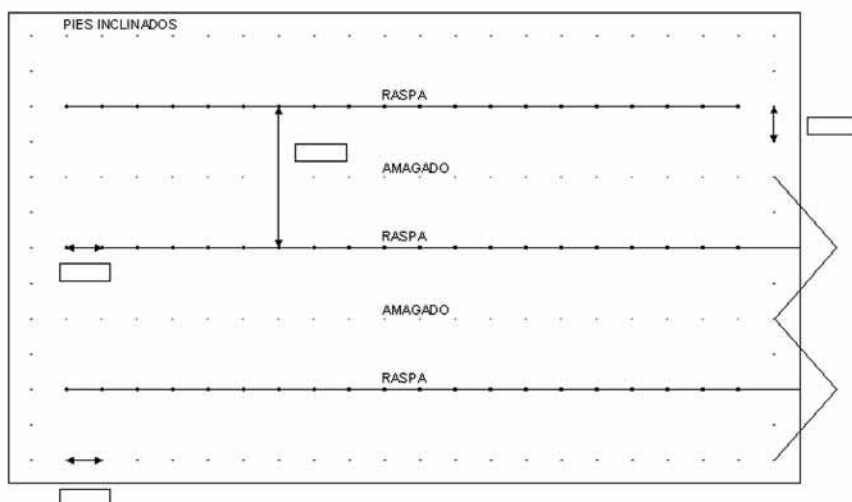


62. Separación entre apoyos

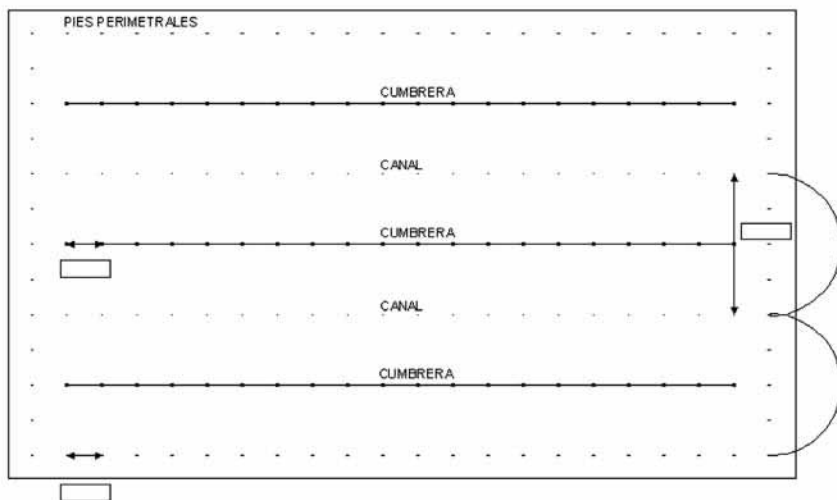
Separación entre apoyos en invernaderos planos en la provincia de Almería



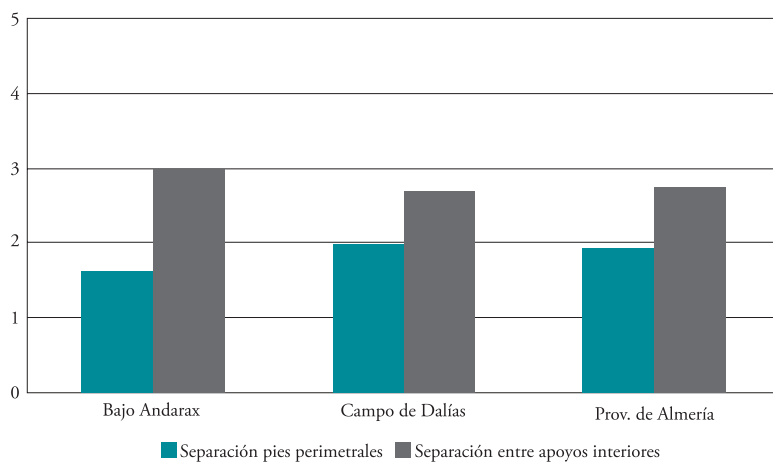
Separación entre apoyos en invernaderos raspa y amagado en la provincia de Almería



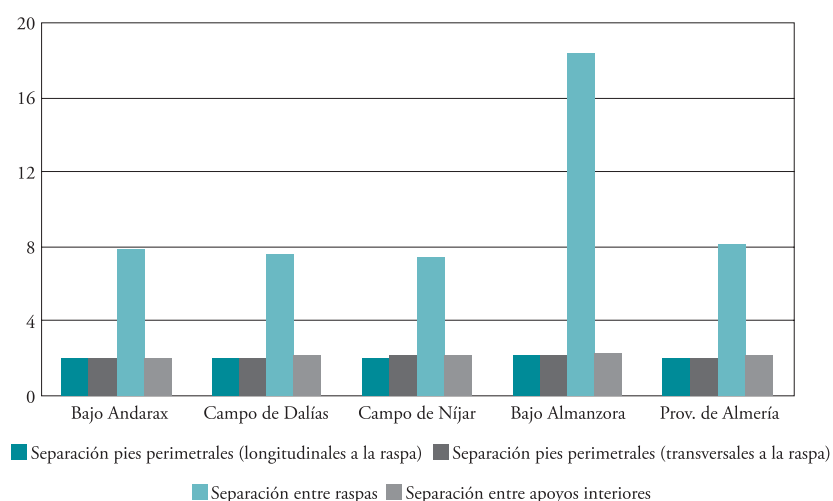
Separación entre apoyos en invernaderos multitúnel en la provincia de Almería



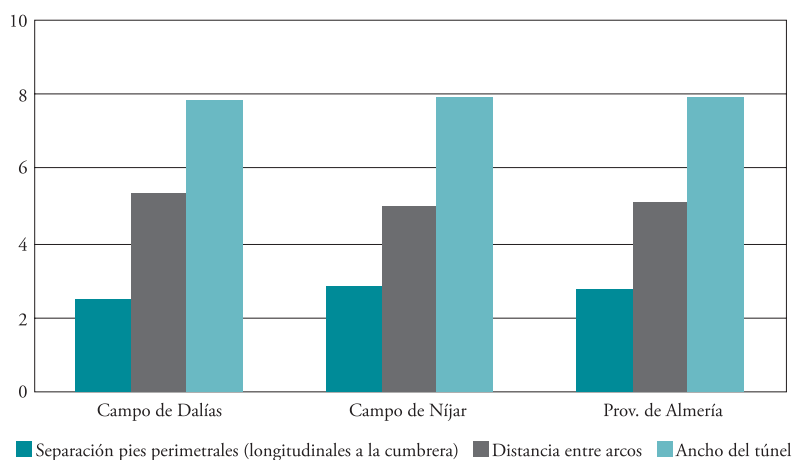
Separación entre apoyos en invernaderos planos. En metros



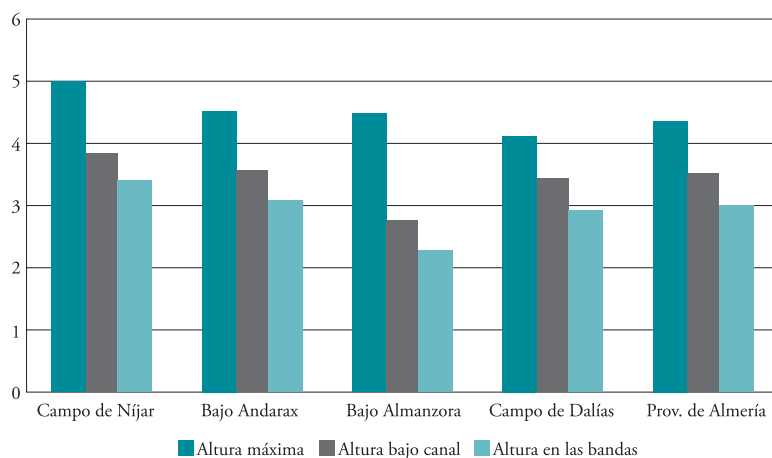
Separación entre apoyos en invernaderos raspa y amagado. En metros



Separación entre apoyos en invernaderos multitúnel. En metros

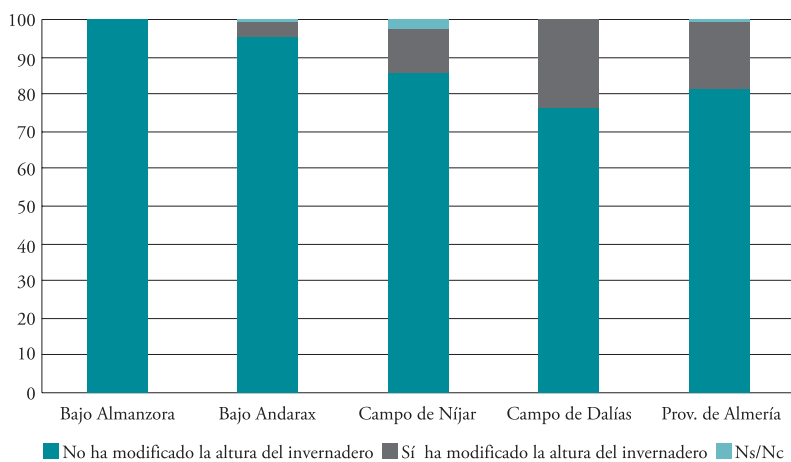


63. Altura media del invernadero. En metros

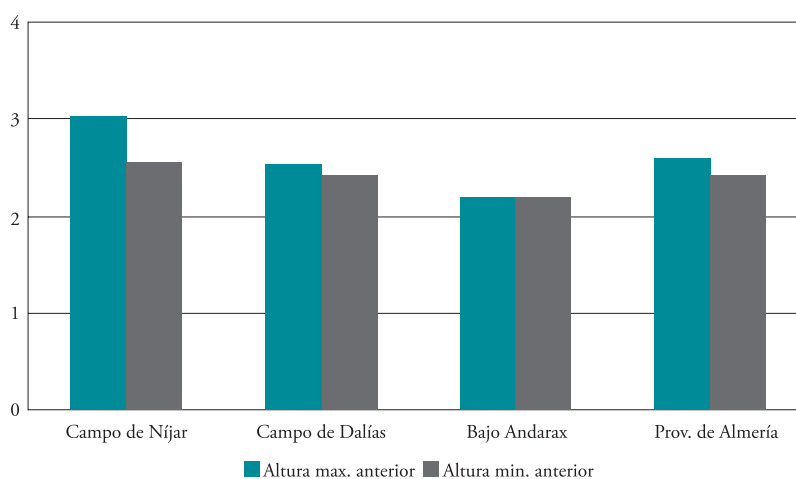


64. ¿Ha modificado la altura del invernadero? ¿Qué altura tenía antes?

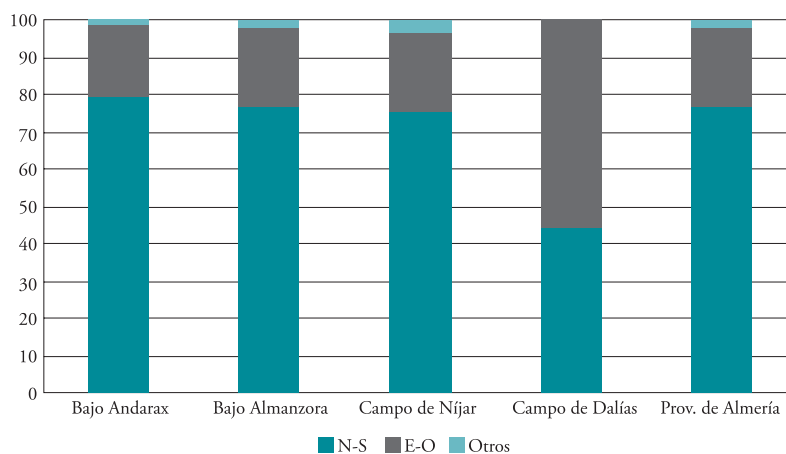
Modificación de la altura del invernadero. En porcentaje



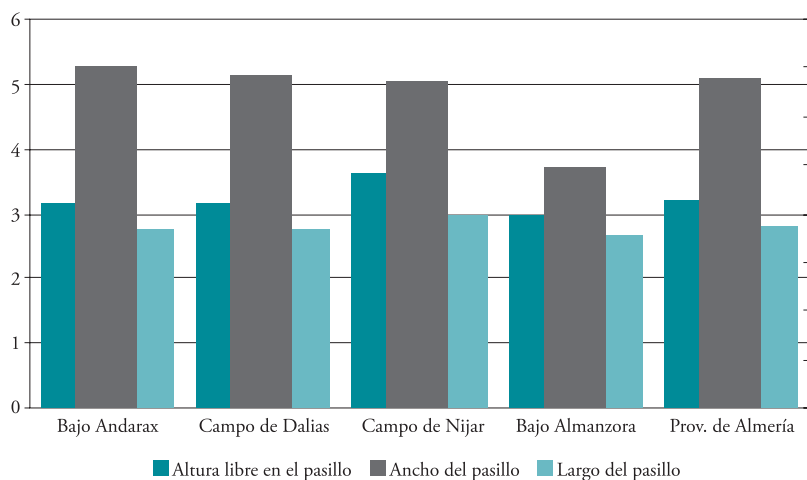
Altura anterior del invernadero. En metros



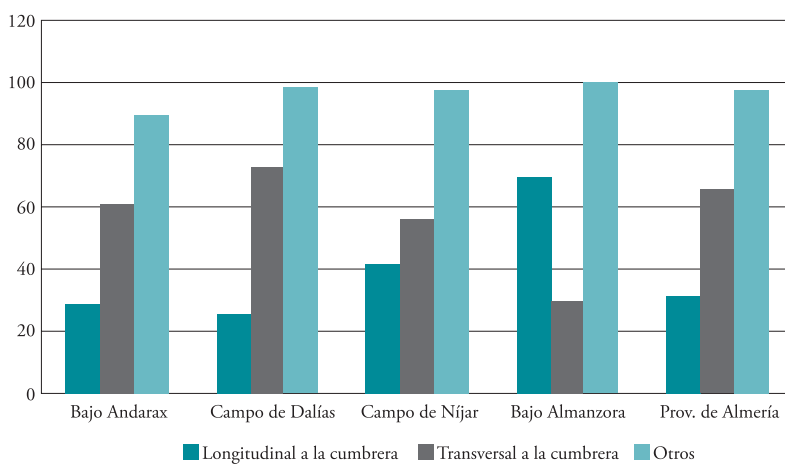
65. Orientación del invernadero. En porcentaje



66. Dimensiones del pasillo. En metros

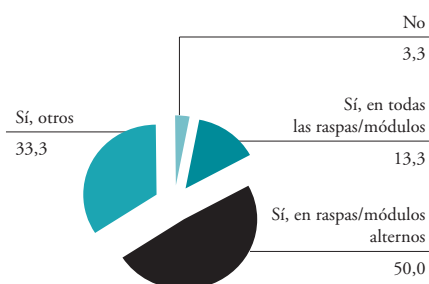


67. Orientación del pasillo. En porcentaje

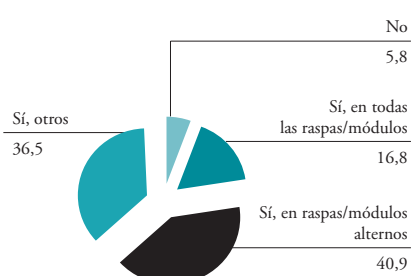


68. Disposición de ventilación cenital. En porcentaje

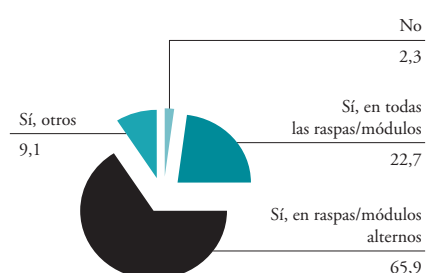
Bajo Andarax



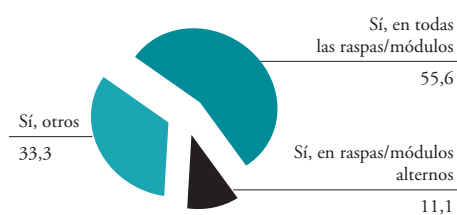
Campo de Dalías



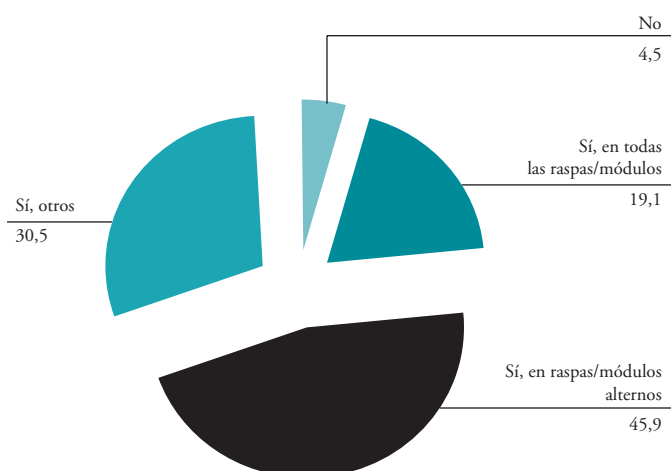
Campo de Níjar



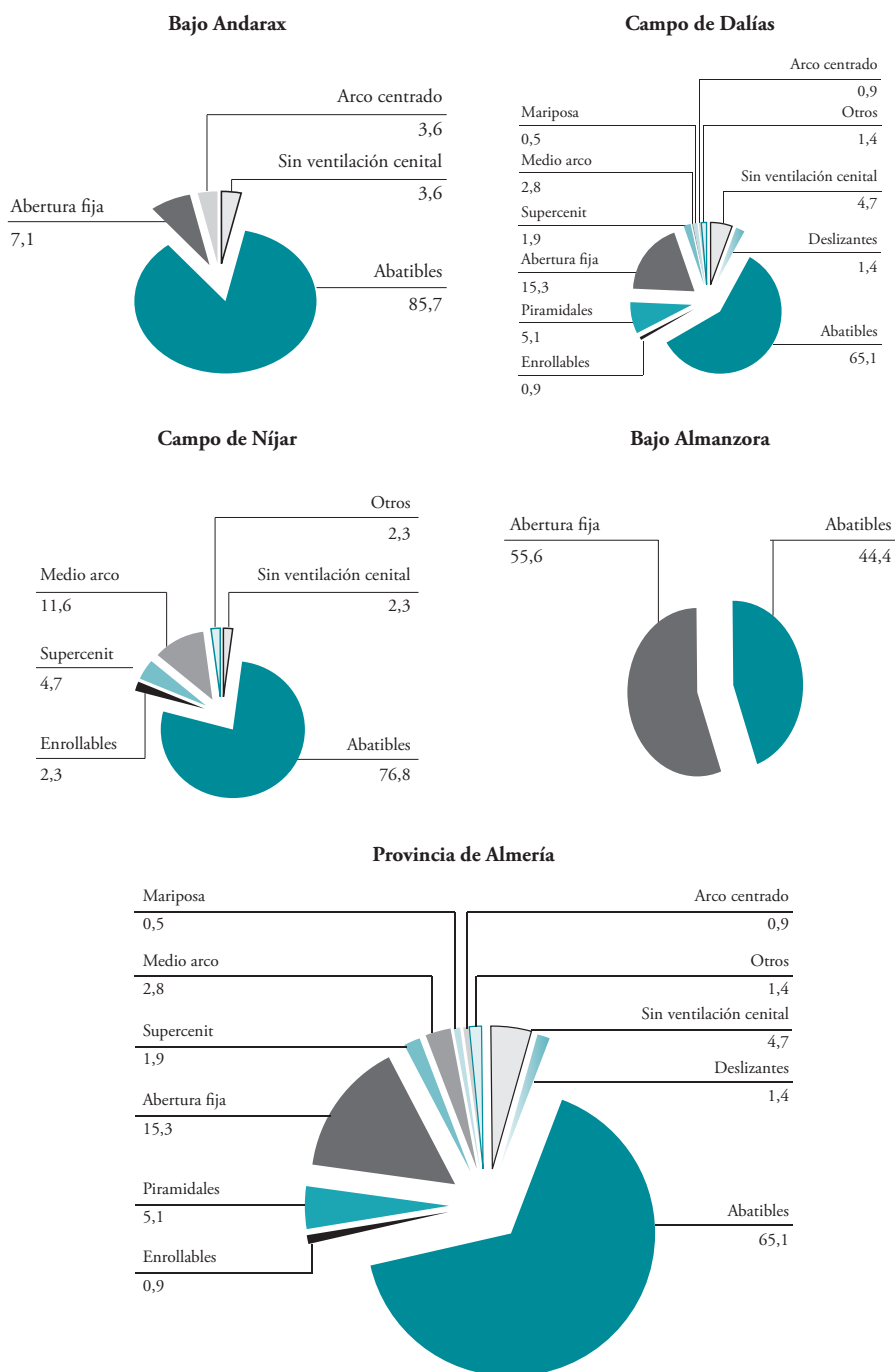
Bajo Almanzora



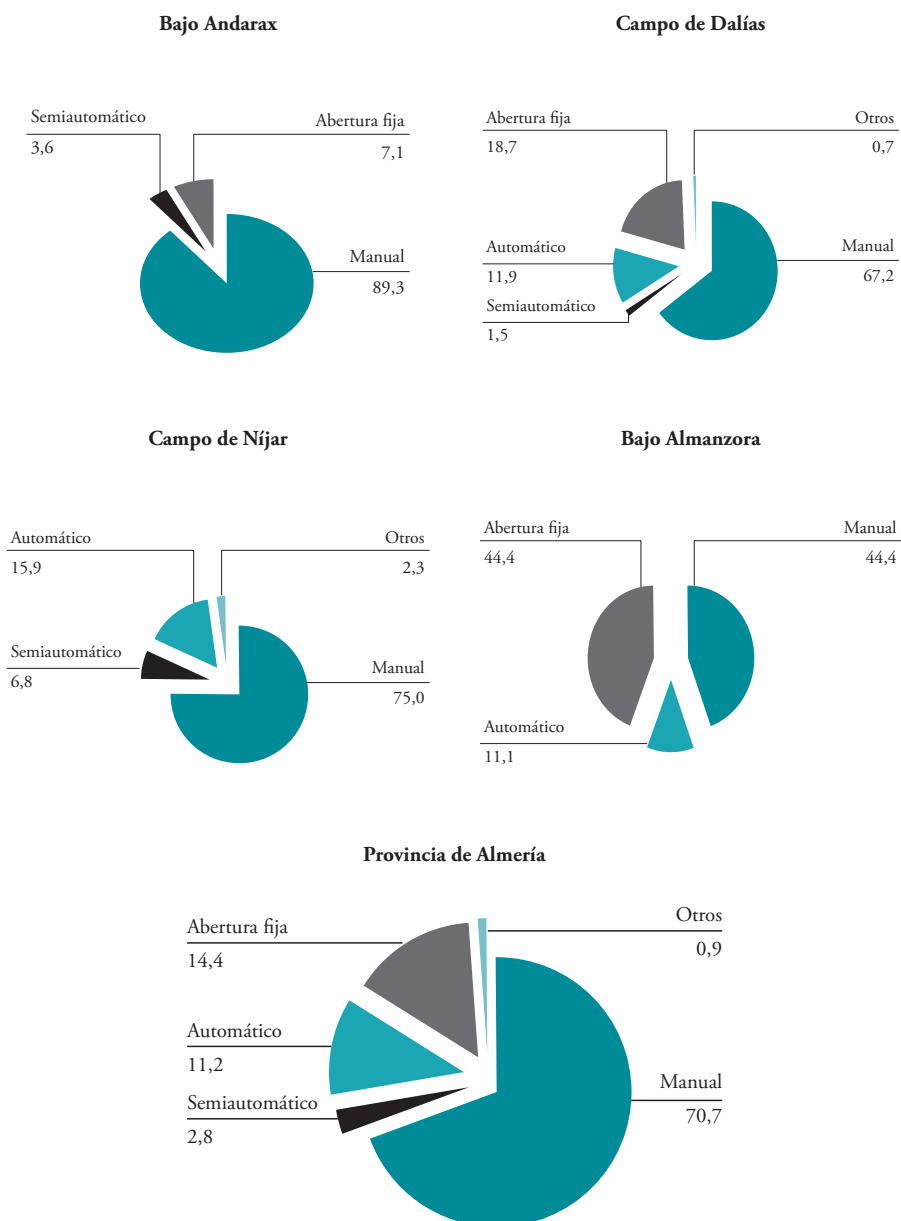
Provincia de Almería



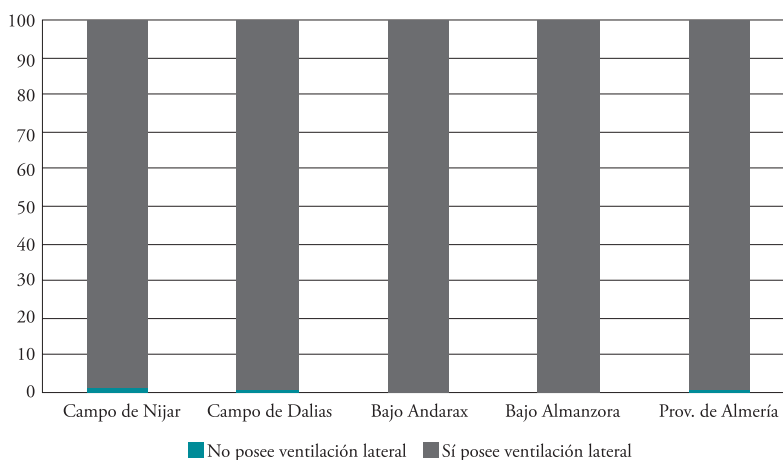
69. Tipo de ventilación cenital. En porcentaje



70. Accionamiento de las ventanas cenitales. En porcentaje

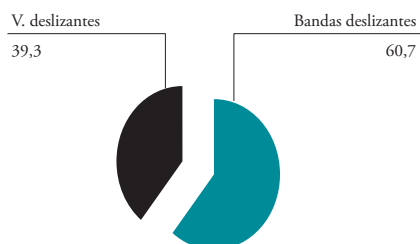


71. Disposición de ventilación lateral. En porcentaje

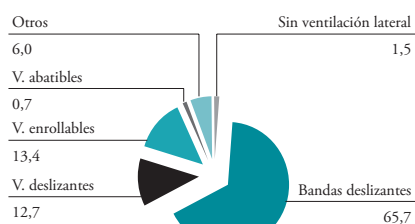


72. Tipo de ventanas laterales. En porcentaje*

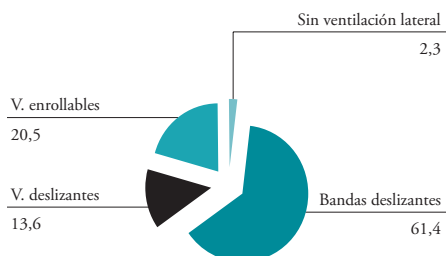
Bajo Andarax



Campo de Dalías

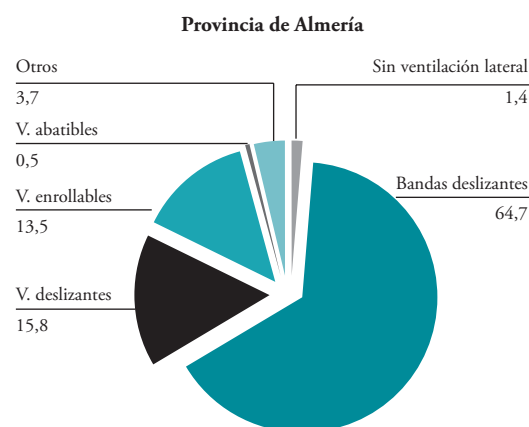


Campo de Níjar



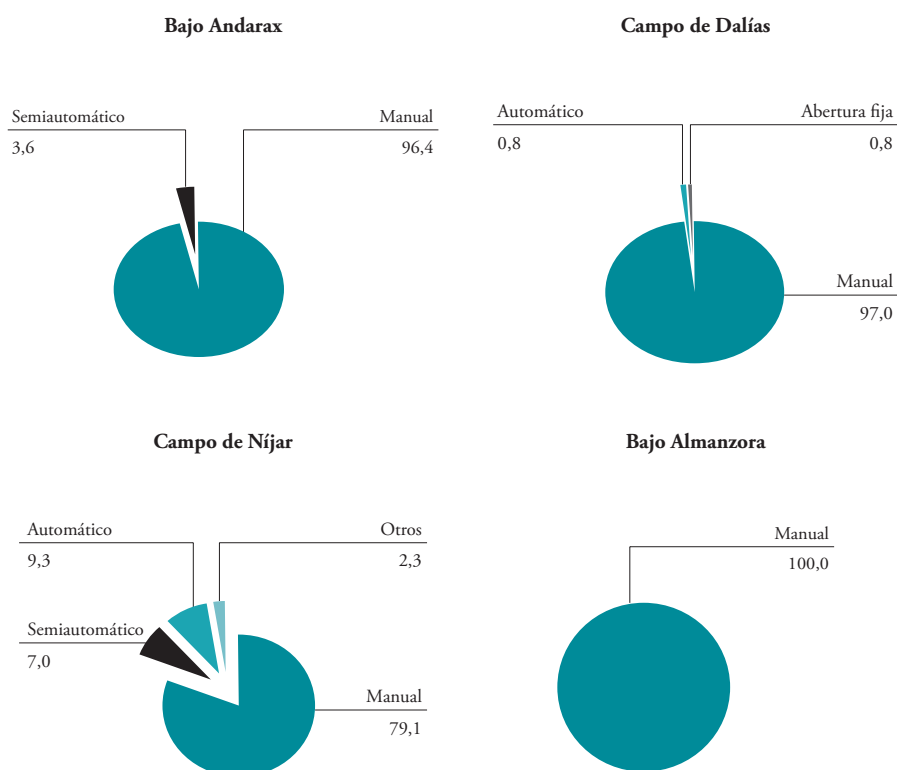
Bajo Almanzora

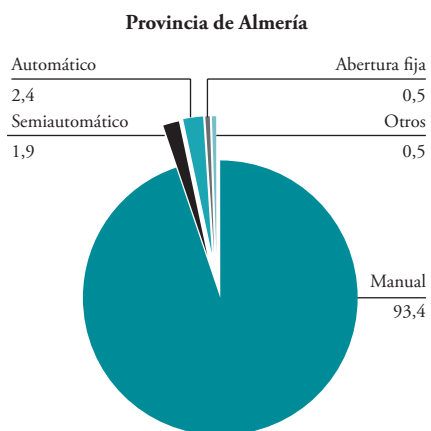




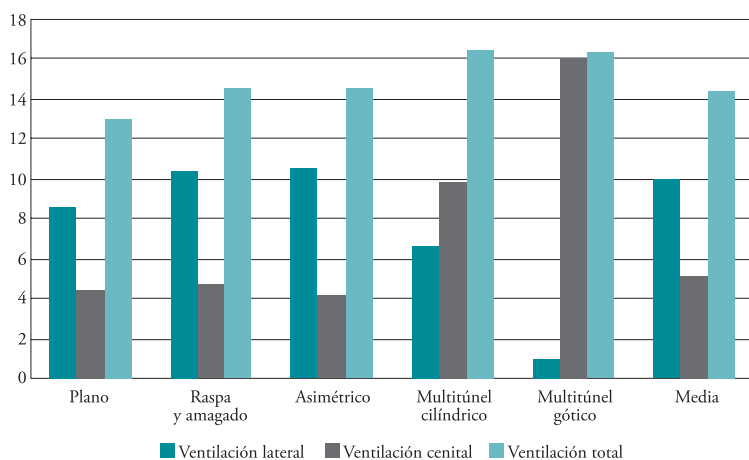
* El valor complementario al 100% corresponde a los agricultores que han declarado Ns/Nc.

73. Accionamiento de las ventanas laterales. En porcentaje

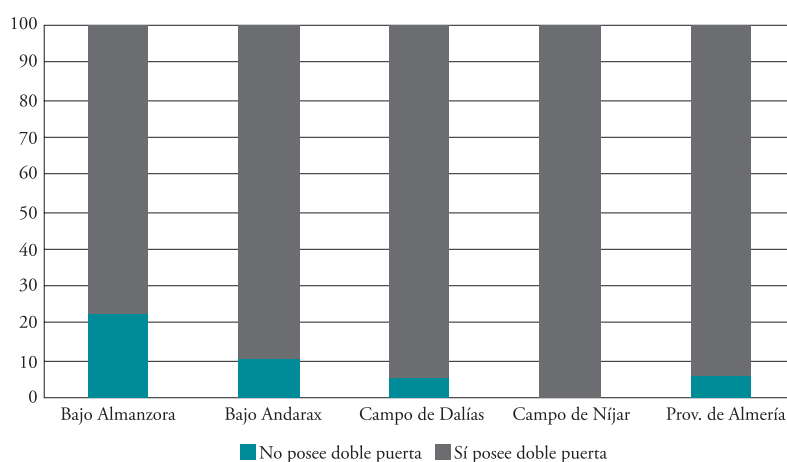




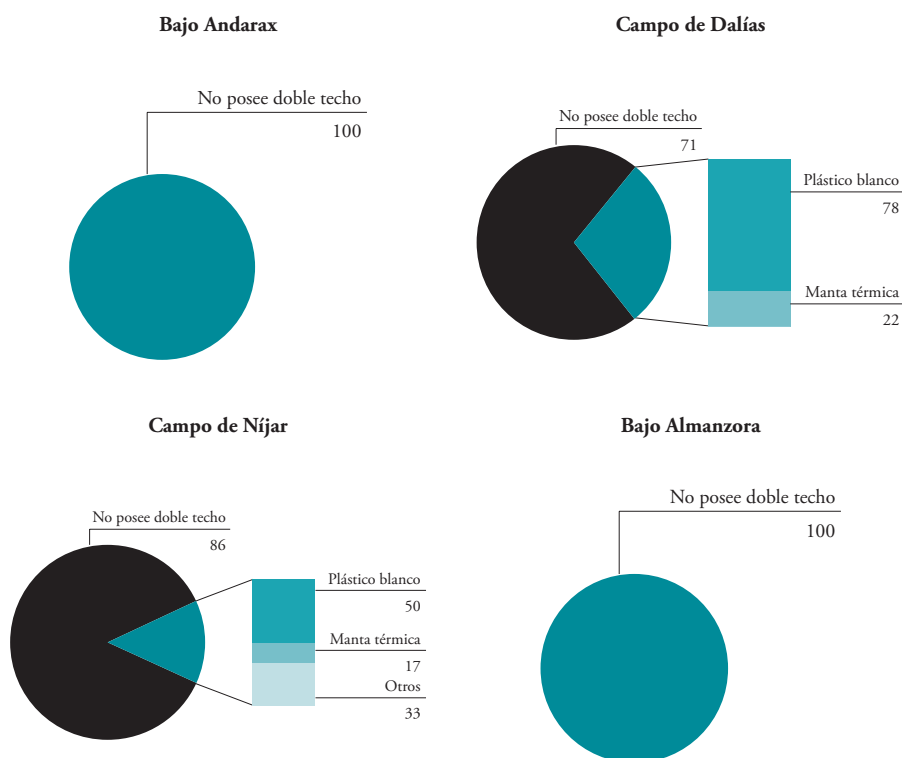
Porcentaje de ventilación

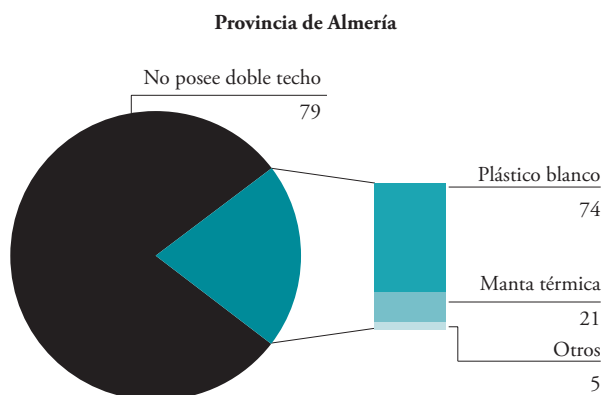


74. Disposición de doble puerta en el invernadero. En porcentaje

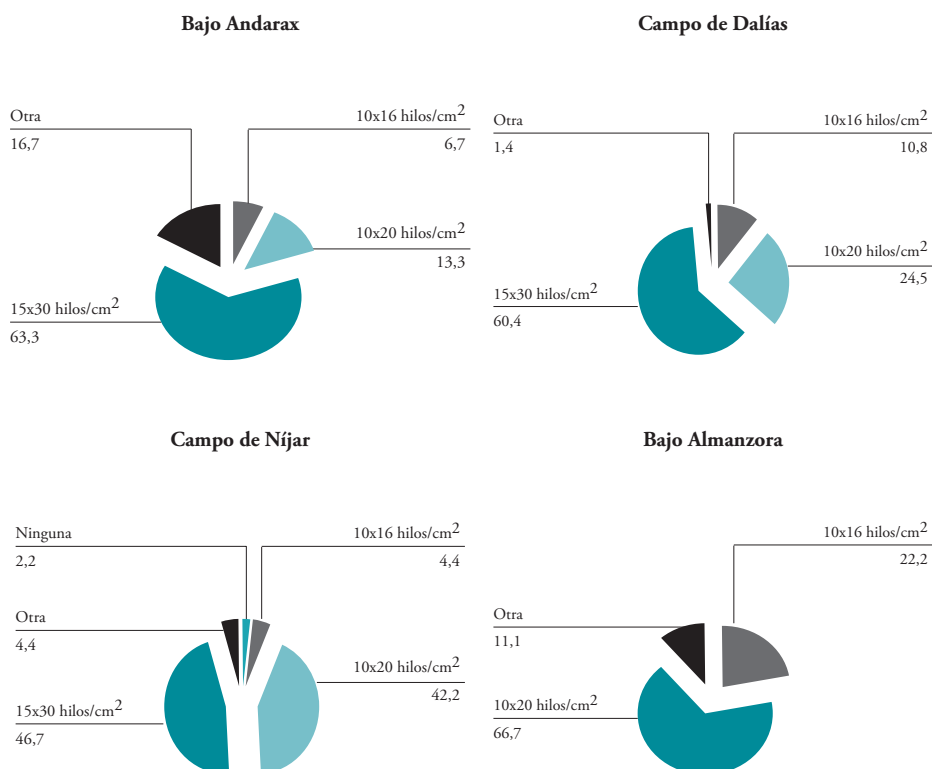


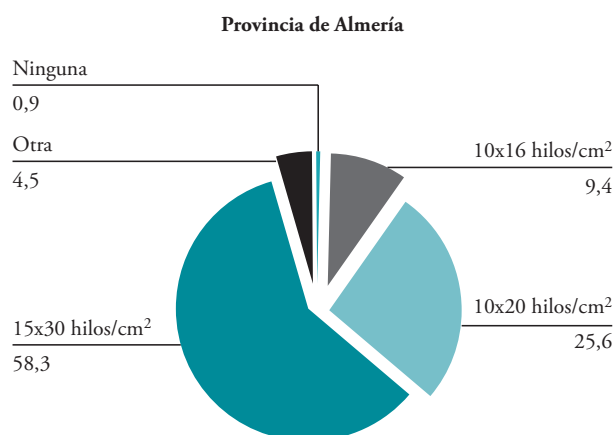
75. Tipo de doble techo en el invernadero. En porcentaje





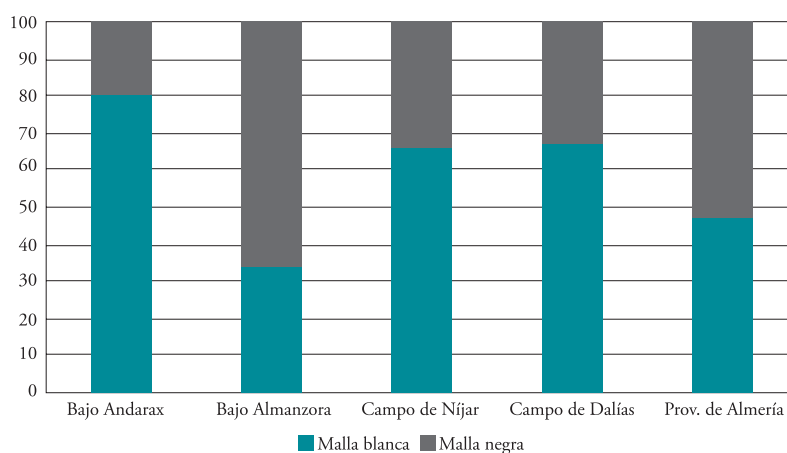
76. Tipos de mallas anti-insectos en las ventanas laterales. En porcentaje*



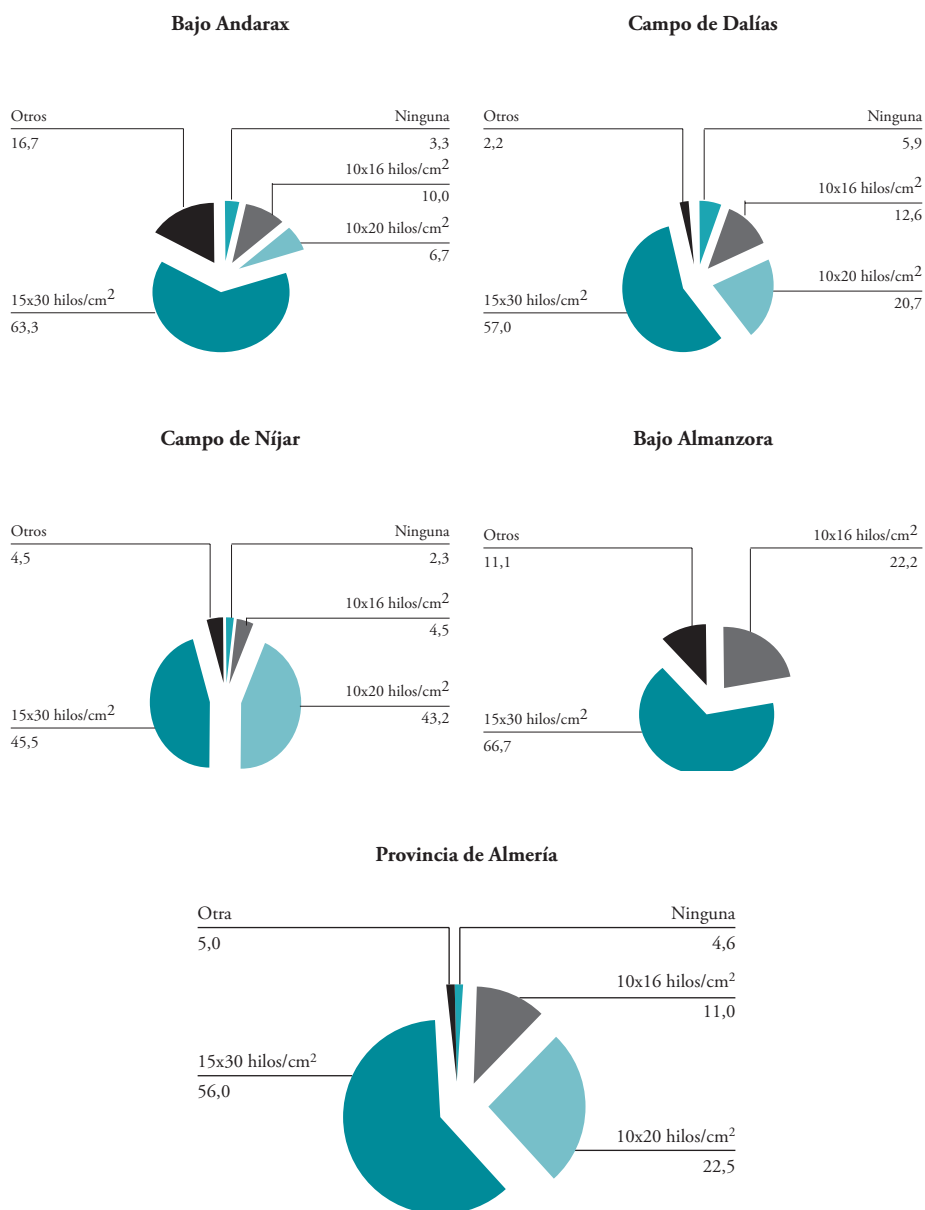


* El valor complementario al 100% corresponde a los agricultores que han declarado Ns/Nc.

Color de las mallas anti-insectos en las ventanas laterales. En porcentaje

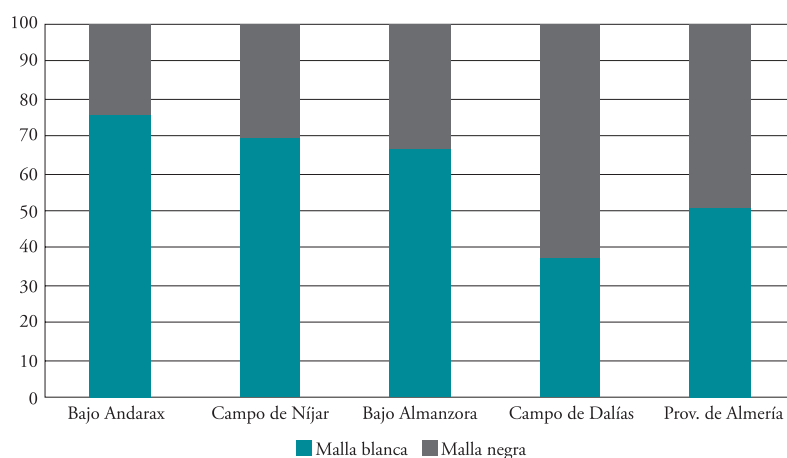


77. Tipos de mallas anti-insectos en las ventanas cenitales. En porcentaje*

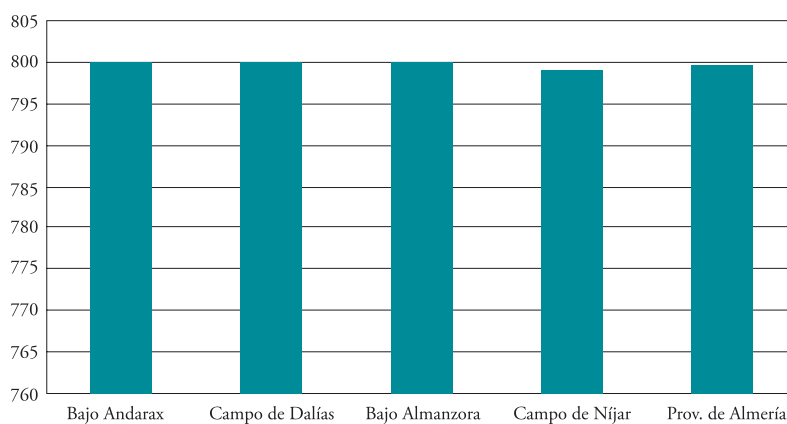


* El valor complementario al 100% corresponde a los agricultores que han declarado Ns/Nc.

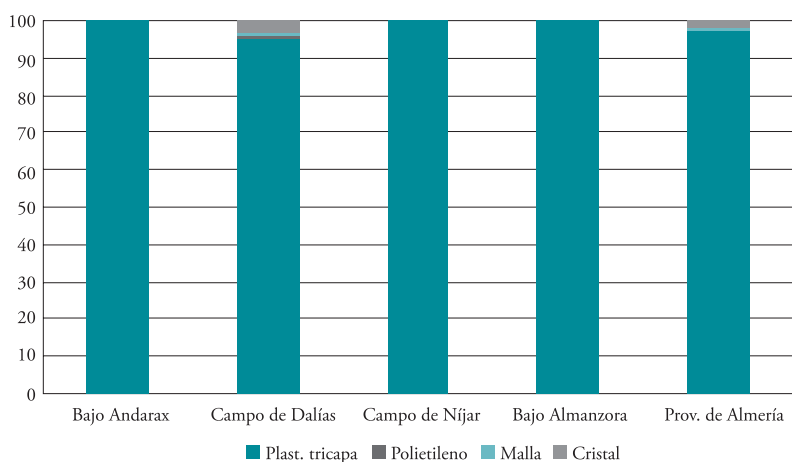
Color de las mallas anti-insectos en las ventanas laterales. En porcentaje



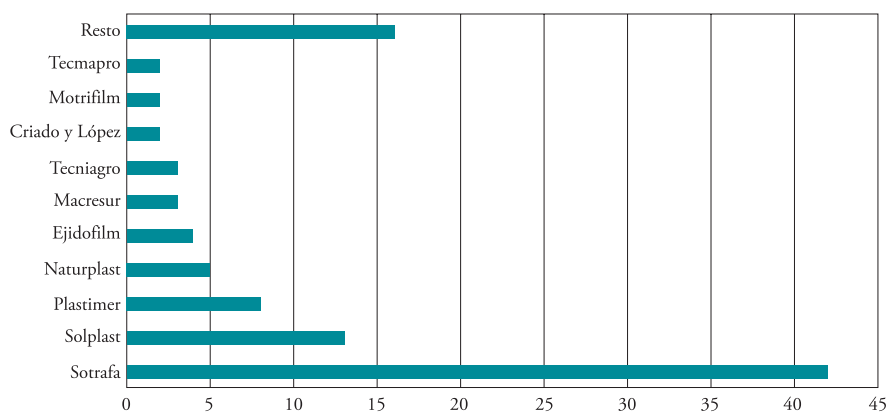
78. Espesor del plástico. En galgas



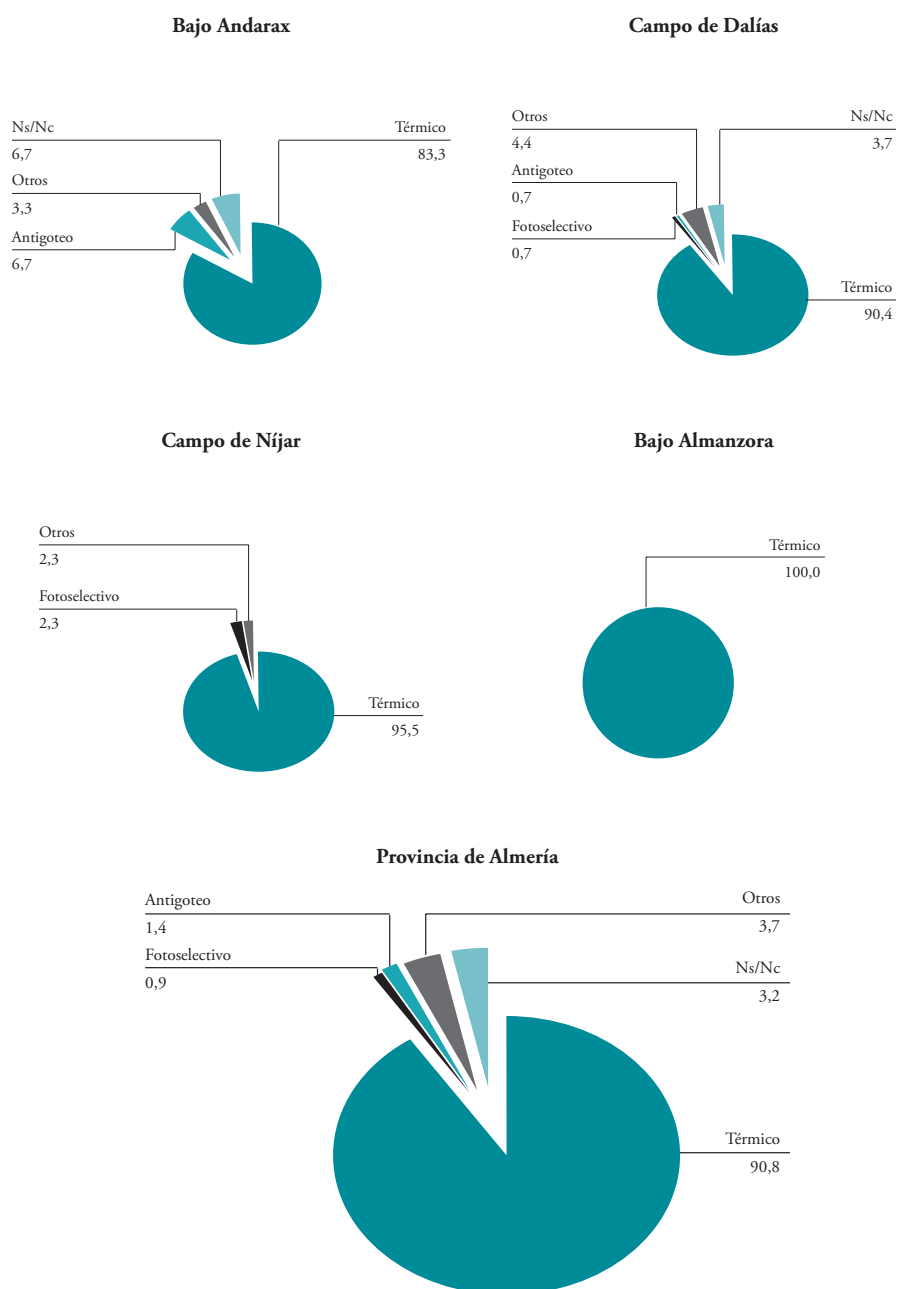
79. Material de la cubierta. En porcentaje



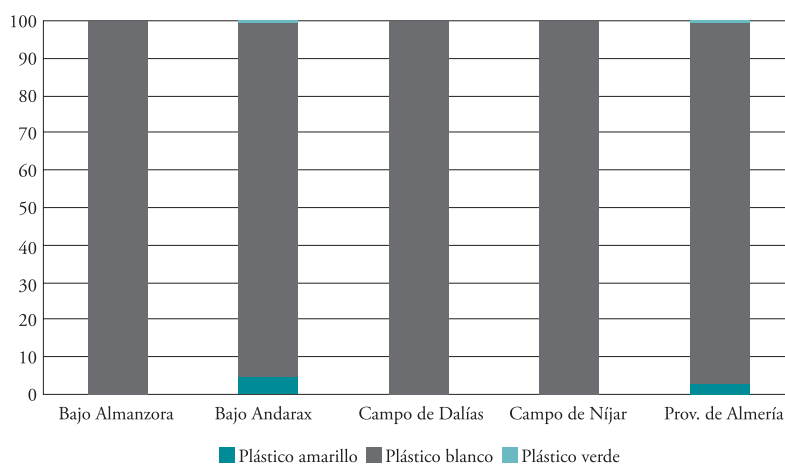
Proveedor del plástico de cubierta. En porcentaje



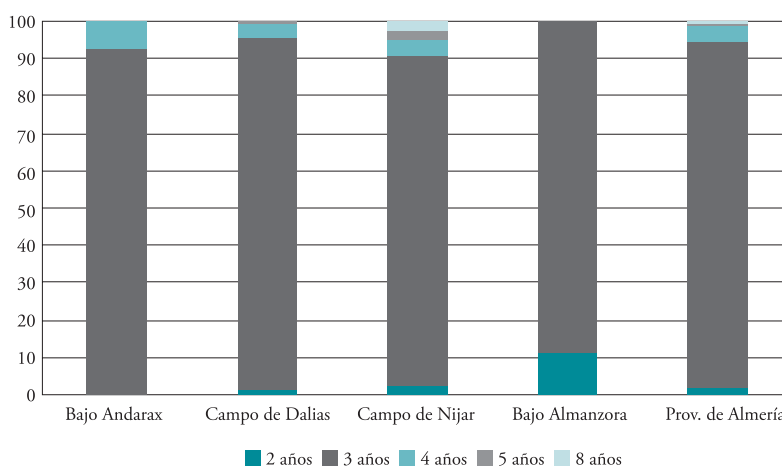
80. Características del material de cubierta. En porcentaje



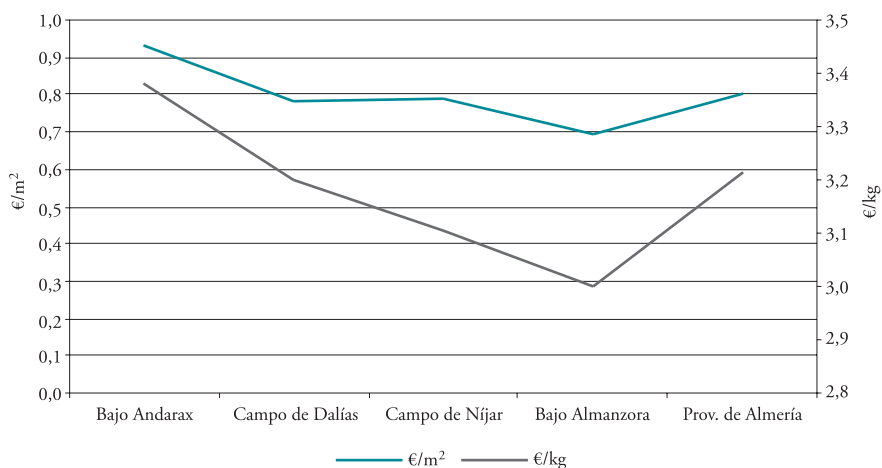
81. Coloración del plástico de cubierta. En porcentaje



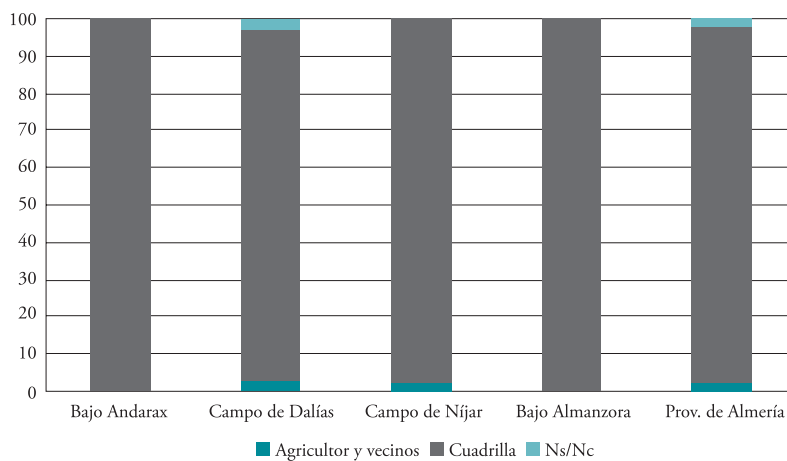
82. Duración del plástico de cubierta. En porcentaje



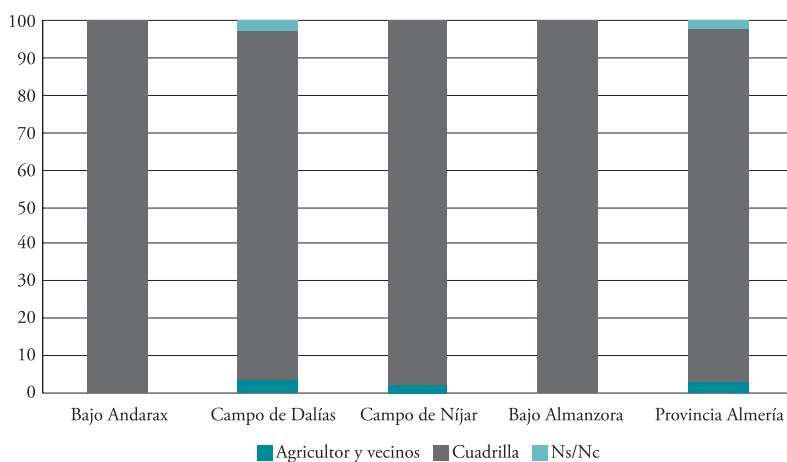
83. Coste del plástico de cubierta



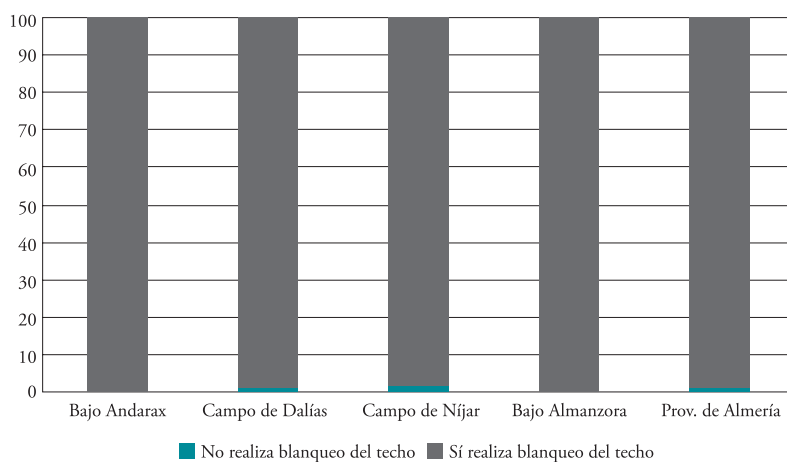
84. Personas que realizan el «echado de plástico». En porcentaje



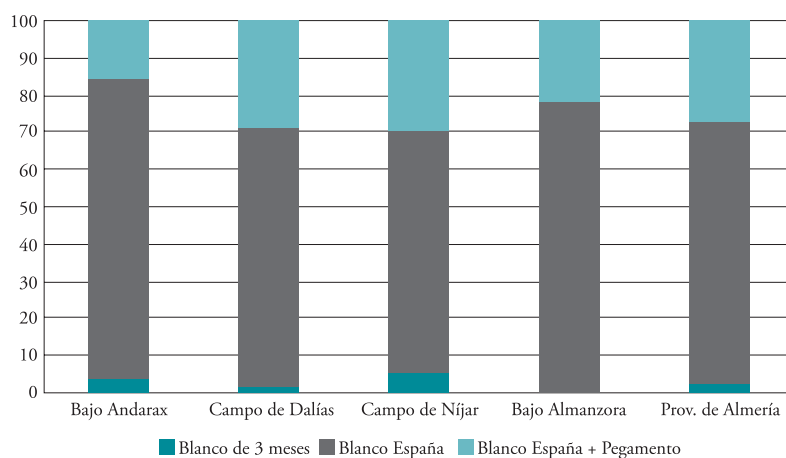
85. Personas que realizan el «quitado de plástico». En porcentaje



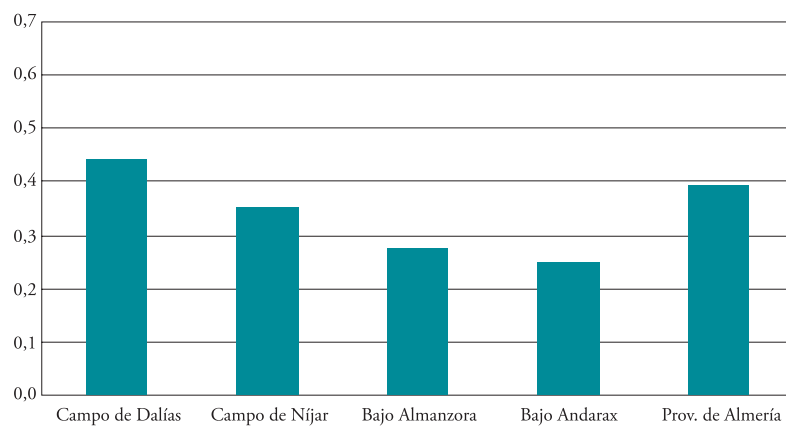
86. Realización del blanqueo de techo. En porcentaje



Producto usado en el blanqueo de techo. En porcentaje

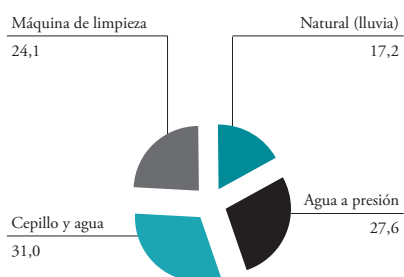


Dosis usada en el blanqueo de techo. En kg ha⁻¹

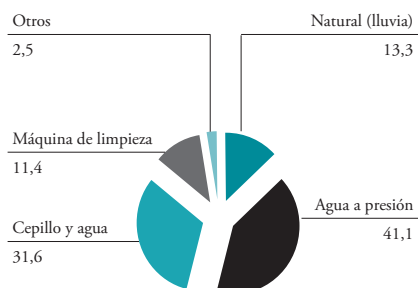


87. Cómo se realiza la limpieza de techo. En porcentaje

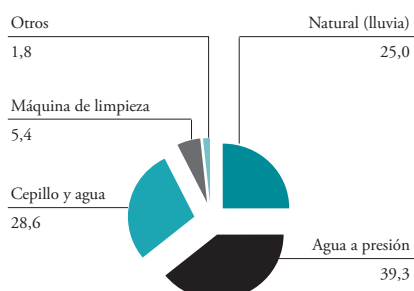
Bajo Andarax



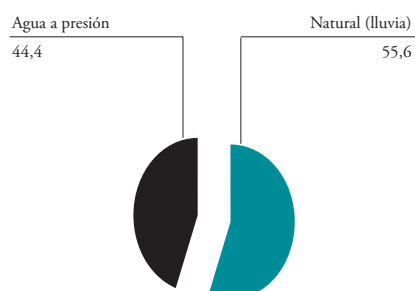
Campo de Dalías



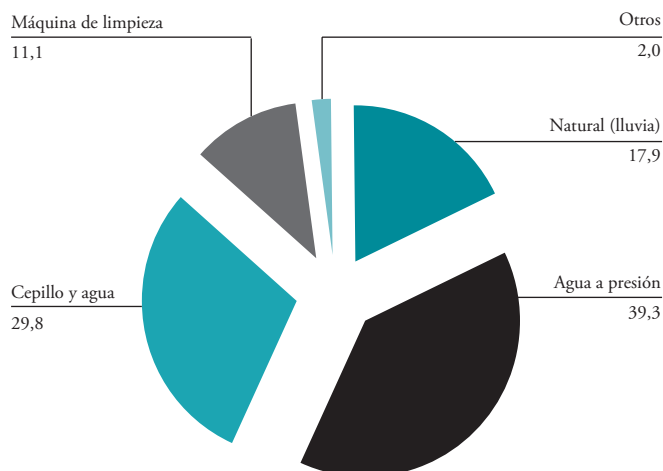
Campo de Níjar



Bajo Almanzora

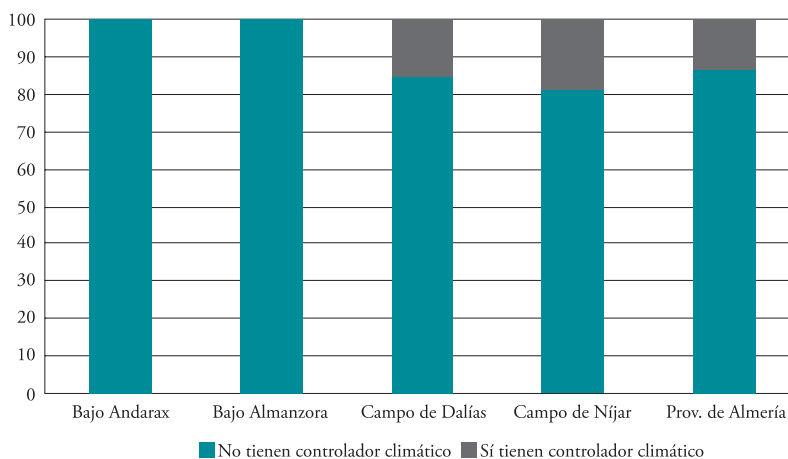


Provincia de Almería



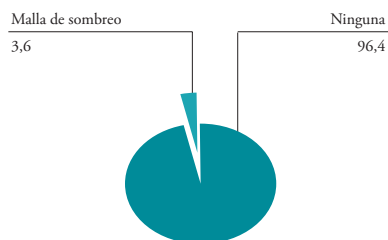
H. Sistemas de control climático

88. Disposición de controlador climático. En porcentaje

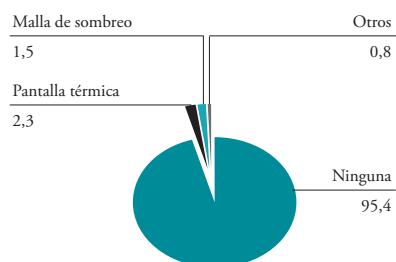


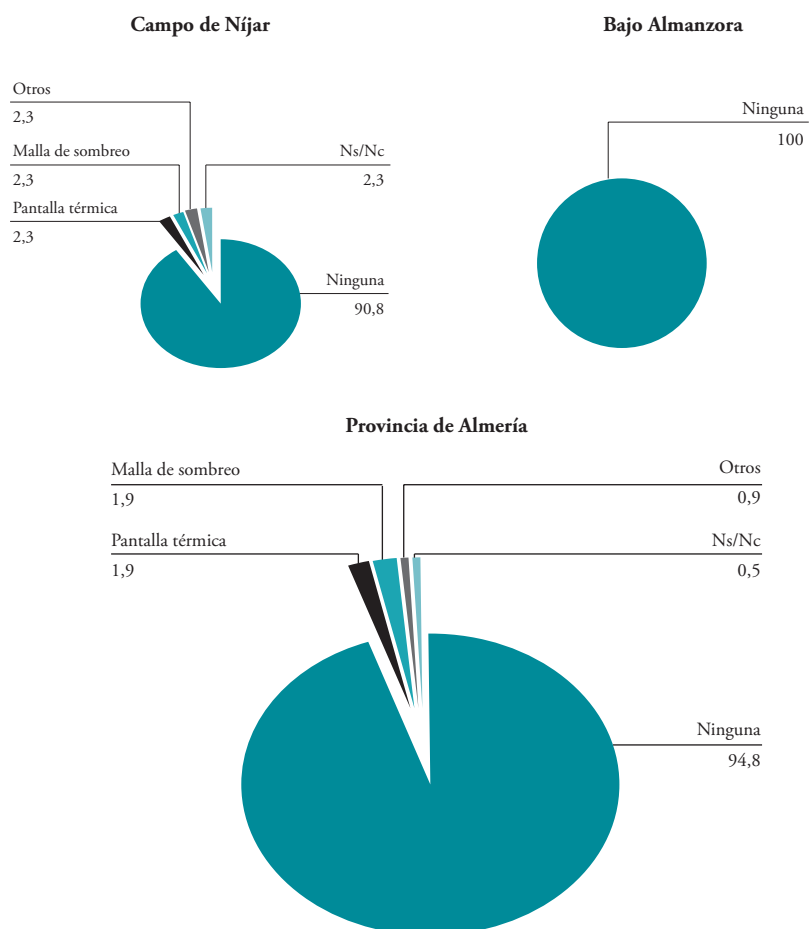
89. Tipo de pantallas utilizadas. En porcentaje

Bajo Andarax



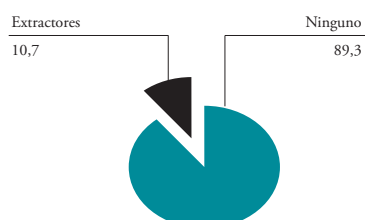
Campo de Dalías



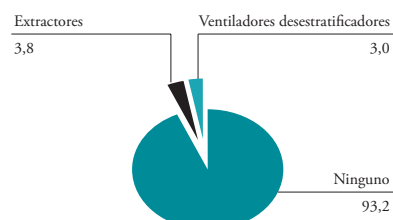


90. Sistemas de ventilación forzada. En porcentaje

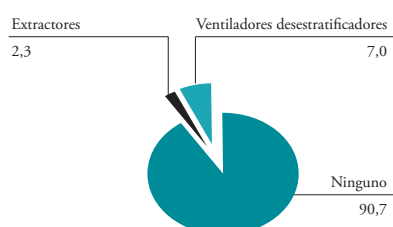
Bajo Andarax



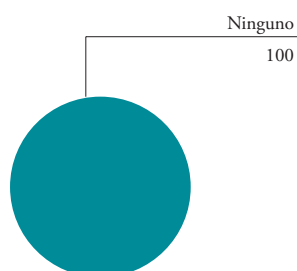
Campo de Dalías



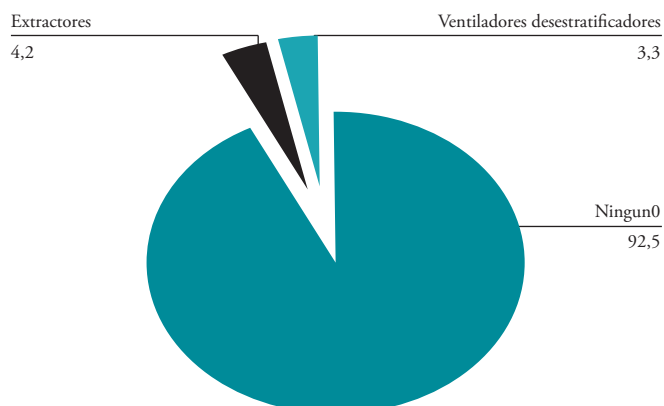
Campo de Níjar



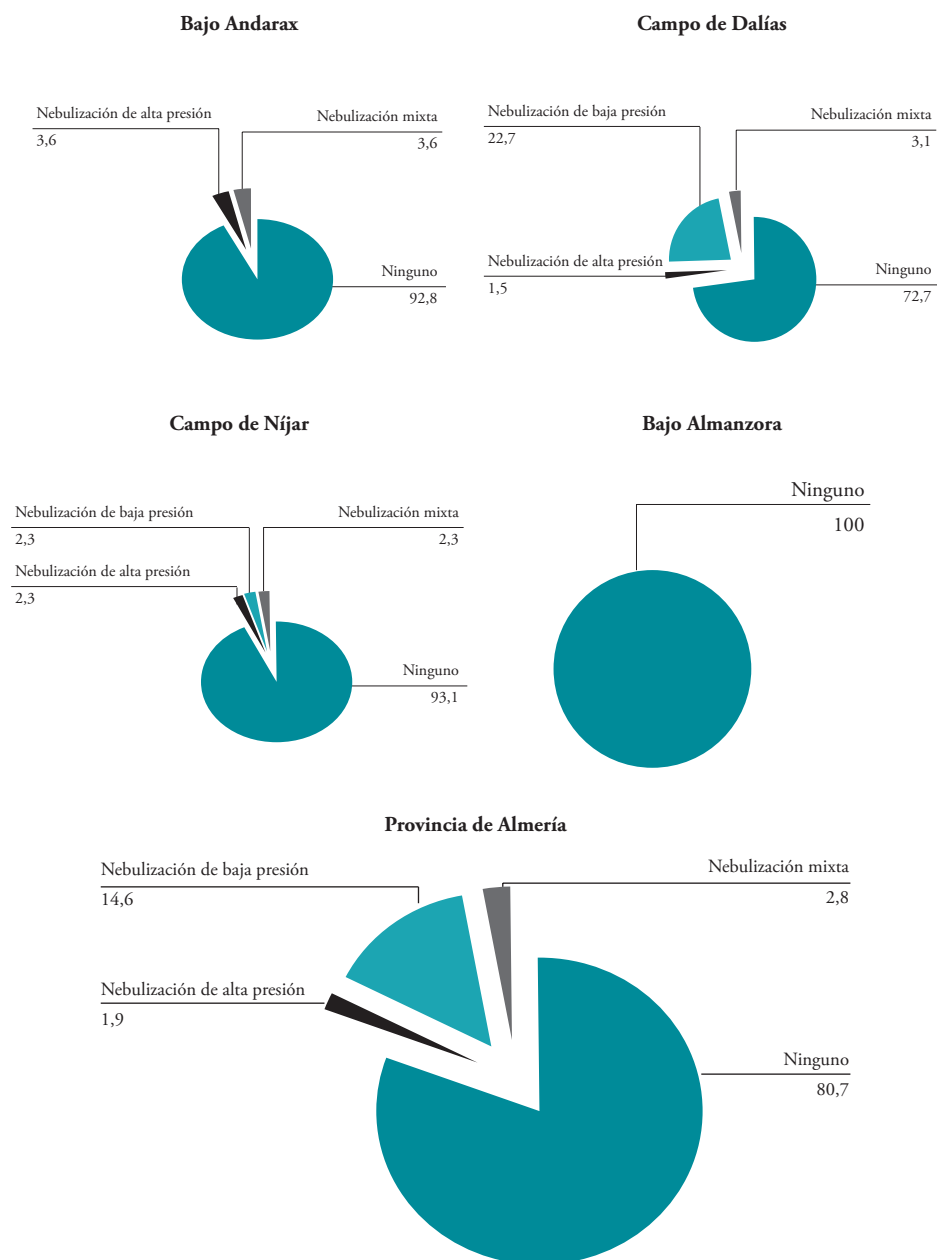
Bajo Almanzora



Provincia de Almería

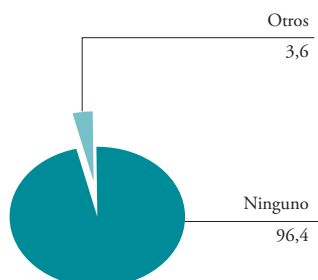


91. Sistemas de refrigeración por evaporación de agua. En porcentaje

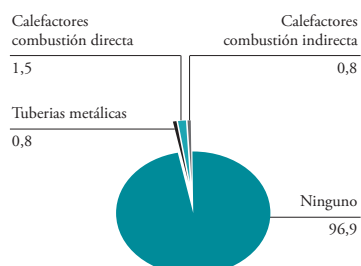


92. Sistemas de calefacción. En porcentaje

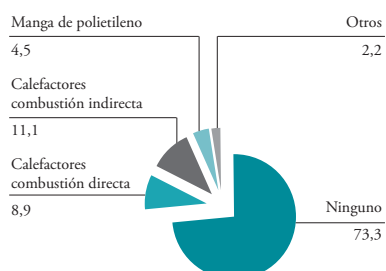
Bajo Andarax



Campo de Dalías



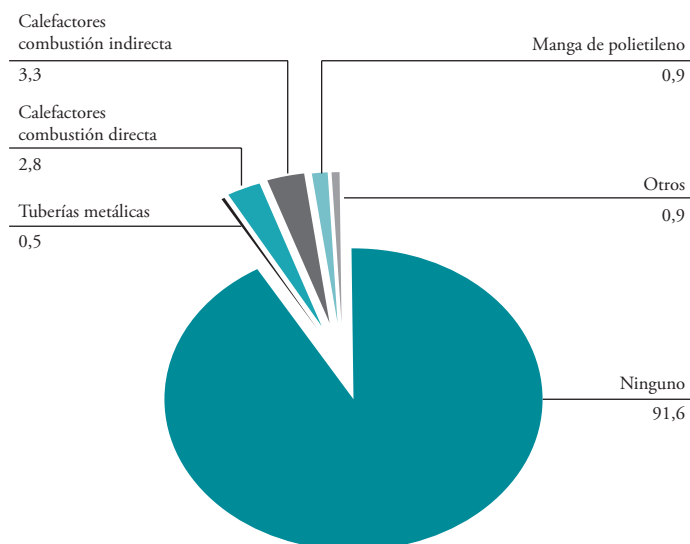
Campo de Níjar



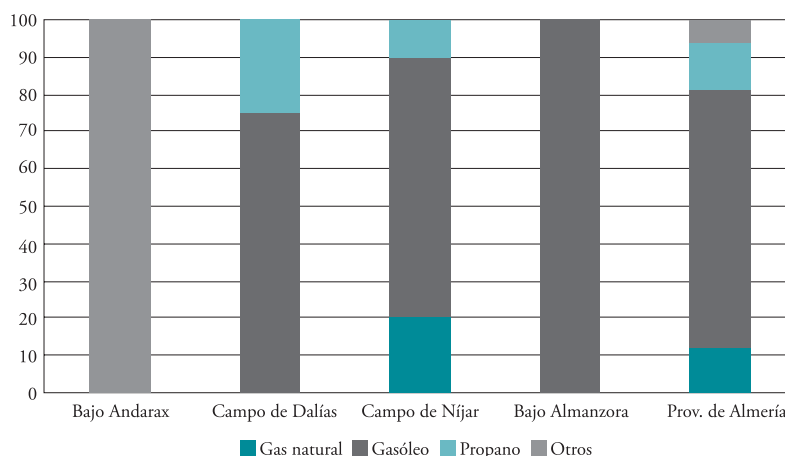
Bajo Almanzora



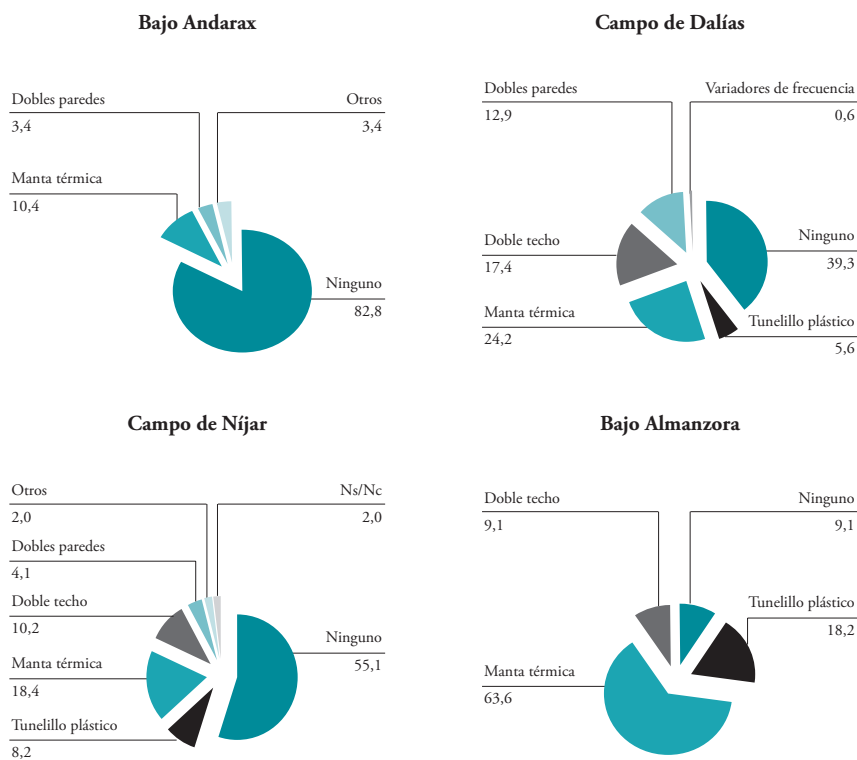
Provincia de Almería

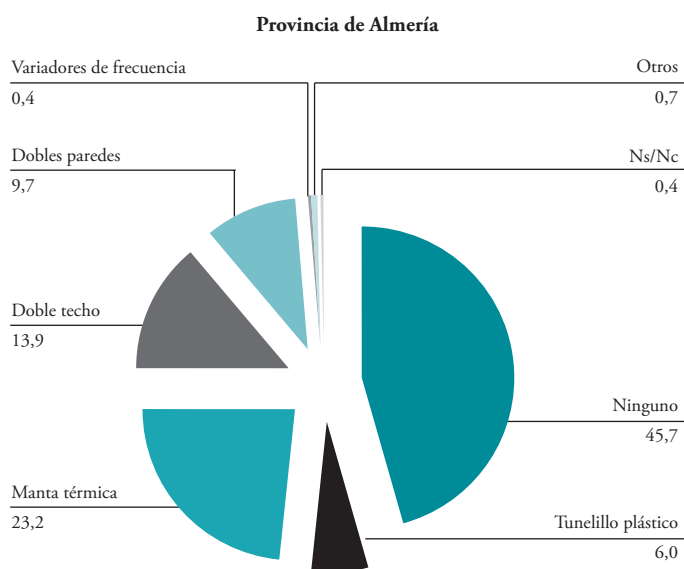


93. Combustible del sistema de calefacción. En porcentaje



94. Técnicas de ahorro energético. En porcentaje





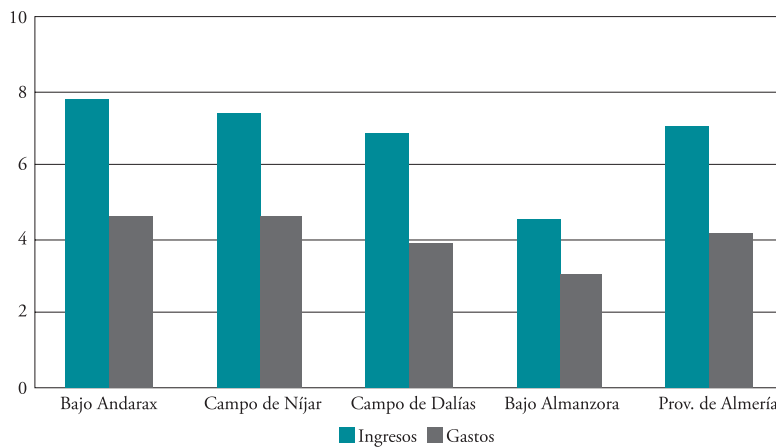
95. Otros sistemas de control climático avanzado

Ninguno de los encuestados usa otro sistema de control climático avanzado.

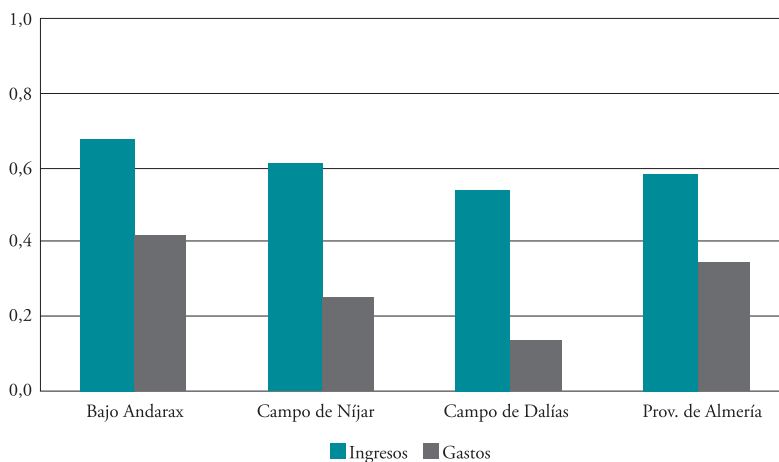
I. Análisis de costes

96 y 97. Ingresos obtenidos al cabo del año o campaña. Gastos aproximados que se tienen al cabo del año

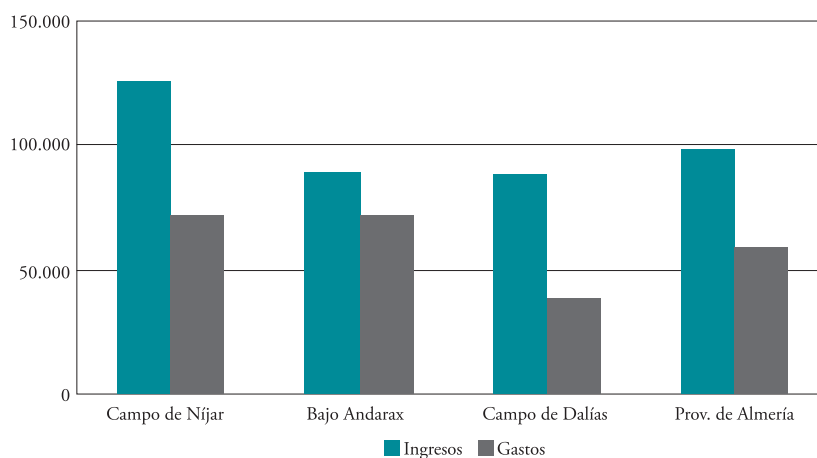
Ingresos y gastos a lo largo de la campaña. En €/m²



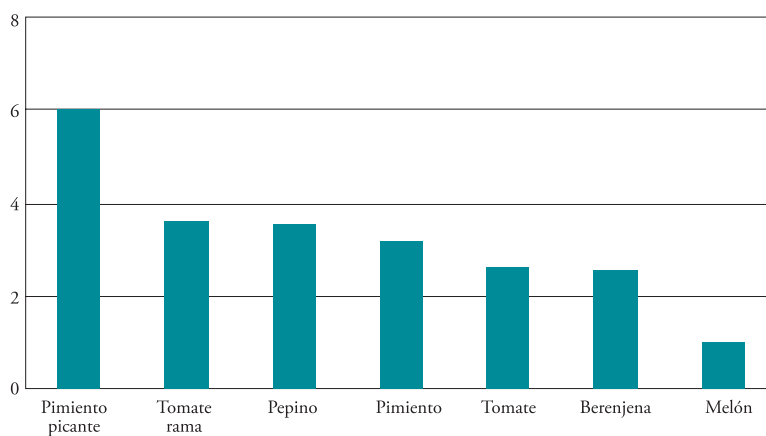
Ingresos y gastos a lo largo de la campaña. En €/kg



Ingresos y gastos a lo largo de la campaña. En €/campaña



Margen bruto en algunos cultivos destacados en la provincia de Almería. En €/m²



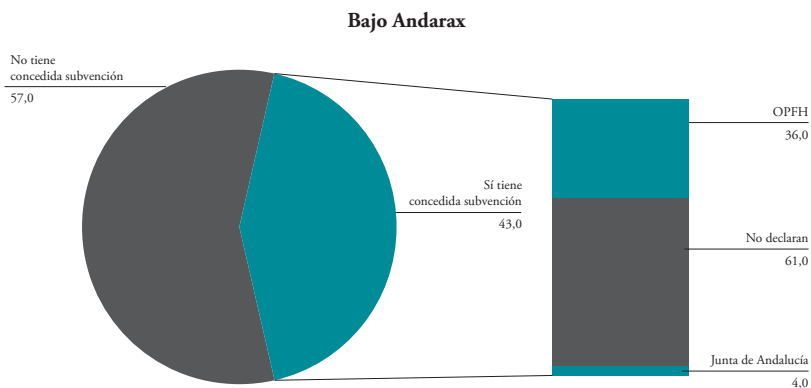
98. Cultivos que suelen producir mayores ganancias netas

Comarca	Primer cultivo	Segundo cultivo	Tercer cultivo
Bajo Andarax	Tomate	Pepino y tomate rama	Pimiento
Campo de Dalías	Pimiento y tomate	Pimiento y pepino	Melón y sandía
Campo de Níjar	Tomate	Sandía	Sandía
Bajo Almanzora	Tomate	-	-
Prov. de Almería	Tomate	Sandía	Sandía

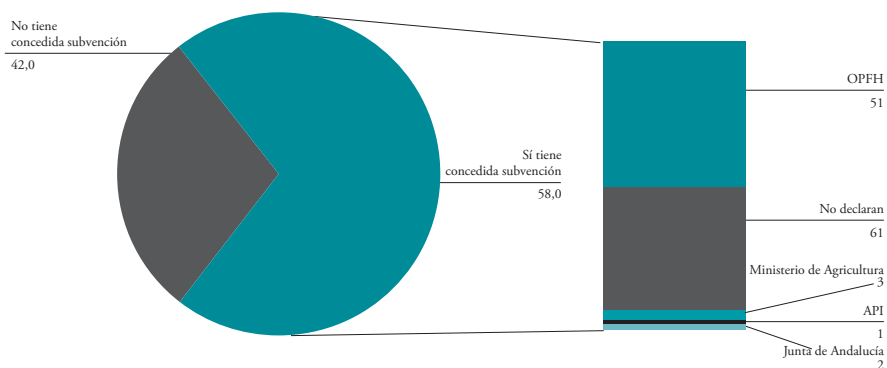
99. Cultivos que le provocan mayor inversión al comienzo y desarrollo de la campaña

Comarca	Primer cultivo	Segundo cultivo	Tercer cultivo
Bajo Andarax	Tomate	Pimiento	Pepino
Campo de Dalías	Pimiento	Pimiento y tomate	Melón
Campo de Níjar	Tomate	Sandía	Sandía
Bajo Almanzora	Tomate	-	-
Prov. de Almería	Tomate	Sandía	Melón

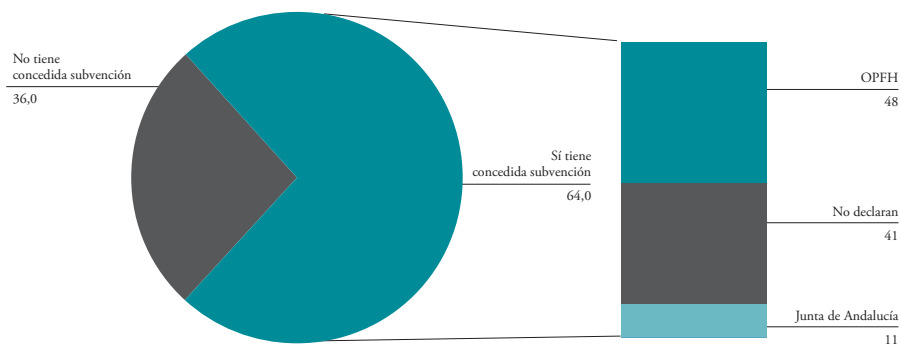
100. Procendencia de las subvenciones obtenidas. En porcentaje



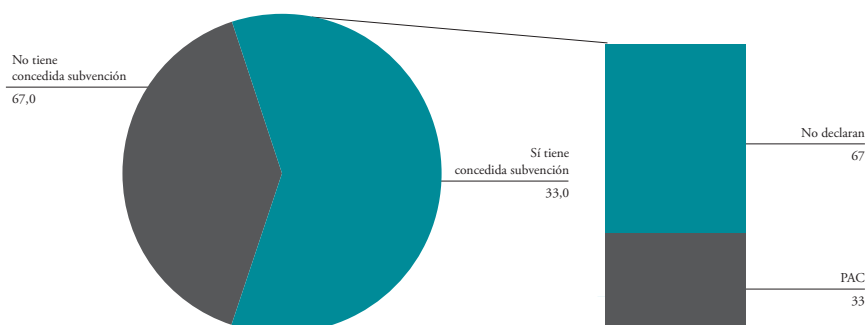
Campo de Dalías

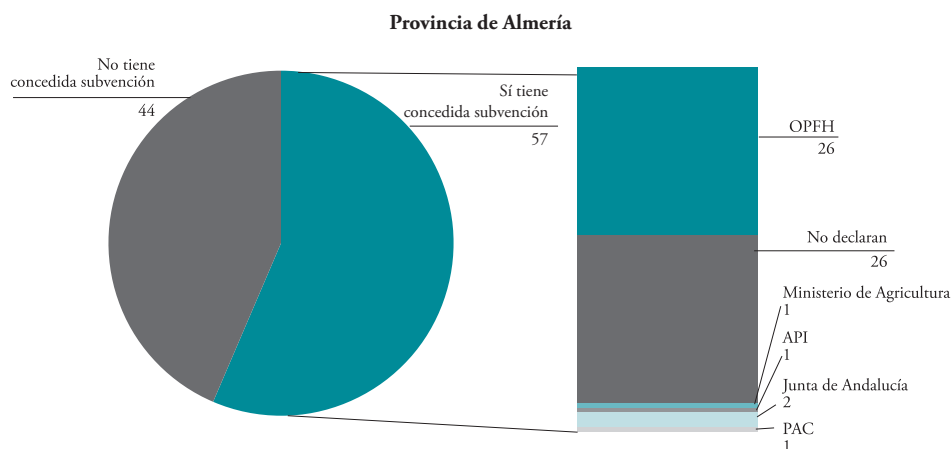


Campo de Níjar

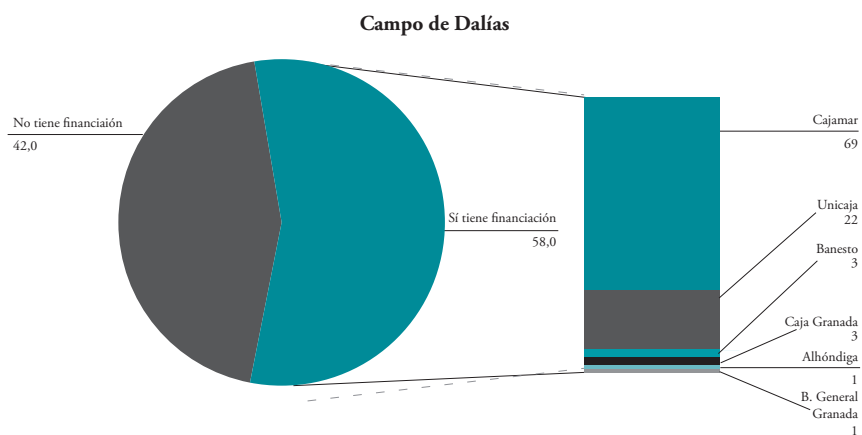
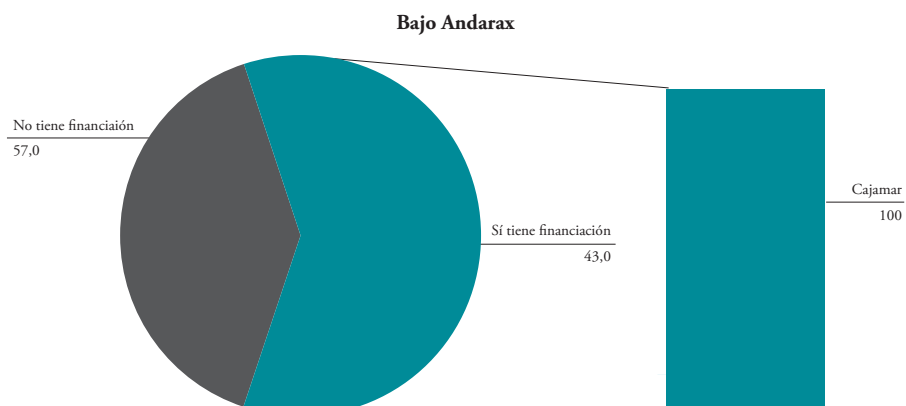


Bajo Almanzora

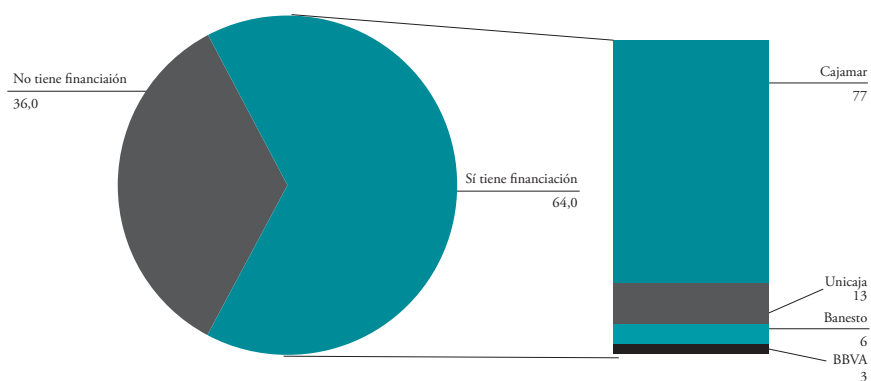




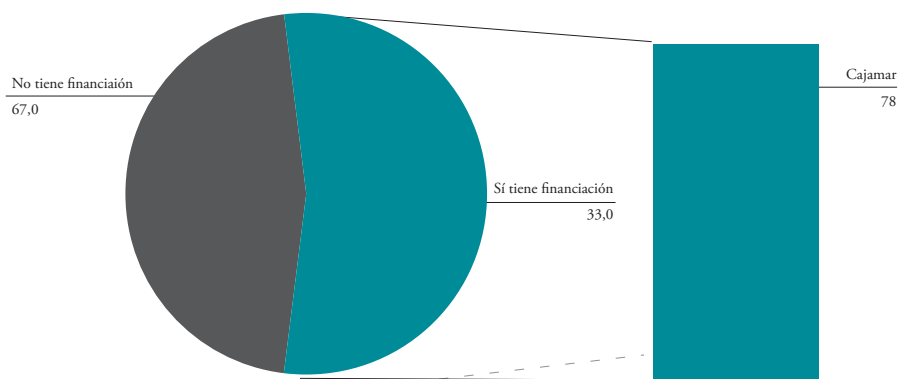
101. Entidades que financian a los agricultores



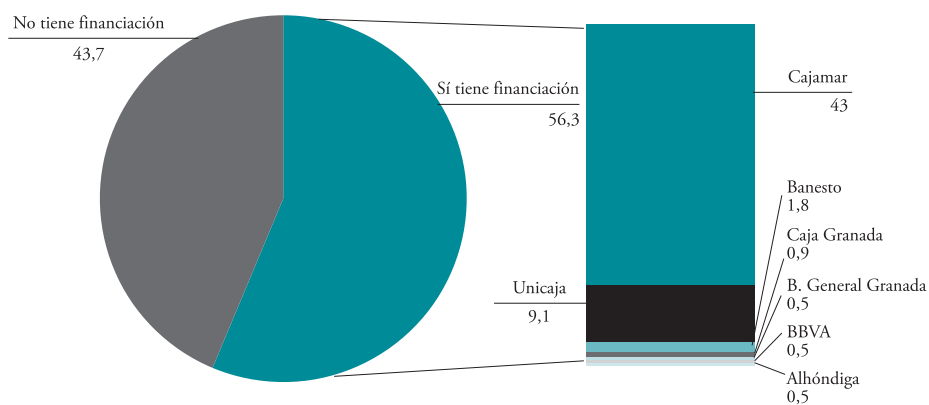
Campo de Níjar



Bajo Almanzora

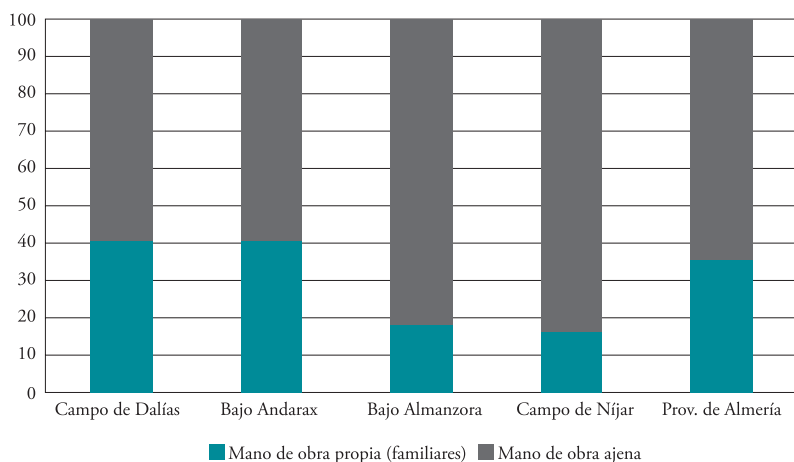


Provincia de Almería

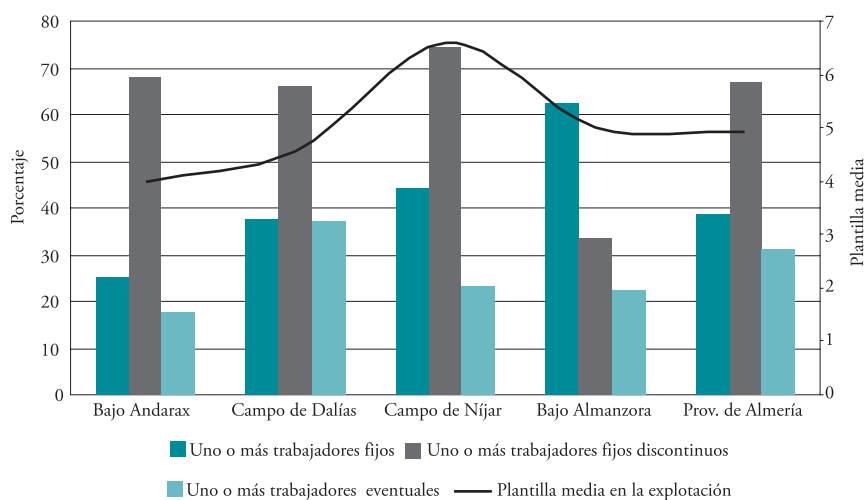


J. Mano de obra

102. Mano de obra empleada (propia o ajena). En porcentaje

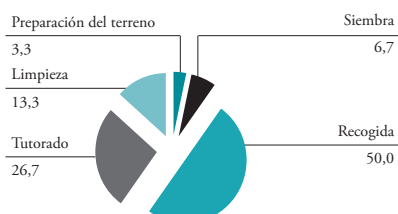


103. Tipo de mano de obra contratada

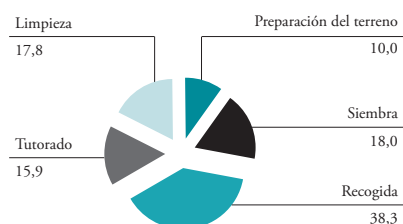


104. Situaciones en las que contrata a personal eventual. En porcentaje

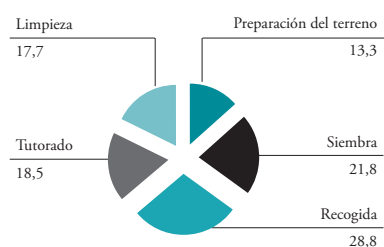
Bajo Andarax



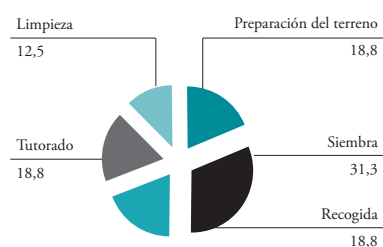
Campo de Dalías



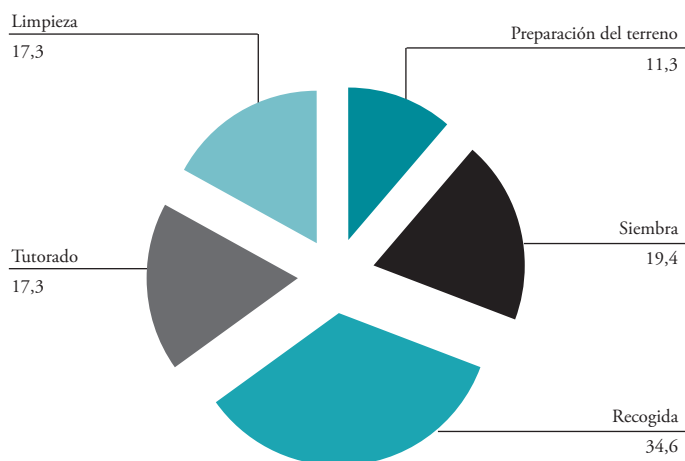
Campo de Níjar



Bajo Almanzora

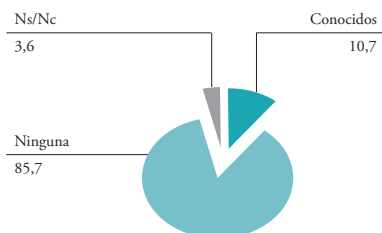


Provincia de Almería

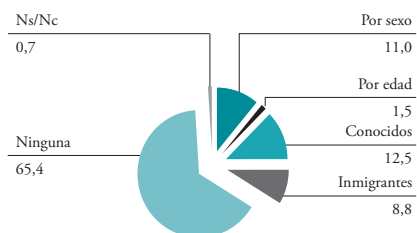


105. Preferencias para contratar al personal. En porcentaje

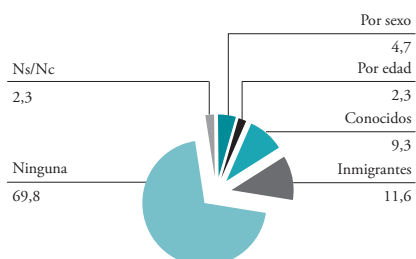
Bajo Andarax



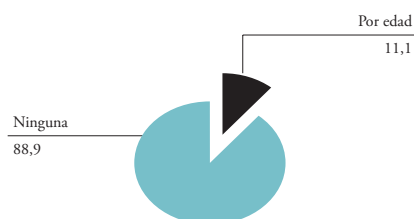
Campo de Dalías



Campo de Níjar



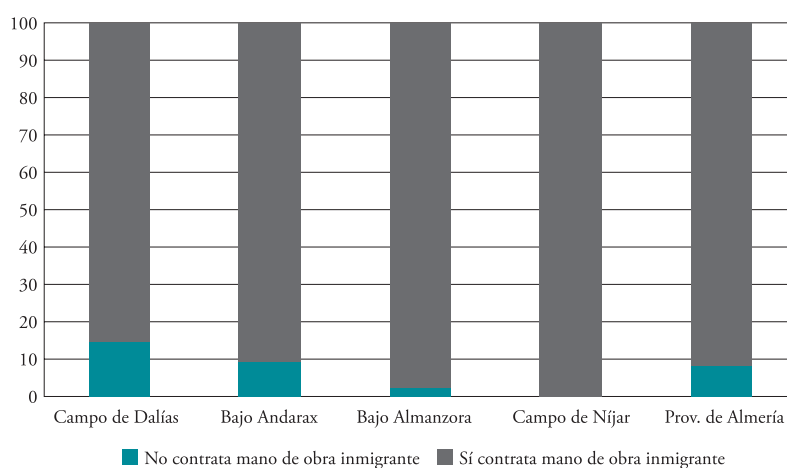
Bajo Almanzora



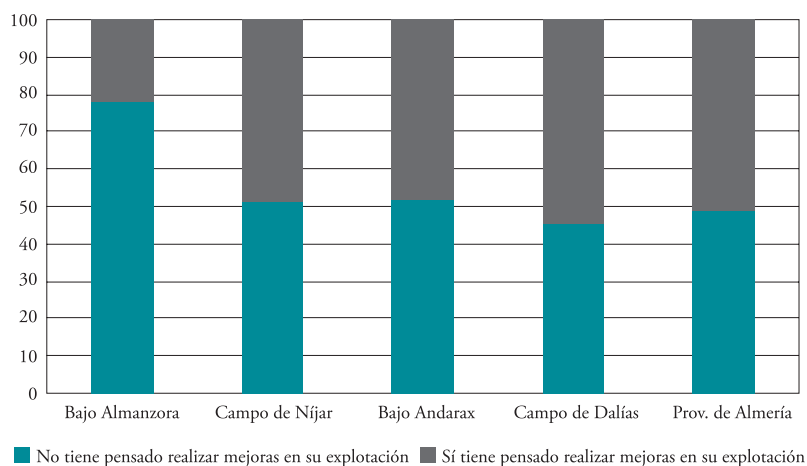
Provincia de Almería



106. Contratación de mano de obra inmigrante. En porcentaje



107. Realización de mejoras en la explotación. En porcentaje



108. Opinión sobre si esta encuesta ayudará al conocimiento de la producción de la cooperativa y a la mejora de los sistemas empleados con su posterior análisis de resultados . En porcentaje

