

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Y
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES



INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA
ESPECIALIDAD MECANIZACIÓN Y CONSTRUCCIONES RURALES

**“EFECTO DE DISTINTAS MALLAS ANTI-INSECTO, DISTINTOS TIPOS DE
ESTRUCTURAS DE INVERNADERO Y DOS TIPOS DE CALEFACCIÓN
SOBRE LA CALIDAD DEL FRUTO EN UN CULTIVO EN INVERNADERO DE
Solanum Lycopersicum L. cv. Marylu.”.**

Alumno:

Joaquín Ruiz Hita

Director:

Diego Luis Valera Martínez

Almería, Noviembre 2013

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CAPITULOS.	I
ÍNDICE DE FIGURAS.	VII
ÍNDICE DE GRÁFICAS.	IX
ÍNDICE DE TABLAS.	XI

ÍNDICE DE CAPITULOS

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.	
1.1. Introducción.	1
1.2. Objetivos.	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	4
2.1. La agricultura bajo plástico.	6
2.1.1. Superficie ocupada.	7
2.1.2. Importancia mundial del tomate.	7
2.1.3. Producción agrícola de Almería.	7
2.2. Mallas anti-insectos.	9
2.2.1. Tipos de mallas anti-insectos.	13
2.2.2. Influencia de las mallas en la ventilación.	17
2.3. Calefacción.	18
2.3.1. Tipos de sistemas de calefacción en invernadero.	21
2.3.1.1. Sistemas de calefacción por convección.	23
2.3.1.2. Sistemas de calefacción por conducción.	23
2.3.1.3. Sistemas de calefacción por convección y radiación.	27
2.3. Uso de la biomasa en la calefacción en invernadero.	27
2.4. Estructura del invernadero.	29
2.4.1. Evolución en las estructuras de invernadero.	31
2.4.2. Criterios de diseño.	32
2.4.3. Comparativa entre un invernadero multitúnel y uno raspa y amagado.	34
2.5. Factores climáticos que afectan a la calidad.	35
2.5.1. Luz.	37

2.5.2. Temperatura.	37
2.5.3. Humedad del aire.	37
2.5.4. Anhídrido carbónico.	38
2.6. El cultivo del tomate.	38
2.6.1. Situación taxonómica.	38
2.6.2. Origen del tomate.	38
2.6.3. Morfología de los órganos vegetativos y reproductivos de la planta.	38
2.6.3.1. Planta.	38
2.6.3.2. Raíz.	39
2.6.3.3. Tallo.	39
2.6.3.4. Hojas.	40
2.6.3.5. Flores.	41
2.6.3.6. El fruto.	41
2.6.4. Requerimientos edafoclimáticos.	42
2.6.4.1. Exigencias del tomate en suelos.	42
2.6.4.2. Exigencias climáticas del tomate.	43
2.6.5. Parámetros de calidad.	44
3. MATERIALES Y MÉTODOS.	46
3.1. Ubicación del ensayo.	47
3.2. Características de los invernaderos.	47
3.2.1. Orientación.	47
3.2.2. Estructura.	48
3.2.3. Ventilación.	50
3.2.4. Equipamiento.	52
3.2.5. Suelo.	54

3.3. Sistema de riego.	55
3.3.1. Balsas	55
3.3.2. Cabezal de riego.	56
3.3.2.1. Sistemas de impulsión.	56
3.3.2.2. Sistemas de fertirrigación.	56
3.3.2.3. Sistema de filtrado.	57
3.2.3. Red de distribución.	57
3.4. Material vegetal.	57
3.5. Técnicas de cultivo.	58
3.5.1. Ciclo de cultivo.	58
3.5.2. Inicio y fin de cultivo.	59
3.5.3. Marco de plantación.	59
3.5.4. Tutorado.	59
3.5.5. Riego.	60
3.5.5.1. Plan de riego.	60
3.5.6. Cuajado del fruto.	62
3.5.7. Tratamientos fitosanitarios.	63
3.5.8. Fertirrigación.	64
3.5.9. Destallado, deshojado y despuntado de la planta.	64
3.6. Mallas anti-insectos.	65
3.7. Sistemas de calefacción.	66
3.7.1. Calefacción por combustión de aire caliente indirecta.	66
3.7.2. Calefacción por tuberías de agua caliente.	68
3.8. Diseño experimental.	70
3.9. Toma de datos.	71

3.9.1. Parámetros sometidos a estudio.	72
3.9.1.1. Peso del fruto.	72
3.9.1.3. Acidez del fruto.	73
3.9.1.4. Cantidad de sólidos solubles del fruto.	74
3.9.1.5. Firmeza del fruto.	74
3.9.1.6. Cantidad de materia seca del fruto.	75
3.10. Análisis de datos.	75
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	79
4.1. Influencia del sistema de calefacción.	80
4.1.1. Influencia del sistema de calefacción en el peso.	80
4.1.2. Influencia del sistema de calefacción en el diámetro.	81
4.1.3. Influencia del sistema de calefacción en la cantidad de sólidos solubles.	82
4.1.4. Influencia del sistema de calefacción en la acidez.	83
4.1.5. Influencia del sistema de calefacción en la firmeza.	84
4.1.6. Influencia del sistema de calefacción en el porcentaje de materia seca.	85
4.1.7. Discusión de los datos obtenidos comparandolos sistemas de calefacción.	86
4.2. Influencia de las mallas anti-insecto.	86
4.2.1. Influencia de las mallas anti-insectos en el peso.	86
4.2.2. Influencia de las mallas anti-insectos en el diámetro.	87
4.2.3. Influencia de las mallas anti-insectos en la cantidad de sólidos solubles.	88
4.2.4. Influencia de las mallas anti-insectos en la acidez.	89
4.2.5. Influencia de las mallas anti-insectos en la firmeza.	90

4.2.6. Influencia de las mallas anti-insectos en el porcentaje de materia seca.	91
4.2.7. Discusión de los datos obtenidos comparando las mallas anti-insecto.	92
4.3. Influencia de la estructura.	92
4.3.1. Influencia de la estructura en el peso.	93
4.3.2. Influencia de la estructura en el diámetro.	93
4.3.3. Influencia de la estructura en la cantidad de sólidos solubles.	94
4.3.4. Influencia de la estructura en la acidez.	94
4.3.5. Influencia de la estructura en la firmeza.	95
4.3.6. Influencia de la estructura en el porcentaje de materia seca.	96
4.3.7. Discusión de los datos obtenidos comparando los tipos de estructura.	96
5. CONCLUSIONES.	97
6. BIBLIOGRAFÍA.	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución mundial de los invernaderos (Interempresas.net).	7
Figura 2. Malla anti-insectos tejida.	17
Figura 3. Malla anti-insectos anudada.	18
Figura 4. Generador de aire caliente de combustión directa.	25
Figura 5. Generador de aire caliente de combustión indirecta.	26
Figura 6. Tuberías de calefacción de suelo.	27
Figura 7. Calefacción por tuberías con agua caliente.	28
Figura 8. Detalle de planta de tomate (infojardin.com).	39
Figura 9. Detalle de tallo de tomate (blogs.diariovasco.com).	40
Figura 10. Detalle de hoja de tomate (infoagro.com).	40
Figura 11. Detalle de flor de tomate (catedu.es).	41
Figura 12. Detalle de fruto de tomate (catedu.es).	42
Figura 13. Vista aérea de la Finca “Fundación UAL-ANECOOP”.	47
Figura 14. Croquis de la finca y detalle de la orientación de los invernaderos U8, U9, U11 y U12. Localización y distribución de los invernaderos en la finca experimental “Fundación UAL-ANECOOP”.	48
Figura 15. Detalle general de la estructura del invernadero U9.	49
Figura 16. Detalle general de la estructura del invernadero U8.	49
Figura 17. Sistema de doble puerta en invernaderos multitúnel con extractor.	50
Figura 18. Detalle de la ventana lateral del invernadero U11.	51
Figura 19. Ventilación cenital en invernadero multitúnel.	51
Figura 20. Detalle de la ventana lateral del invernadero U8.	52
Figura 21. Ventilación cenital en invernadero raspa y amagado.	52
Figura 22. Caja de medida.	53
Figura 23. Controlador MultiMa de Hortimax.	53

Figura 24. Estación Meteorológica.	54
Figura 25. Detalles de las canaletas de desagüe.	54
Figura 26. Detalle del substrato utilizado en el ensayo.	55
Figura 27. Detalle de las Balsas 1 y 2.	56
Figura 28. Detalle de cabezal de riego.	56
Figura 29. Detalle del cultivo.	58
Figura 30. Marco de plantación usado en el ensayo.	59
Figura 31. Detalle del tutorado.	59
Figura 32. Detalle de la unión de las mallas de los sectores Este y Oeste en invernadero multitúnel.	66
Figura 33. Detalle del calefactor.	67
Figura 34. Detalle de la caldera.	68
Figura 35. Detalle de la tolva de la caldera.	68
Figura 36. Circulación del agua en la caldera.	70
Figura 37. Esquema de distribución de los tipos de estructura, de calefacción y de mallas anti-insecto en los distintos invernaderos usados en el ensayo.	71
Figura 38. Detalle de la balanza usada en ensayo.	72
Figura 39. Detalle del calibre usado en ensayo.	73
Figura 40. Detalle del multímetro usado en ensayo.	73
Figura 41. Detalle del refractómetro usado en ensayo.	74
Figura 42. Detalle del penetrómetro usado en ensayo.	74
Figura 43. Detalle de los tomates en la estufa usada en ensayo.	75

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Participación de los 20 primeros países en la producción mundial de tomate en 2011(Fuente: FAO, 2013).	8
Gráfica 2. Participación de los 20 primeros países exportadores mundiales de tomate en 2010 (Fuente: FAO, 2013).	8
Gráfica 3. Participación de los 20 primeros países importadores mundiales de tomate en 2010 (Fuente: FAO, 2013).	9
Gráfica 4. Evolución de la superficie, la producción y el rendimiento por hectárea. Índice 1975=100 (Fuente: Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2011/2012. Fundación Cajamar).	9
Gráfica 5. Evolución de la producción hortícola (1975-2012). En toneladas (Fuente: Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2011/2012. Fundación Cajamar).	10
Gráfica 6. Exportaciones sobre producción hortícola total. En porcentaje (Fuente: Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2011/2012. Fundación Cajamar).	11
Gráfica 7. Rendimientos y rentabilidad de la producción hortícola en términos medios. Índice 1975=100 (Fuente: Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2011/2012. Fundación Cajamar).	13
Gráfica 8. Comparativa en la calefacción del peso medio del fruto obtenido (g).	80
Gráfica 9. Comparativa en la calefacción del diámetro medio del fruto (mm).	81
Gráfica 10. Comparativa en la calefacción de los ° Brix medios del fruto.	82
Gráfica 11. Comparativa en la calefacción del pH medio del fruto.	83
Gráfica 12. Comparativa en la calefacción de la firmeza media del fruto (kg).	84
Gráfica 13. Comparativa en la calefacción del porcentaje de materia seca medio del fruto.	85
Gráfica 14. Comparativa en cuanto a mallas del peso medio del fruto (g).	86
Gráfica 15. Comparativa en cuanto a mallas del diámetro medio del fruto (mm).	87

Gráfica 16. Comparativa en cuanto a mallas de los °Brix medios del fruto.	88
Gráfica 17. Comparativa en cuanto a mallas del pH medio del fruto.	89
Gráfica 18. Comparativa en cuanto a mallas de la firmeza media del fruto obtenido en cada invernadero (kg).	90
Gráfica 19. Comparativa en cuanto a mallas del porcentaje de materia seca medio del fruto.	91
Gráfica 20. Peso medio del fruto obtenido en los invernaderos U8 y U12E (g).	93
Gráfica 21. Diámetro medio del fruto obtenido en los invernaderos U8 y U12E (mm).	93
Gráfica 22. ° Brixmedios del fruto obtenido en los invernaderos U8 y U12E.	94
Gráfica 23. pH medio del fruto obtenido en los invernaderos U8 y U12E.	94
Gráfica 24. Firmeza media del fruto obtenido en los invernaderos U8 y U12E (kg).	95
Gráfica 25. Porcentaje de materia seca medio del fruto obtenido en los invernaderos U8 y U12E.	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de la campaña 2011/2012 con la media de 10 últimas campañas (Fuente: Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2011/2012. Fundación Cajamar).	11
Tabla 2. Costes medios de construcción y equipamiento de invernaderos mediterráneos dotados de ventilación lateral y cenital monitorizadas, en el sur de España (sin incluir impuestos) incluyendo el montaje de lámina plástica. (Fuente: Castilla, 2004).	36
Tabla 3. Sabor en función de la acidez y del contenido en azúcar según Peet (1996).	45
Tabla 4. Plan de riego llevado a cabo durante el ensayo en el invernadero U9.	60
Tabla 5. Plan de riego llevado a cabo durante el ensayo en el invernadero U11.	61
Tabla 6. Plan de riego llevado a cabo durante el ensayo en los invernaderos U8 y U12.	62
Tabla 7. Plan de tratamientos fitosanitarios empleados en el ensayo.	63
Tabla 8. Distribución de nutrientes en los diferentes tanques de fertirrigación y cantidad aplicada en los invernaderos U8 y U12.	64
Tabla 9. Distribución de nutrientes en los diferentes tanques de fertirrigación y cantidad aplicada en los invernaderos U9 y U11.	64
Tabla 10. Días de destallado, deshojado y despuntado.	65
Tabla 11. Características geométricas de las mallas anti-insectos utilizadas en los invernaderos experimentales. D_r , densidad de hilo (hilos·cm ⁻²); ϕ , porosidad (%); L_{px} , longitud del poro en el eje x (μ m); L_{py} , longitud del poro en el eje y (μ m); D_{hx} , diámetro del hilo en el eje x (μ m); D_{hy} , diámetro del hilo en el eje y (μ m); D_h , diámetro medio de los hilos (μ m); D_i , diámetro de la circunferencia inscrita en el poro (μ m); S_p , superficie media del poro (mm ²); e, espesor(μ m).	65
Tabla 12. Características técnicas del calefactor “GP80”.	67
Tabla 13. Características técnicas de la caldera BIOSELECT 350 para combustible de características: granulometría: máx. 40 mm; poder calorífico:mín. 3.100 kcal/kg; y humedad: máx. 20%.	69
Tabla 14. Fecha de recogida de frutos y toma de datos.	72

Tabla 15. Resultados medios de los parámetros en cada invernadero y si existen diferencias estadísticas con cada condicionante.	79
Tabla 16. Peso medio del fruto en los invernaderos Este (g).	80
Tabla 17. Peso medio del fruto en los invernaderos Oeste (g).	81
Tabla 18. Diámetro medio del fruto en los invernaderos Este (mm).	81
Tabla 19. Diámetro medio del fruto en los invernaderos Oeste (mm).	81
Tabla 20. ° Brix medios del fruto en los invernaderos Este.	82
Tabla 21. ° Brix medios del fruto en los invernaderos Oeste.	82
Tabla 22. pH medio del fruto en los invernaderos Este.	83
Tabla 23. pH medio del fruto en los invernaderos Oeste.	83
Tabla 24. Firmeza media del fruto en los invernaderos Este (kg).	84
Tabla 25. Firmeza media del fruto en los invernaderos Oeste (kg).	84
Tabla 26. Materia seca media del fruto en los invernaderos Este (%).	85
Tabla 27. Materia seca media del fruto en los invernaderos Oeste (%).	85
Tabla 28. Peso medio del fruto en el invernadero U9 (g).	87
Tabla 29. Peso medio del fruto en el invernadero U11 (g).	87
Tabla 30. Peso medio del fruto en el invernadero U12 (g).	87
Tabla 31. Diámetro medio del fruto en el invernadero U9 (mm).	88
Tabla 32. Diámetro medio del fruto en el invernadero U11 (mm).	88
Tabla 33. Diámetro medio del fruto en el invernadero U12 (mm).	88
Tabla 34. ° Brixmedios del fruto en el invernadero U9.	88
Tabla 35. ° Brixmedios del fruto en el invernadero U11.	89
Tabla 36. ° Brixmedios del fruto en el invernadero U12.	89
Tabla 37. pH medio del fruto en el invernadero U9.	89
Tabla 38. pH medio del fruto en el invernadero U11.	90
Tabla 39. pH medio del fruto en el invernadero U12.	90

Tabla 40. Firmeza media del fruto en el invernadero U9 (kg).	90
Tabla 41. Firmeza media del fruto en el invernadero U11 (kg).	91
Tabla 42. Firmeza media del fruto en el invernadero U12 (kg).	91
Tabla 43. Materia seca media del fruto en el invernadero U9 (%).	92
Tabla 44. Materia seca media del fruto en el invernadero U11 (%).	92
Tabla 45. Materia seca media del fruto en el invernadero U12 (%).	92
Tabla 46. Peso medio del fruto en los invernaderos U8 y U12E (g).	93
Tabla 47. Diámetro medio del fruto en los invernaderos U8 y U12E (mm).	94
Tabla 48. ° Brixmedios del fruto en los invernaderos U8 y U12E.	94
Tabla 49. pH medio del fruto en los invernaderos U8 y U12E.	95
Tabla 50. Firmeza media del fruto en los invernaderos U8 y U12E (kg).	95
Tabla 51. Materia seca media del fruto en los invernaderos U8 y U12E (%).	96

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

1.1. INTRODUCCIÓN.

A mediados de los ochenta se empezaron a utilizar mallas de materiales plásticos en las aperturas de ventilación de los invernaderos. En aquellos momentos la ventilación consistía simplemente en una apertura en las bandas, por lo que los cultivos sufrían daños como consecuencia del viento, pájaros, insectos, etc. Para resolver este problema se comenzaron a utilizar mallas anti-insectos con lo que se observó un descenso en el ataque de muchas plagas, y se redujeron los daños notablemente (Díaz *et al.*, 2003).

El empleo de sistemas de protección anti-insectos en las aperturas de ventilación de los invernaderos mediterráneos es una necesidad en la agricultura protegida pero presenta un obstáculo, y es que reduce en un 60% la superficie de ventilación y afecta la capacidad de renovación de aire dando lugar a un microclima con excesiva humedad propicio para la generación de enfermedades fúngicas como *Botrytis cinérea* (Díaz *et al.*, 2003).

Otro inconveniente en zonas áridas o semiáridas reside en la acumulación de polvo en la superficie de estas mallas, cuya presencia puede restar aún más capacidad para renovar el aire, por lo que es necesario realizar un mantenimiento a estas aperturas, inyectando agua desde el interior del invernadero hacia el exterior, para limpiarlas sin ensuciar el cultivo (Díaz *et al.*, 2003).

El desarrollo de los materiales plásticos ha sido una de las causas determinantes de la gran expansión de los invernaderos de plástico en todo el mundo. La reducción de costes, en relación con los invernaderos tradicionales de vidrio permitió su empleo en muchas áreas de clima suave o en épocas de clima benigno en regiones más frías, en condiciones ventajosas de rentabilidad, en la segunda mitad del siglo XX. El escaso peso de los materiales plásticos en relación con el vidrio permitió reducir notablemente las estructuras de soporte del material de cerramiento y, en consecuencia, su coste (Castilla, 2004)

El invernadero debe de proporcionar unas condiciones climáticas óptimas para el crecimiento de los cultivos. El diseño de un invernadero influye directamente en esas condiciones, por lo que la estructura se debe de enfocar para: incrementar la transmisividad a la radiación, reducir el consumo de energía, hacer eficiente el uso de la ventilación, tener la estructura una resistencia adecuada, tener un coste reducido y bajo en el manejo (López *et al.*, 2006).

Si nos limitamos al caso de estructuras de invernadero se pueden distinguir varias funciones principales (Navarro, 2001):

- Soporte para el cultivo facilitando las operaciones de manejo propias del mismo.
- Protección frente a agentes climatológicos adversos: excesiva radiación, granizo, lluvia, viento, heladas.
- Soporte sólido del material de cobertura que propicia las modificaciones ambientales en relación al exterior: luz, temperatura, humedad ambiental y del sustrato, composición del aire.
- Protección frente a plagas y enfermedades.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

- Alojamiento de instalaciones accesorias derivadas muchas veces de la propia naturaleza de la instalación como ocurre con las ventilaciones, o que sirven para mejorar las condiciones productivas, alojamiento de equipo para tratamientos y fertirrigación, pantallas, climatización, etc.

Estas funciones se marcan con mayor intensidad a medida que se perfeccionan las instalaciones. Por eso, sobre la base de utilidad de una estructura la tendencia en la mejora de las mismas consiste en optimizar las técnicas y materiales, no siempre pretendiendo directamente una disminución de costes, sino el aumento de la rentabilidad (Navarro, 2001).

Las formas que se utilizan más frecuentemente son: techos planos, techos planos simétricos a dos aguas, techos planos asimétricos, arco redondeado y arco en punta (Baudoin, 2002).

La diversidad en clima y disponibilidad de recursos de las diferentes regiones ha hecho que no exista una estructura universal de invernadero, teniendo éste en muchos casos un desarrollo local (Baudoin, 2002).

La instalación de invernadero más corriente en la zona es la de tipo “Almería”. Es a partir de 1985 cuando se empiezan a realizar mejoras importantes en las estructuras sobre la base del invernadero parral desarrollándose los invernaderos con pendiente, a dos aguas y raspa y amagado. A partir de 1995 esas estructuras artesanales empiezan a competir con estructuras prefabricadas. La geometría de las cubiertas de los invernaderos de Almería viene impuesta, de alguna forma, por la latitud geográfica, la baja pluviometría y la fuerza de los vientos dominantes. (Cortés y Camacho, 2009).

En el litoral mediterráneo es posible encontrar, desde un invernadero instalado con una baja inversión, que correspondería a un tipo “parral” frío, en el que se prescinde totalmente de cualquier tipo de calefacción y que tiene sólo los elementos más básicos, hasta un invernadero muy cercano al modelo holandés, que incorpora la última tecnología y con el que se pretende regularizar la producción, aumentar la calidad y la productividad hasta los límites biológicos de la planta, el cual, lógicamente, exige una inversión mucho mayor (Fernández-Zamudio *et al.*, 2006).

El crecimiento y desarrollo de los cultivos, está influenciado por el clima, donde los procesos de fotosíntesis, respiración, división celular, expansión celular, toma de nutrientes y agua, se ven modificados, principalmente por la temperatura, déficit de presión de vapor, luz y CO₂. El metabolismo de las plantas y la tasa de las reacciones metabólicas se ven afectados por la temperatura, llegando a duplicarse la tasa de crecimiento para muchos cultivos expuestos a frío, al incrementar la temperatura 10° C. Tanto temperaturas extremas bajas como altas, afectan al buen desarrollo de los cultivos, produciendo la desnaturalización de enzimas y otras proteínas (Lorenzo, 2000).

El uso de la calefacción presenta notables limitaciones por su enorme incidencia en los costes, y más aún con la tendencia ascendente que siguen los precios de los combustibles, por lo que, aunque es un elemento que mejora significativamente las calidades y los calendarios de recolección, y por lo tanto los precios finales al agricultor,

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

su uso en los niveles superiores exige un control técnico y económico muy estricto (Fernández-Zamudio *et al.*, 2006).

La dependencia mostrada por la respuesta fisiológica de muchos cultivos hacia la acumulación de grados-día (integral térmica) permite programarlos en cuanto a fechas de recolección y producción. Un mayor control de la temperatura del invernadero va a determinar, además de un aumento de la producción, un aumento de la calidad del fruto (López, 2001)

Las políticas energéticas de los países desarrollados, encaminadas a reducir la dependencia de los combustibles fósiles, han impulsado nuevas tecnologías para la utilización de la biomasa como materia prima renovable. Por otra parte, el empleo de biomasa en sustitución de los combustibles fósiles es una medida efectiva para frenar el aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera (Ballesteros, 2009).

La biomasa, dentro del grupo de las renovables es la fuente energética que más se está utilizando en el mundo: 1.112 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), que es algo más del 10% del consumo mundial de energía (datos de 2004). Evidentemente, los países en vías de desarrollo son los que más biomasa consumen (65%), pero en los países industrializados también se está consumiendo una parte importante que representa un 35% del total de biomasa que se consume en el mundo. En los países de la antigua UE-25, según datos de Eurostat, el consumo global en 2004 fue de 72,8 Mtep, lo que representa un 6,5% del consumo mundial de biomasa (Fernández, 2009).

La innovación en la agricultura es hoy en día, más que un hecho, una necesidad. La competitividad de las explotaciones hortícolas puede mejorarse mediante la selección de nuevos materiales, especies y/o variedades o nuevos sistemas y formas de producir (González-Real y Baille, 2000).

El cultivo protegido es un sistema agrícola especializado en el cual se lleva a cabo un cierto control del medio edafoclimático, alterando sus condiciones en lo que se refiere al suelo, temperatura, radiación solar, viento, humedad y composición atmosférica (Castilla, 1994).

La tendencia actual de los mercados es la de consumir frutas y hortalizas de calidad durante los doce meses del año. Esto supone para el agricultor la necesidad de ofrecer claridad cultivando en épocas veraniegas. Estas exigencias implican la necesidad de mejorar las instalaciones del invernadero mediante un control de clima que permita satisfacer durante todo el año los requerimientos fisiológicos de las especies dadas (González-Real y Baille, 2000).

1.2. OBJETIVOS.

El objetivo fundamental de nuestro ensayo es analizar cómo influyen distintos tipos de mallas anti-insectos, distintos tipos de calefacción y distintos tipos de estructuras de invernadero en la calidad en un cultivo de tomate, *Solanum lycopersicum* L. cv. Marylu en invernadero.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

Para ello se medirán y analizarán los distintos parámetros relacionados con la calidad del fruto y se compararán en función de los distintos tipos de estructuras, mallas anti-insecto y calefacción que queremos comparar.

En concreto los parámetros de calidad que estudiaremos del tomate serán: el peso; el diámetro; el contenido de sólidos solubles; la acidez; la firmeza y la cantidad de materia seca del fruto del tomate.

Por tanto, el objetivo final de este ensayo es comprobar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores de cada uno de los parámetros de calidad que estudiaremos en función de: si usamos un invernadero raspa y amagado o uno multitúnel; si usamos calefacción por tuberías de agua caliente o por aire caliente de combustión indirecta; y de si usamos mallas de 10x20 hilos·cm⁻² o de 13x30 hilos·cm⁻².

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

2.1. LA AGRICULTURA BAJO PLÁSTICO.

2.1.1. SUPERFICIE OCUPADA.

El total de la superficie cultivada en invernadero a nivel mundial supone un total de 700.000 ha (Valera, 2013. Comunicación personal). De los cuales más de la mitad de dicha superficie se sitúa en el lejano oriente (Sanjuán, 2007). Siendo la segunda área de producción en invernadero la cuenca mediterránea con 150.000 ha, lo que implica un 21% de la superficie mundial (Valera, 2013. Comunicación personal).

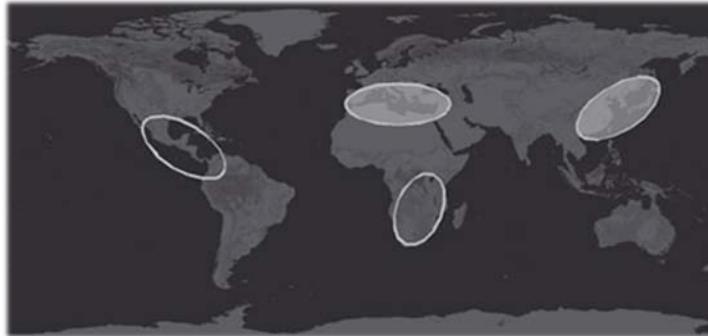


Figura 1. Distribución mundial de los invernaderos (Interempresas.net).

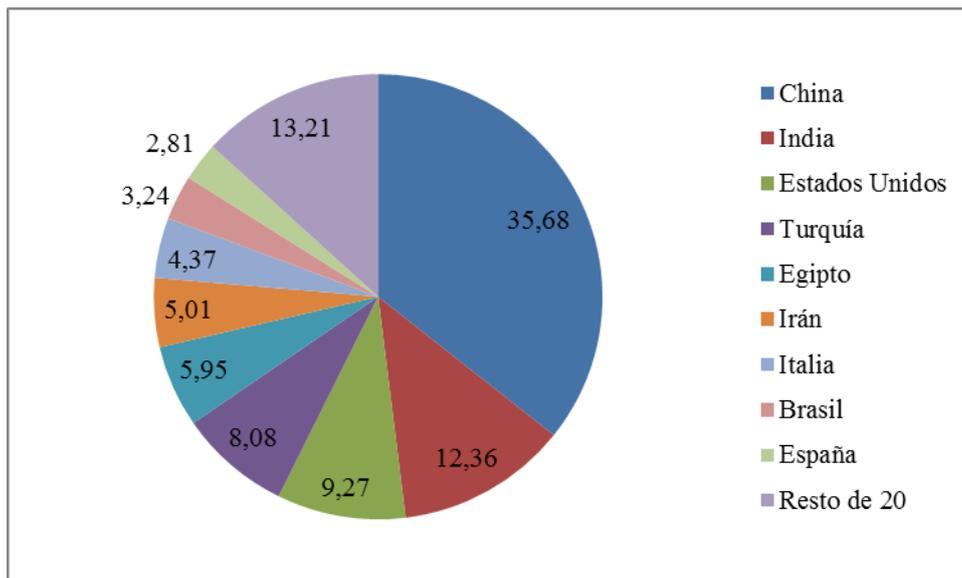
La aportación de España a la cuenca mediterránea en cuanto a lo que respecta a la superficie bajo invernadero es de 60.000 ha, contribuyendo con un 40% de la superficie mediterránea bajo invernadero (Valera, 2013. Comunicación personal).

El caso más llamativo de esta alta concentración es Almería. Esta provincia andaluza cuenta con 30.000 ha invernadas según una estimación de la Fundación Cajamar durante la campaña 2011/12, que supone la mitad de la superficie de invernaderos de España. Su participación a nivel mediterráneo sería del 20% y a nivel mundial del 4% (Valera, 2013. Comunicación personal).

2.1.2. IMPORTANCIA MUNDIAL DEL TOMATE.

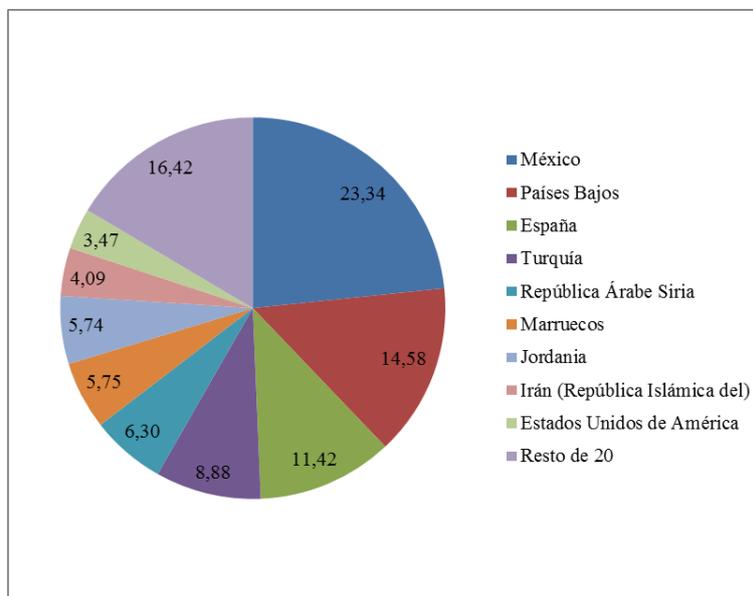
Según la FAO la producción de tomate en el 2011 se distribuyó de la siguiente manera dentro de los 20 primeros productores mundiales: China fue el principal productor de tomate en el mundo, con una participación de 36%. Le sigue la India con el 12%; los Estados Unidos, 9%; Turquía, 8%; mientras que España ocupó el noveno lugar, con un 3% de participación en la producción.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.



Gráfica 1. Participación de los 20 primeros países en la producción mundial de tomate en 2011 (Fuente: FAO, 2013).

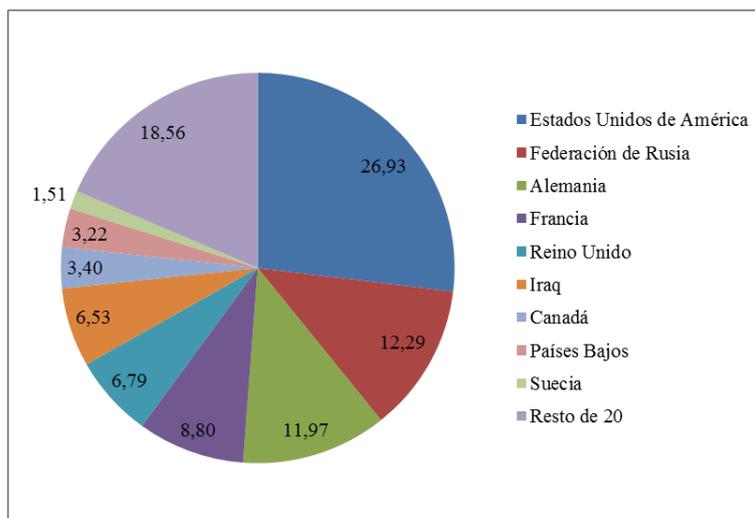
También según este organismo en 2010, los países que ocupan los primeros tres lugares en el ranking de los 20 mayores exportadores, comercializan poco más del 49% del total. México ocupa el primer sitio, con 23% del volumen de exportaciones mundiales de tomate; España ocupa el tercer lugar con el 11% de las mismas; siendo rebasado en segundo lugar por los Países Bajos con el 15% de las exportaciones mundiales.



Gráfica 2. Participación de los 20 primeros países exportadores mundiales de tomate en 2010 (Fuente: FAO, 2013).

Finalmente, en lo que respecta a los 20 países más importadores de tomate, durante 2010 (según FAO), los Estados Unidos lideraron las importaciones mundiales con un 27%, Rusia quedó en segundo lugar con un 12%. Continúan en la lista Alemania, Francia y Reino Unido con un 12%, 9% y 7%, respectivamente.

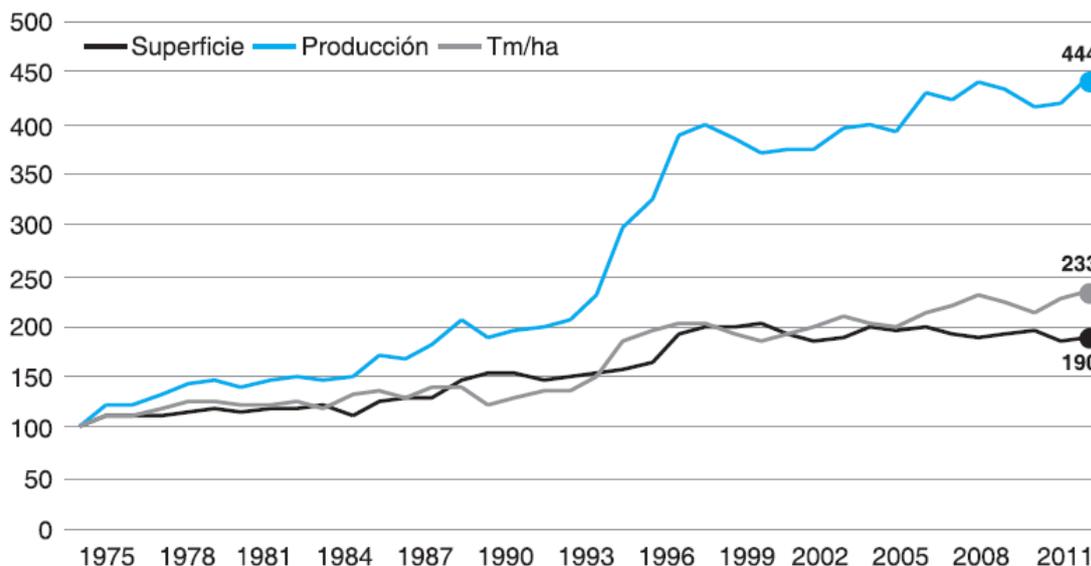
Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.



Gráfica 3. Participación de los 20 primeros países importadores mundiales de tomate en 2010 (Fuente: FAO, 2013).

2.1.3. PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE ALMERÍA.

La agricultura almeriense es un referente en España y en el resto del mundo. Este sistema de cultivo ha dado lugar a la concentración más grande de invernaderos del planeta. La superficie invernada en la provincia ha roto con la tendencia existente desde 2006 de estabilización, alcanzando este año las 30.000 hectáreas. Obviamente, esto se ha traducido en una mayor superficie de cultivo (se ha estimado que teniendo en cuenta los diversos ciclos se han puesto en producción 46.140 ha, un 3,4 % más) (Fundación Cajamar, 2012).



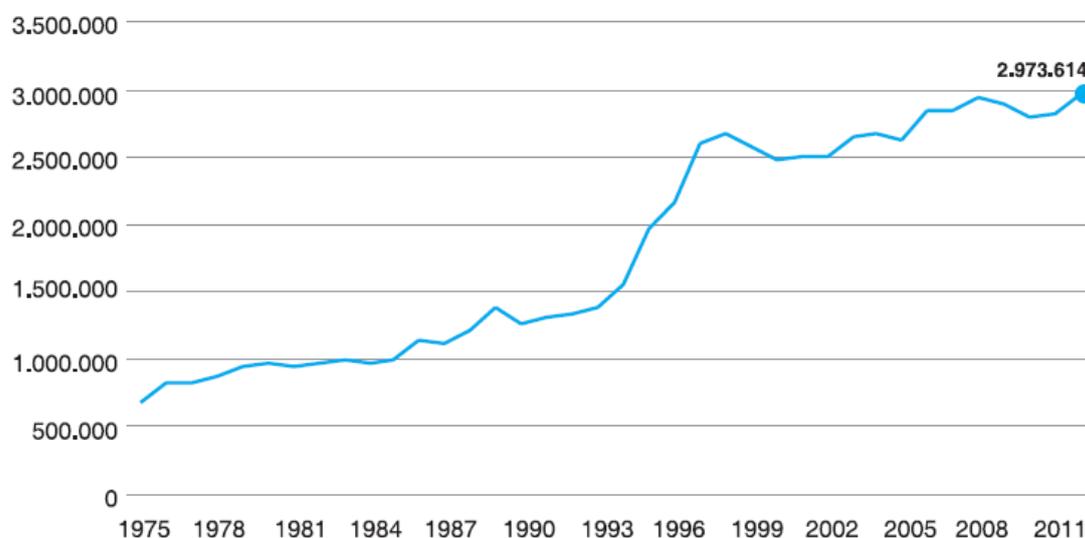
Gráfica 4. Evolución de la superficie, la producción y el rendimiento por hectárea. Índice 1975=100 (Fuente: Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2011/2012. Fundación Cajamar).

Los crecimientos de suelo no han sido homogéneos: concretamente, destacan los casos de la judía verde y el melón, que han roto con la tendencia marcada en años anteriores.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

Es particularmente interesante el primer caso, ya que las necesidades de mano de obra hacían menos competitiva a nuestra provincia frente a Marruecos. La explicación detrás de este comportamiento tal vez haya que buscarla en una reinternalización del trabajo. Es decir, la situación de crisis ha obligado a que muchos propietarios de explotaciones y sus familiares vuelvan a contar como mano de obra remunerada con beneficios y no con salarios. Otra tendencia detectada es el mayor recurso de los agricultores esta campaña al doble ciclo, en un intento evidente por maximizar los ingresos de las explotaciones (Fundación Cajamar, 2012).

Partiendo de esa base, la producción total ha crecido un 5,6 %, hasta las 2.973.614 t, cifra que supondría un nuevo máximo de producción para la provincia.

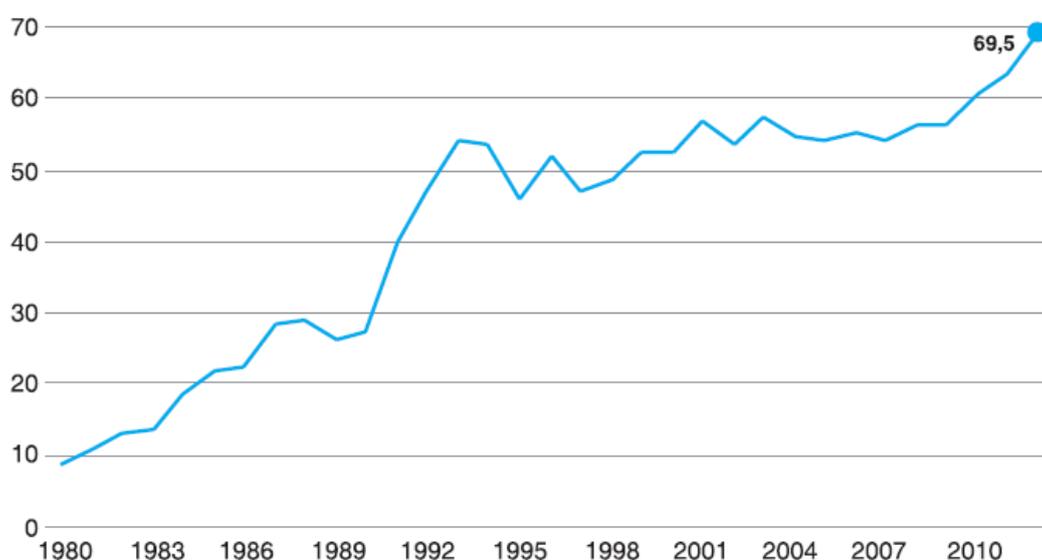


Gráfica 5. Evolución de la producción hortícola (1975-2012). En toneladas (Fuente: Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2011/2012. Fundación Cajamar).

El tomate sigue siendo el producto estrella, aunque registra un retroceso del 5,7 % con respecto a la campaña anterior. El pimiento, que este año alcanzó las 558.672 toneladas, afianza su segunda posición. En realidad, todas las especies, excepto el ya mencionado tomate, registran en esta campaña aumentos de producción, sobresaliendo nuevamente el caso de la judía verde, que ha registrado un significativo avance del 87,8 %, impulsada por las razones antes comentadas y, por supuesto, por unas cotizaciones que resultaban atractivas. A priori, un aumento de esta magnitud podría implicar un verdadero problema de cara a una comercialización en un mercado que presenta serios problemas de debilidad. La vía de escape que han encontrado estas producciones ha sido la misma que los sectores más competitivos de la economía nacional: las exportaciones (Fundación Cajamar, 2012).

Efectivamente, ante la falta de dinamismo del mercado nacional, las comercializadoras provinciales se han volcado en los mercados exteriores, alcanzando una cifra conjunta de expediciones de 2.067.803 toneladas, lo que supone un nuevo registro récord con respecto a la serie histórica y asciende ya al 69,5 % de la producción total (Fundación Cajamar, 2012).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.



Gráfica 6. Exportaciones sobre producción hortícola total. En porcentaje (Fuente: Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2011/2012. Fundación Cajamar).

En términos de valor, que es el que se convierte luego en renta, el resultado de la venta de los productos al agricultor supuso un total de 1.413.415.000 euros, es decir un 6,1 % más que en el ejercicio precedente. Dicho resultado fue fruto de los ya mencionados aumentos de producción, los cuales se vieron acompañados de una mejora generalizada de las cotizaciones, excepto en los casos de sandía, pimiento y berenjena (Fundación Cajamar, 2012).

	Media 2003/2012			Campaña 2011/12			Var. valor* (%)
	Cantidad (t)	Precio (Euros/kg)	Valor (Miles euros)	Cantidad (t)	Precio (Euro/Kg)	Valor (Miles euros)	
Berenjena	120.972	0,46	54.489	180.798	0,39	70.743	29,83
Calabacín	273.714	0,47	126.205	348.049	0,44	151.635	20,15
Judía verde	27.326	1,24	34.216	18.696	1,33	24.803	-27,51
Melón	172.657	0,39	68.111	135.105	0,38	51.386	-24,56
Pepino	348.009	0,44	151.534	417.262	0,41	169.086	11,58
Pimiento	541.184	0,69	368.524	558.672	0,63	353.797	-4,00
Sandía	304.371	0,29	86.735	386.820	0,26	102.053	17,66
Tomate	848.650	0,49	416.708	741.861	0,51	377.469	-9,42
Lechuga*	161.735	0,63	101.489	164.873	0,68	112.443	10,79
Total	2.798.620	0,50	1.336.969	2.952.137	0,52	1.413.415	5,70

* En el caso de la lechuga, la media hace referencia a las 3 últimas campañas.

Tabla 1. Comparación de la campaña 2011/2012 con la media de 10 últimas campañas (Fuente: Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2011/2012. Fundación Cajamar).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

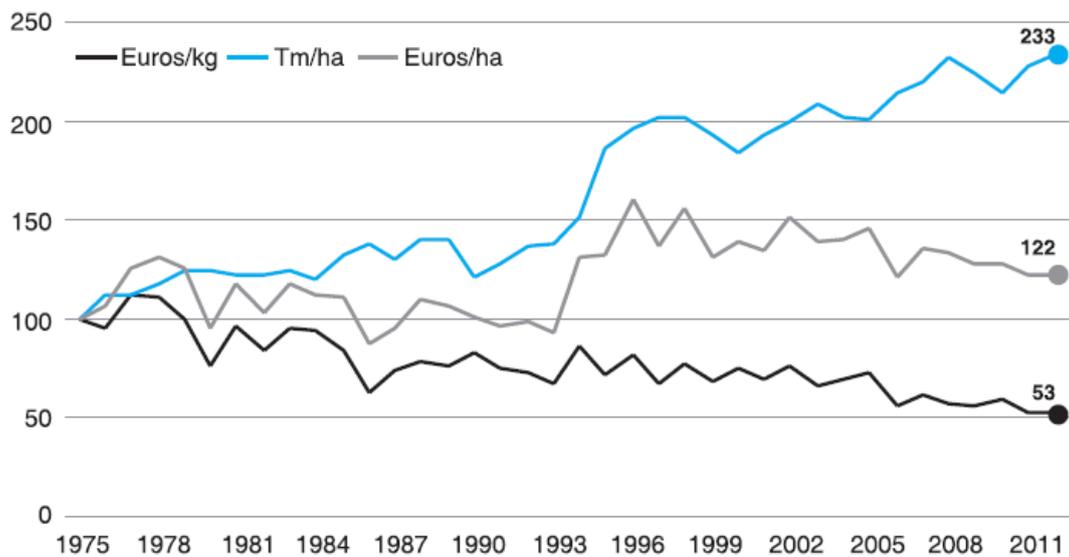
Respecto a los costes, prosigue la tendencia a la contención de los últimos ejercicios, con crecimientos o incluso descensos por debajo de la inflación, lo que contribuye a que se haya controlado, que no revocado, el proceso de pérdida de ingresos por hectárea. El conjunto de los gastos se incrementó un 0,4 %, siendo el coste de semillas y plantones el que ha tenido un comportamiento más inflacionario. El capítulo de costes que, por el contrario, se ha abaratado más ha sido el del control fitosanitario (-4,7 %), gracias al abaratamiento del control biológico derivado de la mejora del manejo de las poblaciones auxiliares y del aumento de la competencia en dicho mercado. La mano de obra, por su parte, que sigue siendo el componente de los costes más voluminoso, se ha incrementado un 0,9 % (Fundación Cajamar, 2012).

Para finalizar este repaso por las principales magnitudes de la campaña, debemos reseñar que durante el ejercicio alcanzamos una cifra de exportaciones de 1.741 millones de euros, lo que supuso un crecimiento del 9,2 % con respecto al ejercicio anterior. Igual que sucede con la producción, el tomate fue el principal producto vendido a los mercados exteriores, aunque a poca distancia se sitúa ya el pimiento (469,3 y 421,7 millones, respectivamente) (Fundación Cajamar, 2012).

Otra vez fue el mercado alemán el más importante para Almería, aumentando la facturación en dicho país en un 15,6 %. También mejoraron nuestros otros dos principales mercados tradicionales, a pesar de que su pulso económico fue menos poderoso que el germano. Francia nos compró un 5,3 % más, y Reino Unido un 8,7 % (Fundación Cajamar, 2012).

Hemos hablado de la reducción de la producción de tomate en Almería. Curiosamente, esta reducción no se ha producido en los mercados de exportación. Esta hortaliza mejoró la venta al exterior un 7,2 % en peso y un 11,5 % en valor (es decir, incluso logró un mejor precio medio que en el ejercicio anterior). En términos de valor sólo dos de nuestros productos vieron caer sus cifras; fueron el melón y la sandía, con pérdidas del 17,8 y 21,3 % respectivamente. El caso de la sandía es especialmente negativo, pues las cantidades exportadas prácticamente se repitieron con respecto al año anterior y, sin embargo, obtuvo el mayor retroceso porcentual en valor (Fundación Cajamar, 2012).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.



Gráfica 7. Rendimientos y rentabilidad de la producción hortícola en términos medios. Índice 1975=100 (Fuente: Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2011/2012. Fundación Cajamar).

2.2. MALLAS ANTI-INSECTOS.

A mediados de los ochenta se empezaron a utilizar las mallas de materiales plásticos en las aperturas de ventilación de los invernaderos. En aquellos momentos estas estructuras de cultivo eran de escasa altura construidas con madera de eucalipto y alambre y cuyo sistema de ventilación consistía simplemente en una apertura en las bandas, entre los enmallados de alambre, operando mediante la recogida del plástico y sin ningún tipo de protección adicional (Díaz *et al.*, 2003).

Los cultivos entutorados sufrían las consecuencias de los vientos, como del manchado de los frutos, a la vez que se perdía productividad en los líneas próximos a las bandas por el daño que producían agentes externos como el viento, pájaros, insectos, etc. Para resolver este problema se empezaron a colocar mallas mosquiteras en los huecos que dejaban los plásticos una vez que se recogían estos para proceder a su ventilación, con lo que se redujeron los daños notablemente, a la vez que se empezó a apreciar un descenso en el ataque de muchas plagas (Díaz *et al.*, 2003).

En la agricultura, el control químico de plagas ha sido y es el método preferido, pero este enfoque no puede considerarse como sostenible debido a los aspectos negativos que conlleva, tanto de contaminación medioambiental como de destrucción de la fauna auxiliar (Antignus, 2000).

Además, la tendencia en las últimas campañas es continuar el cultivo en los meses de verano, los cuales son los más propicios para la presencia de plagas, para mantener los clientes y compensar las posibles pérdidas de rentabilidad del cultivo, por lo que se hace aún más necesario el uso de elementos que impidan la entrada de insectos. Debido a esto ha aumentado la necesidad de incorporar técnicas de control distintas, entre las que

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

destaca el empleo de barreras físicas como mallas anti-insectos que impiden o reducen el contacto insecto-vector cultivo (Fontecha *et al.*, 2004).

Con la constatación de estos problemas se pone de manifiesto la necesidad de poner en práctica una producción sostenible y de esta manera, cada vez cobran mayor auge los sistemas de producción integrada, los cuales, basándose en las directrices de la Organización Internacional para la Lucha Biológica (OILB), tienen por objeto el producir alimentos y otros productos de calidad, utilizando recursos naturales y mecanismos reguladores para sustituir los insumos contaminantes y asegurar una producción sostenible, siendo uno de sus componentes esenciales la conservación de la diversidad ambiental (Viñuela, 1998).

Desde el punto de vista legislativo, la orden del 12 de diciembre de 2001 de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (BOJA 8/01/2002) establece, tanto las medidas de control obligatorias como las recomendadas, en la lucha contra las enfermedades víricas en los cultivos hortícolas protegidos incluyendo como medida de control obligatoria de carácter estructural específica: “la utilización de mallas en bandas y cubreras del invernadero de una densidad mínima de 10x20 hilos·cm⁻², excepto en aquellos casos en los que no permitan una adecuada ventilación del invernadero” (Díaz *et al.*, 2003).

En relación con estos métodos de control, es fundamental utilizar la propia barrera física que supone el invernadero, como primera herramienta de manejo integrado, garantizando el adecuado estado de conservación de la cubierta y las aperturas de ventilación (Fernández-Rodríguez, 2002).

La materia prima más utilizada en la fabricación de hilos para la confección de las mallas es el polietileno de alta densidad (HDPE), y es utilizado en un 85% del total de las fibras empleadas en los agrotexiles. Se emplean también, en menor porcentaje, el poliéster y la poliamida en un 3% y 7% respectivamente. Los diámetros de los hilos oscilan entre 0,1 a 0,3 mm y la tecnología de fabricación o confección del agrotexil es la de los tejidos de calada y de punto por urdimbre; ambos tipos de tejido confieren al agrotexil una elevada resistencia a la tensión, elasticidad y múltiple funcionalidad (Fontecha *et al.*, 2004).

El gran obstáculo que presenta la utilización de mallas densas para el agricultor reside en la limitación que tienen estas sobre la renovación de aire. Sin embargo, existen argumentos a favor del menor riesgo del uso de estos materiales derivados de la introducción de innovaciones tecnológicas en el diseño de los invernaderos a lo largo de los últimos años como el incremento de altura y el volumen unitario del invernadero y de su superficie de ventilación, la mejora de su geometría, la orientación más idónea con respecto a los vientos dominantes o la instalación de removedores de aire, con el fin de buscar mayor eficiencia en el control del microclima (Díaz *et al.*, 2003).

Existe en el mercado una gran variedad de mallas anti-insectos para utilizar en las aberturas laterales y cenitales del invernadero, todas con el mismo objetivo: impedir la entrada de insectos que puedan ser vectores de virus o disminuyan la calidad del fruto por daños directos como pueden ser picaduras o puestas de huevos. La diferencia entre unas y otras a parte del precio, estriba en el tamaño de los poros de los tejidos. Según

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

esto, cabría pensar que la más eficaz es la que tenga un menor tamaño en sus poros, que será la más difícil de franquear por los insectos. Sin embargo, estas mallas además de impedir la entrada de insectos deben ser lo suficientemente permeables al paso del aire como para proporcionar al cultivo un microclima óptimo, sin perjuicio de unas condiciones adversas para el desarrollo de enfermedades criptogámicas (de origen fúngico) (Fontecha *et al.*, 2004).

La ventilación natural en los invernaderos de la región mediterránea, es una de las mejores y más económicas herramientas de control de clima (Demrati *et al.*, 2001).

Las mallas reducen la tasa de ventilación de manera evidente, con descensos en invernaderos tipo “Almería” de hasta el 56,6%. Una adecuada ventilación en invernaderos mediterráneos es crucial para mantener las condiciones microclimáticas adecuadas para los cultivos (Valera, 2003).

El descenso en la tasa de renovación del aire en el interior del invernadero genera problemas de enfermedades y disminución en el rendimiento y calidad de los cultivos (Arellano, 2004).

Otra consideración importante es la acumulación de polvo en las mallas sobre todo en zonas de cultivo áridas o semiáridas, cuya presencia resta aún más capacidad de renovar el aire, por lo cual se hace necesario dedicar un pequeño esfuerzo al mantenimiento de estas aperturas proyectando, a ser posible, desde el interior del invernadero hacia el exterior agua para limpiarlas sin perjudicar el cultivo (Díaz *et al.*, 2003).

Las plagas en los cultivos por lo general, y en particular aquellas que actúan como vectores de virus como: mosca blanca del tabaco (*Bemisia tabaci*), mosca blanca de los invernaderos (*Trialeurodes vaporariorum*) y el trips (*Frankliniella occidentalis*), se han convertido actualmente en el problema con mayor repercusión económica en la horticultura protegida alcanzando los tratamientos fitosanitarios para control de mosca blanca en algunos casos hasta un 70% de los costos de producción, con las consecuentes afectaciones al medio ambiente por la aplicación de fitosanitarios de síntesis por su efecto residual y repercusión sobre la fauna auxiliar, insectos polinizadores, etc., y riesgo de intoxicación que sufren los aplicadores. Lo que constituye que exista un rechazo social en la instrumentación de tales prácticas, por lo que es necesario buscar alternativas ambientalmente sostenibles que solucionen los problemas derivados de los insectos transmisores de virus (Díaz *et al.*, 2003), en un contexto de lucha integrada mediante la aplicación racional de una combinación de medidas biológicas, biotecnológicas, químicas, de cultivo o de selección de vegetales, de modo que la utilización de productos fitosanitarios se limite al mínimo necesario para el control de las plagas (BOJA N°. 211, del 2007).

La incorporación de mallas anti-insecto para la exclusión de insectos plaga en el invernadero es una técnica de manejo integrado de plagas que no depende de la aplicación de plaguicidas. Las ventajas del uso de mallas en las ventanas incluyen la reducción en el número de tratamientos fitosanitarios y reducción en la exposición a los plaguicidas de los trabajadores (Cabrera *et al.*, 2002). El principal inconveniente es la reducción de la tasa de ventilación. Dicha reducción es drástica si pretendemos que la malla realmente se comporte como una buena barrera a la entrada de insectos.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

Para proteger los cultivos bajo invernadero de los insectos plaga se emplean una amplia gama de mallas de protección, con diversos tamaños de poros, para las aperturas de ventilación en los invernaderos mediterráneos que modifican el gradiente de temperatura del microclima del invernadero (Soni *et al.*, 2005), que por sus características tiene una importante trascendencia desde el punto de vista económico y ambiental al permitir la circulación del aire e impidiendo el paso de insectos plaga al interior del invernadero, que provocan cuantiosos daños directos y que además son transmisores de enfermedades víricas (Teitel, 2001).

El uso de mallas anti-insecto reduce perceptiblemente la circulación de aire y aumenta los gradientes térmicos dentro del invernadero, se ha observado una reducción de hasta el 46% de la tasa de renovación del microclima interior (Majdoubi *et al.*, 2007). A medida que disminuye el tamaño de los poros de los tejidos, la renovación de aire del invernadero se reduce, con lo que se presentan problemas de ventilación, para lo cual se han probado las características aerodinámicas de las mallas forzando el flujo del aire en un túnel de viento (Valera *et al.*, 2006). Se ha observado que la disminución de la porosidad de la malla anti-insectos aumenta los gradientes verticales de temperatura de entre el 5 y 10%. Estos patrones verticales del gradiente de la temperatura fueron encontrados en invernaderos con cultivo de tomate (Soni *et al.*, 2005).

Las mallas anti-insectos, están cumpliendo parcialmente con su función, las características técnicas del fabricante, por ejemplo en el bloqueo del paso de la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) en algunos casos no se cumplen (Cabrera *et al.*, 2002). Este hecho puede deberse a la no uniformidad de la confección de la malla cuyos poros deberán tener un determinado número de hilos por unidad de superficie (Valera *et al.*, 2003).

En la actualidad se están desarrollando nuevos materiales con hilos de menor diámetro, lo que permite la confección de un tejido con un mayor número de hilos por unidad de superficie (Álvarez *et al.*, 2005). Pero esto mismo reduce la tasa de ventilación natural de una estructura de invernadero de entre 60 y 70% (Fontecha *et al.*, 2004; y Cabrera *et al.*, 2002), por lo que es necesario conocer otros parámetros como disposición de los hilos, orificios máximos, grosor de los hilos y su espectro; transmisión global de luz visible, difusión de la luz, etc. (Teitel, 2007; y Fontecha *et al.*, 2004) que permitan obtener la mejor eficiencia microclimática del invernadero y el bloqueo de entrada de insectos vectores de enfermedades en los cultivos, otros autores (Katsoulas *et al.*, 2006) confirman este hecho.

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 agrotéxtil, se pueden obtener valores idénticos de porosidad con distintos números de hilos por centímetro y diferentes tamaños de hueco (Álvarez *et al.*, 2004).

La ausencia de una norma en el diseño y fabricación de las mallas anti-insectos ha originado que se encuentren en el mercado una amplia diversidad que en muchos casos

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

la selección se hace en función de la prueba y error por parte de los agricultores, por lo que se hace necesario que se den los primeros lineamientos tendientes a la definición de los criterios normativos que deberá constituir una norma que regule el proceso de diseño y fabricación de las mallas anti-insectos (Díaz *et al.*, 2003).

2.2.1. TIPOS DE MALLAS ANTI-INSECTOS.

En función de su forma de construcción, se pueden clasificar en dos tipos (Álvarez *et al.*, 2004):

Tejidas. Actualmente ésta 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 los huecos pueden distorsionarse cuando se les aplica una tensión lateral, alterando tanto la exclusión de insectos como la resistencia aerodinámica. En general, están tejidas con hilos monofilamento de polietileno.

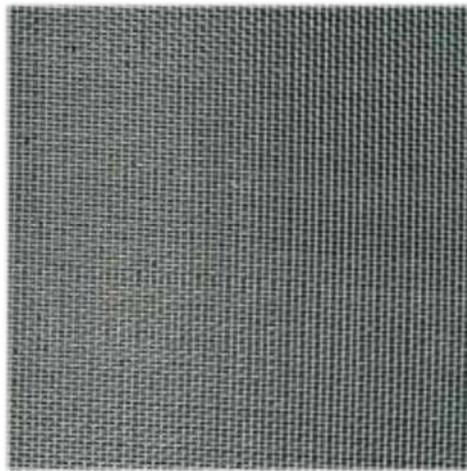


Figura 2. Malla anti-insectos tejida.

Anudadas. En este tipo de mallas cada hilo es atado alrededor del siguiente, formando una malla de nudos con una alta resistencia al desgarro y la rotura. Los lazos y nudos adicionales pueden disminuir drásticamente la permeabilidad de la malla. La geometría de los huecos es tan heterogénea que limita drásticamente su uso.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

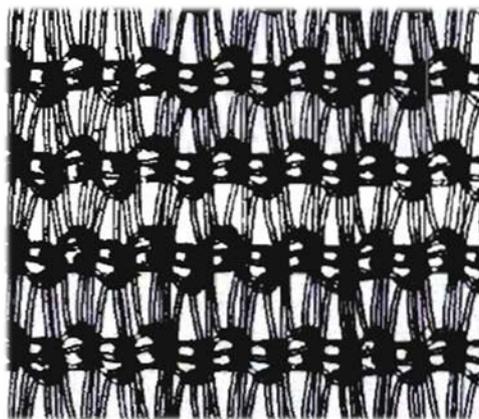


Figura 3. Malla anti-insectos anudada.

2.2.2. INFLUENCIA DE LAS MALLAS EN LA VENTILACIÓN.

La ventilación natural es uno de los métodos más importantes para controlar el microclima del invernadero (Kittas *et al.*, 2002) y tiene una importancia fundamental en las regiones de clima templado y cálido en las que el bajo costo de los insumos es una de las claves de su competitividad.

El intercambio de aire entre el interior y el exterior del invernadero incide de manera clara en el clima del cultivo. No solamente cambia el balance de energía, y por tanto la temperatura del aire, sino que también afecta al contenido de vapor de agua y de anhídrido carbónico. Actuar sobre la ventilación resulta primordial para el buen desarrollo de los cultivos en los invernaderos típicos de Almería (Valera *et al.*, 2002).

El área de ventilación es de 15 al 30% de la superficie de suelo cubierta por el invernadero, además es conveniente que la superficie de las aberturas cenitales suponga de 1 a 2/3 de la superficie total de ventilación, de forma que se facilite la ventilación por efecto “chimenea” cuando la velocidad del viento es pequeña (Valera *et al.*, 2002).

Las mallas reducen la tasa de ventilación del orden del 40% con malla antipulgón, al 70 u 80% con mallas anti-trips (Montero, 2000), aunque la reducción de la tasa de ventilación puede ser mayor con una velocidad del viento muy baja (Cabrera *et al.*, 2002).

En áreas de gran concentración de invernaderos, donde estos se ubican muy próximos, el efecto del viento está restringido (Castilla y Prados, 2007).

En invernaderos de anchura superior a 30 m se recomienda la utilización de ventilación cenital en los invernaderos de Almería, con una anchura media de 50 m, la ventilación lateral es insuficiente ya que la distancia que separa la banda de entrada de la de salida dificulta enormemente el establecimiento de una corriente de aire (Valera *et al.*, 2002).

La ventilación se expresa mediante un número de renovaciones por hora $R [h^{-1}]$, número de veces por hora que el volumen de aire del invernadero es reemplazado. Esta tasa de renovación es función de la radiación solar global exterior, la diferencia de temperatura

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

entre el aire interior y exterior, la velocidad del viento y la amplitud de las ventanas (Valera *et al.*, 2002).

La ventilación natural permite la renovación del aire caliente interior, por aire fresco del exterior. Se consigue por medio de aberturas permanentes o temporales en el techo, en las paredes laterales o en las frontales. Es el sistema más empleado y el más barato (Castilla y Prados, 2007).

La eficiencia de la ventilación, cuantificada por la tasa de renovación de aire (R), depende de las condiciones climáticas: fuerza y dirección del viento exterior y diferencia de temperatura entre interior y exterior. Estos dos efectos, efecto viento y efecto térmico, generan diferencias de presión que hacen moverse el aire desde las presiones más altas a las más bajas. La eficiencia de la ventilación depende, también, de las características de las aperturas y de la vegetación (Castilla y Prados, 2007).

Una abertura en cumbrera favorece la ventilación (efecto chimenea). La eficacia de la ventilación cenital depende de la altura del invernadero. Debido al efecto chimenea los invernaderos más altos ventilan mejor, por lo que es recomendable que tengan, al menos, 3 m de alto (Urban, 1997).

Generalmente, se consideran necesarias 60 renovaciones de aire por hora para evitar un calentamiento superior del aire exterior, este número no será alcanzado hasta que las velocidades del viento exterior excedan de 1 ms^{-1} en un invernadero con renovaciones por hora, se requiere la ventilación lateral o la ventilación forzada (Hanan, 1998).

La resistencia de las mallas al flujo de aire se refleja en la pérdida de presión a través de la malla, que varía con el cuadrado de la velocidad de aproximación del aire a la malla. Es recomendable que la caída de presión que se produce a través de la malla sea muy pequeña (Álvarez *et al.*, 2004).

La ventilación natural es sin duda el factor más importante en los invernaderos almerienses ya que es el principal método de refrigeración para disminuir las elevadas temperaturas estivales que llegan a ser superiores a los 30-35 °C, a las que los cultivos hortícolas sufren estrés térmico, o para reducir la humedad relativa cuando esta se eleva excesivamente y puede dar lugar al desarrollo de hongos sobre plantas. Si se consideran las temperaturas y humedades óptimas de este cultivo, en las temporadas de floración y fructificación, entonces se tendría que mantener un intervalo de temperaturas de 20-30 °C y una humedad relativa del 60% (Valera *et al.*, 2002).

Con respecto al DPV (déficit de presión de vapor) algunos autores consideran valores altos cuando rondan 1,13 kPa, bajos cuando rondan 0,69 kPa, lo que corresponde en diferentes regímenes de transpiración en la planta como alto y bajo respectivamente (Bellert *et al.*, 1998), demostrando que la transpiración decrece cuando disminuye el valor absoluto del DPV, (Tanner y Beevers, 1990). Pudiendo establecer un intervalo óptimo de DPV a aquel comprendido entre 0,5 y 1,5 kPa (para valores de humedad ambiental entre 60 y 85%) siempre con los valores más bajos durante la noche con respecto al día. Los valores registrados en invernaderos tradicionales de Almería oscilan entre 0,2 kPa (90% de humedad) durante el periodo nocturno en otoño-invierno, y

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

próximos a 3 kPa durante el mediodía solar en primavera-verano y frecuentemente en los inicios del cultivo (poca masa foliar) (Salas y Urrestarazu., 2001).

La ventilación natural es el resultado de las diferencias de presión que originan tanto el viento como los gradientes térmicos, y está muy influenciada por el enfriamiento del aire provocado por la evapotranspiración del cultivo. Es muy importante para restablecer la concentración de CO₂ provocado por las plantas al realizar la fotosíntesis (Salas y Urrestarazu., 2001).

El nivel normal de CO₂ en el aire libre es algo más de unas 300 ppm, dentro de un invernadero este valor oscila entre 180 y 250 ppm durante el día y entre 400 y 500 ppm durante la noche, estando el valor óptimo recomendado según la especie entre 500 y 3000 ppm, siendo, en cualquier caso, valores inferiores a los registrados dentro de un invernadero (Lorenzo *et al.*, 1990).

Cada tipo de invernadero posee distintas configuraciones de ventanas, como norma general es recomendable disponerlas tanto en el perímetro como en el techo (ventanas cenitales). También es beneficioso utilizar, fundamentalmente en climas áridos, ventilación cenital en todas las capillas. El efecto combinado de la ventilación cenital y lateral es muy positivo, provocando mayores tasas de renovación (Valera *et al.*, 2003).

Se han realizado numerosos trabajos, de los que se desprende que existen diferencias significativas de humedad relativa entre las zonas próximas a las ventanas y las alejadas (Arellano, 2004), y un importante gradiente de temperatura desde las ventanas laterales bien refrigeradas hasta el centro del invernadero donde se alcanzan temperaturas excesivas, hasta 10°C superiores a la temperatura exterior (Molina-Aiz *et al.*, 2003). La recepción de la heterogeneidad ambiental en la producción puede llegar a ser importante.

Para intentar paliar los efectos producidos por las mallas, de reducción de la tasa de ventilación, se puede actuar a tres niveles distintos (Teitel *et al.*, 2009):

- Cambios a nivel de los poros de las mallas.
- Cambios en el tamaño efectivo de los huecos.
- Cambios en la estructura geométrica de los huecos.

Los dos primeros tratan de paliar los efectos mejorando la resistencia al flujo de aire de las mallas, mientras que el tercero trata de hacerlo cambiando la distribución de la presión en la estructura, y con ello el flujo de aire en ella y alrededor de ella (Teitel *et al.*, 2009).

La mayor parte de los estudios realizados hasta ahora trabajan a nivel del tamaño efectivo de los poros. Muchos de dichos estudios sugieren un aumento en la superficie destinada a la ventilación para compensar la posible escasez de esta. En los invernaderos multitúnel, con ventanas cenitales, una posibilidad es aumentar el ángulo de apertura de las ventanas al máximo (Bailey *et al.*, 2003).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

De igual forma, existe la posibilidad de colocar las mallas inclinadas en lugar de rectas (Teitel *et al.*, 2009) para aumentar la superficie de malla y compensar el efecto negativo sobre la ventilación que producen.

2.3. CALEFACCIÓN.

La temperatura es uno de los parámetros climáticos que mayor influencia ejercen sobre los cultivos al afectar a su crecimiento a través de la función fotosintética, la respiración y la transpiración. Por otro lado, su desarrollo se ve afectado por las temperaturas extremas que pueden dañar los tejidos (cuando se producen heladas) u originar malformaciones o desordenes fisiológicos. En invernadero no es normal que se lleguen a producir heladas por descenso de la temperatura del aire por debajo de los 0 °C (Valera, 2003). Sin embargo, si suele ser frecuente que en el periodo invernal se alcancen durante la noche temperaturas por debajo de 10 °C, valor considerado como el límite superior por debajo del cual muchas especies hortícolas sufren daños y mermas importantes en su rendimiento (Von Zabeltitz, 1992).

Con la aplicación de los plásticos en la agricultura, y la creación de ambientes tan aislados, en principio se pensó que ese abrigo ya proporcionaba temperatura suficiente en estos climas tan templados. Pronto se vio que era económico el empleo de un generador de calor para evitar los daños de las heladas, que ocurrían escasos días al año. En poco tiempo los invernaderos se han ido perfeccionando y la calefacción hoy día es un elemento muy frecuente también en los invernaderos mediterráneos (Fernández-Zamudio *et al.*, 2006).

Los invernaderos equipados con un sistema de calefacción representan tan solo un 0.5% en Almería debido principalmente a que las necesidades de una fuente de calor suplementaria se reducen a unos pocos días al año. El riesgo de heladas se reduce a menos de 10 días en la comarca del Almanzora y a un día al año en el resto de zonas invernadas (Valera, 2003).

Cuando la temperatura desciende por debajo de 10-12 °C, las especies termófilas (entre las que podemos considerar la mayoría de las hortalizas que se cultivan bajo protección en el litoral mediterráneo) presentan las siguientes alteraciones (Lorenzo, 2000):

- Reducción del crecimiento.
- Disminución de la tasa de asimilación neta.
- Depresión de la respiración.
- Reducción del transporte y distribución de asimilados.
- Disminución de la absorción de agua y sales.
- Cambios anatómicos y morfológicos.
- Pérdida de fertilidad.
- Envejecimiento precoz del tejido fotosintético por necrosis celular.

Los niveles de temperatura que maximizan la producción se sitúan entre 16-20°C para el período nocturno y 22-30 °C para el diurno. Sin embargo, normalmente divergen del óptimo económico debido a los elevados consumos de energía que ellos suponen, haciéndose necesario gestionar el aporte de calor mediante estrategias de clima, formación cultural de la planta y mercados de comercialización. Las estrategias de

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

clima habitualmente implican: utilizar pantallas de ahorro de energía, condicionar el nivel térmico a las distintas fases fisiológicas del cultivo, período diurno-nocturno, saltos térmicos, etc. (Lorenzo, 2000).

En general, las temperaturas óptimas decrecen con la edad de la planta y varían según el proceso que se pretende optimizar (translocación, fotosíntesis bruta, crecimiento de raíz, cosecha, etc.) (Hanan, 1998). Con una temperatura más alta, del orden de 22 a 23 °C se activa el crecimiento vegetativo en hortalizas como tomate, mientras que valores inferiores (18-19 °C) favorecen el desarrollo del fruto (Kamp y Timmerman, 1996). La temperatura «óptima», asimismo, depende de las condiciones de radiación y de concentración de CO₂ del aire.

Aunque las plantas tienen gran capacidad para integrar las temperaturas en períodos superiores a 24 horas, es necesario que no se sobrepasen ciertos límites térmicos, que suelen situarse entre 10 y 25 °C para las especies hortícolas. En general, si las temperaturas son inferiores a las óptimas habrá menos producción de alta calidad (Hanan, 1998). Pero no debemos olvidar que el objetivo económico debe priorizar la elección de temperaturas de manejo, si se emplea calefacción.

La integral térmica permite cuantificar los efectos acumulados de la temperatura sobre los procesos de desarrollo de las plantas, de modo que la duración de una fase de desarrollo depende, en condiciones normales, de la integral térmica aunque las temperaturas diurnas y nocturnas sean distintas (Slack y Hand, 1983).

En invernaderos calefactados, el adecuar las temperaturas nocturnas a la radiación solar recibida el día anterior ha sido recomendado, para limitar los costes de calefacción sin afectar al crecimiento (Gary, 1989), de modo que un día de poca radiación no necesita temperaturas nocturnas tan altas como un día de mucha radiación, para una apropiada redistribución de los asimilados del día anterior. De modo similar, el empleo de temperaturas decrecientes a lo largo de la noche, en forma de cascada, permite ahorrar costes sin efectos negativos en el crecimiento (Toki *et al.*, 1978). Se pueden conseguir ahorros relevantes de energía adecuando las condiciones de calefacción al medio exterior, manteniendo temperaturas de consigna más bajas en ausencia de viento (Spanomitsios, 2001).

En el manejo diario, los umbrales mínimos de temperatura durante el día deben ser de 6 a 11 °C mayores que los de la noche, en días soleados, diferencia que debe ser de 3 a 6 °C en días nublados (ASAE, 2002). Otros autores (Berninger, 1989) recomiendan limitar estas diferencias en invierno, manteniendo la temperatura diurna de 3 a 4 °C más alta que la nocturna en días nublados y de 6 a 8 °C en días soleados.

La mayoría de las especies hortícolas comestibles cultivadas en invernadero en el litoral mediterráneo presentan una gran reducción de la actividad metabólica por debajo de 10 a 12 °C (FAO, 1988), variando los rangos de temperaturas óptimas entre 15 y 20 °C durante la noche y entre 22 y 28 °C durante el día (Tesi, 2001).

Para una calidad de fruto óptima se recomiendan, como norma general, umbrales de temperatura día/noche para calefactar, con cultivos desarrollados, de 19/17 °C en tomate, 22/18 °C en pimiento, 21/19 °C en pepino y berenjena, mientras que en los

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

cultivos menos exigentes como lechuga se limita a 12/6 °C (Urban, 1997) en invernaderos sofisticados. Estos valores pueden disminuirse ligeramente en condiciones de poca radiación (Kamp y Timmerman, 1996). En todo caso, deben prevalecer los criterios económicos a la hora de definir estos umbrales en cada caso concreto. En invernaderos poco tecnificados estos umbrales de temperatura suelen ser menores, al ser sus niveles de equipamiento y de aislamiento más primarios.

Durante el invierno el manejo de temperaturas consigna en invernaderos mediterráneos de 22 °C (día)/18 °C (noche) al inicio del ciclo, para continuar con 20/16 °C durante la fase de crecimiento vegetativo y bajar a 18/14 °C en la fase productiva de un pepino o judía induce elevados consumos de energía (Lorenzo *et al.*, 1997). Lo que puede dificultar su viabilidad económica.

Diversas experiencias recomiendan (desde noviembre a mediados de marzo en Almería), al emplear calefacción por aire caliente en invernadero tipo parral, de escaso hermetismo, situar la temperatura consigna para calefacción en cultivo de pepino o judía entre 12 y 14 °C (López *et al.*, 2000), para limitar el consumo de combustible (propano). Obviamente, en cada caso concreto, las condiciones económicas deben ser las determinantes del manejo de calefacción, a fin de mantener unos gastos de calefacción que resulten económicamente rentables, pues los consumos de energía estimados en invernaderos mediterráneos crecen exponencialmente con la temperatura de consigna (López, 2003).

El incremento de la tasa de humedad está relacionado con un incremento de la temperatura del punto de rocío del aire, y con un aumento del riesgo de condensación del vapor sobre el cultivo. La calefacción por aire puede dar lugar a la aparición de enfermedades fúngicas por condensación del vapor de agua (Teitel *et al.*, 1999).

2.3.1. TIPOS DE SISTEMAS DE CALEFACCIÓN EN INVERNADEROS.

Los aportes de calor para elevar la temperatura del invernadero pueden efectuarse, según los objetivos del productor, a la parte aérea del cultivo, a la parte radicular, o a las dos (Castilla y Prados, 2007).

En la calefacción de órganos aéreos el calor se transmite por convección o radiación, mientras que en la calefacción de suelo o sustrato la transmisión de calor se efectúa por conducción. Lo que importa es la temperatura de las plantas y no la del aire que las rodea, que sólo contribuye en parte (Castilla y Prados, 2007).

La temperatura de la superficie de las plantas resulta de sus intercambios de calor sensible, convectivos con el aire, y radiativos con todas las superficies que le rodean, a los que hay que añadir los intercambios de calor latente por transpiración, principalmente de día, y, a veces, los de condensación de vapor de agua en forma de gotas sobre las hojas (Castilla y Prados, 2007).

Según utilicen una o varias de las formas en las que el calor se puede transferir (convección, conducción y radiación), podemos clasificar los sistemas como:

2.3.1.1. SISTEMAS DE CALEFACCIÓN POR CONVECCIÓN.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

Son sistemas en los que el elemento conductor del calor es el aire. Debido a su poca inercia, proporcionan un aumento rápido de la temperatura del aire, enfriándose de igual forma al dejar de actuar. Generan importantes gradientes térmicos y pérdidas de calor al ir localizados, normalmente, sobre el cultivo (López, 2001).

Los sistemas que utilizan 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 (Valera, 2003).

Los sistemas de calefacción convectivos son poco eficientes. Además el aire caliente pesa menos que el aire frío y tiende a elevarse, lejos de las plantas. Puede haber diferencias de temperatura entre la base y lo alto de la planta de 2 a 3 °C (Urban, 1997). Como ventaja, los sistemas convectivos son baratos de instalación y de rápida respuesta, pero de poca inercia térmica. Es usual su empleo en invernaderos baratos, como sistemas de defensa de temperaturas muy bajas. En ese caso suele mantenerse una temperatura consigna de 5 a 7 °C, para arranque de sistema (Urban, 1997).

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 están indicados. Al estar colocados sobre el cultivo, su proximidad a la cubierta del invernadero es mayor, por lo que las pérdidas de calor a través de esta por convección son muy elevadas. Debido al moviendo del aire se producen gradientes térmicos importantes dentro del invernadero con lo que se obtiene una gran heterogeneidad en la temperatura ambiental (Valera, 2003).

Entre los sistemas convectivos: aerotermos, generadores de aire caliente de combustión indirecta y generadores de aire caliente de combustión directa; los dos últimos son los más utilizados (López, 2001).

Generadores de aire caliente de combustión directa.

Tanto el aire caliente como los gases de combustión son incorporados al invernadero. El combustible a utilizar debe de contener el menor número de elementos tóxicos, siendo el propano y el gas natural los más recomendados. Sólo deben usarse en calefacción para defensa de bajas temperaturas excepcionales (de corta duración) y de apoyo (López, 2001).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.



Figura 4. Generador de aire caliente de combustión directa.

En la mayoría de los semilleros de Almería se dispone de cañones de calefacción. Este tipo de generadores de aire caliente están provistos de un quemador y un ventilador de gran capacidad (3000 a 6000 m³/h) lo que les permite tener una gran potencia térmica (20-80 kW) (Valera, 2003).

Es importante controlar los niveles de los gases de combustión para evitar problemas a personas y plantas. El rendimiento de la máquina se considera del 100% al introducir también el calor que acompaña a los gases de combustión (López, 2001).

Por lo general están equipados con electro válvula, termopar y termostato de seguridad. También pueden tener presostatos de seguridad para parada en caso de faltarle el aire. Mediante un simple termostato que funcione con la temperatura ambiente se puede automatizar su funcionamiento. Las sondas de temperatura normalmente se encuentran a unos 30 metros de los generadores (Valera, 2003).

Generadores de aire caliente de combustión indirecta.

Mediante un cambiador de calor, se separan los gases de combustión expulsándolos al exterior, introduciendo únicamente aire caliente al invernadero. Dado que parte del calor es expulsado con los gases de combustión, el rendimiento de estas máquinas suele estar entre el 80-90% (López, 2001).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.



Figura 5. Generador de aire caliente de combustión indirecta.

En la zona costera es muy raro encontrar un invernadero equipado con sistema de calefacción de este tipo, puesto que el riesgo de heladas es prácticamente despreciable. Para estos invernaderos se pueden utilizar generadores de aire caliente con el fin de aumentar las bajas temperaturas invernales manteniendo una temperatura interior superior a 10 ° C de forma que el cultivo se desarrolle en condiciones óptimas. En este caso no se intenta evitar daños en el cultivo por heladas, sino que el objetivo es acelerar la entrada en producción del cultivo con fines comerciales (Valera, 2003).

La distribución del calor mejora notablemente si se efectúa con mangas de plástico flexible perforadas (colocadas en bajo para evitar sombreos). Se recomienda diseñar los tubos para un caudal de un tercio a un cuarto del volumen del invernadero por minuto, con una velocidad de aire al inicio del tubo de 5 a 6 m·s⁻¹. La superficie total de perforaciones en el tubo debe ser, en total, del 150 al 200% de la sección del tubo (ASAE, 2002). La longitud de cada tubo no debe superar los 50 metros, siendo preferible que se limite a 30 m. La temperatura de la planta suele ser inferior a la del aire, lo que implica riesgos de condensación de agua en las superficies vegetales y, al no aportar calor por radiación, no calienta el suelo en época fría (Bordes, 1992).

Los generadores de combustión indirecta están formados por un quemador de gasoil, uno o dos ventiladores y los tubos por donde pasa el aire caliente antes de ser expulsado (Valera, 2003).

El ventilador principal suministra aire al quemador e impulsa el aire resultante de la combustión fuera del invernadero haciéndolo pasar a través de un tubo metálico de 0,5 m de diámetro con una longitud de 8-10 m. Este sistema proporciona una potencia de 125 kW, con un caudal de ventilación de 8000 m³/h. Además se coloca un segundo tubo de 1 m de diámetro rodeando el primero, por donde circulan los gases de escape, con una longitud de 5-6 m. En uno de sus extremos se sitúa un segundo ventilador con un caudal de 4000 m³/h, de forma que al aumentar la convección en la superficie del tubo por donde circula el aire caliente se obtienen 25 kW suplementarios (Valera *et al.*, 1999).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

2.3.1.2. SISTEMAS DE CALEFACCIÓN POR CONDUCCIÓN.

El sistema de calefacción del suelo consiste en un conjunto de tubos, generalmente de polietileno, enterrado a una profundidad de 20 o 30 cm, por los que se hace circular agua en un circuito cerrado desde la fuente de energía. A veces se entierran resistencias eléctricas en el suelo (Valera, 2003).



Figura 6. Tuberías de calefacción de suelo.

Estos sistemas están diseñados para proporcionar una temperatura adecuada en la zona radicular. Desde un punto de vista físico, uno de los objetivos de la calefacción del suelo es utilizar, indirectamente, la superficie de intercambio con el aire que ofrece el suelo del invernadero, siendo ésta superior a la de los sistemas de calefacción aéreos (Feuilloley y Baille, 1992).

La dificultad de incorporar al suelo los intercambiadores y la limitación que provocan a las labores del suelo, redujo su expansión como sistema de calor. Sin embargo, la incorporación de los sustratos como medio de cultivo, facilitó la localización de los cambiadores de calor, bajo los sustratos (López, 2001).

Este sistema se utiliza en algunos semilleros de Almería donde se colocan las bandejas en banquetas bajo las que se sitúan las tuberías de calefacción (Valera, 2003).

2.3.1.3. SISTEMAS DE CALEFACCIÓN POR CONVECCIÓN Y RADIACIÓN.

La transferencia de calor se realiza a través de tuberías, aéreas o dispuestas sobre el medio de cultivo, por donde circula agua caliente, pudiendo trabajar a alta (hasta 90 °C) o baja temperatura (entre 30 °C - 50 °C) en función del material utilizado (metal o plástico) (López, 2001).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.



Figura 7. Calefacción por tuberías con agua caliente.

Los tubos suelen ser de polietileno o polipropileno corrugado. La temperatura del agua se regula mezclando agua caliente (de la caldera) con agua fría (del retorno) mediante válvulas de tres vías (Castilla y Prados, 2007).

Estos sistemas modifican la temperatura del aire, al calentarse por convecciónal contacto con los tubos, y la de los objetos (suelo, planta, cubierta del invernadero, etc.) que se encuentran a su alrededor por intercambio radiativo. La distribución del calor es más uniforme que en los sistemas por aire, al situar las tuberías cerca del cultivo y mantener unos gradientes térmicos bajos (López, 2001).

En los sistemas convencionales el agua circula a alta temperatura (50-80 °C), a alturas de 0,3 a 1,0 m del suelo. Su eficiencia térmica no es buena, pues pierden el 50% por radiación hacia la cubierta (Urban, 1997). Los tubos más empleados son de sección circular aunque hay otros tipos y pueden colgarse de cadenas para desplazarlos en vertical al crecer el cultivo. Suelen ser de acero y, también, de aluminio. Hoy día, se ha generalizado el empleo de los tubos de calefacción a pares, como guías para transporte de carretillas y elementos de mecanización. Puede, en esos casos, complementarse la instalación de calefacción instalando tubos (a baja temperatura) entre la vegetación, para evitar la condensación de agua en el cultivo (Kamp y Timmerman, 1996).

El sistema de baja temperatura es barato de inversión, fácil de colocar y flexible. Permite ahorros de energía, respecto a los sistemas tradicionales, de hasta un 30% (Urban, 1997). Sus inconvenientes son que es lento de respuesta, y su potencia es limitada, por las bajas temperaturas del agua. Su instalación puede necesitar de un gran número de tubos, que pueden ser un estorbo. De hecho, para mantener una temperatura de aire de 20 °C, es necesario emplear 4 veces más tubos, si el agua circula a 40 °C, que si circula a 80 °C, para aportar el mismo calor (Ellis, 1990).

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

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

aire de combustión indirecta han mostrado una eficiencia similar a los sistemas por agua caliente a baja temperatura (Lorenzo *et al.*, 2000).

La mayor inercia de los sistemas de agua frente a los de aire, permite un mejor control del clima siendo una ventaja, salvo en el caso de un parada del sistema, donde al enfriarse, tardará más en recuperar la temperatura de consigna (López, 2001).

El tiempo de respuesta de la calefacción es del orden de 40 a 60 minutos en un sistema eficiente de agua caliente, mientras que se reduce a 10 minutos en un sistema de aire caliente (Day *et al.*, 1999).

En cualquier sistema de calefacción es importante que el invernadero no tenga pendiente. Leves inclinaciones del terreno provocan bolsas de aire cálido en las zonas altas, con grandes gradientes de temperatura. En estos casos es necesario disponer de pequeños ventiladores para agitar el aire y evitar así los gradientes (Valera, 2003).

El coste de la instalación de los sistemas de calefacción 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. El coste de instalación para los sistemas de calefacción por agua caliente se reduce a medida que aumenta la superficie calefactada al compartir ciertos elementos (caldera, reguladores, etc.), hecho que no ocurre con los sistemas por aire caliente. Siendo el sistema más barato el aire caliente de combustión directa, también es el sistema más arriesgado al incorporar los gases de la combustión dentro del invernadero, especialmente cuando el número de horas de funcionamiento en continuo del sistema es elevado (López, 2001).

2.3.2. USO DE LA BIOMASA EN LA CALEFACCIÓN.

La energía tiene un papel fundamental en el desarrollo social y económico, representa un sector estratégico en todos los países. La cantidad de energía utilizada en la producción agrícola, distribución y procesamiento debe de ser adecuada para alimentar la creciente población y alcanzar otros objetivos sociales y económicos (Salazar *et al.*, 2012).

La definición de biomasa tradicionalmente engloba todos los combustibles sólidos no fósiles, procedentes directa o indirectamente de la biomasa y susceptibles de ser utilizados en aplicaciones energéticas (García, 2009).

Una de las ventajas que presenta la biomasa desde un punto de vista energético es la posibilidad de satisfacer todas las necesidades energéticas de la humanidad, desde el transporte hasta la producción de electricidad, calor o materias primas para la industria. En efecto, mientras que la mayoría de las energías renovables sólo proporcionan calor o electricidad, a través de la biomasa se pueden obtener una gran variedad de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, desde los más sencillos y cercanos como la leña sin procesar o las astillas, hasta los más elaborados, como podría ser el hidrógeno, que también se puede obtener por vía fotosintética. Pelets, briquetas, alcoholes y biodiesel son ya combustibles que resultan familiares por su implantación gradual en la sociedad moderna (Fernández, 2009).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

Es ahora cuando la biomasa se ha considerado como una fuente de energía alternativa al petróleo. El uso de esta materia prima ofrece ventajas en lo que a emisiones de contaminantes a la atmósfera ya que se reducen con respecto al petróleo, y por su carácter renovable. Como principal desventaja de esta materia prima siempre se ha presentado su falta de viabilidad económica, debido a la utilización de sistemas de caldera y turbinas de vapor (que ofrecen baja flexibilidad operativa). En la actualidad, con el uso de motores de combustión interna, combinado con gasificadores de biomasa, permite una rápida conexión-desconexión de la planta (unos minutos), que le confiere una gran flexibilidad, que afecta directamente en una mejor explotación de la central. Beneficios a los que se le puede sumar la ventaja que ofrece la instalación de un sistema de cogeneración para el aprovechamiento de los gases a altas temperaturas (Gañan *et al.*, 2006).

En la UE la co-combustión está muy primada, y algunos países son importadores de productos españoles, como el orujillo. Las plantas tienen dificultades de abastecimiento, pero no por consumo interno, sino por la demanda internacional, pues la asimetría regulatoria y lo poco maduro del mercado español hace que se exporten cantidades muy elevadas. Los solidbiofuels, gracias a las características de su composición, son materiales de calidad; se pueden emplear en co-combustión en grandes centrales térmicas, en plantas pequeñas de biomasa, en district heating y en aplicaciones térmicas. Asimismo, no se les aplican la directiva de incineración y se consideran materiales sin problemática social, esto es, no poseen contaminantes (García, 2009).

Hasta ahora, la fuente principal de biomasa para su uso energético han sido los residuos, principalmente para su empleo como biocombustibles sólidos. Aparentemente tienen muchas ventajas, porque están acumulados, parece que son gratis y con su utilización se reducen los problemas medioambientales, principalmente los riesgos de incendios. En la práctica, cuando no se es propietario de dicho residuo, las aparentes ventajas no son tales, ya que no ofrecen seguridad futura ni en la disponibilidad ni de su posible gratuidad. Otro caso es el de las industrias que usan sus propios residuos con fines energéticos tal como ocurre con las industrias de pasta de papel o con las derivadas de la madera. Estas industrias que requieren calor y energía eléctrica han utilizado tradicionalmente sus propios residuos para fines energéticos, y ello les ha supuesto un considerable ahorro, no sólo en la factura energética, sino en la eliminación de los residuos (Fernández, 2009).

En función de su fuente de origen la biomasa puede clasificarse en (García-Morales *et al.*, 2008):

Biomasa primaria: producida por la actividad fotosintética de los vegetales, es decir, materia orgánica formada por las plantas.

Biomasa residual: incluye la biomasa secundaria, originada en el proceso de alimentación y la producida por la actividad humana. Por ejemplo: paja, restos de mataderos, estiércol, residuos sólidos urbanos, etc.

Biomasa de cultivos energéticos: cultivos realizados con la finalidad de producir energía. Por ejemplo: el cardo, sorgo, etc.

Biomasa fósil: petróleo, gas natural y carbones.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

Entre las biomásas residuales que se han venido utilizando para fines energéticos cabe destacar los residuos agrícolas, tanto de cultivos herbáceos (paja), como de cultivos leñosos (podas), los residuos forestales procedentes de las operaciones de mantenimiento de las masas forestales y de la corta y aprovechamiento de la madera en el monte, la fracción orgánica biodegradable de los residuos sólidos urbanos, los restos de las industrias de la madera y el mueble y los residuos de algunas agroindustrias tales como las orejeras, y las de frutos secos. El principal uso que se ha dado a estos residuos ha consistido en aplicaciones para la calefacción doméstica, producción de calor en industrias o para la producción de electricidad (Fernández, 2009).

La biomasa no debe tener material de origen fósil y se suele limitar a un tope del 4% en energía. Este límite es muy restrictivo ya que la presencia de un poco de plástico o de rafia hace que este límite se alcance fácilmente, pues tiene un elevado poder calorífico. Esto hace que los residuos de invernadero puedan ser raramente aprovechados para este fin (García, 2009).

El poder calorífico de los alperujos y los orujos de aceituna ronda los 17 MJ/kg, que equivalen aproximadamente a 4600 kJ/kg. Se puede observar que estos residuos tienen un porcentaje bajo de carbono (20,37%) y una cantidad elevada de materia volátil (67,49%); en cuanto a las cenizas, presentan un porcentaje muy bajo (3,41%) (Al-Kassir, 2009).

En cuanto a calefacción, si en lugar de comparar inversiones iniciales, se comparan los costes acumulados durante 20 años, llegaríamos a la conclusión de que, a pesar del mayor coste inicial, el uso de biomasa supone un ahorro de al menos el 50% con respecto a la siguiente tecnología más económica que es el gas natural. Esto es así, principalmente, debido a que el coste de la biomasa como combustible es mucho menor que el coste de los combustibles procedentes de derivados del petróleo (González, 2009).

2.4. ESTRUCTURA DEL INVERNADERO.

El invernadero es un recinto cerrado por una estructura de madera, de metal y otro material, recubierta de materiales transparentes, cristal o material plástico, que proporciona a las plantas condiciones ambientales idóneas para su crecimiento y desarrollo que no dispone al aire libre (Reche, 2009).

En España la provincia de Almería es la de mayor concentración de invernaderos con más de 27.000 ha. La mayoría de las estructuras son de bajo coste. El tipo parral es sin duda una de las estructuras más frecuentes. La estructura básica está hecha de postes metálicos o de madera apoyados verticalmente en zapatas de cemento individuales y unidos unos a otros por medio de alambres de tensión que corren a lo largo de su parte superior. Los alambres de tensión también sirven como soportes de las dos redes de alambre entre las que se sitúa el filme a manera de un sandwich. La pendiente del techo es pequeña (8-12°), aunque desde hace años se están implantando invernaderos con mayores pendientes (20-25°) para aumentar la radiación y evitar que el agua de lluvia entre en el invernadero (Baudoin, 2002).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

El ambiente del invernadero proporciona a las plantas (Reche, 2009):

- Protección contra condiciones climáticas adversas.
- La obtención de productos fuera de época.
- Precocidad de los productos al dotar a la planta de un mejor ambiente.
- Incremento de la calidad y de las producciones con respecto al aire libre, por las mejoras técnicas empleadas, las variedades utilizadas de más calidad y más productivas.
- Posibilidad de un consumo racional de fertilizantes y agua.
- Realización de prácticas culturales durante todo el ciclo vegetativo.
- Aplicación simultánea de agua y fertilizantes, y, en ocasiones, de fitosanitarios.

Para ello el invernadero debe reunir, entre otros (Reche, 2009):

- Instalación de mallas en bandas y ventanas cenitales que impidan la entrada de insectos vectores plaga, enfermedades y de virus y no entorpezca la ventilación de las plantas.
- Que el plástico de cubierta no impida la luminosidad.
- Con la suficiente altura para el crecimiento de las plantas, en tomate debe ser como mínimo de 3 m.
- Alejado de caminos polvorientos y zonas industriales.
- Con un suelo nivelado, fértil y con buen drenaje, sin riesgo de encharcamiento.
- Disponibilidad de agua con la calidad suficiente y durante todo el proceso productivo.
- Un sistema de riego que permita una fertirrigación eficiente.

Como inconvenientes podemos citar, entre otros (Reche, 2009):

- Elevada inversión inicial.
- Incremento de enfermedades aéreas y del suelo que exigen mayor número de tratamientos.
- Mejor preparación de los agricultores.

2.4.1. EVOLUCIÓN EN LAS ESTRUCTURAS DE INVERNADERO.

Los invernaderos se constituyen con estructuras ligeras, de bajo coste, adaptadas a los requerimientos climáticos, siendo el modelo de invernadero tradicionalmente empleado en el sureste español el denominado “tipo parral”, aunque en estas últimas décadas está siendo sustituido por otros más perfeccionados, como el llamado “raspa y amagado” y el multitúnel, que posibilitan un mejor control climático así como posibilidades de automatización (Carreño *et al.*, 2012).

Atendiendo a la geometría de los invernaderos hay numerosas variantes. Las cubiertas de sección curva adoptan forma semicircular, semielíptica o de ojiva entre otras. La dificultad de montar vidrio en estructuras curvas ha limitado su empleo hasta la aparición de las placas plásticas semirrígidas o de las láminas flexibles. El empleo de madera en las estructuras, igualmente, ha restringido el empleo de geometrías curvas, por la dificultad de su construcción. En caso de cubiertas rectas, la cubierta a dos aguas puede ser simétrica o asimétrica, con diversidad de angulaciones, según la latitud y condiciones locales. El invernadero de cubierta plana, inicialmente empleada en el invernadero parral, es cada vez menos usado. Las paredes laterales, en invernaderos

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

monocapilla o monotúnel, pueden ser verticales o ligeramente inclinadas, siendo estas últimas más ventajosas por su mayor transmisividad de luz; su interés disminuye al aumentar la anchura del invernadero. Como contrapartida limitan el cultivo de especies entutoradas junto a ese lateral, al reducir su altura útil (Castilla y Prados, 2007).

La modernización de las estructuras de los invernaderos, está siendo un factor fundamental en la agricultura actual en estos últimos años. Antes se hacían invernaderos de parral de poca altura y se utilizaban materiales poco resistentes y poco duraderos. Las estructuras de los invernaderos han evolucionado muchísimo, desde los invernaderos planos, a los raspa y amagado y por último a los modernos invernaderos multitúnel (Cervantes, 2002).

En un principio estas estructuras eran planas, como los parrales utilizados para la uva, utilizando plástico perforado para evitar los embolsamientos de agua tras episodios de lluvia. Estos invernaderos se denominan “*parral plano*”. Posteriormente, se le dio una pequeña inclinación a la cubierta con el objeto de evacuar el agua de lluvia y evitar así que se mojaran las plantas, apareciendo una variante de los invernaderos parrales: uno de *capilla simple* o ‘*a dos aguas*’, en el que la cubierta adopta una pequeña inclinación y otro multicapilla conocido como “*raspa y amagado*”, en el que la cubierta adopta mayor inclinación y se divide en gran número de vertientes. Basados en estos dos últimos, surgieron los invernaderos ‘*asimétricos*’, caracterizados por tener diferente inclinación en las dos vertientes de cada capilla. Además de estos tipos derivados de los parrales tradicionales, se encuentran los invernaderos “*multitúnel*” o “*tipo industrial*” o de “*arco*” caracterizados por la forma curva de la cubierta y por su estructura totalmente metálica, formada por piezas previamente dimensionadas (Céspedes *et al.*, 2009).

El paso de estructuras con poca altura (con menor carga de viento) y poco peso, hacia estructuras de mayor altura (de más de 5 m, con mayor carga de viento) con cubiertas más adecuadas para transmitir más radiación, se ha realizado gracias al uso de materiales más resistentes. Así el cambio de geometría del invernadero, de plano a circular, ha sido posible gracias a la incorporación de materiales más flexibles (en invernaderos con cubierta circular es más fácil tensar la película de plástico que sobre las superficies planas, lo que le confiere una mayor resistencia al viento) (López *et al.*, 2006).

Otros tipos de invernadero poco empleados son el invernadero hinchable, en el cual el plástico del cerramiento se mantiene en posición por la presión del aire, reduciendo notablemente los elementos estructurales. Unos ventiladores deben aportar, de modo permanente, la presión necesaria para que el plástico se mantenga en posición. Esta idea fue la que indujo a emplear en estructuras convencionales de invernadero el cerramiento con doble lámina de plástico hinchada, mediante aire a baja presión. Esta cubierta doble reduce los costes de calefacción y resiste mejor el viento que la lámina simple, pero limita la transmisividad a la radiación respecto a la lámina simple (Castilla y Prados, 2007).

Los invernaderos enterrados o semienterrados permiten, al embutirse en el suelo, una regulación térmica natural con oscilaciones mucho menores que en invernaderos convencionales. Su empleo ha estado orientado al cultivo de especies ornamentales que

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

necesitan temperatura e higrometría altas, o a invernaderos de multiplicación. Los suelos donde se ubiquen deben carecer de capa freática próxima y de posibilidades de inundación (Castilla y Prados, 2007).

2.4.2. CRITERIOS DE DISEÑO.

La aceptación del invernadero como un sistema biofísico, donde están presentes e interaccionan entre sí los componentes del clima con el cultivo, permite un mejor diseño del invernadero, de los equipos de climatización y gestión del clima (Lópezet *al.*, 2006).

El diseño de invernaderos está muy influido, en la práctica, por el clima local y la latitud del lugar (Von Elsneret *al.*, 2000a), y limitado por la disponibilidad de materiales para su construcción, en muchos casos.

Ningún diseño es perfecto, por lo que es necesario priorizar en cada caso los criterios a seguir, siendo la maximización de luz el objetivo primordial a conseguir (Bailey y Richardson, 1990, Giacomelli y Ting, 1999; Swinkels *et al.*, 2001), minimizando, en lo posible, los elementos estructurales para limitar las sombras (Briassoulis *et al.*, 1997) y consiguiendo unas buenas condiciones de aislamiento que reduzcan las pérdidas de calor (Swinkels *et al.*, 2001), a costes adecuados (Bailey y Richardson, 1990).

Las propiedades mecánicas y físicas de los materiales de cubierta y su disponibilidad limitan las opciones a la hora de construir un invernadero (Briassouliset *al.*, 1997), por lo que existe cierta tendencia entre los agricultores a construir invernaderos tradicionales (Von Elsner *et al.*, 2000b)

Las condiciones climáticas más limitantes para la producción en invernadero en climas mediterráneos son: bajas temperaturas nocturnas en invierno, altas temperaturas diurnas, humedad ambiental alta de noche y baja de día y déficit de CO₂ (Von Elsner *et al.*, 2000a; 2000b).

Ello hace especialmente necesario conseguir una ventilación efectiva, que permita paliar los problemas de excesos térmicos y humedades extremas, así como limitar los déficits de CO₂. Las superficies de ventilación recomendables, dependiendo del tipo de invernadero y condiciones climáticas pueden llegar al 30% de la superficie del suelo del invernadero. El creciente uso de mallas en las ventanas, para limitar o impedir el paso de insectos, reduce la eficiencia de la ventilación. La recogida de agua de lluvia debe ser, asimismo, prioritaria. En los invernaderos-parral, el problema general del goteo de agua de condensación se agrava en los invernaderos de cubierta plana que, al estar perforada para evacuar las eventuales aguas de lluvia, permite su entrada en el invernadero, induciendo graves problemas fitosanitarios, al facilitar el desarrollo de enfermedades. Deben limitarse las pérdidas térmicas, eligiendo un material de cerramiento idóneo y consiguiendo una estanqueidad adecuada (Castilla y Prados, 2007).

Los invernaderos deben de almacenar gran cantidad de volumen de aire dentro de un invernadero, para que las oscilaciones de temperatura entre el día y la noche en los cultivos, sean menores. Es por esto, que las estructuras modernas son de gran altura. Esta gran altura hace también que las temperaturas en verano de este tipo de

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

invernadero, sean mucho más bajas que en los invernaderos antiguos, y las temperaturas en invierno sean más elevadas. Este simple detalle, influye lógicamente en la actividad de las distintas personas que se encuentran en el invernadero realizando las diversas tareas (Cervantes, 2002).

En una estructura moderna se puede hacer también una actividad más efectiva de control integrado, ya que los diversos insectos beneficiosos permanecen dentro del invernadero y tenemos un gran número de poblaciones, ya que las continuas generaciones de insectos beneficiosos, permanecen siempre dentro del invernadero. Otra ventaja añadida de este tipo de estructuras, es que con la misma estructura que se está utilizando en los invernaderos, se pueden realizar diversas naves para el almacenamiento de productos, naves para instalaciones de riego, oficinas, etc. (Cervantes, 2002).

2.4.3. COMPARATIVA ENTRE UN INVERNADERO MULTITÚNEL Y UNO RASPA Y AMAGADO.

Siendo mayoritaria la estructura de tipo parral, desde hace años se encuentran presentes otras estructuras, las cuales en los últimos años están experimentando un crecimiento en superficie destacable. Son estructuras metálicas con perfiles redondos o rectangulares, donde el material de cubierta se sujeta en las correas mediante tacos, dejando el material tenso y sin perforaciones, proporcionando al invernadero un mayor hermetismo. Este tipo de estructura suele ir acompañada de sistemas de control de clima más o menos sofisticados. Las dimensiones varían de unas casas a otras, siendo lo más común arcos de 8 m de luz. La geometría mayoritariamente es circular, existiendo también asimétrica. La diferencia en cuanto a posibilidad de controlar el clima es clara a su favor, sin embargo como principal desventaja se encuentra su precio, superando en más de dos veces al parral (Camacho, 2003)

El cultivo bajo invernadero cabe distinguir en Europa dos agrosistemas de producción: el “agrosistema nórdico u holandés”, típico del norte de Europa, que exige una gran inversión inicial (en estructura de invernaderos y equipos) y está caracterizado por un gran consumo de energía, y el “agrosistemas mediterráneo”, caracterizado por un nivel de inversión bajo y un menor consumo de energía, que es típico de los países ribereños del Mediterráneo. Entre ambos agrosistemas, de niveles tecnológicos extremos, existen diversas graduaciones. En el “agrosistema holandés” la estrategia productiva ha sido optimizar el microclima en invernadero, mientras que en los invernaderos mediterráneos ha prevalecido la adaptación de los cultivos a microclimas subóptimos, lo que ha supuesto menor productividad y, en algunos casos, limitada calidad pero también menores costes de producción que el “agrosistema holandés” (Castilla, 2004).

En el agrosistema mediterráneo en España existen varios modelos tecnológicos de diferentes costes y prestaciones económicas. Básicamente, los modelos tecnológicos con perspectivas de futuro son dos, uno constituido por invernaderos de bajo coste tipo parral de alta pendiente de cubierta, y otro constituido por invernaderos de mayor coste tipo multitúnel industrial que permiten niveles de equipamiento más complejos. El invernadero parral mejorado no se emplea en ciclos de verano, mientras que el multitúnel permite extender el cultivo a épocas de alta radiación, al estar dotado de equipos de climatización adecuados. Además, la coexistencia de ambos modelos

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

tecnológicos de invernadero, en sus diversas graduaciones de equipamiento, son actualmente una realidad (Castilla, 2004).

	euros·m ⁻²
Invernadero parral mejorado	
Estructura	
Baja pendiente de cubierta (tipo antiguo)	(7,8)
Alta pendiente de cubierta (27°/27°)	10,2
Ventiladores (desestratificación)	1,2
Nebulización (baja presión)	1,8
Calefacción (aire caliente)	3,0
TOTAL	16,2
Invernadero multitúnel curvo	
Estructura	15,6
Ventiladores (desestratificación)	1,2
Nebulización (alta presión)	5,0
Calefacción (tubo metálico) e inyección CO₂	11,3
Pantalla mixta (térmica y sombreo)	5,0
TOTAL	38,1

Tabla 2. Costes medios de construcción y equipamiento de invernaderos mediterráneos dotados de ventilación lateral y cenital monitorizadas, en el sur de España (sin incluir impuestos) incluyendo el montaje de lámina plástica. (Fuente: Castilla, 2004).

De las diversas opciones de equipamiento de estas estructuras la *Tabla 2*. recoge algunas de las posibles, incorporando en el caso del invernadero parral mejorado un equipo de ventiladores de desestratificación y los sistemas más económicos de nebulización y de calefacción. En la estructura más costosa de multitúnel, se incorporan mejores equipos de nebulización y calefacción, así como pantalla térmica y de sombreo. Evidentemente, la elección concreta del equipo dependerá de cada caso y el ejemplo propuesto sólo pretende ilustrar el importe de la inversión para un determinado “paquete tecnológico”. Así pues, el caso más simple de invernadero parral (tipo antiguo) sin equipos complementarios, que es el mayoritario hoy día en España, cuesta del orden de 7,8 euros·m⁻², mientras que el multitúnel bien equipado supondría del orden de 38,1 euros·m⁻², que es menos de la cantidad de un invernadero de vidrio completamente equipado. El coste de invernadero tipo parral mejorado de alta pendiente de cubierta es intermedio. A estos valores habrá que añadir los gastos de inversión inicial media para la explotación del invernadero que suman un total de 9,8 euros·m⁻², que no incluyen el precio de la tierra. Finalmente, el nivel tecnológico elegido determinará las posibilidades de gestión del clima y, por tanto, las prestaciones productivas y la rentabilidad del invernadero (Castilla, 2004).

En relación al estudio comparativo entre invernaderos, no existen estudios que comparen el efecto que tienen estos invernaderos sobre la producción y la nutricional de los frutos de tomate en el clima mediterráneo (Castilla, 2004).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

2.5. FACTORES CLIMÁTICOS QUE AFECTAN A LA CALIDAD.

La calidad del fruto de tomate se ve afectada significativamente por las condiciones ambientales a las que es sometido durante la maduración, por la fase de cosecha en la que es recogido de la planta, el número de veces que es manipulado, y por la temperatura y el tiempo de almacenaje. Cuanto más tiempo se mantiene el fruto en la planta más sabroso es, y por tanto tiene una mayor calidad nutricional. Es frecuente observar cómo el tomate que no madura en la planta no tiene el mismo sabor y aroma que el tomate que desarrolla su madurez plena hasta un color rojo unido a la planta (Jones, 2007).

Los dos factores ambientales mejor conocidos que influyen sobre la calidad nutricional de los frutos de tomate son la luz y la temperatura, los cuáles podrían estar estrechamente relacionados. Sin embargo, existen pocos estudios sobre el efecto directo de condiciones de elevada humedad del aire y el CO₂ sobre el contenido en fitonutrientes (Dorais *et al.*, 2008).

2.5.1. LUZ.

Tanto la intensidad como la duración y la calidad de la luz afectan fuertemente a fitonutrientes del tomate como el ácido ascórbico, los carotenoides y los fenoles (Rosales, 2008).

2.5.2. TEMPERATURA.

La temperatura es un factor limitante y estimulante de los procesos fisiológicos de los vegetales, afecta a la actividad metabólica celular, la absorción de agua y nutrientes, el intercambio gaseoso, la producción y gasto de carbohidratos, entre otros (Tognoni, 2000). Un descenso de ésta frena el crecimiento vegetativo y provoca una debilitación de la planta; por el contrario un aumento en la temperatura de 10°C permite doblar la velocidad de las reacciones bioquímicas de la fotosíntesis catalizada por las enzimas, asimismo aumenta la transpiración y favorece la difusión de vapor de agua, de CO₂ y del O₂, así como la fotorrespiración (Ruiz, 1993). Una vez sobrepasado el rango óptimo para cada especie se producen pérdidas que inciden en la producción y calidad.

Para el tomate, en condiciones mediterráneas, las temperaturas diurnas de 20 a 24°C (según radiación) y nocturnas de 12 a 15 °C, se han considerado las más adecuadas. La temperatura óptima para la floración es de 15 a 18°C, la ideal para obtener una buena maduración y desarrollo del fruto es de 15 a 22°C. Por debajo de los 10 a 15°C se produce la detención del desarrollo de la planta y el fruto (Camacho, 2003).

2.5.3. HUMEDAD DEL AIRE.

La humedad relativa (H.R.) del aire ideal deberá estar entre un 60 y un 80%. H.R. superiores al 90% bajan drásticamente la tasa de transpiración y aumenta los riesgos de enfermedades criptogámicas bajo botritis. H.R. bajas aumentan la tasa de transpiración, provocando un estrés hídrico con cierre de estomas y disminución de la fotosíntesis (Rawson *et al.*, 1977).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

La correlación entre valores elevados de humedad relativa media en 24 horas y producción de tomate ha sido demostrada (Bakker, 1990).

2.5.4. ANHÍDRIDO CARBÓNICO.

En invernadero, especialmente si las condiciones de ventilación no son óptimas, la reducción del contenido de CO₂ es importante (Lorenzo *et al.*, 1990). La concentración de CO₂ ambiental es uno de los principales determinantes de la producción. La actual concentración atmosférica (350-360 μmolmol^{-1}) es infraóptima para el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Lorenzo, 1998), lo que explica la positiva respuesta en la tasa de asimilación neta y en producción que se viene obteniendo en la mayor parte de los estudios de incorporación de abonado carbónico realizado en plantas C3.

Los efectos indirectos del viento sobre invernaderos son beneficiosos, al contribuir a mejorar la ventilación y renovar el aire, especialmente en invernaderos poco sofisticados. Una ligera brisa, tanto en cultivo protegido como al aire libre, se ha demostrado beneficiosa para la productividad de los cultivos (Garzoli, 1989).

2.6. EL CULTIVO DEL TOMATE.

2.6.1. SITUACIÓN TAXONÓMICA

El tomate (*Solanum lycopersicum* L., anteriormente *Lycopersicum esculatum* Mill.) es una planta herbácea perenne, cultivada como anual, el cual se cultiva para el consumo humano de sus frutos. Su taxonomía es la siguiente: Reino *Plantae*, División *Magnoliophyta*, Clase *Magnoliopsida*, Subclase *Asteridae*, Orden *Solanales*, Familia *Solanaceae*, Género *Solanum*, Especie *S. lycopersicum* (Smith, 1994).

2.6.2. ORIGEN DEL TOMATE.

Aunque el origen es andino, la domesticación del tomate parece ocurrir en México. Así la civilización azteca lo cultiva y comercializa en formas varias cuando se descubrió el Nuevo Mundo. Se trae a Europa en el siglo XVI más como planta ornamental. En España a finales del siglo XVIII el tomate se cultivaba en numerosos huertos y jardines (Camacho, 2003).

2.6.3. MORFOLOGÍA DE LOS ÓRGANOS VEGETATIVOS Y REPRODUCTIVOS DE LA PLANTA.

2.6.3.1. PLANTA.

La planta de tomate es perenne, aunque se cultiva como anual, de porte arbustivo, de forma rastrera o semierecta y de crecimiento determinado o indeterminado (Camacho, 2003).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.



Figura 8. Detalle de planta de tomate (infojardin.com)

Las variedades precoces (las que florecen y fructifican más rápido) suelen alcanzar una longitud de 1,2 m; las tardías, en cambio, casi siempre presentan un mayor crecimiento llegando incluso a los 2,5 m de longitud (Smith, 1994).

2.6.3.2. RAÍZ.

Como en todas las plantas, la raíz tiene la doble función de anclaje y de absorción y transporte de agua y nutrientes. De la raíz principal surgen las secundarias y de estas las adventicias. El 70% de la masa radicular se encuentra en los primeros 20 cm de suelo (Camacho, 2003).

El sistema radicular es pivotante, muy denso y ramificado en los treinta primeros cm (Smith, 1994).

2.6.3.3. TALLO.

El tallo del tomate es el eje sobre el cual se van desarrollando las hojas, flores y frutos; su grosor oscila entre 2 y 4 cm y puede ser de porte determinado o indeterminado (Camacho, 2003).

Determinados son los tallos que cuando han emitido un número limitado de ramilletes detienen su crecimiento. Indeterminados son aquellos que nunca detienen su crecimiento (Camacho, 2003).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.



Figura 9. Detalle de tallo de tomate (blogs.diariovasco.com)

El hábito de crecimiento es muy diverso, siendo en su estadio juvenil erguidas y en su estadio adulto semierguidas o decumbentes; esto es, el tallo no es lo suficientemente rígido como para soportar el peso de las hojas, ramas secundarias y frutos, por lo que necesita de otra planta o alguna estructura para sostenerse. Por esta razón, es común ver diversas estructuras como tutores o espalderas en los cultivos de tomate, con el fin de sostener a la planta. El tallo es anguloso, pubescentes, con algunos pelos glandulares, mostrando al principio una consistencia herbácea y leñosa en estado adulto. La ramificación del tallo es simpodial, es decir, las yemas axiliares desarrollan ejes sucesivos, mientras que las yemas terminales producen flores o abortan. Las ramitas que se originan en las yemas axiliares dan hojas en todos los nudos y finalizan también en una inflorescencia (Smith, 1994).

2.6.3.4. HOJAS.

Van surgiendo de modo alternativo sobre el tallo, suelen tener entre siete y nueve folíolos lobulados o dentados. Cada dos o tres hojas aparece un ramillete floral. Una hoja desarrollada de tomate puede alcanzar 0,40 m de longitud y 0,25 m de ancho. Los folíolos miden alrededor de 10 cm de longitud y 6 cm de anchura (Camacho, 2003).



Figura 10. Detalle de hoja de tomate (infoagro.com)

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

Las hojas sirven a la planta para llevar a cabo las funciones de la respiración, transpiración y función clorofílica (Camacho, 2003).

2.6.3.5. FLORES.

Las flores del tomate pueden ser solitarias, aunque en general están formadas por racimos de inflorescencias que se sitúan principalmente en la parte superior de la planta, son pequeñas de 1-2 cm de diámetro y de color amarillo brillante. La flor consta de cinco o más sépalos, igual número de pétalos y de estambres soldados y con ovario bi o multilocular. Lo normal es encontrar de 3 a 10 flores por racimo en variedades comerciales de tomate de calibre M y G (Camacho, 2003).



Figura 11. Detalle de flor de tomate (catedu.es)

2.6.3.6. EL FRUTO.

El fruto es una baya globosa, con diferente aspecto según el tipo varietal, constituida por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas (Camacho, 2003).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.



Figura 12. Detalle de fruto de tomate (catedu.es)

El fruto puede ser bi o multilocular, pudiendo alcanzar un peso de hasta 250-300 g y de 10-12 cm de diámetro. En las variedades pequeñas tipo cherry el fruto pesa más de 10 g y tiene entre 1-3 cm de diámetro (Camacho, 2003).

2.6.4. REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS.

2.6.4.1. EXIGENCIAS DEL TOMATE EN SUELOS.

La planta del tomate se puede decir que es relativamente tolerante a la salinidad; razón por la cual en algunas zonas con aguas de mala calidad, es prácticamente la única hortaliza que se puede cultivar de modo rentable. Siempre se cumple la regla de a mayor salinidad mejor calidad y menor producción (Camacho, 2003).

En cuanto a suelos la planta del tomate no es muy exigente, salvo en un aspecto que si es limitante como es el drenaje; prefiere suelos sueltos y bien drenados (Camacho, 2003).

En referencia al pH puede vegetar bien en suelos desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos (Camacho, 2003).

Tiene cierta resistencia a suelos con problemas de salinidad, siempre y cuando exista un buen drenaje de los mismos (Camacho, 2003).

Las aportaciones de materia orgánica a los suelos, pueden servir para uniformar, en cierto modo, las características de los mismos. En suelos con exceso de salinidad o falta de aireación también resulta conveniente realizar un enarenado en franjas o total, dependiendo de la parcela en cuestión (Camacho, 2003).

Otra opción para paliar el problema de la heterogeneidad de los suelos es el cultivo hidropónico, teniendo como substratos lana de roca, perlita o incluso “arena” en contenedores tubulares (salchicha de arena) (Camacho, 2003).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

2.6.4.2. EXIGENCIAS CLIMÁTICAS DEL TOMATE.

Germinación:

Tras la plantación, es aconsejable que la temperatura en el interior del invernadero no baje de los 20 °C durante la noche, ni sobrepase los 25 °C durante el día. Si la temperatura desciende hasta 10-12 °C, el crecimiento de la planta se reduce, los procesos de nutrición y de crecimiento alcanzan niveles mínimos, y, si se prolonga, la planta se debilita (Reche, 2009).

Sistema radicular:

La temperatura óptima de crecimiento de las raíces está entre 20 y 30 °C (superior a 30-35 °C e inferior a 12-15 °C son limitadas para el crecimiento radicular). La luz inhibe la formación de la raíz, de ahí la importancia en la opacidad del plástico, en los substratos embolsados (Camacho, 2003).

El medio ambiente donde se desarrolla: suelo, pH, textura, materia orgánica, niveles de nutrientes, CE, enarenado, sustrato, son variables que afectan a la fisiología de la raíz. Técnicas de cultivo como el tipo de plantación, manejo y tipo de riego, fertirrigación, etc., también influyen (Camacho, 2003).

Parte aérea:

Le afecta la radiación, temperatura, nutrición, el CO₂, la humedad relativa del aire y las técnicas de cultivo (Camacho, 2003).

Niveles bajos de radiación hacen que la planta tienda a vegetar, a la etiolación de las hojas, al alargamiento de los entrenudos, al afinamiento del tallo, con disminución de fotosíntesis. Estos efectos negativos pueden compensarse con el aumento de nivel del CO₂ del aire. La calidad de la radiación también es importante, de ahí que la elección del material de cubierta, su espesor, su transmisividad, transparencia, el porcentaje de luz difusa, etc., son factores a estudiar (Camacho, 2003).

Podemos hablar de un crecimiento de la parte aérea de 25 °C diurnos con un termoperíodo de menos de 6-7 °C por la noche (Abdelhafeez *et al.*, 1975). Es recomendable en días de alta radiación, aumentar las temperaturas (Calvert y Slack, 1975).

Temperaturas nocturnas elevadas y diurnas bajas inducen a plantas muy vegetativas, acentuándose el problema en día de baja radiación. Cuando las temperaturas diurnas son elevadas, un descenso de las nocturnas puede ser beneficioso (Camacho, 2003).

Temperaturas mínimas biológicas nocturnas entre 8 y 10°C son adecuadas para nuestras condiciones de cultivo (Tesi, 2001); las cuales se alcanzan en primavera y otoño en nuestros invernaderos.

La humedad relativa (H.R.) del aire ideal deberá estar entre un 60 y un 80%. H.R. superiores al 90% bajan drásticamente la tasa de transpiración y aumenta los riesgos de

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

enfermedades criptogámicas bajo botritis. H.R. bajas aumentan la tasa de transpiración, provocando un estrés hídrico con cierre de estomas y disminución de la fotosíntesis (Rawson *et al.*, 1977).

La correlación entre valores elevados de humedad relativa media en 24 horas y producción de tomate ha sido demostrada (Bakker, 1990).

Floración y cuajado:

Todos los factores ambientales que afectan a la parte aérea, en especial la temperatura y la luz, afectan también a la floración y al cuajado. Limitaciones en la nutrición pueden producir retraso y malformaciones en la floración. Temperaturas bajas con promotoras de la ramificación de las inflorescencias y del número de flores, así plantas cultivadas a 16 °C producen cuatro veces más flores que a 24 °C (Aung, 1976), efecto que se acusa con niveles altos de iluminación. El tamaño de las inflorescencias está más relacionado con la nutrición.

Temperaturas extremas afectan a la producción y viabilidad del polen, a la germinación de este (1h a 25 °C y 20 h a 5 °C) y a la velocidad de crecimiento del tubo polínico, así como a la dehiscencia de las anteras, que por su carácter higroscópico se produce en unos rangos adecuados de humedad relativa (Camacho, 2003).

Fruto:

El tamaño y la calidad del fruto están estrechamente correlacionados con el número de semillas, con el número de lóculos, con la posición del fruto en el ramo, con la posición del ramo y sobre todo con la llegada de fotoasimilados desde las hojas (el 90% en sacarosa), es decir con la actividad fotosintética de la planta (Camacho, 2003).

Los tomates verdes contienen clorofila y hacen fotosíntesis en un 10-15% de la necesaria para la planta (Camacho, 2003).

2.6.5. PARÁMETROS DE CALIDAD.

En cuanto a su composición, cabe destacar que más del 90% del peso fresco del fruto de tomate es agua, y la disponibilidad de agua por la planta puede influir en el tamaño del fruto. A lo largo del desarrollo del fruto, se produce una disminución en el contenido de sacarosa, mientras que aumenta el contenido en almidón y azúcares reductores (Thomas, 1996).

La calidad debe definirse en función del uso al que va a ser destinado el producto, por lo que en el caso del tomate fresco se debe tender al concepto de “calidad total”, considerando todas las características valoradas por los consumidores, no sólo la forma, el color y la ausencia de daños, sino también el sabor, el aroma, la textura y el contenido nutricional (Jones, 2007):

Apariencia física: color, tamaño, forma, defectos y deterioro. La calidad del tomate estándar se basa principalmente en la uniformidad de la forma (dependiendo del tipo puede ser redondo, forma globosa, globosa aplanada u ovalada) y el color (anaranjado-

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

rojo a rojo intenso o amarillo claro, evitando las manchas), y en la ausencia de defectos de crecimiento y manejo. El tamaño no es un factor que defina el grado de calidad, pero puede influir de manera importante en las expectativas de su calidad comercial (Jones, 2007).

Firmeza: Los atributos texturales más importantes en el tomate son: carnosidad, jugosidad, harinosidad y sobre todo firmeza. El tomate debe ser firme al tacto, no debe estar suave ni deformarse fácilmente debido a sobremadurez. En este sentido, las demandas de los consumidores quedan relegadas, ya que con frecuencia los altos rendimientos están inversamente relacionados con aspectos de calidad como sabor y/o color (Jones, 2007).

Sabor: Son numerosas las causas que determinan la variación del sabor del tomate, el grado de maduración, la nutrición vegetal, el genotipo y el manejo postcosecha. La intensidad del sabor del fruto está determinada principalmente por el contenido en azúcares (fundamentalmente fructosa y glucosa), de ácidos orgánicos (cítrico, málico y acidez total) y la composición de compuestos volátiles. El gusto del consumidor determina que una mayor relación azúcares/acidez genera un efecto favorable en el sabor (Baldwin *et al.*, 1998).

El fruto de tomate está formado mayoritariamente por agua, siendo entre un 5-7% del contenido sólidos, de los cuáles cerca de la mitad son azúcares y un octavo son ácidos. El sabor del fruto es la mayor demanda del consumidor y atrae mucho su atención. Peet (1996) describió el sabor del fruto basado en la acidez (bajo pH) y en el contenido en azúcares de la siguiente manera:

Acidez	Contenido en azúcar	Sabor
Alta	Alto	Bueno
Alta	Bajo	Agrio
Baja	Alto	Suave
Baja	Bajo	Insípido

Tabla 3. Sabor en función de la acidez y del contenido en azúcar según Peet (1996).

Stevens *et al.*, (1977) encontraron que la fructosa y el ácido cítrico eran más importantes en el dulzor y en la acidez que la glucosa y el ácido málico, siendo el pH una medida más objetiva de la acidez que la acidez valorable.

Características nutricionales: El contenido nutricional del tomate ha ganado interés ya que los consumidores están alcanzando una mayor conciencia sobre la salud, ya que existe una relación inversa entre el consumo de tomate y el riesgo en la aparición de ciertos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares y degeneración macular relacionada con la edad. Esto es debido a su elevado contenido en compuestos antioxidantes y minerales (Dorais *et al.*, 2008).

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

3.1. UBICACIÓN DEL ENSAYO.

El ensayo se realizó durante la campaña 2010-2011 en la finca experimental “Fundación UAL-ANECOOP” situada en el paraje “Los Goterones” perteneciente al municipio de Almería, ubicada en la parcela 281 del polígono 24 de la provincia de Almería, con localización geográfica 36° 50′ 41.00″ latitud norte y 2° 13′ 4.32″ latitud oeste.



Figura 13. Vista aérea de la Finca “Fundación UAL-ANECOOP”

La finca posee una superficie de 11 hectáreas, de las que actualmente sólo se están utilizando para uso agrícola 8 de ellas. Los invernaderos allí instalados tienen distintos tipos de estructuras y, concretamente, este ensayo se desarrolló en tres módulos de tipo “multitúnel” con ventilación automatizada lateral y cenital, identificados como U9, U11 y U12, y el raspa y amagado, con igual ventilación, e identificado como U8. Los invernaderos U9 y U11 tienen una superficie de 1080 m², de 715 m² el U12, y de 1917 m² el U8 contándose con una superficie total de estudio de 4.887 m².

3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS INVERNADEROS.

3.2.1. ORIENTACIÓN.

La orientación que presentan los invernaderos es Este-Oeste, mientras que las líneas de cultivo presentan una orientación Norte-Sur.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

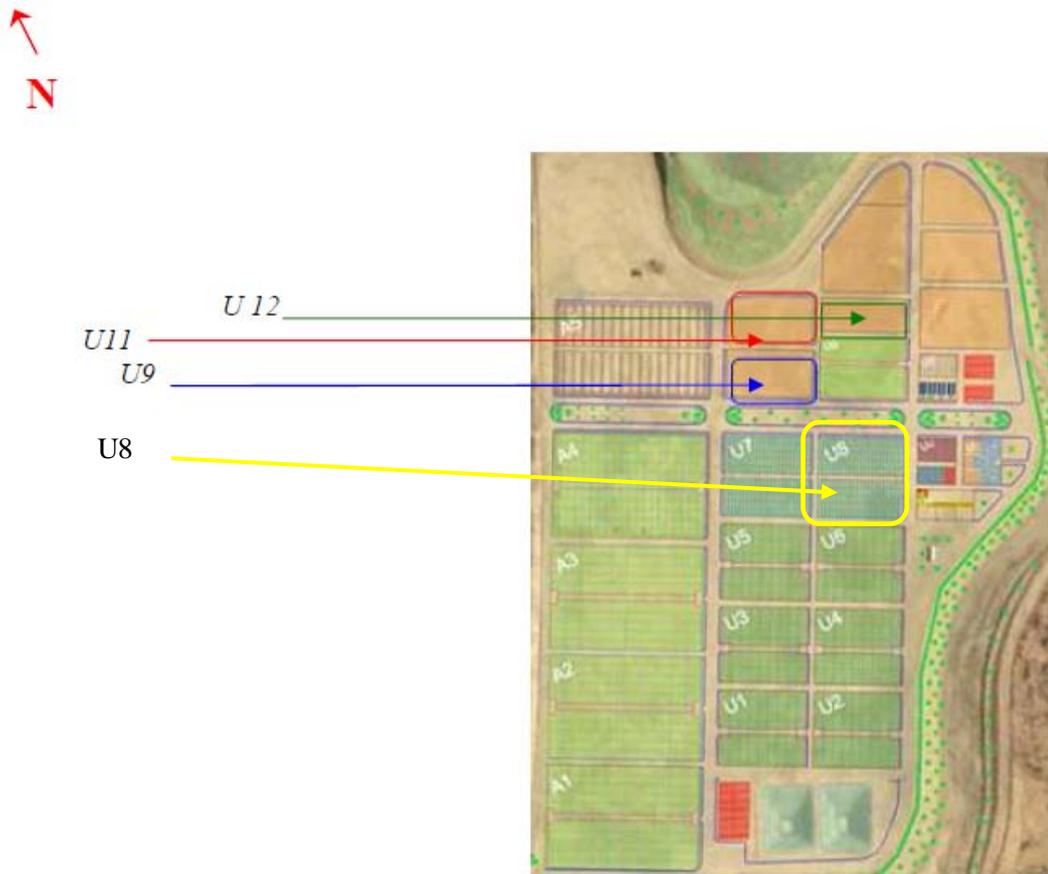


Figura 14. Croquis de la finca y detalle de la orientación de los invernaderos U8, U9, U11 y U12. Localización y distribución de los invernaderos en la finca experimental “Fundación UAL-ANECOOP”

Para facilitar los tratamientos fitosanitarios se han dejado los pasillos principales interiores del invernadero libres, no colocando alambres del emparrillado que crucen dichos pasillos.

3.2.2. ESTRUCTURA.

El ensayo se ha llevado a cabo en tres invernaderos tipo multitúnel y en uno raspa y amagado.

Los invernaderos multitúnel poseen techumbre curvada simétrica, de 3 arcos de 8 m para los invernaderos U9 y U11 y de 2 arcos de 9 m para el invernadero U12. Las dimensiones son de 45 m de largo y 24 m de ancho tanto para el invernadero U9 como para el U11, mientras que el U12 tiene 45 m de largo y 18 m de ancho.

El arco de cada túnel posee una altura cenital de 5,7 m y una altura en canal de 4,5 m, se consigue así una estructura alta que proporciona una mayor inercia ambiental al recinto (temperatura, humedad y composición del aire), las variaciones son más suaves y es posible disponer cómodamente de elementos auxiliares como dobles cubiertas o pantallas.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.



Figura 15. Detalle general de la estructura del invernadero U9.

El invernadero raspa y amagado La distancia entre raspas consecutivas es de 8 m, con una altura en la raspa o cumbre de 4,70 m. Las dimensiones del invernadero U8 son de 45 metros de largo y de 42,8 de ancho.

La distancia entre tubos de la misma fila o raspa es de 2 m, así como la distancia entre amagados de la misma fila. La altura en la banda del invernadero será de 3,70 m aproximadamente. Con una distancia entre postes consecutivos de la banda de 2 m, en aquellas bandas que formen ángulos rectos, y de más de 2 m en las bandas con descadre o con ángulo de más de 90 grados.



Figura 16. Detalle general de la estructura del invernadero U8.

El plástico para la cubierta es un film tricapa de 800 galas, térmico e incoloro, estabilizado con Halls, con una alta difusión de luz, lo que limita el efecto de sombra de los cultivos. Las bandas laterales en los invernaderos multitúnel están cubiertas con lámina acanalada de metacrilato de poliuretano de 2 mm de espesor.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

Los invernaderos multitúnel utilizados para este estudio, se han dividido por la mitad con una con una lámina de plástico, con la finalidad de alterar lo menos posible el microclima interior.

A la hermeticidad de la estructura anteriormente descrita, se le unen dos sistemas de dobles puertas, a través de las cuales se accede al invernadero. Este mecanismo también es un sistema pasivo en cuanto a la entrada de insectos desde el exterior.



Figura 17. Sistema de doble puerta en invernaderos multitúnel con extractor.

3.2.3. VENTILACIÓN.

La finalidad de la ventilación como renovadora del aire del invernadero es tanto para disminuir la temperatura ambiente, equiparándola a la externa, como actuar de la misma forma con la humedad del recinto.

Los invernaderos multitúnel disponen de ventilación pasiva, contando con ventilación lateral y cenital. El invernadero U9 no dispone de ventilación lateral ya que presenta un sistema de ventilación evaporativa desactivado. El invernadero U11 presenta dos bandas laterales de ventilación de 1,05x40 m tanto en el lado norte como en el sur. El invernadero U12 presenta en el lado norte una banda de ventilación de 1,05x35 m y en el lado sur una de 1,05x40 m.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.



Figura 18. Detalle de la ventana lateral del invernadero U11.

La ventilación cenital consta de 3 ventanas con dimensiones de 0,97x40 m, en cada uno de los invernaderos U9 y U11; el invernadero U12 tiene 2 ventanas de las mismas dimensiones.



Figura 19. Ventilación cenital en invernadero multitúnel.

Siendo la razón porcentual entre la superficie útil de ventilación y la superficie del suelo del invernadero de: 10,8% en el caso del U9; 18,6% en el caso del U11; y de 19,3 en el caso del U12.

El invernadero U8 dispone en las bandas una ventana lateral enrollable en plástico con sus correspondientes barras de mando. El ancho de abertura de las bandas es de 1,4 m y el largo de estas es de 40 m en un eje y de 38 m en el otro.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.



Figura 20. Detalle de la ventana lateral del invernadero U8.

Se montará un sistema de ventilación cenital tipo cremallera con apertura automática. Se instalarán un total de 5 ventanas de 36,0 m de longitud por invernadero. El ancho de las ventanas es de 0,70 metros.



Figura 21. Ventilación cenital en invernadero raspa y amagado.

Siendo la razón porcentual entre la superficie útil de ventilación y la superficie del suelo del invernadero del 24,5%.

3.2.4. EQUIPAMIENTO.

Los invernaderos están equipados con sistemas automatizados de: riego, control climático, nebulización y pantallas térmicas; estas dos últimas no disponibles en el invernadero U8.

El control climático de los tres invernaderos se realiza mediante un sistema automatizado que tiene los siguientes componentes:

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

En el interior de las explotaciones se dispone de cajas de medida Ektron-II-C (Hortimax S.L.). En cada caja hay instalada una sonda Pt-100 con una precisión de $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$, un sensor de humedad de tipo capacitivo con una precisión de $\pm 3\%$ y un sensor de infrarrojos para la medida de la concentración de CO_2 dentro de los invernaderos con una precisión de 20 ppm.



Figura 22. Caja de medida.

Un controlador central de clima con: tarjetas electrónicas de: alimentación, de gestión de alarmas, conexión y universales; ordenador para la modificación de consignas y acceso a los registros de datos de variables climáticas exteriores e interiores.



Figura 23. Controlador MultiMa de Hortimax.

La medida de los parámetros climáticos en el exterior se realiza mediante una estación meteorológica fija colocada a 10 m de altura y 15 m de distancia del lateral norte del invernadero. Cuenta con sensores para la medición de: velocidad y dirección del viento, radiación solar, lluvia, temperatura y humedad del aire exterior.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.



Figura 24. Estación Meteorológica.

Poseen canaletas de chapa galvanizada recogiendo el agua de la cubierta en esta zona y conduciéndola hasta el exterior del invernadero, evitando así problemas de excesos de humedad dentro del invernadero, perjudiciales para el desarrollo de las plantas.



Figura 25. Detalles de las canaletas de desagüe.

3.2.5. SUELO.

El sustrato empleado fue fibra de coco, con un 40% de granulometría gruesa compuesta por chips y 60% granulometría fina compuesta por fibra y polvo de coco.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.



Figura 26.Detalle del sustrato utilizado en el ensayo.

3.3. SISTEMA DE RIEGO.

El sistema de riego que presenta la finca experimental “Fundación UAL- ANECOOP” consta de los siguientes elementos:

3.3.1. BALSAS.

La finca posee dos balsas de riego de 5000 m³ de capacidad cada una, y cubiertas de polietileno negro.

Balsa 1: Almacena agua procedente de la depuradora de Almería, gestionada por la “Comunidad de Regantes de Cuatro Vegas” cuya conductividad eléctrica (CE) oscila entre 1,8-2,3 dS·m⁻¹.

Balsa 2: Almacena agua procedente de la depuradora de Carboneras, gestionada por la “Comunidad de Regantes C. Níjar” (CUCN) cuya conductividad eléctrica (CE) oscila entre 0,8-3,0 dS·m⁻¹.

Para impulsar el agua de las balsas se han instalado dos bombas centrífugas multicelulares (una bomba por balsa). El sistema permite mezclar el agua según los requerimientos del cultivo, en función de una CE de consigna. El agua es conducida hasta el cabezal de riego, pasando antes a través de unos filtros de anillas.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.



Figura 27. Detalle de las Balsas 1 y 2.

3.3.2. CABEZAL DE RIEGO.

3.3.2.1. SISTEMAS DE IMPULSIÓN.

Básicamente consta de una bomba centrífuga de impulsión de 3 CV de potencia y una válvula reguladora de presión.

3.3.2.2. SISTEMAS DE FERTIRRIGACIÓN.

Existen diferentes elementos:

- Un tanque de mezcla de fertilizante.
- Cinco tanques de solución madre de 1000 l de capacidad cada uno.
- Un tanque de microelementos de 500 l de capacidad.
- Cinco bombas inyectoras de fertilizante.
- Cinco electroválvulas.
- Un ordenador de control.



*Figura 28.*Detalle de cabezal de riego.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

El sistema consta de dos sensores de pH y dos de CE. Los sensores están situados aguas abajo de la bomba centrífuga que impulsa el torrente de agua hacia el invernadero, para controlar que los parámetros de pH y CE se ajusten a los valores de consigna. La instalación posee dos sistemas de seguridad que permiten detectar algún error en el circuito. El programador de riego controla las diferencias que se puedan dar entre las medidas de los sensores y da la alarma cuando éstas superan el medio punto. Por otra parte, el programador también controla las diferencias que existen entre los valores que se miden en las sondas y los valores de control. En este sentido, diferencias de más de medio punto, hacen parar al sistema.

3.3.2.3. SISTEMA DE FILTRADO.

Se han instalado cuatro filtros de mallas, los cuales retienen las posibles impurezas que puedan existir en la solución fertilizante.

3.2.3. RED DE DISTRIBUCIÓN.

El sistema de distribución comienza con una tubería de impulsión que se extiende desde el cabezal de riego hasta la posición del invernadero. Existe una electroválvula madre con la que se controla el paso de agua desde el sistema de fertirriego hasta los ramales de riego.

La zona invernada se divide en cuatro sectores de riego independientes, los cuales se controlan mediante electroválvulas. La tubería principal que une la válvula madre con el invernadero es de PVC y tiene un diámetro exterior de 60 mm. Las tuberías portarramales y portagoteros son de PE y tienen un diámetro exterior de 32 y 12 mm, respectivamente. Los emisores utilizados son autocompensantes, antidrenantes y tienen un caudal nominal de $3 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$.

3.4. MATERIAL VEGETAL.

El material vegetal a utilizar es *Solanum lycopersicum* L. cv. Marylu.

Variedad de planta fuerte y compacta, con buena cobertura foliar. Tomate para recolección en ramo o suelto. Ramos de forma simétrica, muy uniformes. Frutos de calibre M-MM con muy buen color rojo y gran calidad por su sabor y conservación. Recomendado para trasplantes de otoño. Alta resistencia a ToMV y resistencia intermedia a TYLCV (Marín, 2013).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.



Figura 29. Detalle del cultivo.

3.5. TÉCNICAS DE CULTIVO.

3.5.1. CICLO DE CULTIVO.

Aunque no hay fechas fijas para los diferentes ciclos en el cultivo del tomate de invernadero, ya que depende de la situación geográfica de la comarca productora y de la adaptación de la campaña a la exportación, pueden considerarse muy aproximadas las siguientes (Reche, 2009):

De primavera de ciclo corto temprano: La plantación se lleva a cabo en enero/febrero y la primera recolección a final de abril-primeros de mayo. En estos ciclos la planta no crece tanto como en ciclos largos y se despunta el brote terminal cuando tiene 6 a 8 ramilletes.

De primavera-verano: Se realiza cuando al invernadero se le dota con los medios para mantener temperaturas acordes con las exigencias de las plantas, bien sombreándolo o por otras formas de refrigeración.

De otoño de ciclo corto: La siembra en los semilleros comerciales tiene lugar en julio, el trasplante en agosto-septiembre y la primera recolección en noviembre, a los 2,5 meses del trasplante, finalizando hacia el mes de enero-febrero para a continuación sembrar o plantar otra hortaliza, siendo recomendable que sea una cucurbitácea. Las plantas se despuntan, como en los ciclos de primavera, cuando han cuajado de 6 a 8 ramilletes.

De ciclo largo de otoño-invierno-primavera: Es quizá el sistema de cultivo en tomate más generalizado y reservado, casi siempre, a los tomates en racimo de larga vida y al tomate suelto tipo “Daniela”. La siembra en semillero tiene lugar en julio-agosto el trasplante desde mediados de agosto a septiembre, y el inicio de la recolección a final de noviembre y primeros de diciembre, a los 2-2,5 meses del trasplante.

Nuestro cultivo se cultivó en el ciclo de otoño de ciclo corto.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

3.5.2. INICIO Y FIN DE CULTIVO.

El cultivo se plantó el día 28 de Agosto de 2012 y fue arrancada el día 19 de Febrero de 2013.

3.5.3. MARCO DE PLANTACIÓN.

El marco de plantación en todos los invernaderos usados en ensayo fue el siguiente (Figura 30.):

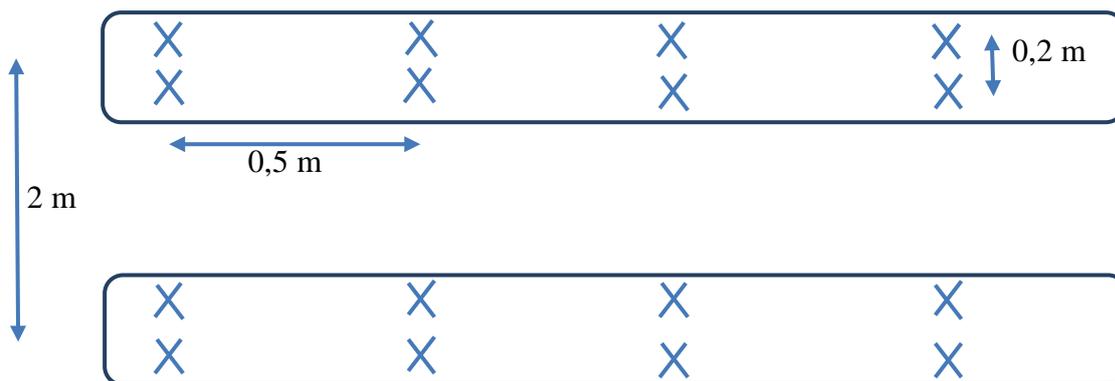


Figura 30. Marco de plantación usado en el ensayo.

Por tanto, la densidad de plantación en todos los invernaderos fue de 1,82 plantas·m⁻².

3.5.4. TUTORADO.

El sistema de tutorado empleado en el ensayo fue de “gancho y descuelgue”; este consiste en colocar en el emparrillado del invernadero unas perchas con una rafia de polipropileno enrollado alrededor de un carrete para ir dejándolo caer, sujetando la planta a la rafia a través del tallo mediante unos clips de polietileno blanco.



Figura 31.Detalle del tutorado.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

3.5.5. RIEGO

El sistema de riego fue con goteros autocompensantes y antidrenantes de 3 l·h⁻¹, cuyo marco fue de 1x0,5 m, es decir, existen 2 goteros·m⁻² para el caso del invernadero U8. El marco en los invernaderos multitúnel fue de 0,83x0,5 m, es decir, 2,3 goteros·m⁻².

3.5.5.1. PLAN DE RIEGO.

Mes	Fecha	s.d.s.	Volumen(m ³)	Minutos de riego
Agosto	28/8-31/8	1	30,1	4:26:44
Septiembre	31/8-7/9	2	24	5:05:39
	7/9-14/9	3	33,1	4:52:50
	14/9-21/9	4	34	6:39:32
	21/9-27/9	5	19,7	6:46:47
	27/9-5/10	6	17,8	4:31:45
Octubre	5/10-12/10	7	24,9	4:40:38
	12/10-19/10	8	14,1	4:43:45
	19/10-26/10	9	12,2	4:05:56
	26/10-2/11	10	17,1	3:55:49
Noviembre	2/11-9/11	11	11,5	3:55:22
	9/11-16/11	12	15,1	3:13:46
	16/11-23/11	13	10,4	4:22:55
	23/11-30/11	14	11,7	3:07:52
	30/11-7/12	15	11,4	3:13:07
Diciembre	7/12-14/12	16	8,2	3:23:14
	14/12-21/12	17	9,1	2:51:27
	21/12-28/12	18	9,7	2:47:36
	28/12-4/1	19	9	3:09:40
Enero	4/1-11/1	20	5,5	2:19
	11/1-18/1	21	8,3	2:19:40
	18/1-25/1	22	9,5	2:17:12
	25/1-1/2	23	9,7	2:13:52
Febrero	1/2-8/2	24	7,3	2:05:21
	8/2-13/2	25	6,4	2:02:21

Tabla 4. Plan de riego llevado a cabo durante el ensayo en el invernadero U9.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

Mes	Fecha	s.d.s.	Volumen(m ³)	Minutos de riego
Agosto	28/8-31/8	1	25,3	5:01:30
Septiembre	31/8-7/9	2	24,5	5:06:50
	7/9-14/9	3	17,9	5:40:07
	14/9-21/9	4	17,4	5:08:20
	21/9-27/9	5	6,7	3:52:15
	27/9-5/10	6	12,5	4:19:06
Octubre	5/10-12/10	7	22,9	4:17:16
	12/10-19/10	8	14,6	3:39:04
	19/10-26/10	9	17,1	3:36
	26/10-2/11	10	16,7	3:32:33
Noviembre	2/11-9/11	11	8,2	3:09:47
	9/11-16/11	12	14,6	3:19:00
	16/11-23/11	13	9,9	2:56:23
	23/11-30/11	14	11,3	2:58:18
	30/11-7/12	15	12,1	3:05:56
Diciembre	7/12-14/12	16	8	2:37:15
	14/12-21/12	17	9,2	2:30:01
	21/12-28/12	18	8	2:33:22
	28/12-4/1	19	7,7	2:56:44
Enero	4/1-11/1	20	8	2:18:58
	11/1-18/1	21	8	2:19:28
	18/1-25/1	22	10	2:17:03
	25/1-1/2	23	9,8	2:32:47
Febrero	1/2-8/2	24	5,7	1:46:11
	8/2-13/2	25	5,9	2:02:17

Tabla 5. Plan de riego llevado a cabo durante el ensayo en el invernadero U11.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

Mes	Fecha	s.d.s.	Volumen(m ³)	Minutos de riego
Agosto	28/8-31/8	1	48,5	5:33:38
Septiembre	31/8-7/9	2	54,7	4:43:00
	7/9-14/9	3	82	5:34:07
	14/9-21/9	4	75,5	4:59:11
	21/9-27/9	5	52,1	3:20:52
	27/9-5/10	6	65,8	4:11:27
Octubre	5/10-12/10	7	39,2	3:49:28
	12/10-19/10	8	3,1	3:48:06
	19/10-26/10	9	1,7	3:34:46
	26/10-2/11	10	1,1	3:42:39
Noviembre	2/11-9/11	11	2,8	3:05:15
	9/11-16/11	12	10,9	4:01:12
	16/11-23/11	13	8	3:14:25
	23/11-30/11	14	15,3	3:11:04
	30/11-7/12	15	10,8	3:01:00
Diciembre	7/12-14/12	16	8,9	2:48:26
	14/12-21/12	17	8,7	2:47:22
	21/12-28/12	18	12,3	2:47:24
	28/12-4/1	19	10,8	3:09:44
Enero	4/1-11/1	20	12,9	2:59:54
	11/1-18/1	21	9,6	3:02:49
	18/1-25/1	22	11,2	2:35:15
	25/1-1/2	23	9,2	2:07
Febrero	1/2-8/2	24	10,1	1:56:47
	8/2-13/2	25	5,8	1:38:36

Tabla 6. Plan de riego llevado a cabo durante el ensayo en los invernaderos U8 y U12.

3.5.6. CUAJADO DEL FRUTO.

El cuajado del fruto se realizó a través de la suelta de insectos auxiliares. Se usó una colmena por cada 500 m² de *Bombus terrestris*, correspondiendo, por tanto, en la realidad a una colmena por cada sector de los invernaderos. Así, se usaron en total 7 colmenas.

Las colmenas se colocaron en las primeras etapas del cultivo, siendo exactamente en los días 21 de Septiembre y 12 de Octubre.

El empleo de colmenas necesita la apertura por las mañanas de las boquillas de entrada y de salida.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

3.5.7. TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS.

Los tratamientos fitosanitarios utilizados en el cultivo se describen en la siguiente tabla:

Fecha	d.d.s	Producto Comercial	Materia Activa	Modo de Aplicación
07/09/2012	11	CONKORA	CIMOXANILLO 3% + SULFATO CUPROCALCICO 22,5% (EXPR. EN CU) [WP] P/P	FOLIAR
18/09/2012	22	OBERON	SPIROMESIFEN 24% [SC] P/V	FOLIAR
01/10/2012	35	CONKORA COBRE	CIMOXANILLO 3% + COBRE 22,5%. WP	FOLIAR
10/10/2012	44	AZADIRACTINA	AZADIRACTIN 3,2% [EC] P/V	FOLIAR
12/10/2012	46	ALIGN	AZADIRACTIN 3,2% [EC] P/V	FOLIAR
19/10/2012	53	CURZATE 60 WG	CIMOXANILLO 60% [WG] P/P	FOLIAR
20/10/2012	54	GUZAN	MANCOZEB 80% [WP] P/P	FOLIAR
31/10/2012	65	SULF 80 FLOW	AZUFRE 80% [SC] P/V	FOLIAR
14/11/2012	79	GUZAN	MANCOZEB 80% [WP] P/P	FOLIAR
22/11/2012	87	SUPERCOBRE MZ	COBRE 30% Oxiduro de cobre + MANCOZEB 20%. WP	FOLIAR
04/12/2012	99	ANTIBAK	QUELATADO CON COBRE EDTA	RIEGO
04/12/2012	99	DROXICUPER 50	COBRE 50%. WP Hidróxido cúprico	BROCHA
06/12/2012	101	CIBAC	GLUCOTANO DE ZINC	FOLIAR
10/12/2012	105	ANTIBAK	QUELATADO CON COBRE EDTA	RIEGO
18/12/2012	113	SILIKON	30% OXIDO DE SILICIO	RIEGO
20/12/2012	115	SWITCH	CIPRODINIL 37,5% + FLUDIOXONIL 25% [WG] P/P	FOLIAR
28/12/2012	123	SCUTUM	GLUCOTANO COBRE 5%	RIEGO
03/01/2013	129	CUBELTE	OXICLORURO DE COBRE 52% (EXPR. EN CU) [SC] P/V	BROCHA

Tabla 7. Plan de tratamientos fitosanitarios empleados en el ensayo.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

3.5.8. FERTIRRIGACIÓN.

La distribución de nutrientes del cultivo se describe en las dos siguientes tablas:

TANQUE	FERTILIZANTE	CANTIDAD (KG)
A	Nitrato Potásico	100
B	Nitrato Cálcico + Microelementos	100 + 2
C	Sulfato Potásico	75
D	Ácido Fosfórico	70
Acido	Ácido Nítrico	60
Microelementos		

Tabla 8. Distribución de nutrientes en los diferentes tanques de fertirrigación y cantidad aplicada en los invernaderos U8 y U12.

TANQUE	FERTILIZANTE	CANTIDAD (KG)
A	Sulfato Potásico	75
B	Nitrato Cálcico + Microelementos	100 + 2
C	Nitrato Potásico	100
D	Ácido Fosfórico	70
Acido	Ácido Nítrico	60
Microelementos		

Tabla 9. Distribución de nutrientes en los diferentes tanques de fertirrigación y cantidad aplicada en los invernaderos U9 y U11.

3.5.9. DESTALLADO, DESHOJADO Y DESPUNTADO DE LA PLANTA.

Los días en que se destalló, deshojó o despuntó la planta aparecen en la siguiente tabla:

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

Destallar		Deshojar		Despuntar	
Días	d.d.s	Días	d.d.s.	Días	d.d.s.
11/09/2012	15	22/10/2012	56	13/11/2012	78
12/09/2012	16	23/10/2012	57	14/11/2012	79
24/09/2012	28	19/11/2012	84		
25/09/2012	29	20/11/2012	85		
03/10/2012	37	21/11/2012	86		
04/10/2012	38	28/12/2012	123		
11/10/2012	45	29/12/2012	124		
12/10/2012	46	03/01/2013	129		
13/10/2012	47	04/01/2013	130		
18/10/2012	52				
19/10/2012	53				
20/10/2012	54				
24/10/2012	58				
25/10/2012	59				
29/10/2012	63				
05/11/2012	70				
06/10/2012	71				
14/12/2012	109				
15/12/2012	110				
17/12/2012	112				
18/12/2012	113				

Tabla 10. Días de destallado, deshojado y despuntado.

3.6. MALLAS ANTI-INSECTOS.

En el lado Este de los tres invernaderos multitúnel se colocaron, en las aberturas de ventilación lateral y cenital, mallas de 10x20 como testigo. En el lado Oeste se colocaron las mallas de prueba: 13x30 en los invernaderos U9, U11 y U12 tanto en aberturas laterales como cenitales.

	Mal la	D_r	φ	L_{px}	L_{py}	D_{hx}	D_{hy}	D_h	D_i	S_p	e
Experime ntal 2012- 2013	75	12.5x3 1.3	26. 3	110.0±7 .9	611.9±1 7.5	187.7± 6.7	209.4±8 .2	200.2±1 3.1	113.5±8 .5	0.067±0. 005	458.1±4 4.2
Testigo 2012-2013	76	9.8x 20.0	35. 0	238.6±1 9.5	746.0±2 2.7	272.0± 7.2	261.2±1 2.4	265.3±1 1.9	241.7±1 9.5	0.178±0. 015	564.4±4 4.9

Tabla 11. Características geométricas de las mallas anti-insectos utilizadas en los invernaderos experimentales. D_r , densidad de hilo (hilos·cm⁻²); φ , porosidad (%); L_{px} , longitud el poro en el eje x (µm); L_{py} , longitud del poro en el eje y (µm); D_{hx} , diámetro del hilo en el eje x (µm); D_{hy} , diámetro del hilo en el eje y (µm); D_h , diámetro medio de los hilos (µm); D_i , diámetro de la circunferencia inscrita en el poro (µm); S_p , superficie media del poro (mm²); e , espesor (µm).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

La unión entre distintas mallas, producida en los límites de los sectores Este y Oeste en la ventilación, se realizó cosiéndolas.



Figura 32. Detalle de la unión de las mallas de los sectores Este y Oeste en invernadero multitúnel.

En el invernadero U8 se disponen en las aberturas de ventilación lateral y cenital solamente de mallas de 10×20 hilos·cm⁻².

3.7 SISTEMAS DE CALEFACCIÓN.

En cuanto a la realización teniendo en cuenta el efecto de la calefacción: en el invernadero U11 contaremos con una caldera para calefacción que utiliza combustibles sólidos de biomasa con una potencia útil nominal de 350 kW y que calentará el invernadero a través de tubos de acero dentro del invernadero en los que circulará el agua caliente; en el invernadero U9 contaremos con dos calefactores de gasoil que calefactan por aire con una potencia térmica total de 88 kW cada uno; y los invernaderos U12 trabajarán sin calefacción.

Se usó una consigna de activación de la calefacción en ambos invernaderos, U9 y U11, de 8 °C por la noche.

3.7.1. CALEFACCIÓN POR COMBUSTIÓN DE AIRE CALIENTE INDIRECTA.

El sistema de calefacción utilizado en este estudio en el invernadero U9 es un sistema de calefacción por aire caliente.

Este sistema cuenta con un generador de combustión indirecta que expulsa los gases tóxicos resultantes de la combustión fuera del invernadero, evitando los problemas que pueden suponer liberar gases tóxicos dentro del invernadero tanto para las personas como para las plantas.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

El calefactor del sistema utilizado se denomina “GP 80” y dispone de una potencia térmica total de servicio de 88 kW.

El tipo de combustible utilizado para generar energía calorífica en este sistema de calefacción es el gasoil, que se encuentra almacenado en un tanque de 1000 litros en el interior del invernadero U9.



Figura 33. Detalle del calefactor.

	GP80	Unidades
Peso	120	kg
Potencia máxima	99	kW
Potencia de servicio	88	kW
Consumo máximo de gasoil	8,3	kg/h
Consumo máximo de gas natural	9,8	m3/h
Eficiencia (con gasoil)	88,5	%
Potencia eléctrica nominal	1500	W
Tensión trifásica	230/400	V
Tensión monofásica	230	V
Flujo de aire	5800	m3/h
Diametro de salida	500	mm

Tabla 12. Características técnicas del calefactor “GP80”.

Para mejorar la distribución del aire caliente producido en el calefactor se han instalado mangas de polietileno con orificios de unos 200 mm a lo largo del lateral del invernadero. De esta forma aumenta el alcance del chorro de aire caliente.

Se ha dispuesto de dos calefactores en el invernadero con tratamiento de calefacción, U9, cada uno de ellos tiene delimitada físicamente su zona de actuación con una pared de plástico del mismo material que la cubierta del invernadero.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

Cada calefactor se ha ocupado de una superficie de 492.5 m², una mitad del invernadero U9 para cada uno.

3.7.2. CALEFACCIÓN POR TUBERÍAS DE AGUA CALIENTE.

El sistema de calefacción utilizado en este estudio en el invernadero U11 es un sistema de calefacción por tuberías de agua caliente.

Este sistema cuenta con unacaldera automática de biomasa para la producción de agua caliente utilizando como combustible hueso de oliva. La caldera se denomina BIOSELECT 350 y dispone de una potencia útil nominal máxima de 350 kW.



Figura 34. Detalle de la caldera.

El tipo de combustible utilizado para generar energía calorífica en este sistema de calefacción es el hueso de oliva, que se encuentra almacenado en la tolva de la caldera.



Figura 35. Detalle de la tolva de la caldera.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

Potencia útil nominal (kW)		350
(kcal/h)		301.000
Potencia útil mínima (kW)		100
(kcal/h)		86.000
Consumo combustible (kg/h) (p.c.i. 4100 kcal/kg - humedad 10%)		24,4-89,5
Rendimiento (%)		89
Temperatura de gases (°C)		110-180
Peso (kg)		1.950
Volumen de agua en el cuerpo (L)		895
Diámetro de salida de humos (mm)		250
Cámara de combustión	diámetro (mm)	950
	longitud (mm)	1.680
Superficie intercambio (m2)		25,74
Presión de trabajo máxima (bar)		4
Temperatura máxima de trabajo (°C)		85
Resistencia de gases de combustión	mm.c.a.	68
	mbar	6,8
Caudal de humos (a 190 °C):	a potencia útil nominal (m3/h)	1.595
	a potencia útil mínima (m3/h)	456
Conexión	Impulsión	DN 65
	Retorno	DN 65
Alimentación eléctrica		~ 2 x 230v + T
Potencia eléctrica instala (kW)		4,5

Tabla 13. Características técnicas de la caldera BIOSELECT 350 para combustible de características: granulometría: máx. 40 mm; poder calorífico: mín. 3.100 kcal/kg; y humedad: máx. 20%.

La temperatura de salida del agua es de 80 °C. La circulación del agua y los gases en la caldera corresponde al siguiente esquema:

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

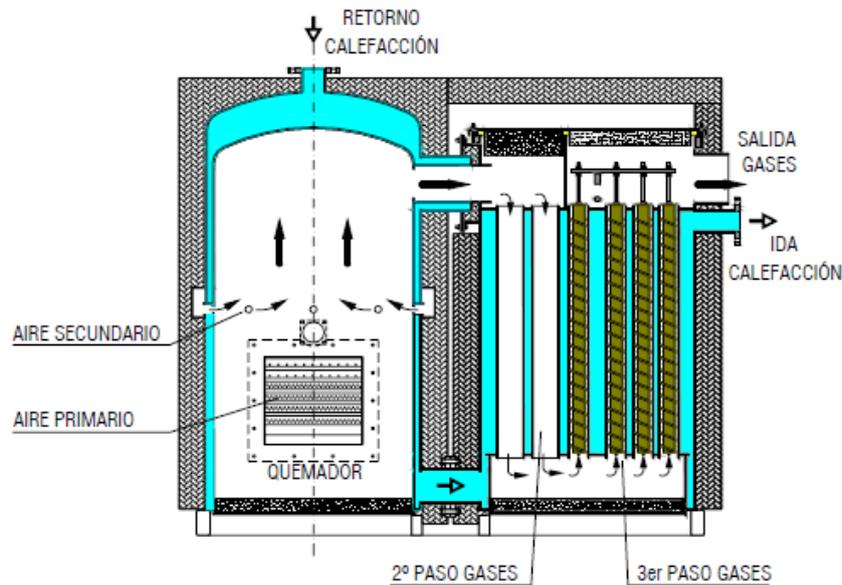


Figura 36. Circulación del agua en la caldera.

El agua entra en la caldera por la parte superior de la cámara de combustión, desciende a lo largo de ella y pasa al haz de tubos por la parte inferior. El recorrido dentro de éste es ascendente, saliendo por la parte superior en el extremo opuesto al de entrada.

El sistema de distribución de las tuberías de calefacción por agua caliente está conformado por tuberías con un diámetro exterior de 60 mm y que se distribuyen por el invernadero haciendo un zig-zag en forma de U, con una longitud de 10,5 m y ancho de 60 cm. El número de zig-zags realizados en el sector Este es de 12 en el lado Norte y 12 en el Sur, y en el sector Oeste de 10 en cada lado.

3.8. DISEÑO EXPERIMENTAL.

El ensayo llevado a cabo trata de evaluar el efecto de los distintos tipos de mallas, de los distintos tipos de calefacción y de los distintos tipos de estructura en la calidad de un cultivo de tomate cv. Marylu, cultivado en invernadero durante la campaña 2012/2013.

Para poder comparar el efecto de los distintos tipos de mallas se han dividido los invernaderos multitúnel, U9, U11 y U12, en dos sectores, Este y Oeste, siendo instalado en cada sector Este mallas de densidad 10×20 hilos- cm^{-2} y en cada sector Oeste de 13×30 hilos- cm^{-2} . Compararemos así únicamente los sectores Este con los sectores Oeste de un mismo invernadero, al poseer el mismo tipo de estructura y calefacción, pero distintos tipos de mallas.

Para poder comparar el efecto de la calefacción cada invernadero multitúnel posee un tipo de calefacción. Teniendo el U9 calefacción por combustión de aire caliente indirecto, el U11 calefacción por tuberías de agua caliente y el U12 posee simplemente ventilación natural. Compararemos así los tipos de calefacción entre mismos sectores Este u Oeste, por tener el mismo tipo de estructura y malla, pero distinto tipo de calefacción.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

Para poder comparar el efecto de la estructura compararemos el sector U12E con el U8, por poseer ambos ventilación natural y mallas de 10x20 hilos-cm⁻² pero distinto tipo de estructura.

La distribución usada en el ensayo aparece en la siguiente figura:

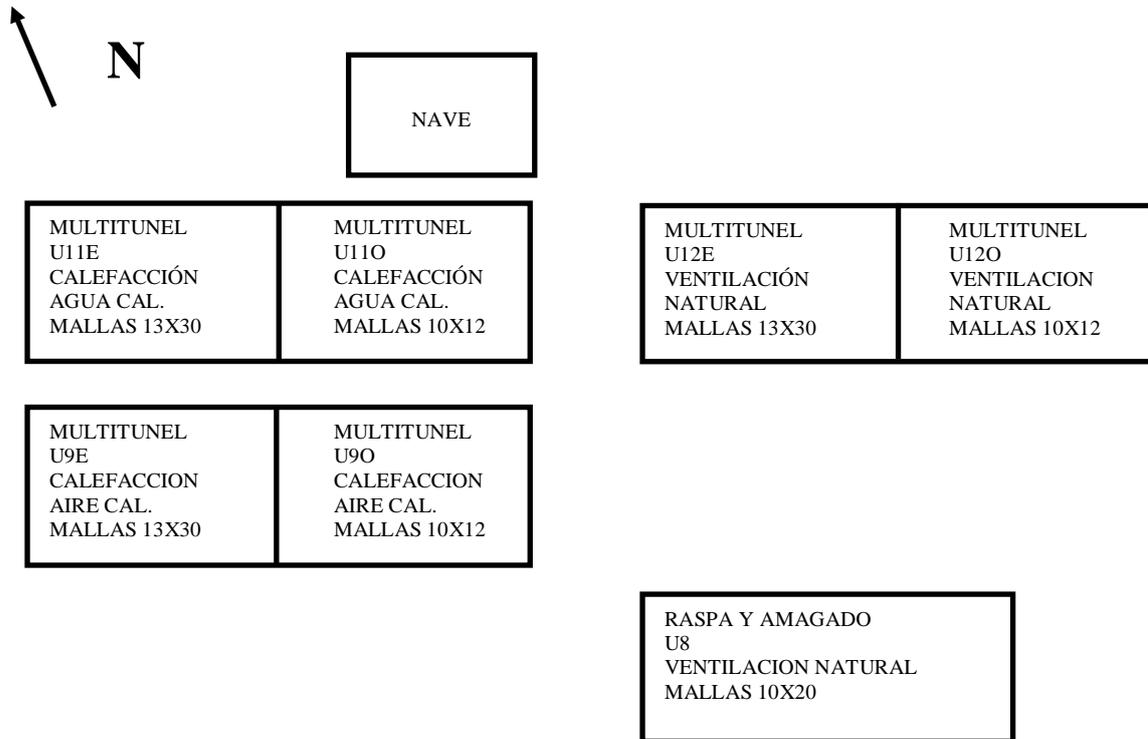


Figura 37. Esquema de distribución de los tipos de estructura, de calefacción y de mallas anti-insecto en los distintos invernaderos usados en el ensayo.

3.9. TOMA DE DATOS.

Para el muestreo de la población de los frutos del tomate se tomarán un total de 20 frutos por cada sector. Las observaciones realizadas se ejecutarán con una periodicidad de 7 días.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

FECHA	d.d.s.
23/11/2012	87
30/11/2012	94
04/12/2012	98
14/12/2012	110
19/12/2012	113
26/12/2012	120
02/01/2013	127
09/01/2013	134
18/01/2013	143
23/01/2013	148
01/02/2013	157
06/02/2013	162
18/02/2013	174

Tabla 14. Fecha de recogida de frutos y toma de datos.

3.9.1. PARÁMETROS SOMETIDOS A ESTUDIO.

Los frutos serán sometidos a los ensayos de medida de peso, diámetro, acidez, firmeza, ° Brix, y porcentaje de materia seca.

3.9.1.1. PESO DEL FRUTO.

Para la medida del peso del fruto utilizaremos una balanza electrónica con capacidad máxima 600 g / 3100 g y sensibilidad 0,01 g / 0,1 g.



Figura 38. Detalle de la balanza usada en ensayo.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

3.9.1.2. DIÁMETRO DEL FRUTO.

Para la medida del diámetro del diámetro del fruto usaremos un calibre digital 150 mm, con precisión 0,01 mm.



Figura 39. Detalle del calibre usado en ensayo.

3.9.1.3. ACIDEZ DEL FRUTO.

En el caso de la medida del pH utilizaremos un multímetro portátil de resolución 0,01 y error $\leq 0,01$. La preparación de la muestra y toma de datos se hace partiendo el fruto del tomate por la mitad a la altura del diámetro ecuatorial y colocando el sensor previamente calibrado en la parte menos sólida de la pulpa del fruto, anotando el dato desplegado en la pantalla en el momento que se estabiliza la lectura del sensor.



Figura 40. Detalle del multímetro usado en ensayo.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

3.9.1.4. CANTIDAD DE SÓLIDOS SOLUBLES DEL FRUTO.

Para medir los sólidos solubles del fruto utilizaremos un refractómetro rango de medida de 0,0 a 53,0%, resolución 0,1%, error $\pm 0,2\%$ a temperatura ambiente desde 10 a 40 °C. Para realizar esta prueba se calibra el refractómetro con agua destilada, en una cantidad aproximada de 0,3 mL, que se coloca sobre la superficie del prisma del sensor óptico y se procede a calibrar el aparato.



Figura 41. Detalle del refractómetro usado en ensayo.

3.9.1.5. FIRMEZA DEL FRUTO.

Para la medida de la firmeza del fruto usaremos un penetrómetro digital de resolución: 10 g / 0,05 N y precisión: $\pm 0,5 \%$, + 2 dgt. Para la preparación de la muestra, primero se retira del fruto la piel en una superficie aproximada al diámetro del puntal de penetración de 8 mm, que es el apropiado para frutos de tomate, y se le retira la piel al fruto en tres puntos equidistantes del diámetro ecuatorial para tener un dato promediado de tres mediciones de penetración por fruto.



Figura 42. Detalle del penetrómetro usado en ensayo.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

3.9.1.6. CANTIDAD DE MATERIA SECA DEL FRUTO.

Para la medición del porcentaje de materia seca del fruto utilizaremos la balanza electrónica descrita anteriormente y una estufade secado y tratamiento térmico 300 °C, 23 - 240 I, dejando el fruto secarse a una temperatura de 70 °C durante 48 horas.



Figura 43. Detalle de los tomates en la estufa usada en ensayo.

3.10. ANÁLISIS DE DATOS.

Todos los datos se sometieron a análisis de la varianza ($p < 0,05$) y al test demínimas diferencias significativas con la ayuda del paquete estadísticoSTATGRAPHICS Centurion XV 15.02.05 para Windows.

Análisis de la varianza

Se someterá a los datos a las pruebas de *Cochran*, *Bartlett* y *Jartley* a través del apartado Verificación de Varianza. Esto comprueba que el intervalo de confianza es menor del 5%.

Contrastes de rango múltiple

Toda vez que los datos cumplen con el nivel de confianza establecido anteriormente se estudiarán si existe un único grupo homogéneo de datos o si existen diferencias estadísticamente significativas entre grupos. Esto se realizará a través de las Pruebas de Rango Múltiple.

El método usado para discriminar entre las medias, es el de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). En las tablas obtenidas se aplicancomparaciones múltiples para determinar que medias son significativamente diferentesde otras. El cálculo de los valores medios para cada nivel (o grupo de niveles) se harealizado en función de la pertenencia de cada nivel a un grupo homogéneo o a laintersección entre varios grupos.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

Gráfico de Cajas y bigotes.

Este gráfico sirve para analizar grupos que no hayan superado las pruebas del intervalo de confianza.

En el gráfico se muestra la media de cada variable y se generan muestras sobre la mediana, que nos permiten establecer gráficamente si existe coincidencia entre estas muestras, y por tanto, que variables generan grupos homogéneos y los distintos existentes.

Gráfico de Medias y 95% de Fisher LSD.

Este muestra gráficamente, para aquellos casos que hayan cumplido las pruebas de superación del intervalo de confianza, las medias de las variables y los límites del intervalo de confianza.

Gráfico de Medias y grupos homogéneos.

Este gráfico será generado en Excel después del estudio de las medias y de los distintos grupos estadísticos existentes.

Mostrará la media de cada variable acompañada de una letra (a, b, c, etc.) que indicará el grupo homogéneo al que pertenece, siendo el orden de las letras el de los grupos homogéneos con valor menor a valor mayor.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

En este apartado analizaremos y discutiremos los resultados obtenidos en el ensayo, tanto en lo que respecta a las mallas anti-insecto, como en los tipos de estructura y calefacción.

Analizaremos los efectos de cada uno de los diferentes condicionantes con cada uno de los distintos parámetros de calidad estudiados y, posteriormente discutiremos como afecta cada condicionante a la calidad, tomando todos los aspectos en general, del fruto del tomate.

En la *Tabla 15*.se sintetizan todos los resultados analizados y procesados estadísticamente.

Se presenta la media del valor del parámetro de calidad estudiado y si existen diferencias estadísticamente significativas (expresado en letras “a”, “b” o “c” la coincidencia de homogeneidad estadística) en función del condicionante estudiado.

Con esta tabla se estudiarán cada uno de los siguientes apartados y se desgranará la tabla en otras más pequeñas que sólo aludan a las relaciones estudiadas en cada punto determinado para ayudar a la comprensión.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

	Peso (g)	Diámetro (mm)	° Brix	pH	Firmeza (kg)	Materia Seca (%)
U9E	98,52 b	58,02 bc	5,00 b	4,19 c	3,11 a	7,44 c
U9O	96,05 ab	57,18 ab	5,03 b	4,19 c	3,24 b	7,46 c
U11E	99,71 b	58,38 bc	4,81 b	4,21 c	2,97 a	7,13 b
U11O	97,01 ab	57,96 abc	4,85 b	4,17 b	2,93 a	7,20 b
U12E	100,75 b	59,01 c	4,93 b	4,13 b	3,40 b	7,09 b
U12O	99,14 b	58,54 c	5,04 b	4,13 b	3,26 b	7,07 b
U8	94,27 a	56,97 a	4,49 a	4,10 a	3,01 a	6,51 a

Tabla 15. Resultados medios de los parámetros en cada invernadero y si existen diferencias estadísticas con cada condicionante.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

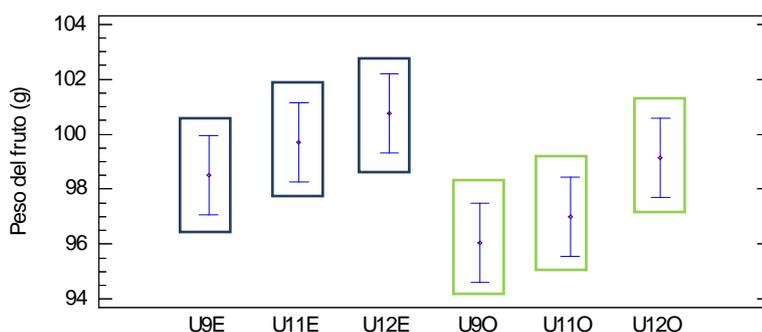
4.1. INFLUENCIA DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN.

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de campo, en lo que respecta a la influencia del sistema de calefacción en cada uno de los parámetros de calidad estudiados.

Para hacer esta comparativa sólo usaremos los datos proporcionados por los invernaderos multitúnel, y sólo compararemos los sectores que tengan el mismo tipo de malla anti-insectos. Con este fin estudiaremos únicamente la influencia de los tipos de sistemas de calefacción en la calidad del fruto.

Cómo se expuso anteriormente, los invernaderos U9, U11 y U12 están divididos en mitades iguales en sector Este y sector Oeste, en función de que posean un tipo de malla de 10x20 hilos-cm⁻² o mallas de 13x30 hilos-cm⁻², respectivamente.

4.1.1. INFLUENCIA DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN EN EL PESO.



Gráfica 8. Comparativa en la calefacción del peso medio del fruto obtenido (g).

Comparando los resultados obtenidos en los sectores Este de los invernaderos U9, U11 y U12, que poseen la misma estructura y tipo de malla, se aprecia que no existen diferencias estadísticamente significativas entre el uso exclusivo de ventilación natural, calefacción por agua caliente o calefacción con aire caliente en el peso del fruto de tomate.

	Peso (g)
U9E	98,52 b
U11E	99,71 b
U12E	100,75 b

Tabla 16. Peso medio del fruto en los invernaderos Este (g).

Podemos establecer la misma conclusión en los sectores Oeste de los invernaderos ya mencionados.

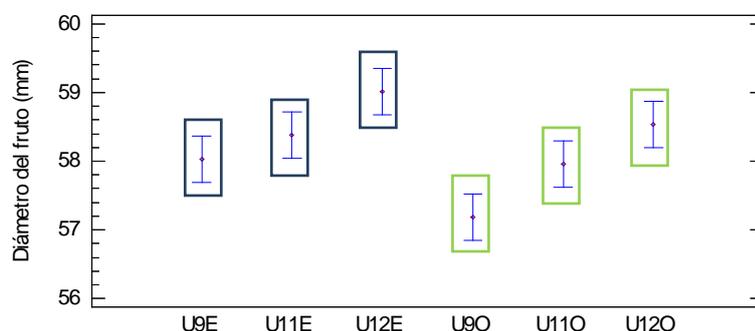
Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

	Peso (g)
U9O	96,05 ab
U11O	97,01 ab
U12O	99,14 b

Tabla 17. Peso medio del fruto en los invernaderos Oeste (g).

Parecen no existir, por tanto, diferencias estadísticamente significativas entre el tipo de calefacción utilizado sobre el peso del fruto de tomate.

4.1.2. INFLUENCIA DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN EN EL DIÁMETRO.



Gráfica 9. Comparativa en la calefacción del diámetro medio del fruto (mm).

Cuando se compara el resultado obtenido en los sectores Este de los invernaderos multitúnel no apreciamos diferencias estadísticamente significativas en el diámetro del fruto de tomate.

	Diámetro (mm)
U9E	58,02 bc
U11E	58,38 bc
U12E	59,01 c

Tabla 18. Diámetro medio del fruto en los invernaderos Este (mm).

Sin embargo, los resultados obtenidos en los sectores Oeste de los mismos invernaderos se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre el uso exclusivo de ventilación natural, y el uso de calefacción de calefacción por aire caliente, en el diámetro del fruto de tomate, siendo este último ligeramente mayor en el invernadero sin sistemas de calefacción.

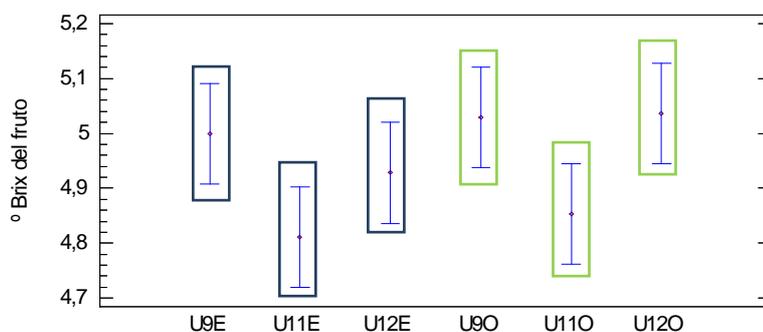
	Diámetro (mm)
U9O	57,18 ab
U11O	57,96 abc
U12O	58,54 c

Tabla 19. Diámetro medio del fruto en los invernaderos Oeste (mm).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

A pesar de todo, no parece demostrarse a nivel general, una diferencia entre los sistemas de calefacción en el diámetro del fruto del tomate.

4.1.3. INFLUENCIA DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN EN LA CANTIDAD DE SÓLIDOS SOLUBLES.



Gráfica 10. Comparativa en la calefacción de los °Brix medios del fruto.

Cuando analizamos los resultados obtenidos en el ensayo en los sectores Este de los invernaderos que estudiamos en este apartado no apreciamos diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tipos de calefacción en la cantidad de sólidos solubles del fruto de tomate.

	° Brix
U9E	5,00 b
U11E	4,81 b
U12E	4,93 b

Tabla 20. ° Brix medios del fruto en los invernaderos Este.

La anterior conclusión se puede aplicar en el caso de los sectores Oeste.

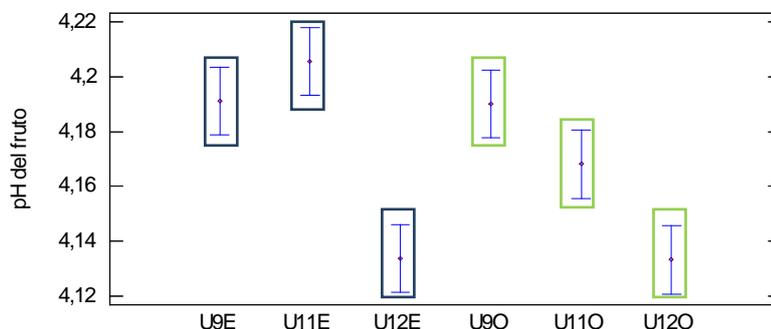
	° Brix
U9O	5,03 b
U11O	4,85 b
U12O	5,04 b

Tabla 21. ° Brix medios del fruto en los invernaderos Oeste.

Parece, así, que el tipo de calefacción no influye en la cantidad de sólidos solubles del fruto de tomate.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

4.1.4. INFLUENCIA DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN EN LA ACIDEZ.



Gráfica 11. Comparativa en la calefacción del pH medio del fruto.

Si se comparan los resultados del pH del fruto obtenidos en los sectores con malla de 10x20 hilos·cm⁻² en los invernaderos multitúnel se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre el uso de ventilación natural y el resto de sistemas de calefacción. Siendo más ácido el fruto producido en el invernadero con ventilación natural.

	pH
U9E	4,19 c
U11E	4,21 c
U12E	4,13 b

Tabla 22. pH medio del fruto en los invernaderos Este.

También se aprecian diferencias estadísticamente significativas en los sectores con malla de 13x30 hilos·cm⁻² en cuanto a los valores de pH del fruto. Esta vez se manifiesta en el caso del invernadero con calefacción por agua caliente frente al resto. Siendo en el caso de los frutos del U9 el pH mayor.

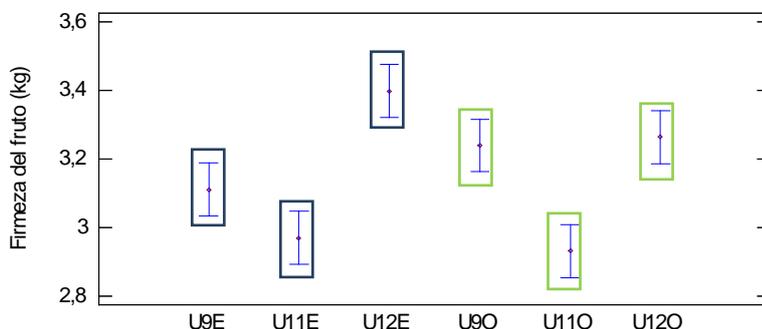
	pH
U9O	4,19 c
U11O	4,17 b
U12O	4,13 b

Tabla 23. pH medio del fruto en los invernaderos Oeste.

Por tanto, no parece demostrarse a nivel general, una diferencia entre los sistemas de calefacción en la acidez del fruto del tomate. Pero en los dos casos los mayores valores se han obtenido en el invernadero con calefacción por aire caliente y los menores en el invernadero con ventilación natural.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

4.1.5. INFLUENCIA DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN EN LA FIRMEZA.



Gráfica 12. Comparativa en la calefacción de la firmeza media del fruto (kg).

En el análisis de los datos obtenidos en los sectores orientales de los invernaderos U9, U11 y U12 se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre el uso de ventilación natural y los sistemas de calefacción. El fruto presentó en el invernadero calefactado unos valores de firmeza mayores.

	Firmeza (kg)
U9E	3,11 a
U11E	2,97 a
U12E	3,40 b

Tabla 24. Firmeza media del fruto en los invernaderos Este (kg).

Sin embargo, los resultados obtenidos en los sectores occidentales de los invernaderos mencionados se aprecia alguna diferencia significativa entre el uso de calefacción por agua caliente y el resto de sistemas en la firmeza del fruto de tomate, mostrándose en el invernadero calefactado con agua caliente unos valores de firmeza medios ligeramente menores.

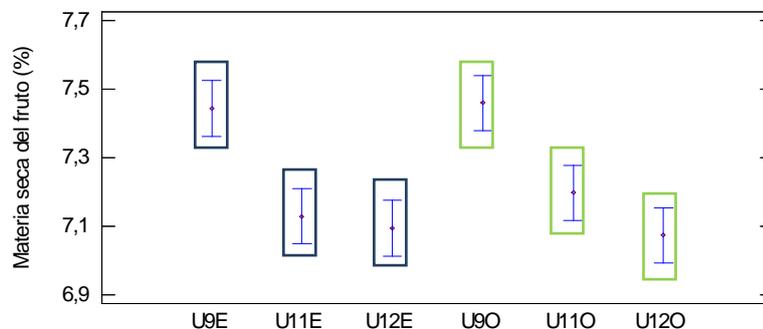
	Firmeza (kg)
U9O	3,24 b
U11O	2,93 a
U12O	3,26 b

Tabla 25. Firmeza media del fruto en los invernaderos Oeste (kg).

Y siendo así, no podemos demostrar que a nivel general los sistemas de calefacción generen diferencias en la firmeza del fruto del tomate.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

4.1.6. INFLUENCIA DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN EN EL PORCENTAJE DE MATERIA SECA.



Gráfica 13. Comparativa en la calefacción del porcentaje de materia seca medio del fruto.

Al comparar los datos obtenidos en los sectores con malla menos tupida de los invernaderos multitúnel se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre el uso de calefacción por aire caliente y el resto de sistemas. En concreto los valores de materia seca obtenidos en los frutos del invernadero U9 son mayores a los del resto.

	Materia Seca (%)
U9E	7,44 c
U11E	7,13 b
U12E	7,09 b

Tabla 26. Materia seca media del fruto en los invernaderos Este (%).

Asimismo, en los resultados obtenidos en los sectores con malla más se aprecia la misma diferencia significativa entre el uso de calefacción por aire caliente, U9, y el resto de sistemas en el porcentaje de materia seca del fruto de tomate, mostrándose en el invernadero calefaccionado con aire caliente unos valores de firmeza medios ligeramente mayores también.

	Materia Seca (%)
U9O	7,46 c
U11O	7,20 b
U12O	7,07 b

Tabla 27. Materia seca media del fruto en los invernaderos Oeste (%).

Por tanto, podría existir una tendencia en nuestro ensayo de que los sistemas de calefacción por aire caliente generan frutos de tomate con una mayor cantidad de materia seca que en el resto de sistemas.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

4.1.7. DISCUSIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS COMPARANDO LOS SISTEMAS DE CALEFACCIÓN.

Los distintos sistemas de calefacción no han influido en los parámetros de calidad del fruto del tomate en este ensayo, exceptuando el caso de la tendencia aparecida en la materia seca a ser mayor al usar calefacción por combustión indirecta de aire caliente.

Según Hanan en 1998, si las temperaturas son inferiores a las óptimas habrá menos producción de alta calidad. Lo que induciría a pensar que la calefacción al elevar la temperatura hasta los límites óptimos, o no alcanzando los mínimos, induciría mejores valores en la calidad del fruto.

Esto no ha sido demostrado en nuestro ensayo, en términos generales, posiblemente debido a que las temperaturas, incluso en invierno, en nuestros invernaderos están por encima de las mínimas normalmente, y los sistemas de calefacción no se usan lo suficiente.

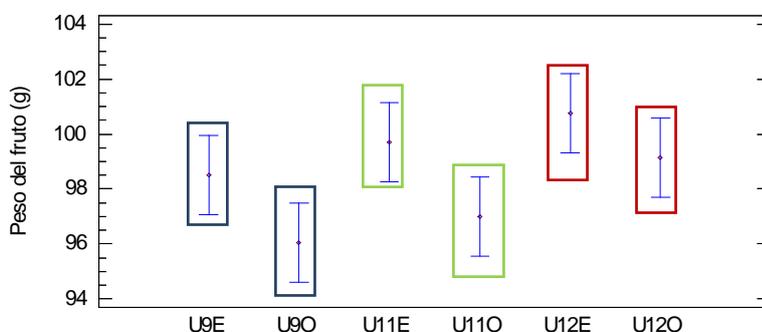
Sólo se pudo demostrar una mejora en el porcentaje de materia seca del fruto en el caso del uso de calefacción por aire caliente, quizá debido a que este tiene una respuesta más rápida que el de agua caliente (Day *et al.*, 1999).

4.2. INFLUENCIA DE LAS MALLAS ANTI-INSECTOS.

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de campo, en lo que respecta a la influencia de las mallas anti-insecto en cada uno de los parámetros de calidad estudiados.

Para hacer esta comparativa sólo usaremos los datos proporcionados por los invernaderos multitúnel, y sólo compararemos los sectores que tengan el mismo tipo de sistema de calefacción. Con este fin estudiaremos únicamente la influencia de los tipos de mallas anti-insecto en la calidad del fruto.

4.2.1. INFLUENCIA DE LAS MALLAS ANTI-INSECTOS EN EL PESO.



Gráfica 14. Comparativa en cuanto a mallas del peso medio del fruto (g).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

Si analizamos los datos obtenidos en el peso del fruto del tomate en el invernadero multitúnel con calefacción por aire caliente no encontramos diferencias estadísticamente significativas en los sectores con la malla más y la menos tupida.

	Peso (g)
U9E	98,52 b
U9O	96,05 ab

Tabla 28. Peso medio del fruto en el invernadero U9(g).

Ocurre lo mismo en el caso del invernadero multitúnel con calefacción por agua caliente.

	Peso (g)
U11E	99,71 b
U11O	97,01 ab

Tabla 29. Peso medio del fruto en el invernadero U11 (g).

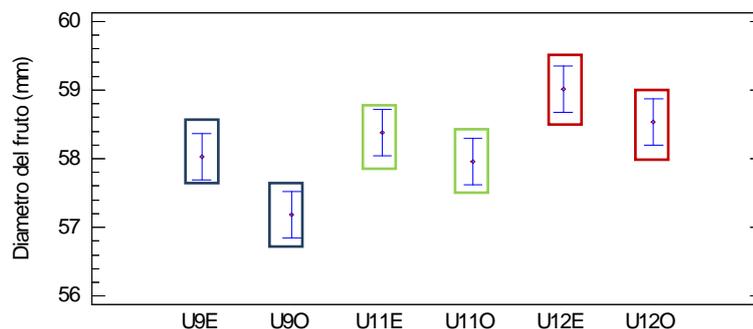
Y se repite la homogeneidad estadística entre el uso de mallas en el caso del invernadero multitúnel con ventilación forzada en el peso del fruto del tomate.

	Peso (g)
U12E	100,75 b
U12O	99,14 b

Tabla 30. Peso medio del fruto en el invernadero U12 (g).

No se demuestra una diferencia estadísticamente significativa entre el uso de mallas en el peso del fruto del tomate.

4.2.2. INFLUENCIA DE LAS MALLAS ANTI-INSECTOS EN EL DIÁMETRO.



Gráfica 15. Comparativa en cuanto a mallas del diámetro medio del fruto (mm).

Analizando los datos obtenidos del diámetro del fruto del tomate en el invernadero U9 vemos que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los sectores Este y Oeste.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

	Diámetro (mm)
U9E	58,02 bc
U9O	57,18 ab

Tabla 31. Diámetro medio del fruto en el invernadero U9 (mm).

Tal evaluación ocurre igual en el caso del invernadero U11.

	Diámetro (mm)
U11E	58,38 bc
U11O	57,96 abc

Tabla 32. Diámetro medio del fruto en el invernadero U11 (mm).

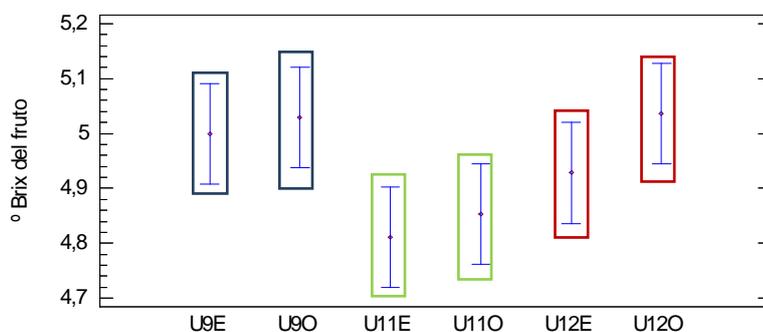
Y también en el caso del U12.

	Diámetro (mm)
U12E	59,01 c
U12O	58,54 c

Tabla 33. Diámetro medio del fruto en el invernadero U12 (mm).

No se puede demostrar una influencia entre el uso de las dos mallas utilizadas y el diámetro del fruto de tomate.

4.2.3. INFLUENCIA DE LAS MALLAS ANTI-INSECTOS EN LA CANTIDAD DE SÓLIDOS SOLUBLES.



Gráfica 16. Comparativa en cuanto a mallas de los °Brix medios del fruto.

Al comparar los resultados de la cantidad de sólidos solubles en el fruto del tomate en el invernadero U9 no se evidencian diferencias estadísticamente significativas entre el uso de uno u otro tipo de malla.

	° Brix
U9E	5,00 b
U9O	5,03 b

Tabla 34. ° Brix medios del fruto en el invernadero U9.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

No se producen evidencias de lo anteriormente expuesto en el caso del U11.

	° Brix
U11E	4,81 b
U11O	4,85 b

Tabla 35. ° Brix medios del fruto en el invernadero U11.

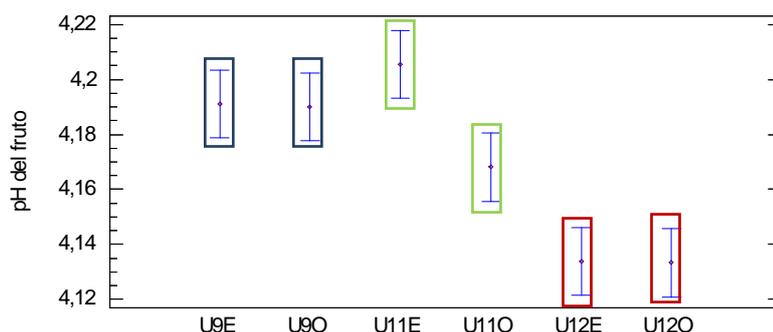
Ni tampoco en el caso del U12.

	° Brix
U12E	4,93 b
U12O	5,04 b

Tabla 36. ° Brix medios del fruto en el invernadero U12.

No aparecen diferencias estadísticamente significativas en la cantidad de sólidos solubles del fruto del tomate entre el uso de las mallas estudiadas.

4.2.4. INFLUENCIA DE LAS MALLAS ANTI-INSECTOS EN LA ACIDEZ.



Gráfica 17. Comparativa en cuanto a mallas del pH medio del fruto.

Estudiando los resultados de acidez en los frutos de tomate del invernadero U9 obtenidos no encontramos diferencias estadísticamente significativas en función del tipo de malla usada.

	pH
U9E	4,19 c
U9O	4,19 c

Tabla 37. pH medio del fruto en el invernadero U9.

Sin embargo, comparando los resultados obtenidos en el invernadero U11 entre el sector Este y el sector Oeste parecen existir diferencias estadísticamente significativas en la acidez del fruto del tomate, encontrándose mayores valores medios de acidez en el lado con 10x20 hilos·cm⁻² que en el lado de 13x30 hilos·cm⁻².

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

	pH
U11E	4,21 c
U11O	4,17 b

Tabla 38. pH medio del fruto en el invernadero U11.

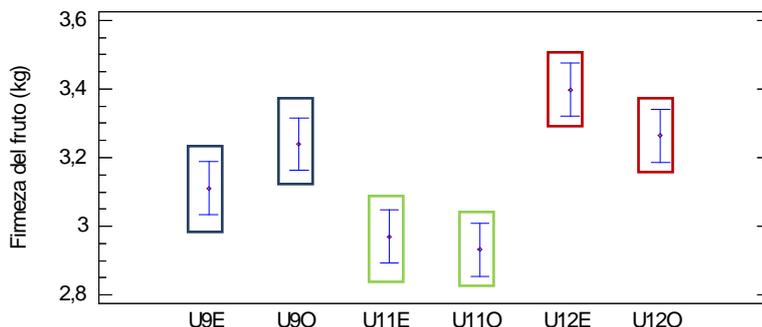
Finalmente, también si comparamos los resultados obtenidos en el invernadero U12 entre el sector Este y el sector Oeste, que disponen de la misma estructura, misma calefacción pero distinto tipo de malla, no tendremos diferencias significativas en la acidez del fruto.

	pH
U12E	4,13 b
U12O	4,13 b

Tabla 39. pH medio del fruto en el invernadero U12.

Parece, a pesar de todo, no existir diferencia significativa en la acidez del fruto del tomate producida por el uso de un tipo u otro de malla anti-insecto.

4.2.5. INFLUENCIA DE LAS MALLAS ANTI-INSECTOS EN LA FIRMEZA.



Gráfica 18. Comparativa en cuanto a mallas de la firmeza media del fruto obtenido en cada invernadero (kg).

Comparando los resultados obtenidos en el invernadero U9 entre el sector Este y el sector Oeste, que disponen de la misma estructura y misma calefacción pero distinto tipo de malla, parece existir diferencia significativa en la firmeza del fruto del tomate, siendo menores los valores medios de firmeza en el lado Estefrente a los valores de firmeza medios del lado Oeste.

	Firmeza (kg)
U9E	3,11 a
U9O	3,24 b

Tabla 40. Firmeza media del fruto en el invernadero U9 (kg).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

Sin embargo, comparando los resultados obtenidos en el invernadero U11 entre el sector Este y el sector Oeste, que disponen de la misma estructura y misma calefacción pero distinto tipo de malla, parece no existir diferencias significativas en la firmeza del fruto del tomate.

	Firmeza (kg)
U11E	2,97 a
U11O	2,93 a

Tabla 41. Firmeza media del fruto en el invernadero U11 (kg).

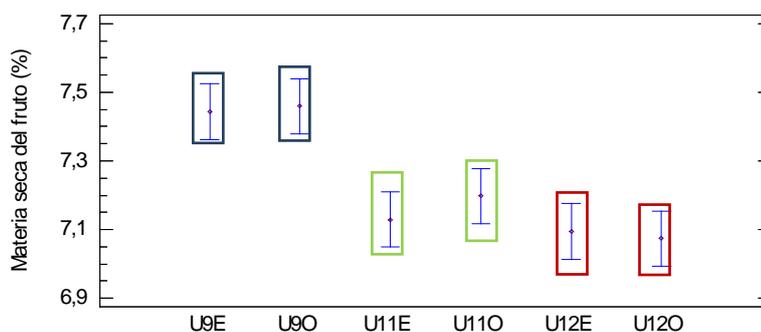
Finalmente, también si comparamos los resultados obtenidos en el invernadero U12 entre el sector Este y el sector Oeste, que disponen de la misma estructura, misma calefacción pero distinto tipo de malla, no tendremos diferencias significativas en la firmeza del fruto.

	Firmeza (kg)
U12E	3,40 b
U12O	3,26 b

Tabla 42. Firmeza media del fruto en el invernadero U12 (kg).

Parece, a pesar de todo, no existir diferencia significativa en la firmeza del fruto del tomate producida por el uso de un tipo u otro de malla anti-insecto.

4.2.6. INFLUENCIA DE LAS MALLAS ANTI-INSECTOS EN EL PORCENTAJE DE MATERIA SECA.



Gráfica 19. Comparativa en cuanto a mallas del porcentaje de materia seca medio del fruto.

Si comparamos los resultados obtenidos en el porcentaje de materia seca del fruto del tomate en el invernadero con calefacción por aire caliente no encontramos diferencias estadísticamente significativas entre el uso de mallas más tupidas o menos.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

	Materia Seca (%)
U9E	7,44 c
U9O	7,46 c

Tabla 43. Materia seca media del fruto en el invernadero U9 (%).

Los resultados mencionados anteriormente con respecto al U9 se repiten en el U11.

	Materia Seca (%)
U11E	7,13 b
U11O	7,20 b

Tabla 44. Materia seca media del fruto en el invernadero U11 (%).

Y vuelve a suceder lo mismo si analizamos el U12.

	Materia Seca (%)
U12E	7,09 b
U12O	7,07 b

Tabla 45. Materia seca media del fruto en el invernadero U12 (%).

Viéndose que no existe diferencia estadísticamente significativa entre el uso de unas mallas u otras de las utilizadas en el ensayo en cuanto al porcentaje de materia seca del fruto del tomate.

4.2.7. DISCUSIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS COMPARANDO LAS MALLAS ANTI-INSECTO.

Aunque, en principio, el descenso en la tasa de renovación del aire en el interior del invernadero genera problemas de enfermedades y disminución en el rendimiento y calidad de los cultivos (Arellano, 2004), el uso de mallas de 10x20 o de 13x30 hilos·cm⁻² no se han generado diferencias estadísticamente significativas en los parámetros de calidad estudiados del fruto de tomate.

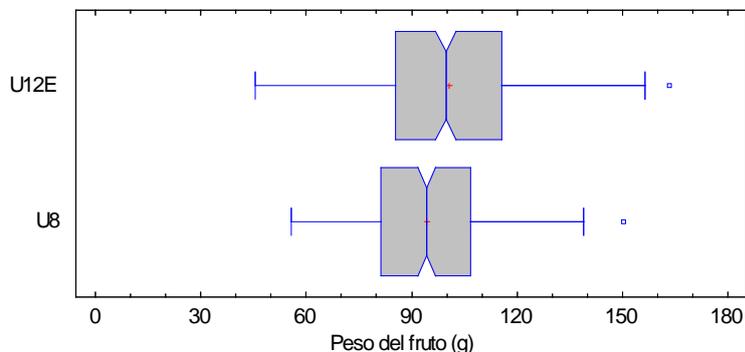
4.3. INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA.

En este apartado estudiaremos los resultados obtenidos en el ensayo desde el punto de vista de la influencia de los tipos de estructura usados en los parámetros de calidad del fruto estudiados.

Para hacer esta comparativa usaremos los datos proporcionados por el lado Este del invernadero multitúnel U12 y el invernadero raspa y amagado U8, ya que los dos disponen de ventilación natural sin sistema de calefacción y están protegidos por mallas anti-insecto de 10x20 hilos·cm⁻². Con este fin estudiaremos únicamente la influencia de los tipos de estructura en la calidad del fruto.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

4.3.1. INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA EN EL PESO.



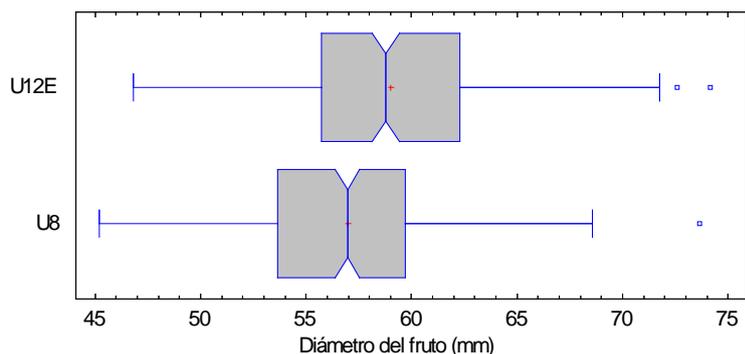
Gráfica 20. Peso medio del fruto obtenido en los invernaderos U8 y U12E (g).

Si estudiamos los datos obtenidos de peso del fruto en el invernadero multitúnel y raspa y amagado encontramos diferencias estadísticamente significativas entre el uso de estos dos tipos de estructura. Siendo mayor el peso del fruto en el invernadero de tipo multitúnel.

	Peso (g)
U12E	100,75 b
U8	94,27 a

Tabla 46. Peso medio del fruto en los invernaderos U8 y U12E (g).

4.3.2. INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA EN EL DIÁMETRO.



Gráfica 21. Diámetro medio del fruto obtenido en los invernaderos U8 y U12E (mm).

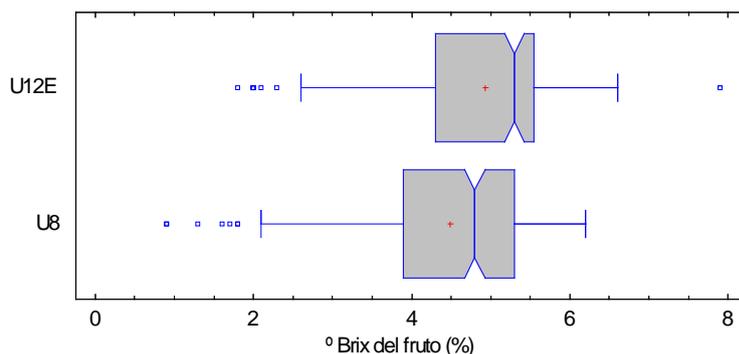
Al analizar los datos de diámetro del fruto de tomate obtenidos en los invernaderos multitúnel y raspa y amagado mencionados podemos apreciar diferencias estadísticamente significativas en el uso de uno u otro tipo de estructura. Siendo mayores los diámetros de los frutos en el caso del invernadero de tipo multitúnel.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

	Diámetro (mm)
U12E	59,01 c
U8	56,97 a

Tabla 47. Diámetro medio del fruto en los invernaderos U8 y U12E (mm).

4.3.3. INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA EN LA CANTIDAD DE SÓLIDOS SOLUBLES.



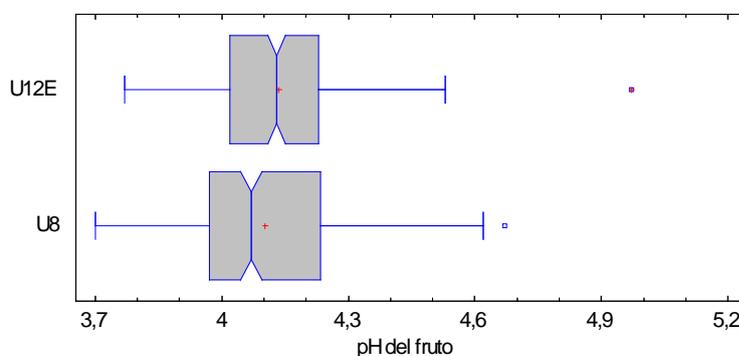
Gráfica 22. °Brix medios del fruto obtenido en los invernaderos U8 y U12E.

Si comparamos los datos de cantidad de sólidos solubles en el fruto de tomate en los invernaderos U12E y U8 se evidencian diferencias estadísticamente significativas según el tipo de estructura de invernadero utilizado. La cantidad de sólidos solubles en el fruto del tomate es mayor para el invernadero multitúnel.

	° Brix
U12E	4,93 b
U8	4,49 a

Tabla 48. ° Brix medios del fruto en los invernaderos U8 y U12E.

4.3.4. INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA EN LA ACIDEZ.



Gráfica 23. pH medio del fruto obtenido en los invernaderos U8 y U12E.

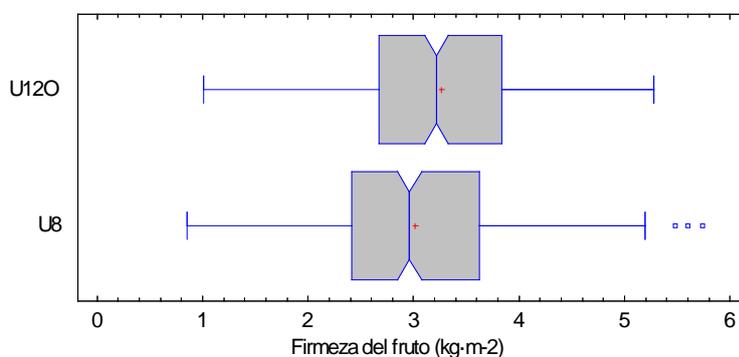
Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

Estudiando los resultados obtenidos en la acidez del fruto del tomate del invernadero U12E y del U8, encontramos diferencias estadísticamente significativas entre el uso de ambos tipos de estructura de invernadero. El fruto se encuentra ligeramente más básico en el caso del invernadero multitúnel.

	pH
U12E	4,13 b
U8	4,10 a

Tabla 49. pH medio del fruto en los invernaderos U8 y U12E.

4.3.5. INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA EN LA FIRMEZA.



Gráfica 24. Firmeza media del fruto obtenido en los invernaderos U8 y U12E (kg).

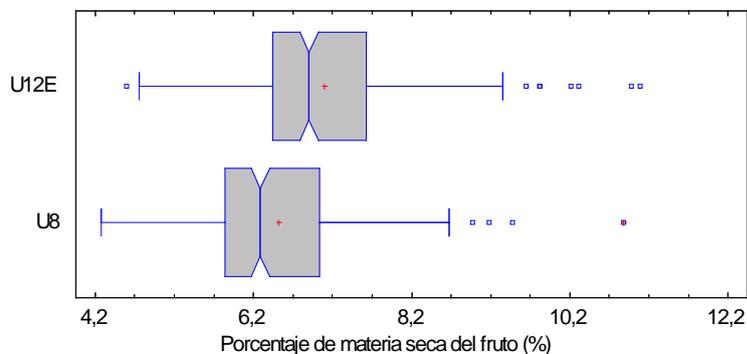
Al analizar los datos de la firmeza del fruto de tomate obtenidos en los invernaderos en este apartado estudiados, aparecen diferencias estadísticamente significativas en el uso del tipo de estructura de invernadero. Se encuentran frutos con una firmeza mayor en el caso del invernadero multitúnel.

	Firmeza (kg)
U12E	3,40 b
U8	3,01 a

Tabla 50. Firmeza media del fruto en los invernaderos U8 y U12E (kg).

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanum lycopersicum* L.cv. Marylu.

4.3.6. INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA EN EL PORCENTAJE DE MATERIA SECA.



Gráfica 25. Porcentaje de materia seca medio del fruto obtenido en los invernaderos U8 y U12E.

Si comparamos los resultados del porcentaje de materia seca obtenidos en los invernaderos U8 y sector Este del U12, encontramos diferencias estadísticamente significativas entre ambos. El porcentaje de materia seca del fruto de tomate es mayor en el caso del sector Este del invernadero U12.

	Materia Seca (%)
U12E	7,09 b
U8	6,51 a

Tabla 51. Materia seca media del fruto en los invernaderos U8 y U12E (%).

4.3.7. DISCUSIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS COMPARANDO LOS TIPOS DE ESTRUCTURA.

El invernadero U12E ha demostrado diferencias estadísticamente significativas en los parámetros de calidad de los frutos de tomate. Tanto en sabor, como en peso y diámetro, así como en textura.

Eso corrobora la exposición de Castilla, en 2004, de que en los agrosistemas que definía, el holandés y el mediterráneo, el del primer tipo produce frutos con mayor calidad.

5. CONCLUSIONES.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

- Fundamentalmente por la gran presencia de insectos vectores de virus, en granparte provocada por la gran concentración de invernaderos, resulta imprescindible el uso de mallas anti-insectos en los invernaderos de Almería.

- En ciclos de otoño-invierno la reducción de la capacidad de ventilación de las mallas no impide mantener el cultivo en el rango óptimo de desarrollo y crecimiento, por lo que pequeños cambios en la porosidad no dan lugar a diferencias estadísticamente significativas de los parámetros productivos.

- El efecto que las diferencias de porosidad de las mallas anti-insectos estudiadas producen en la calidad del fruto de tomate estudiado no llega a ser estadísticamente significativo.

- La calefacción por aire genera heterogeneidad microclimática y tiene un coste de combustible elevado, por lo que deben utilizarse sólo como sistema de apoyo o para prevenir heladas. Sin embargo, comparado con la calefacción por agua, tiene una respuesta mucho más rápida.

- No se han observado diferencias estadísticamente significativas del uso de sistemas de calefacción sobre la calidad de frutos de tomate.

- Se ha demostrado la capacidad para generar frutos de tomate de mayor calidad en el caso del invernadero multitúnel en comparación con el raspa y amagado.

6. BIBLIOGRAFÍA.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

ABDELHAFEEZ, A. T.; HARSSEMA, H.; VERKERK, K. Effects of air temperature, soil temperature and soil moisture on growth and development of tomato itself and grafted on its own and egg-plant rootstock. *ScientiaHorticulturae*, 1975, vol. 3, no 1, p. 65-73.

AL-KASSIR ABDULLA, Awf. Utilización de orujos y alperujos como biocombustibles. En *Biomasa: estado actual y perspectiva inmediata*. Catedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas, 2009. p. 43-50.

ÁLVAREZ, A. J., et al. Las mallas anti-insectos en los cultivos forzados en invernadero. *Vida rural*, 2004, no 189, p. 28-30.

ÁLVAREZ, A. J.; VALERA, D. L.; MOLINA, F. D. Efectos de las mallas anti-insectos sobre la ventilación en invernaderos. *Vida rural*, 2005, vol. 12, no 219, p. 44-48.

ANTIGNUS, Y. Control cultural de virus transmitidos por insectos. En *Tendencias actuales sobre epidemiología y control de virus en hortícolas*, Almería, Ed. F.I.A.P.A, 2000, p. 81-92.

ARELLANO, M. A. G. 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. *Universidad de Almería, Departamento de Ingeniería Rural*, 2004.

ASAE. *Heating, ventilating and cooling greenhouses*. ASAE standards, Michigan, EE.UU., 2002.

AUNG, L. H. Effects of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive responses of *Lycopersiconesculentum* Mill.[tomatoes]. *Journal American Society for Horticultural Science*, 1976, vol. 101.

BAILEY, B. J.; Richardson, G. M. A rational approach to greenhouse design. *ActaHorticulturae*, 1990, no. 281, p. 111-117.

BAILEY, B. J.; et al. Airflow resistance of greenhouse ventilators with and without insect screens. *Biosystems Engineering*, 2003, vol. 86, no 2, p. 217-229.

BAKKER, J. C. Effects of day and night humidity on yield and fruit quality of glasshouse tomatoes. *Journal American Society for Horticultural Science*, 1990, no. 65 (3), p. 323-331.

BALDWIN, E. A.; et al. Relationship between sensory and instrumental analysis for tomato flavor. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1998, vol. 123, no 5, p. 906-915.

BALLESTEROS PERDICES, Mercedes. Hacia el concepto de biomasa. En *Biomasa: estado actual y perspectiva inmediata*. Catedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas, 2009. p. 111-117.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

BAUDOIN, W., et al. El cultivo protegido en el clima mediterráneo. *Medios y Técnicas de Producción. Suelo y Sustratos. FAO. Roma*, 2002, p. 143-182.

BELLERT C., BOT L.; DORAIS M., LOPEZ J.; GOSSELIN A., 1998. Nitrogen accumulation and growth of fruiting tomato plants in hydroponics. *ActaHorticulturae*, 1998, no. 458, p. 293-301.

BERNINGER, E. T. Cultures florales de serre en zone méditerranéenne française: Eléments climatiques et physiologiques. *PHM-Revue Horticole*, Ed. INRA, Paris, 1989.

BORDES, P. Les plastiques et la maîtrise du climat en productions végétales: Bases générales. *Dans: Les plastiques en agriculture. Ed. CPA, PHM. París*, 1992, p. 163-355.

BRIASSOULIS, D.; et al. Mechanical properties of covering materials for greenhouses: Part 1, general overview. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1997, vol. 67, no 2, p. 81-96.

CABRERA, F. J.; et al. Informe sobre la caracterización de mallas anti-insecto. *Almería Agrícola. Boletín informativo*, 2002, no. 47, Julio-Agosto, p. 31.

CAJAMAR, Fundación. Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería 2010/2012. *Cajamar. Almería*, 2012.

CALVERT, A.; SLACK, G. Light-dependent control of day temperature for early tomato crops. En *Symposium on Protected Cultivation of Flowers and Vegetables 51*. 1975. p. 163-168.

CAMACHO, F. *Técnicas de producción en cultivos protegidos*. Caja Rural Intermediterránea, Cajamar, 2003.

CARREÑO, A.; et al. Desarrollo de un procedimiento constructivo más seguro para invernaderos multitúnel. *Informes de la Construcción*, 2012, vol. 64, no 525, p. 93-102.

CASTILLA, N. El microclima de los invernaderos de plástico de la costa del sureste español. *Horticultura*, 1994, no. 51, p. 60-72.

CASTILLA, N. El cultivo protegido. *Invernaderos de plástico. Manejo y tecnología. Mundi-Prensa, Madrid, Spain*, 2004.

CASTILLA, N.; PRADOS, N. C. *Invernaderos de plástico: tecnología y manejo*. Mundi-Prensa Libros, 2007.

CERVANTES, M. A. (2002). *Modernización de estructuras de invernadero*. Infoagro.com [Consulta: 4 de Julio de 2013]. Disponible en web: «http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/estructuras_invernaderos.htm»

CÉSPEDES, A. J.; et al. Caracterización de la explotación hortícola protegida Almeriense. *Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería. Almería, España*, 2009.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersicum*L.cv. Marylu.

CORTÉS, F. J.; CAMACHO, F. La innovación, base del sostenimiento de la horticultura protegida en Almería. *Distribución y consumo*, 2009, no. 106, p. 52-62.

DAY, W.; BAILEY, B. J. Physical principles of microclimate modification. *Ecosystems of the World*, 1999, p. 71-100.

DEMRATI, H.; et al. SE—Structures and Environment: Natural Ventilation and Microclimatic Performance of a Large-scale Banana Greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2001, vol. 80, no 3, p. 261-271.

DÍAZ PÉREZ, Manuel; et al. Dossier Producción Integrada. Utilización de mallas anti-insectos en invernadero. *Vida rural*, 2003, vol. 10, no 167, p. 42-44.

DORAIS, Martine; EHRET, David L.; PAPADOPOULOS, Athanasios P. Tomato (*Solanumlycopersicum*) health components: from the seed to the consumer. *Phytochemistry Reviews*, 2008, vol. 7, no 2, p. 231-250.

ELLIS, R. G., et al. Low temperature heating of greenhouses. En *Proceedings of the international seminar and British-Israel workshop on greenhouse technology, Bet Dagan, Israel, 26 March-2 April 1990*. Agricultural Research Organization, 1990. p. 45-53.

FAOSTAT. Consulta de bases de datos de producción mundial y comercio internacional de Tomate. De: faostat.fao.org. [Consulta: Julio de 2013].

FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, J. Biomasa, humilde y discreta, pero la gran esperanza de las renovables. En *Biomasa: estado actual y perspectiva inmediata*. Catedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas, 2009. p. 13-25.

FERNANDEZ RODRIGUEZ, E. J.; et al. Efectos de la utilización de mallas de 20x10 hilos·cm⁻¹ (50 mesh) sobre los niveles poblacionales de mosca blanca y trips bajo invernadero en cultivo de tomate y sobre la incidencia del TYLCV [Virus del rizado amarillo de las hojas del tomate] en el sureste español. *PhytomaEspana*, 2002.

FERNÁNDEZ-ZAMUDIO, M. A.; PÉREZ, A.; CABALLERO, P. Análisis económico de la tecnología de los invernaderos mediterráneos: aplicación en la producción del pimiento. *ITEA*, 2006, vol. 102, no 3, p. 260-277.

FEUILLOLEY, P.; BAILLE, A. Principes généraux d 'utilisation des eaux tièdes pour le chauffage des serres. *Informations Techniques du CEMAGREF*, 1992, vol. 87, p. 1-8.

FONTECHA, A., et al. Efectos del uso de plásticos fotoselectivos sobre el desarrollo y la productividad del tomate en invernadero. *Agricultura: Revista agropecuaria*, 2004, no 868, p. 890-893.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Cultures protégées en climat méditerranée*. FAO, 1988.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

GAÑÁN, J.; et al. Plant for the production of activated carbon and electric power from the gases originated in gasification processes. *Fuel processing technology*, 2006, vol. 87, no 2, p. 117-122.

GARCÍA MARTÍNEZ, A. E. Co-combustión de biomasa. En *Biomasa: estado actual y perspectiva inmediata*. Catedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas, 2009. p. 33-42.

GARCÍA-MORALES, J. L.; ROMERO, L. I.; SALES, D. Valorización energética de la biomasa: aplicación en industrias del sector agroalimentario. *Boletín Informativo CIDEU*, 2008, no 5, p. 31-51.

GARY, C. Interest of a carbon balance model for on-line growth control: the example of a daylight dependent night temperature control. En *International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation 248*.1988. p. 265-268.

GARZOLI, K. V. Energy efficient greenhouses. *Engineering and Economic Aspects of Energy Saving in Protected Cultivation 245*, 1988, p. 53-62.

GIACOMELLI, G. A.; TING, K. C. Horticultural and engineering considerations for the design of integrated greenhouse plant production systems. En *International Symposium on Growing Media and Hydroponics 481*. 1997. p. 475-482.

GONZÁLEZ DE LA TORRE, M. Distribución e implementación de tecnología austriaca de biomasa en España. Calderas domésticas de biomasa. En *Biomasa: estado actual y perspectiva inmediata*. Catedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas, 2009. p. 75-89.

GONZÁLEZ-REAL, M. M.; BAILLE, A. Changes in leaf photosynthetic parameters with leaf position and nitrogen content within a rose plant canopy (*Rosa hybrida*). *Plant, Cell & Environment*, 2000, vol. 23, no 4, p. 351-363.

HANAN, J. J. The influence of greenhouses on internal climate with special reference to Mediterranean regions. En *II International Symposium on Protected Cultivation of Vegetables in Mild Winter Climates 287*.1989. p. 23-34.

JONES JR, J. Benton. *Tomato plant culture: in the field, greenhouse, and home garden*. CRC Press, 2007.

KAMP, P. G. H.; TIMMERMAN, G. J. *Computerized environmental control in greenhouses: a step by step approach*. IPC-Plant, 1996.

KATSOULAS, N., et al. Effect of vent openings and insect screens on greenhouse ventilation. *Biosystems Engineering*, 2006, vol. 93, no 4, p. 427-436.

KITTAS, C., et al. Influence of an insect screen on greenhouse ventilation. *Transactions of the ASAE*, 2002, vol. 45, no 4, p. 1083-1090.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

LÓPEZ, J. C., et al. Calefacción de invernaderos en el sudeste español. *Caja Rural de Almería, Almería, Spain*, 2000.

LÓPEZ, J.C. Sistemas de calefacción. *Incorporación de la tecnología al invernadero mediterráneo*. Cajamar, 2001, p. 11-22.

LÓPEZ, J. C. Sistemas de calefacción en invernaderos cultivados de judía en el litoral mediterráneo. *Universidad de Almería*, 2003.

LÓPEZ, J. C.; PÉREZ PARRA, J. J. Evolución de las estructuras de invernadero. *Plasticulture: Revue du CIPA= Journal of CIPA*, 2006, no 125, p. 8-17.

LORENZO, P.; et al. CO₂ in plastic greenhouse in Almeria (Spain). *Acta Horticulturae*, 1990, no 268, p. 165-169.

LORENZO, P.; et al. Gestión del clima en la horticultura intensiva del sur mediterráneo. *Horticultura*, 1997, vol. 119, p. 80-83.

LORENZO, P. Los factores ambientales en el manejo del cultivo sin suelo. *Cultivo sin suelo II*. Curso Superior de Especialización, Eds: Fernández M., Cuadrado I. M., D.G.I.F.A, FIAPA y Caja Rural, 1998, p. 149-173.

LORENZO, P. Influencia de la temperatura en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. *Calefacción de invernaderos en el sudeste español*, 2000, p. 11-13.

LORENZO, P.; SÁNCHEZ-GUERRERO, M.C.; MEDRANO, E. Comparación de calefacción por aire caliente con combustión indirecta frente a tubería radiante con agua caliente a baja temperatura. *Calefacción de invernaderos en el sudeste español*. Ed: Caja Rural de Almería, Almería, 2000, p. 35-44.

MAJDOUBI, H.; et al. Natural ventilation performance of a large greenhouse equipped with insect screens. *Transactions of the ASABE*, 2007, vol. 50, no 2, p. 641-650.

MARÍN, J. *Portagrano—vademecum de variedades hortícolas*. Ed: MARÍN, J., El Ejido, España, 2013.

MOLINA-AÍZ; F. D.; VALERA, D. L.; GIL, A. J.; ÁLVAREZ, A. J. *Evolución de los invernaderos en la provincia de Almería*. Curso de Control Climático en Invernaderos, Ed. Universidad de Almería, 2003.

MONTERO, J. I. Control climático del invernadero. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*, 2000, no 1, p. 52-56.

NAVARRO CASTILLO, J. A. Evolución y mejoras aplicadas a la tecnología de la producción integrada en los invernaderos de Almería. *El sector agrario y agroalimentario de Almería ante el siglo XXI: evolución y perspectiva de nuestra agricultura en el*, 2001, vol. 20001, p. 221-246.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

PEET, M. M. Tomato. *Sustainable Practices for Vegetable Production in the South*. Ed: Peet, M. M., Focus Publishing, R Pullins Company, Newburyport, EE.UU., 1996, p. 149-157.

RAWSON, H. M.; BEGG, J. E.; WOODWARD, R. G. The effect of atmospheric humidity on photosynthesis, transpiration and water use efficiency of leaves of several plant species. *Planta*, 1977, vol. 134, no 1, p. 5-10.

RECHE MÁRMOL, J. *Tomato growing under greenhouse*. 2009.

ROSALES, M. Producción y calidad nutricional en frutos de tomate cereza cultivados en dos invernaderos mediterráneos experimentales: Respuestas metabólicas y fisiológicas. *Facultad deficiencias*. Granada, España, 2008.

RUIZ, T. Características del riego en cultivos sin suelos: exigencias en aportación y manejo. *Cultivos sin suelo. Curso superior de especialización*. Ed. Cánovas Díaz. FIAPA, Diputación Provincial de Almería y Junta de Andalucía, 1993, p. 797-808.

SALAS, M. C.; URRESTARAZU, M. Técnicas de fertirrigación en cultivo sin suelo, Manuales de la Universidad de Almería, Servicios de Publicaciones de la Universidad de Almería. 2001.

SALAZAR MORENO, Raquel; CRUZ MEZA, Pedro; ROJANO AGUILAR, Abraham. Eficiencia en el uso de la energía en invernaderos mexicanos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2013, p. 736-742.

SANJUÁN, J. F. *Detección de la superficie invernada en la provincia de Almería a través de imágenes Aster*. Fundación para la investigación agraria de la provincia de Almería (FIAPA). Almería; 2007

SLACK, G.; HAND, D. W. The effect of day and night temperatures on the growth, development and yield of glasshouse cucumbers. *Journal of horticultural science*, 1983, vol. 58.

SMITH, Andrew F. *The tomato in America: early history, culture, and cookery*. University of Illinois Press, 1994.

SONI, P.; SALOKHE, V. M.; TANTAU, H. J. Effect of screen mesh size on vertical temperature distribution in naturally ventilated tropical greenhouses. *Biosystems engineering*, 2005, vol. 92, no 4, p. 469-482.

SPANOMITSIOS, G. K. SE—Structure and Environment: Temperature Control and Energy Conservation in a Plastic Greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2001, vol. 80, no 3, p. 251-259.

STEVENS, M. A.; et al. Genotypic variation for flavor and composition in fresh market tomatoes. *Journal American Society for Horticultural Science*, 1977, vol. 102.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

SWINKELS, G. L. A. M.; SONNEVELD; P. J.; BOT, G. P. A. Improvement of greenhouse insulation with restricted transmission loss through zig.zag covering material. *Journal Agricultural Engineering Research*, 2001, no. 79(1), p. 91-97.

TANNER, W.; BEEVERS, H. Does transpiration have an essential function in long-distance ion transport in plants?. *Plant, Cell & Environment*, 1990, vol. 13, no 8, p. 745-750.

TEITEL, M.; et al.A comparison between pipe and air heating methods for greenhouses. *Journal of agricultural engineering research*, 1999, vol. 72, no 3, p. 259-273.

TEITEL, M. The effect of insect-proof screens in roof openings on greenhouse microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, vol. 110, no 1, p. 13-25.

TEITEL, M. The effect of screened openings on greenhouse microclimate.*Agricultural and Forest Meteorology*, 2007, vol. 143, no 3, p. 159-175.

TEITEL, M.; et al. Comparison of measured and simulated flow through screens: Effects of screen inclination and porosity. *BiosystemsEngineering*, 2009, vol. 104, no 3, p. 404-416.

TESI, R. *Medios de protección para la hortofruticultura y el viverismo*. Ed: Mundi-Prensa, Madrid, 2001.

THOMAS, L. Hydroponic tomatoes: The flavour factor. *Growing Edge*, 1996, no. 7, p.23-26.

TOGNONI, F. Radiación. *Memoria del Curso Internacional de Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos para la Producción Intensiva de Hortalizas*. Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA, SC), 2000, p. 21-26.

TOKI, T.; OGIWARA, S.; AOKI, H. Effect of varying night temperature on the growth and yields in cucumber.*Symposium on Potential Productivity in Protected Cultivation* 87. 1978. p. 233-238.

URBAN, L. Introduction a la production sous serre: La gestión du climat (Tomo 1). Ed: Tec.-Doc., Paris, 1997.

VALERA, D. L.; MOLINA, F. D.; GIL J. A. *Los invernaderos de Almería: Topología y mecanización del clima*. Universidad de Almería, Almería, 1999, p. 268.

VALERA, D. L.; MOLINA, F. D.; PEÑA, A. *Climatización de invernaderos*. Servicio de Publicaciones, Universidad de Almería, 2002.

VALERA, D. L. Control climático en invernaderos. *Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería*, 2003.

Efecto de distintas mallas anti-insecto, distintos tipos de estructuras de invernadero y dos tipos de calefacción sobre la calidad del fruto en un cultivo en invernadero de *Solanumlycopersycum*L.cv. Marylu.

VALERA, D. L.; et al. Caracterización geométrica y mecánica de diferentes tipos de agro-textiles utilizados en invernaderos. *Resumen 2º Congreso Nacional de Agroingeniería*, 2003, p. 267-268.

VALERA, D. L.; ÁLVAREZ, A. J.; MOLINA, F. D. Aerodynamic analysis of several insect-proof screens used in greenhouses. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2006, vol. 4, no 4, p. 273-279.

VIÑUELA, E. Resistencia a insecticidas en plagas de cultivos hortícolas en España. *Resistencia a los pesticidas en los cultivos hortícolas. (IM, Cuadrado y E. Viñuela, Eds.). FIAPA, Almería*, 1998.

VON ELSNER, B.; et al. Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries: Part I, design requirements. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2000a, vol. 75, no 1, p. 1-16.

VON ELSNER, B.; et al. Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries, part II: typical designs. *Journal of agricultural engineering research*, 2000b, vol. 75, no 2, p. 111-126.

VON ZABELTITZ, Ch. L'efficacité énergétique dans la conception des serres méditerranéennes. *Plasticulture*, 1992, no. 96, p. 6-16.