

# UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

Escuela Politécnica Superior y Facultad de Ciencias  
Experimentales

DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA



## TRABAJO MONOGRÁFICO

### **Título:**

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE DISTINTOS TIPOS DE SUSTRATOS DE LANA DE ROCA, EN RESPUESTA AL AUMENTO DE OXÍGENO DISUELTO EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA RESPECTO A LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE UN CULTIVO DE TOMATE TIPO “CHERRY PERA”

### **Autora:**

Dña. Sonia Hernández Lao

### **Directores:**

Dr. D. Francisco Camacho Ferre  
Dr. D. Fernando Andrés Toresano  
Sánchez

### **Titulación:**

INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA HORTOFRUTICULTURA Y  
JARDINERÍA. PLAN 2000

ALMERÍA, 2013.

### **AGRADECIMIENTOS:**

A D. Francisco Camacho Ferre por dirigirme en el proyecto fin de carrera.

A Fernando Andrés Toresano Sánchez por guiarme y prestarme toda su atención y apoyo en la realización de este trabajo.

A mis padres por haberme dado la oportunidad de realizar la carrera y haber estado siempre apoyándome en todas mis decisiones.

A mis hermanas y mi cuñado por haberme ayudado en todo lo posible y haber estado siempre a mi lado en los momentos en los que más lo he necesitado.

A mis amigos, en especial a aquellos que han dedicado parte de su tiempo en ayudarme y hacerme el camino más fácil.

# **Índice**

## **ÍNDICE DE CONTENIDOS**

<b>1. INTERÉS Y OBJETIVOS .....</b>	<b>1</b>
1.1. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE TOMATE EN NUESTRA AGRICULTURA	1
1.2. PRECIOS MEDIOS PERCIBIDOS POR EL AGRICULTOR.....	7
1.3. COMERCIO EXTERIOR.....	8
1.4. IMPORTANCIA DE LOS CULTIVOS SIN SUELO EN NUESTRA AGRICULTURA.....	10
1.5. OBJETIVOS .....	13
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
2.1. EL CULTIVO DEL TOMATE .....	14
2.1.1. Introducción .....	14
2.1.2. Morfología y Fisiología.....	14
2.1.3. Tipos de tomates comerciales en España .....	16
2.1.4. Exigencias ambientales del cultivo de tomate.....	18
2.1.5. Manejo del cultivo de tomate .....	19
2.1.6. Plagas, enfermedades y fisiopatías.....	23
2.2. EL CULTIVO SIN SUELO .....	38
2.2.1. Concepto de hidroponía .....	38
2.2.2. Antecedentes, evolución y perspectivas de futuro .....	38
2.2.3. Ventajas e inconvenientes de los cultivos sin suelo.....	39
2.2.4. Tipos de sustratos .....	41
2.2.5. Caracterización de los sustratos .....	41
2.2.6. Características del sustrato ideal .....	47
2.2.7. La lana de roca .....	49
2.3. LA OXIGENACIÓN DE LA RIZOSFERA DE LOS CULTIVOS .....	56
2.3.1. Introducción .....	56
2.3.2. Espacio poroso, intercambios aire-agua y difusión de oxígeno en el sustrato... ..	57
2.3.3. Factores que afectan a la solubilidad del oxígeno en agua .....	59
2.3.4. Relación oxígeno-rizosfera en los cultivos en sustrato .....	60
2.3.5. Efecto de la hipoxia radical sobre el medio de cultivo y el cultivo .....	61
2.3.6. Métodos de oxigenación de la rizosfera .....	64
2.3.7. Respuesta de los cultivos al enriquecimiento de oxígeno .....	65
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>67</b>
3.1. LOCALIZACIÓN DE LA FINCA.....	67
3.2. SISTEMAS DE RIEGO .....	69
3.3. CARACTERÍSTICAS DEL INVERNADERO .....	74
3.4. MATERIAL VEGETAL .....	77
3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	77
3.5.1. Descripción de los tratamientos .....	77
3.6. MANEJO DEL CULTIVO.....	80



3.6.1.	Labores preparatorias .....	80
3.6.2.	Trasplante .....	80
3.6.3.	Tutorado .....	80
3.6.4.	Destallado .....	81
3.6.5.	Deshojado .....	81
3.6.6.	Despunte de las plantas .....	81
3.6.7.	Limpieza del invernadero .....	81
3.6.8.	Insectos auxiliares .....	82
3.6.9.	Recolección de frutos .....	82
3.6.10.	Arranque de las plantas .....	82
3.6.11.	Tratamientos fitosanitarios .....	82
3.6.12.	Resumen de las diferentes labores culturales y tiempo empleado en realizar cada una de ellas .....	84
3.6.13.	Fertirrigación .....	85
3.7.	TOMA DE DATOS .....	86
3.7.1.	Sobre la cosecha .....	86
3.7.2.	Sobre la planta .....	88
3.8.	PROCESADO DE DATOS .....	89
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCURSIÓN .....</b>	<b>90</b>
4.1.	PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO .....	90
4.1.1.	Producción por superficie (kg·m <sup>-2</sup> ) .....	90
4.1.2.	Producción por planta (kg/planta) .....	92
4.1.3.	Número de frutos por superficie (frutos/m <sup>2</sup> ) .....	95
4.1.4.	Número de frutos por planta (frutos/planta) .....	97
4.2.	PARÁMETROS DE CALIDAD DEL FRUTO .....	100
4.2.1.	Peso medio del fruto (g) .....	100
4.2.2.	Diámetro medio del fruto (mm) .....	103
4.2.3.	Contenido en sólidos solubles en fruto (°Brix) .....	107
4.2.4.	pH del fruto .....	110
4.3.	PARÁMETROS MEDIDOS SOBRE LA PLANTA .....	113
4.3.1.	Diámetro basal del tallo (cm) .....	113
4.3.2.	Diámetro medio del tallo (mm) .....	115
4.3.3.	Diámetro apical del tallo (cm) .....	116
4.3.4.	Longitud del tallo (cm) .....	118
4.3.5.	Longitud entre nudos (cm) .....	120
4.3.6.	Longitud entre ramos (cm) .....	122
4.3.7.	Nº de nudos por planta .....	124
4.3.8.	Nº de ramos por planta .....	126
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>129</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>131</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Principales países productores de tomate. Datos de superficie y producción.....	1
<b>Tabla 2.</b> Evolución de la superficie (Hectáreas) y la producción (Toneladas) del cultivo de tomate en España .....	2
<b>Tabla 3.</b> Distribución de superficie y producción de hortalizas en Andalucía. Año 2010.....	4
<b>Tabla 4.</b> Distribución de superficie y producción de tomate en Andalucía. Año 2010.....	5
<b>Tabla 5.</b> Evolución de la superficie (hectáreas) y la producción (toneladas) del cultivo de tomate en Almería.....	6
<b>Tabla 6.</b> Evolución de los precios medios percibidos por los agricultores .....	7
<b>Tabla 7.</b> Evolución de las exportaciones e importaciones de tomate en España.....	8
<b>Tabla 8.</b> Principales países importadores de tomate español. Año 2012 .....	9
<b>Tabla 9.</b> Variedades de tomate tipo mini pera.....	17
<b>Tabla 10.</b> Solución nutritiva ideal para tomate.....	21
<b>Tabla 11.</b> Composición de la lana de roca.....	50
<b>Tabla 12.</b> Resumen de las características o propiedades más relevantes de la lana de roca. ..	52
<b>Tabla 13.</b> Presentación comercial de algunas líneas de tablas de lana de roca. ....	52
<b>Tabla 14.</b> Parámetros característicos de las distintas tablas de lana de roca utilizadas en el ensayo. ....	78
<b>Tabla 15.</b> Tratamientos fitosanitarios realizados al cultivo.....	83
<b>Tabla 16.</b> Resumen del tiempo empleado en la realización de las diferentes labores culturales. ....	84
<b>Tabla 17.</b> Cantidad total de fertilizantes aportada al cultivo.....	85
<b>Tabla 18.</b> Solución nutritiva seguida para la fertilización del cultivo de tomate. ....	86
<b>Tabla 19.</b> Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre la producción total ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) en un cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	91
<b>Tabla 20.</b> Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre la producción total ( $\text{kg/planta}$ ) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	93
<b>Tabla 21.</b> Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre el número de frutos por superficie ( $\text{N}^{\circ}$ frutos/ $\text{m}^2$ ) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	95
<b>Tabla 22.</b> Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre la producción total ( $\text{n}^{\circ}$ frutos/planta) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian. ....	98
<b>Tabla 23.</b> Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre peso medio del fruto ( $\text{g}$ ) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian. ....	101
<b>Tabla 24.</b> Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre diámetro medio del fruto ( $\text{mm}$ ) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian. ....	104
<b>Tabla 25.</b> Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre el contenido en sólidos solubles en fruto ( $^{\circ}$ Brix) de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian. ....	107
<b>Tabla 26.</b> Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre el pH del fruto de tomate .....	110
<b>Tabla 27.</b> Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre el diámetro basal del tallo ( $\text{mm}$ ) de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	113

<b>Tabla 28.</b> Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre el diámetro medio del tallo (mm) de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian. ....	115
<b>Tabla 29.</b> Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre el diámetro apical del tallo (mm) de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian. ....	117
<b>Tabla 30.</b> Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre la longitud del tallo (cm) de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian. ....	119
<b>Tabla 31.</b> Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre la longitud entre nudos (cm) de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian. ....	121
<b>Tabla 32.</b> Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre la longitud entre ramos (cm) de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian. ....	123
<b>Tabla 33.</b> Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre el número de nudos por planta de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian. ....	125
<b>Tabla 34.</b> Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre el número de ramos por planta de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian. ....	127

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Distribución porcentual de la superficie cultivada de tomate en el mundo.....	1
<b>Figura 2.</b> Distribución porcentual de la producción de tomate en el mundo..	2
<b>Figura 3.</b> Evolución de la superficie cultivada de tomate en España.....	3
<b>Figura 4.</b> Evolución de la producción de tomate en España..	3
<b>Figura 5.</b> Distribución porcentual de la superficie cultivada de hortalizas en Andalucía. Datos 2010.....	4
<b>Figura 6.</b> Distribución porcentual de la producción de hortalizas en Andalucía. Datos 2010..	4
<b>Figura 7.</b> Distribución porcentual de la superficie cultivada de tomate en Andalucía. Datos 2010.....	5
<b>Figura 8.</b> Distribución porcentual de la producción de tomate en Andalucía. Datos 2010.....	5
<b>Figura 9.</b> Evolución de la superficie cultivada de tomate en Almería..	6
<b>Figura 10.</b> Evolución de la producción de tomate en Almería.....	7
<b>Figura 11.</b> Evolución de los precios medios percibidos por los agricultores.....	8
<b>Figura 12.</b> Evolución de las importaciones y las exportaciones de tomate en España..	9
<b>Figura 13.</b> Principales países importadores de tomate español.....	10
<b>Figura 14.</b> Detalle del tallo principal de una planta (izquierda) y hoja (derecha) de tomate..	15
<b>Figura 15.</b> Detalle de la flor (izquierda) y fruto (derecha) de tomate. ....	16
<b>Figura 16.</b> Decoloración y punteado en hoja de tomate producido por <i>T.urticae</i> .....	23
<b>Figura 17.</b> Brote desecado por <i>T. urticae</i> .....	23
<b>Figura 18.</b> Envés de hoja de tomate de color bronceado brillante por ataque de <i>Aculops lycopersici</i> .....	24
<b>Figura 19.</b> Frutos de tomate afectados por el ataque de <i>Aculops lycopersici</i> .....	24
<b>Figura 20.</b> Placas marrones en hoja de tomate producidas por <i>Frankliniella occidentalis</i> ....	25
<b>Figura 21.</b> Placas plateadas y necrosadas en fruto de tomate por alimentación de <i>Frankliniella occidentalis</i> .....	25
<b>Figura 22.</b> Mudas de <i>Myzus persicae</i> y melaza en hojas de tomate.....	26
<b>Figura 23.</b> Abarquillamiento asociado a <i>Myzus persicae</i> en hojas de tomate.....	26
<b>Figura 24.</b> Adultos de <i>T. vaporariorum</i> en hoja de tomate.....	26
<b>Figura 25.</b> Melaza asociada a <i>Bemisia tabaci</i> en frutos de tomate .....	26
<b>Figura 26.</b> Galerías y picaduras de <i>L. bryoniae</i> en hoja de tomate. ....	27
<b>Figura 27.</b> Planta de tomate cegada por comeduras de oruga.....	28
<b>Figura 28.</b> Orificios en frutos de tomate por comeduras de oruga.....	28
<b>Figura 29.</b> Raíz de tomate afectada por fuerte nodulación debida a <i>Meloidogyne</i> sp.....	29
<b>Figura 30.</b> Daños producidos en el fruto (izquierda) y en la hoja (derecha) por <i>Tuta absoluta</i> . .....	29
<b>Figura 31.</b> Detalle de una larva de <i>Tuta absoluta</i> alimentándose en la hoja.....	30
<b>Figura 32.</b> Hoja afectada por fusariosis.....	31
<b>Figura 33.</b> Síntomas de <i>P. infestans</i> en tomate..	32
<b>Figura 34.</b> Podredumbre gris en fruto de tomate y hojas pardas.....	33
<b>Figura 35.</b> Podredumbre gris en tallo de tomate .....	33
<b>Figura 36.</b> Hoja de tomate afectada por <i>L. taurina</i> . ....	34

<b>Figura 37.</b> Curva de liberación de agua de un sustrato de cultivo (Baixauli <i>et al.</i> , 2002).	43
<b>Figura 38.</b> Tablas de lana de roca para el trasplante.	50
<b>Figura 39.</b> Detalle de un taco de lana de roca para siembra.	50
<b>Figura 40.</b> Tablas de lana de roca preparadas para el trasplante.	54
<b>Figura 41.</b> Localización de la Fundación Finca Experimental UAL-ANECOOP.	67
<b>Figura 42.</b> Vista aérea de la Finca Experimental.	67
<b>Figura 43.</b> Detalle aéreo de las instalaciones de la Finca UAL-ANECOOP.	68
<b>Figura 44.</b> Esquema general del sistema de ferti-riego.	69
<b>Figura 45.</b> Detalle de las balsas.	70
<b>Figura 46.</b> Detalle de las balsas techadas.	70
<b>Figura 47.</b> Detalle del filtro de arena.	70
<b>Figura 48.</b> Detalle de los cabezales de riego.	70
<b>Figura 49.</b> Detalle de los tanques de fertilizantes.	71
<b>Figura 50.</b> Detalle de los piezómetros inyectoros de fertilizantes.	71
<b>Figura 51.</b> Detalle del compresor de aire.	72
<b>Figura 52.</b> Detalle del rotámetro.	72
<b>Figura 53.</b> Detalle del filtro de anillas.	73
<b>Figura 54.</b> Esquema general de la red de distribución.	73
<b>Figura 55.</b> Detalle del panel o cuadro de control.	74
<b>Figura 56.</b> Vista frontal del invernadero U <sub>1</sub> .	75
<b>Figura 57.</b> Detalle de las dimensiones del invernadero.	75
<b>Figura 58.</b> Estructura interna del invernadero.	75
<b>Figura 59.</b> Detalle de la ventana supercéntrica de medio arco desplazado.	75
<b>Figura 60.</b> Detalle del motoreductor que acciona la apertura y cierre de la ventana.	75
<b>Figura 61.</b> Detalle de la doble puerta.	76
<b>Figura 62.</b> Detalle de una de las tablas de lana de roca.	76
<b>Figura 63.</b> Detalle de las bandejas de drenaje.	77
<b>Figura 64.</b> Detalle de la plántula.	77
<b>Figura 65.</b> Distribución de los distintos tratamientos en el invernadero de ensayo.	79
<b>Figura 66.</b> Detalle del trasplante.	80
<b>Figura 67.</b> Detalle del sistema de perchas y entutorado.	80
<b>Figura 68.</b> Detalle de los tallos tras el destallado o poda.	81
<b>Figura 69.</b> Detalle de las colmenas (izquierda), detalle de <i>Bombus Terrestris</i> polinizando una flor (derecha).	82
<b>Figura 70.</b> Distribución porcentual del tiempo empleado en las diferentes labores culturales.	84
<b>Figura 71.</b> Calendario de labores culturales.	85
<b>Figura 72.</b> Detalle de los frutos de la muestra.	86
<b>Figura 73.</b> Detalle de la medida del calibre del fruto.	86
<b>Figura 74.</b> Detalle del peso del fruto.	87
<b>Figura 75.</b> Detalle del peso de las cajas de las parcelas.	87
<b>Figura 76.</b> Detalle de la medida de pH del fruto.	88
<b>Figura 77.</b> Detalle de un refractómetro.	88
<b>Figura 78.</b> Detalle de la medida del diámetro de la planta.	88

<b>Figura 79.</b> Detalle de la medida de la longitud de la planta.....	89
<b>Figura 80.</b> Efecto del factor tipo de tabla sobre la producción total (Kg·m <sup>-2</sup> ) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.....	92
<b>Figura 81.</b> Efecto del factor oxigenación sobre la producción total (Kg·m <sup>-2</sup> ) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.....	92
<b>Figura 82.</b> Efecto del factor tipo de tabla sobre la producción total (Kg/planta) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.....	94
<b>Figura 83.</b> Efecto del factor oxigenación sobre la producción total (Kg/planta) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.....	94
<b>Figura 84.</b> Efecto del factor tipo de tabla sobre el número de frutos por superficie (n° frutos/m <sup>2</sup> ) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.....	97
<b>Figura 85.</b> Efecto del factor oxigenación sobre el número de frutos por superficie (n° frutos/m <sup>2</sup> ) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.....	97
<b>Figura 86.</b> Efecto del factor tipo de tabla sobre el número de frutos por planta (N° frutos/planta) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.....	99
<b>Figura 87.</b> Efecto del factor oxigenación sobre el número de frutos por planta (N° frutos/planta) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.....	100
<b>Figura 88.</b> Efecto del factor tipo de tabla sobre el peso medio del fruto (g) de tomate cherry pera cv. Santasian.....	102
<b>Figura 89.</b> Efecto del factor tipo de tabla sobre el peso medio del fruto (g) de tomate cherry pera cv. Santasian. (Valores promedio).....	102
<b>Figura 90.</b> Efecto del factor oxigenación sobre el peso medio del fruto (g) de tomate cherry pera cv. Santasian.....	103
<b>Figura 91.</b> Efecto del factor oxigenación sobre el peso medio del fruto (g) de tomate cherry pera cv. Santasian. (Valores promedio).....	103
<b>Figura 92.</b> Efecto del factor tipo de tabla sobre el diámetro medio del fruto (mm) de tomate cherry pera cv. Santasian.....	105
<b>Figura 93.</b> Efecto del factor tipo de tabla sobre el diámetro medio del fruto (mm) de tomate cherry pera cv. Santasian. (Valores promedio).....	106
<b>Figura 94.</b> Efecto del factor oxigenación sobre el diámetro medio del fruto (mm) de tomate cherry pera cv. Santasian.....	106
<b>Figura 95.</b> Efecto del factor oxigenación sobre el diámetro medio del fruto (mm) de tomate cherry pera cv. Santasian. (Valores promedio).....	107
<b>Figura 96.</b> Efecto del factor tipo de tabla sobre el contenido en sólidos solubles en fruto (° Brix) de tomate cherry pera cv. Santasian.....	108
<b>Figura 97.</b> Efecto del factor tipo de tabla sobre el contenido en sólidos solubles en fruto (° Brix) de tomate cherry pera cv. Santasian. (Valores promedio).....	109
<b>Figura 98.</b> Efecto del factor oxigenación sobre el contenido en sólidos solubles en fruto (° Brix) de tomate cherry pera cv. Santasian.....	109
<b>Figura 99.</b> Efecto del factor oxigenación sobre el contenido en sólidos solubles en fruto (° Brix) de tomate cherry pera cv. Santasian. (Valores promedio).....	110
<b>Figura 100.</b> Efecto del factor tipo de tabla sobre el pH del fruto de tomate cherry pera cv. Santasian.....	111

<b>Figura 101.</b> Efecto del factor tipo de tabla sobre el pH del fruto de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian. (Valores promedio).....	112
<b>Figura 102.</b> Efecto del factor oxigenación sobre el pH del fruto de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian. ....	112
<b>Figura 103.</b> Efecto del factor oxigenación sobre el pH del fruto de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian. (Valores promedio).....	113
<b>Figura 104.</b> Efecto del factor tipo de tabla sobre el diámetro basal del tallo en (mm) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	114
<b>Figura 105.</b> Efecto del factor oxigenación sobre el diámetro basal del tallo en (mm) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	114
<b>Figura 106.</b> Efecto del factor tipo de tabla sobre el diámetro medio del tallo en (mm) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	116
<b>Figura 107.</b> Efecto del factor oxigenación sobre el diámetro medio del tallo en (mm) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	116
<b>Figura 108.</b> Efecto del factor oxigenación sobre el diámetro apical del tallo en (mm) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	118
<b>Figura 109.</b> Efecto del factor oxigenación sobre el diámetro apical del tallo en (mm) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	118
<b>Figura 110.</b> Efecto del factor tipo de tabla sobre la longitud del tallo en (cm) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	120
<b>Figura 111.</b> Efecto del factor oxigenación sobre la longitud del tallo en (cm) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	120
<b>Figura 112.</b> Efecto del factor tipo de tabla sobre la longitud entre nudos (cm) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	122
<b>Figura 113.</b> Efecto del factor oxigenación sobre la longitud entre nudos (cm) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	122
<b>Figura 114.</b> Efecto del factor tipo de tabla sobre la longitud entre ramos en (cm) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	124
<b>Figura 115.</b> Efecto del factor oxigenación sobre la longitud entre ramos en (cm) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	124
<b>Figura 116.</b> Efecto del factor tipo de tabla sobre el número de nudos por planta en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	126
<b>Figura 117.</b> Efecto del factor oxigenación sobre el número de nudos por planta en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	126
<b>Figura 118.</b> Efecto del factor oxigenación sobre el diámetro basal del tallo en (mm) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	128
<b>Figura 119.</b> Efecto del factor oxigenación sobre el diámetro basal del tallo en (mm) en cultivo de tomate cherry pera <i>cv.</i> Santasian.....	128

## **Interés y Objetivos**



## 1. INTERÉS Y OBJETIVOS

### 1.1. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE TOMATE EN NUESTRA AGRICULTURA

La producción de tomate está generalizada en todas las regiones del mundo, entre los principales países productores destacan, China, seguida de India, Estados Unidos, Turquía, Egipto, Irán, Italia, Brasil, España, y Uzbekistán (Anuario de la Producción Agraria de la F.A.O. Año 2011).

Tabla 1. Principales países productores de tomate. Datos de superficie y producción.

PAÍSES	Superficie (hectáreas)	Producción (toneladas)
China	985.903	48.576.853
India	865.000	16.826.000
Estados Unidos	148.730	12.624.700
Turquía	269.584	11.003.400
Egipto	212.446	8.105.260
Irán	183.931	6.824.300
Italia	103.858	5.950.220
Brasil	71.473	4.416.650
<b>España</b>	<b>49.913</b>	<b>3.821.490</b>
Uzbekistán	58.000	2.585.000
Otros países	1.785.518	38.209.510
<b>TOTAL</b>	<b>4.734.356</b>	<b>159.023.383</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del anuario de la producción agraria de la F.A.O. Año 2011.

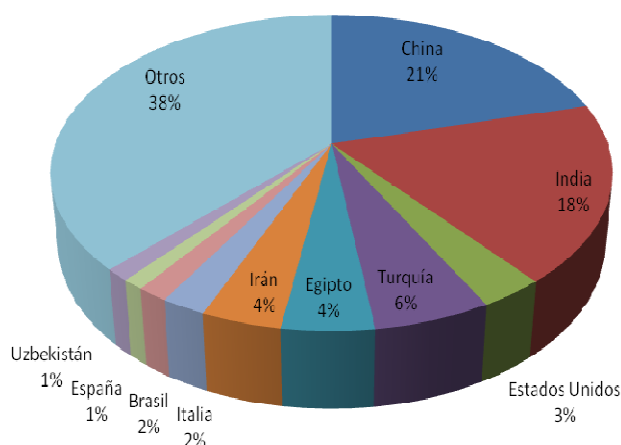
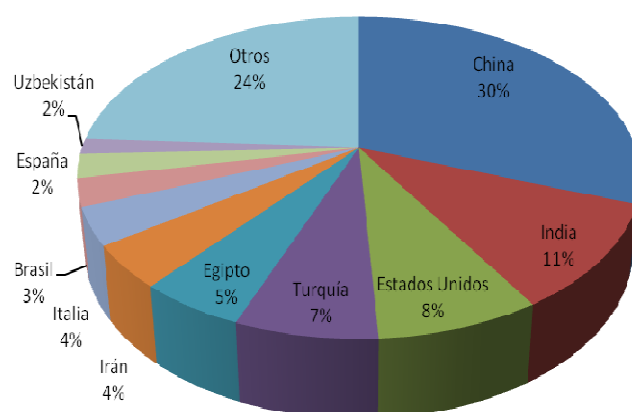


Figura 1. Distribución porcentual de la superficie cultivada de tomate en el mundo. (Elaboración propia a partir de datos de la F.A.O. Año 2011).



**Figura 2. Distribución porcentual de la producción de tomate en el mundo.** (Elaboración propia a partir de datos de la F.A.O. Año 2011).

El tomate es una de las hortalizas de mayor producción en Europa, con más de 21.427.908 toneladas.

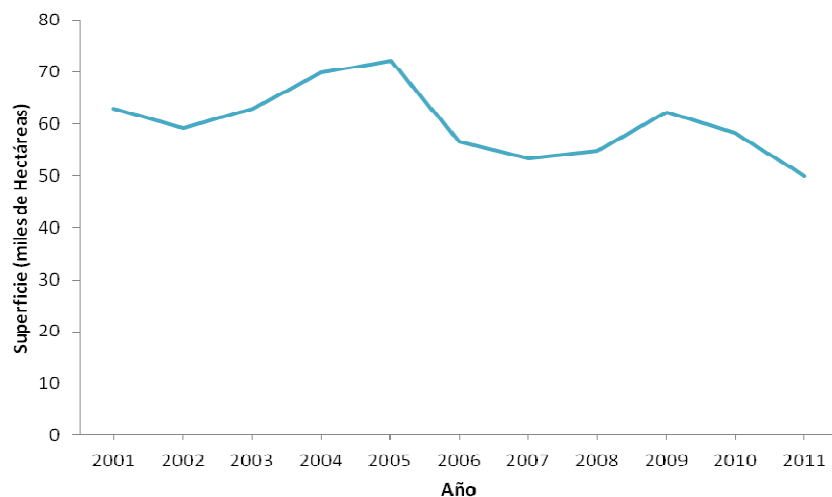
España ha ido incrementando su producción en el último periodo, pasando de 3.766.330 t en el año 2000, a 4.810.300 t en el año 2005, aunque luego ha empezado a disminuir hasta llegar al valor de 3.821.490 t en el año 2011.

Si observamos la evolución de la superficie cultivada de tomate en España durante los últimos años, podemos apreciar que se mantiene sobre las 60.000 ha apreciándose algunos picos, por ejemplo en 2005 donde la superficie de cultivo llegó hasta las 72.285 ha, descendiendo bruscamente en 2006 hasta las 56.690 ha y siguiendo una tendencia a la baja hasta las 49.913 ha en 2011.

**Tabla 2. Evolución de la superficie (Hectáreas) y la producción (Toneladas) del cultivo de tomate en España.**

Año	Superficie (hectáreas)	Producción (toneladas)
2001	63.030	3.971.690
2002	59.266	3.979.720
2003	62.973	3.947.330
2004	69.902	4.383.200
2005	72.285	4.810.300
2006	56.690	3.800.550
2007	53.297	4.081.480
2008	54.868	4.049.750
2009	62.200	4.603.600
2010	58.300	4.312.700
2011	49.913	3.821.490

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la F.A.O. y del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.



**Figura 3. Evolución de la superficie cultivada de tomate en España.** (Elaboración propia a partir de datos de la F.A.O. y del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).



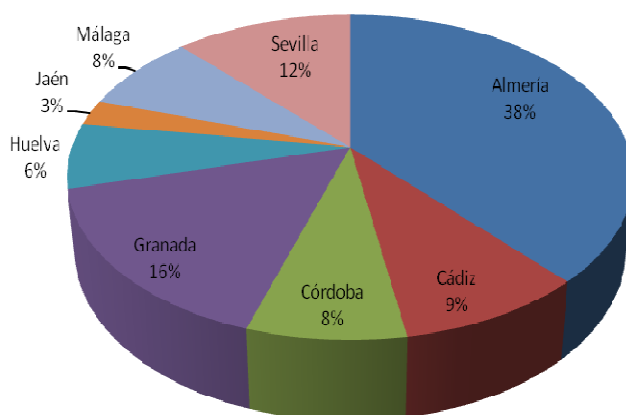
**Figura 4. Evolución de la producción de tomate en España.** (Elaboración propia a partir de datos de la F.A.O. y del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

En Andalucía la superficie dedicada al cultivo de hortalizas es de 125.795 hectáreas, esta superficie genera una producción anual de 5.239.513 toneladas, destacando la provincia de Almería, que es la que mayor superficie tiene dedicada a cultivos hortalizas con 48.113 hectáreas y la que mayor producción presenta con 2.759.265 toneladas anuales.

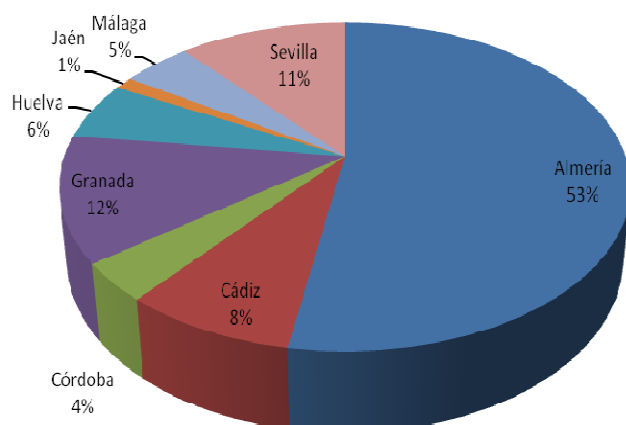
**Tabla 3. Distribución de superficie y producción de hortalizas en Andalucía. Año 2010.**

Provincia	Superficie (hectáreas)	Producción (toneladas)
<b>Almería</b>	<b>48.113</b>	<b>2.759.265</b>
Cádiz	11.409	433.028
Córdoba	9.621	198.439
Granada	20.066	648.493
Huelva	8.168	299.889
Jaén	3.225	63.962
Málaga	9.988	242.451
Sevilla	15.205	593.984
<b>Andalucía</b>	<b>125.795</b>	<b>5.239.513</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación.



**Figura 5. Distribución porcentual de la superficie cultivada de hortalizas en Andalucía. Datos 2010.** (Elaboración propia a partir de datos de la Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación).



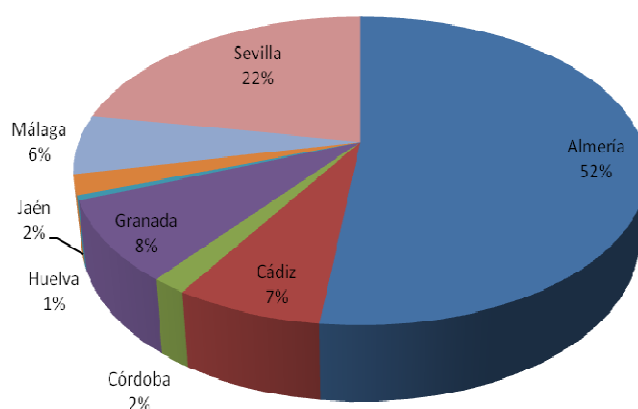
**Figura 6. Distribución porcentual de la producción de hortalizas en Andalucía. Datos 2010.** (Elaboración propia a partir de datos de la Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación).

Las principales especies hortícolas cultivadas en Andalucía son: tomate, pimiento, sandía, calabacín, pepino, berenjena y Judía verde, siendo el cultivo de tomate el que ocupa mayor superficie con 20.304 hectáreas y el que genera mayor producción con 1.481.172 toneladas.

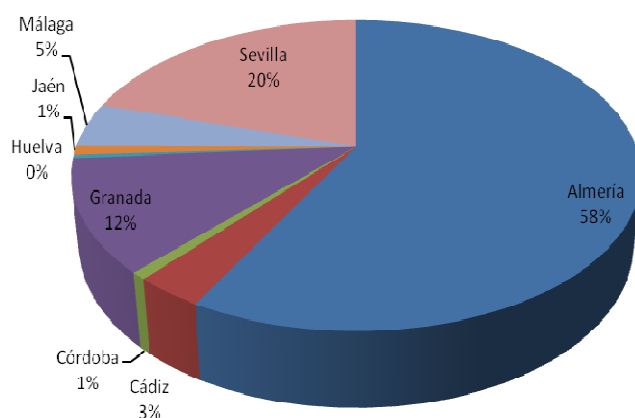
**Tabla 4. Distribución de superficie y producción de tomate en Andalucía. Año 2010.**

Provincia	Superficie (hectáreas)	Producción (toneladas)
<b>Almería</b>	<b>9.939</b>	<b>858.621</b>
Cádiz	1.349	49.239
Córdoba	323	11.192
Granada	1.613	174.283
Huelva	98	4.816
Jaén	403	14.105
Málaga	1.202	68.091
Sevilla	4.230	300.825
<b>Andalucía</b>	<b>20.304</b>	<b>1.481.354</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación.



**Figura 7. Distribución porcentual de la superficie cultivada de tomate en Andalucía. Datos 2010.** (Elaboración propia a partir de datos de la Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación).



**Figura 8. Distribución porcentual de la producción de tomate en Andalucía. Datos 2010.** (Elaboración propia a partir de datos de la Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación).

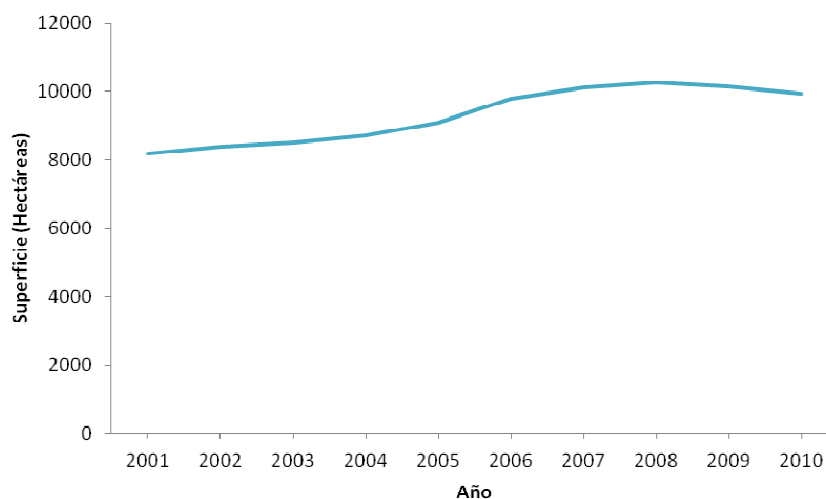
En la provincia de Almería, el tomate es uno de los cultivos intensivos con mayor repercusión económica, presentando una superficie cultivada de 9.939 hectáreas, lo que genera una producción de 858.621 toneladas de tomate en el año 2010; suponiendo el 58% de la producción total de tomate en Andalucía.

En la siguiente tabla mostramos la evolución tanto en superficie como en producción del cultivo de tomate en la provincia de Almería a lo largo de los años.

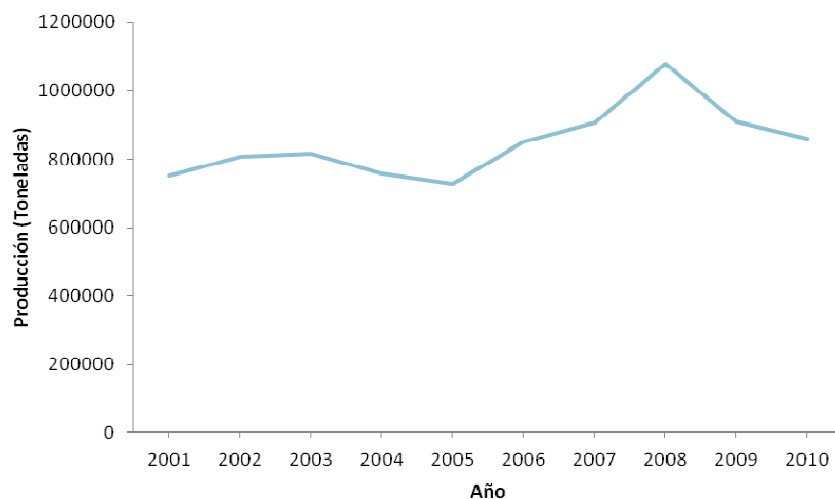
**Tabla 5. Evolución de la superficie (hectáreas) y la producción (toneladas) del cultivo de tomate en Almería.**

Año	Superficie (hectáreas)	Producción (toneladas)
2001	8.200	752.400
2002	8.400	806.736
2003	8.500	817.000
2004	8.700	756.000
2005	9.100	726.850
2006	9.802	851.749
2007	10.100	905.367
2008	10.250	1.077.805
2009	10.147	910.269
2010	9.939	858.621

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación.



**Figura 9. Evolución de la superficie cultivada de tomate en Almería.** (Elaboración propia a partir de datos de la Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación).



**Figura 10. Evolución de la producción de tomate en Almería.** (Elaboración propia a partir de datos de la Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación).

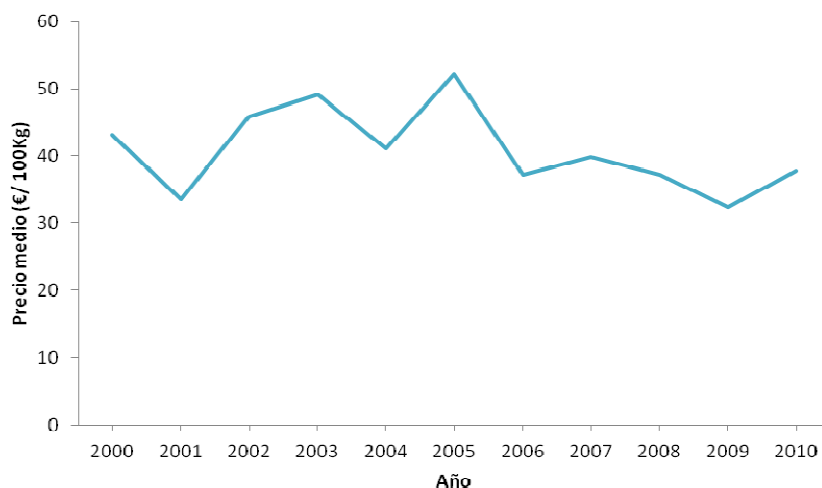
## 1.2. PRECIOS MEDIOS PERCIBIDOS POR EL AGRICULTOR

El precio del tomate fresco presenta grandes oscilaciones a lo largo del año. En los últimos años se puede observar el precio cambiante pero que se mantiene entre los 0,30 €/kg y 0,40€/Kg, desde el año 2005.

**Tabla 6. Evolución de los precios medios percibidos por los agricultores.**

Año	Precio medio percibido por los agricultores (€/100 kg)
2000	43.2
2001	33.6
2002	46.0
2003	49.1
2004	41.2
2005	52.2
2006	37.2
2007	39.8
2008	37.3
2009	32.4
2010	37.8

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación.



**Figura 11. Evolución de los precios medios percibidos por los agricultores.** (Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

### 1.3. COMERCIO EXTERIOR

Más del 90% de la exportación de tomate desde España tiene como destino la Unión Europea. Aunque durante los últimos años, hay cierta tendencia a incrementar el porcentaje de producto que es enviado a los denominados países terceros, en ningún caso este valor ha superado los 6 puntos porcentuales. El año en el que se alcanzó un mayor porcentaje fue 2008, con un 5,5%, seguido por 2006 con el 5,1%. El promedio está situado en 4,7%.

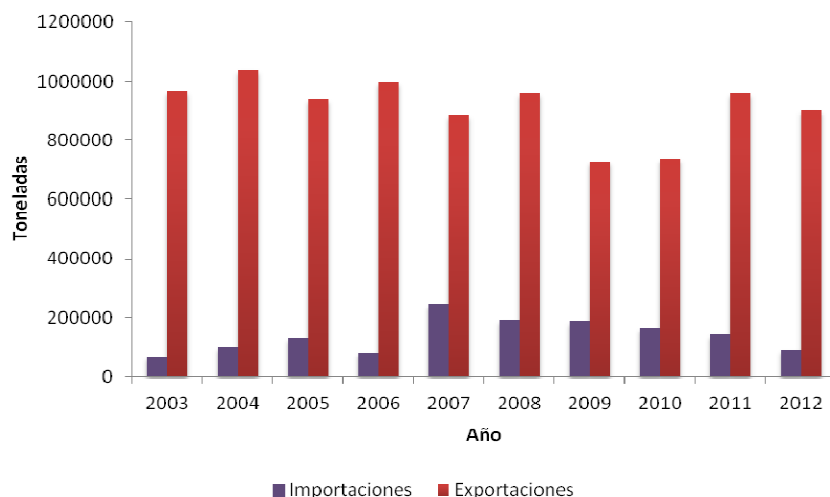
España es un país productor y exportador, con alrededor de 1 millón de toneladas de tomate exportadas al año. Por volumen de exportación las principales zonas son: Almería con un 36%, Murcia con un 20% y Las Palmas con un 16%.

**Tabla 7. Evolución de las exportaciones e importaciones de tomate en España.**

Año	Comercio exterior (toneladas)	
	Importaciones	Exportaciones
2003	69.462	966.002
2004	102.313	1.036.833
2005	132.513	937.004
2006	82.965	997.514
2007	246.202	884.244
2008	191.582	957.603
2009	186.594	729.358
2010	163.976	739.903
2011	142.893	959.009
2012	92.888	901.647

Fuente: Elaboración propia a partir de datos Fepex





**Figura 12. Evolución de las importaciones y las exportaciones de tomate en España.** (Elaboración propia a partir de datos de Fepex).

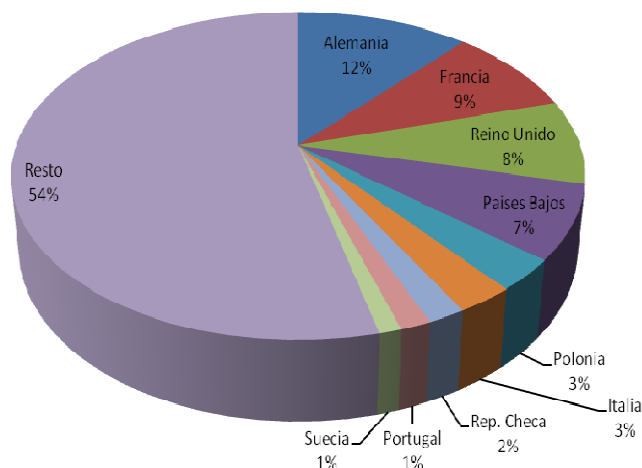
De los países extracomunitarios el que mayor importancia tiene por el volumen demandado es Rusia, con aproximadamente 15.000 toneladas anuales.

Tan solo 4 países representan más del 70% del total exportado de tomate. Las exportaciones conjuntas a Alemania, Holanda, Reino Unido y Francia significaron en promedio el 21, 15, 18 y 16% respectivamente. Lo cual nos da una clara idea de la elevada concentración de los mercados de tomate.

**Tabla 8. Principales países importadores de tomate español. Año 2012.**

País	Importación (toneladas)
Alemania	195.076
Francia	147.797
Reino Unido	138.732
Países Bajos	122.645
Polonia	51.895
Italia	45.901
Rep. Checa	30.112
Portugal	24.501
Suecia	18.007
Resto	901.647

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Fepex.



**Figura 13. Principales países importadores de tomate español.** (Elaboración propia a partir de datos de Fepex. Año 2012).

#### **1.4. IMPORTANCIA DE LOS CULTIVOS SIN SUELO EN NUESTRA AGRICULTURA**

En la actualidad, los cultivos sin suelo están creciendo de forma clara en las producciones hortícolas bajo invernadero a nivel mundial y en determinados países, el 100% de la superficie dedicada a algunos cultivos está sometida a estos sistemas de producción.

La evolución de estos sistemas de cultivo ha sido paralela a la de los invernaderos y su tecnología, de forma que en Europa resulta mayor en los países del norte (Holanda, Gran Bretaña, etc.). No obstante, poco a poco también empiezan a emplearse en países del sur, y en concreto en España la superficie de cultivo sin suelo, allá por el año 2003 alcanzaba las 8.000-10.000 ha, distribuidas fundamentalmente por Almería, Murcia, Granada y Canarias. Y los sustratos mayoritariamente utilizados eran la lana de roca y la perlita (Camacho *et al.*, 2003).

La introducción de los cultivos sin suelo en la provincia de Almería tuvo lugar a finales de los años 70, con la aparición de los sistemas de cultivo en sacos de turba y NFT. Durante los años 80, el avance de los cultivos sin suelo en nuestra provincia fue muy lento y apenas significativo. Sin embargo, fue en la década de los 90 cuando se produjo, el avance más importante.

A pesar de que la superficie de los cultivos sin suelo en el litoral almeriense es relativamente importante, no se conoce con precisión la superficie ocupada por los mismos.

Estudios basados en encuestas a agricultores, allá por los años 1999-2003, estimaban la existencia de casi 5.000 ha de cultivo hidropónico en la provincia de Almería. (Valera *et al.*, 1999; Pérez-Parra y Céspedes, 2001). Prácticamente su totalidad era como cultivo en sustrato, y se repartían casi al 50% entre lana de roca y perlita (Camacho *et al.*, 2003).

El cultivo en lana de roca es el sistema más utilizado en Europa y del que más información se tiene. Sus excelentes cualidades físicas y químicas como sustrato para el cultivo de hortalizas lo convierten en uno de los sistemas ideales para el cultivo sin suelo. Presenta una baja densidad aparente lo que facilita su transporte y manejo; una elevada porosidad total; una alta capacidad de retención de agua, algo más del 95% del agua retenida por el sustrato es fácilmente asimilable por el cultivo, aspecto que nos permite dejar sin suministro de agua al cultivo durante un largo periodo de tiempo; y elevada aireación. Por su baja capacidad de intercambio catiónico y su bajo poder tampón requiere un manejo exacto de la nutrición y del riego (Baixauli *et al.*, 2002).

El cultivo en lana de roca no ha tenido el éxito que en principio cabía esperar en nuestra agricultura (a pesar de sus excelentes cualidades físicas y químicas como sustrato para el cultivo de hortalizas) debido principalmente a que se trata de un material no biodegradable lo cual supone problemas medioambientales a la hora de su eliminación, su durabilidad es limitada lo que da lugar a un incremento del coste por campaña y la consiguiente repercusión en la rentabilidad de las explotaciones ya que el conjunto lana de roca-solución nutritiva presenta una baja inercia térmica y química.

Además de los inconvenientes comentados anteriormente, el cultivo hortícola en sustrato de lana de roca presenta habitualmente problemas de hipoxia radical, que se ven acrecentados con la antigüedad de la tabla y con el uso de la misma, lo cual disminuye la porosidad del sustrato y por tanto el aire disponible y necesario para la respiración de la raíz.

Los sustratos predominantes en los cultivos hortícolas se caracterizan por tener un volumen restringido del medio de cultivo, una elevada densidad radical, baja porosidad y a veces una elevada concentración salina. A ello hay que añadir la ocurrencia de periodos cortos con temperaturas del sustrato claramente por debajo o por encima de los valores considerados adecuados para el desarrollo radical de los cultivos, ya que la mayoría de los invernaderos donde se instalan los sustratos son de clima pasivo. Estas características junto a la imposibilidad de adecuar completamente los aportes hídricos a las necesidades reales de la planta (muy variables), suele llevarnos a condiciones de grandes cambios para el cultivo, desde condiciones "óptimas" a condiciones de "estrés", con respecto a la disponibilidad de agua y oxígeno.

El oxígeno es usado por las raíces de las plantas para respirar (proceso que aumenta con la temperatura y con la salinidad). La hipoxia ocurre cuando la respiración radical empieza a verse afectada por deficiencia de oxígeno, no por su ausencia total.

Las condiciones de hipoxia en el medio de cultivo, parece que tienen lugar, cuando la presión parcial de oxígeno está entre el 4% y 1% (Morad, 1995), y/o bien cuando la concentración en la solución del sustrato se sitúe por debajo de 3ppm (Gislerod y Kemptom, 1983) y (Marfà y Guri, 1999).

Las condiciones de hipoxia pueden promover diversas alteraciones en las plantas, desde cambios morfológicos/estructurales (epinastia, clorosis, acortamiento de entrenudos, reducción de la productividad, necrosis radical, etc.) y cambios fisiológicos/metabólicos (cambios hormonales conducentes a cierres estomáticos, disminución de la permeabilidad radical, etc.). Estas alteraciones pueden afectar a la productividad de las mismas.

En cultivos en láminas de agua o en sustratos con limitada porosidad llena de aire, es aconsejable airear la solución nutritiva con el objeto de mejorar su oxigenación y con ello su productividad.

En sistemas de cultivo sin suelo que usan tuberías a presión es posible oxigenar la solución nutritiva y localizarla por medio de los goteros a pie de planta. A esta práctica se le conoce con el nombre de oxifertirrigación (Marfà y Guri, 1999) y (Marfà *et al.*, 2005).

Hay que decir que la información sobre el uso de soluciones nutritivas sobresaturadas de oxígeno en cultivos en sustratos es escasa. Algunos trabajos realizados por Marfà y Guri (1999) en diversas especies en cultivo sin suelo en condiciones controladas se obtuvo un aumento del crecimiento y la productividad mediante el uso continuado de soluciones nutritivas sobresaturadas de oxígeno. A nivel comercial, la información sobre el uso de la oxifertirrigación es muy limitado (Vargas, 2001) y los resultados existentes no son concluyentes (Acuña, 2007).

Por todo lo comentado anteriormente, para mejorar y avanzar sobre el sustrato de lana de roca, se plantean nuevas alternativas tecnológicas, basadas en:

- ✓ Desarrollo de distintos tipos de tablas de lana de roca cuya diferencia principal es la densidad de las fibras y la orientación de las mismas en la construcción de la tabla y la geometría, lo cual modifica el comportamiento físico-químico de la misma, con el objetivo de aumentar su vida útil, considerando el modo de empleo reiterado durante varias campañas que se hace en Almería.

- ✓ Inyección de aire para mejorar la oxigenación de las raíces, al tiempo que se mejora el equilibrio entre las fases líquida y gaseosa.

El interés de este proyecto es evaluar, desde el punto de vista productivo, de la calidad de los frutos y de la fisiología de la planta, los distintos tipos de lana de roca, así como la aplicación continuada, mediante riego, de una solución nutritiva sobresaturada de oxígeno.

## 1.5. OBJETIVOS

El objetivo que se plantea con este ensayo es evaluar la producción y calidad de un cultivo de tomate cherry pera (*Lycopersicon esculentum var.cerasiforme* cv. Santasian) cultivado sobre distintos tipos de lana de roca y bajo distintas condiciones de concentración de oxígeno en el agua de riego.

- ✓ Los parámetros a evaluar son los siguientes:
  - Productividad:
    - Producción ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ )
    - Producción (kg/planta)
    - Producción ( $\text{n}^{\circ}$  frutos/ $\text{m}^2$ )
    - Producción ( $\text{n}^{\circ}$  frutos/planta)
  - Peso medio del fruto (g)
  - Diámetro medio del fruto (mm)
  - Contenido en sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix)
  - Contenido de acidez del fruto (pH)
- ✓ Parámetros a evaluar sobre la planta:
  - Diámetro del tallo basal, medio y apical (mm)
  - Longitud del tallo (cm)
  - Longitud entre nudos (cm)
  - Longitud entre ramos (cm)
  - $\text{N}^{\circ}$  de nudos
  - $\text{N}^{\circ}$  de ramos

# **Revisión bibliográfica**

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. EL CULTIVO DEL TOMATE**

#### **2.1.1. Introducción**

El tomate cultivado, *Lycopersicon esculentum* Mill, es originario del área del Perú, Ecuador y Bolivia, en los Andes de Suramérica. El hábitat natural de esta especie es una estrecha franja costera que se extiende desde el Ecuador (0° latitud) hasta el norte de Chile (30° latitud sur) y entre el Pacífico y los Andes en altitudes que varían entre los 0 a 2000m. Desde Suramérica el tomate aparentemente fue llevado como maleza a América Central por los nativos y a otras áreas del mundo por viajeros europeos.

#### **2.1.2. Morfología y Fisiología**

El tomate pertenece al reino de los vegetales, división Tracheophyta, clase Angiosperma, subclase Dicotiledonea, orden Tubifloral, familia Solanácea. El género es *Lycopersicon*, el subgénero *Eulycopersicon* y la especie *Lycopersicon esculentum*, Mill.

Se conocen nueve especies del género *Lycopersicon* (Warnock, 1988), pero solamente *Lycopersicon esculentum* es cultivada comercialmente como hortaliza. Las especies silvestres de este género tienen gran importancia en el mejoramiento del tomate.

El tomate es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. Puede desarrollarse en forma rastrera, semi-erecta o erecta; su crecimiento puede ser limitado (variedades determinadas) o ilimitado (variedades indeterminadas) (Chammarro, 2001).

##### **➤ Sistema radical**

El sistema radical del tomate consiste de una raíz principal pivotante de la que salen raíces laterales. La planta que ha sido trasplantada produce un sistema radical más ramificado y superficial que llega a no distinguirse de la raíz principal. La mayor parte de este sistema se encuentra entre los 5 a 35 cm de profundidad, pero algunas raíces pueden alcanzar más de un metro.

Seccionando transversalmente la raíz principal y de fuera hacia dentro, encontramos: epidermis, córtex y cilindro central. En la epidermis se encuentran los pelos absorbentes especializados en tomar agua y nutrientes. En el cilindro central se sitúa el xilema, conjunto de vasos especializados en el transporte de los nutrientes (Camacho, 2003).

### ➤ Tallos

El tallo principal es un eje con un grosor que oscila entre 2-4 cm y puede ser de porte determinado o indeterminado. Sobre él se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpoidal) e inflorescencias. Su estructura de fuera hacia dentro, consta de: epidermis, de la que suelen salir pelos glandulares, corteza o córtex, cilindro vascular y tejido medular. En la parte distal del tallo se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales (Picken *et al.*, 1986 y Camacho, 2003).



Figura 14. Detalle del tallo principal de una planta (izquierda) y hoja (derecha) de tomate.

### ➤ Hojas

La hoja es pinnadocompuesta, con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo. El mesófilo o tejido parenquimático está recubierto por una epidermis superior e inferior, ambas sin cloroplastos. La epidermis inferior presenta un alto número de estomas. Dentro del parénquima, la zona superior o zona en empalizada, es rica en cloroplastos. Los haces vasculares son prominentes, sobre todo en el envés, y constan de un nervio principal (Chamarro, 1995 y Camacho, 2003).

### ➤ Flores

La flor consta de cinco o más sépalos, igual número de pétalos de color amarillo y dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135°, igual número de estambres soldados que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo, y un ovario bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias en racimo. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. La flor se une al eje floral por medio de un pedicelo articulado que contiene la



zona de abscisión. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas (Varga y Bruinsma, 1986).



Figura 15. Detalle de la flor (izquierda) y fruto (derecha) de tomate.

### ➤ Frutos

El fruto es una baya globosa de color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopina, y carotina, en distintas y variables proporciones. Su forma puede ser redondeada, achatada o en forma de pera, y su superficie lisa o asurcada, siendo su tamaño muy variable según las variedades (Rodríguez *et al.*, 2001). Su peso oscila entre los 5 y 500 gramos, en función del cultivar (en tomate cherry se obtienen frutos con un peso medio de 10-25g) y las condiciones de desarrollo.

El fruto está unido a la planta por un peciolo con un engrosamiento articulado que contiene la capa de abscisión. El fruto adulto está constituido, básicamente por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas (Chamarro, 2001).

### 2.1.3. Tipos de tomates comerciales en España

En España existen infinidad de variedades de tomate, atendiendo al porte se pueden clasificar en:

- **PORTE INDETERMINADO:**

Variedades cuyo tallo tiene crecimiento continuo, no pierde la yema terminal. Produce un racimo floral cada dos o tres hojas. Una vez que llegan a la altura deseada es conveniente despuntar para conseguir mayor precocidad. Dentro de este grupo podemos diferenciar:

**Calibre grueso:** Este apartado agrupa a todas las variedades de calibre G y GG cuyo peso medio es igual o superior a 180g con alguna excepción de peso medio entre 160 y 180g.

**Calibre medio:** Variedades que en condiciones normales de cultivo producen tomates de peso medio comprendido entre 100 y 180g, con calibres M y G.

**Calibre pequeño:** En este apartado se ordenan casi todas las variedades de tipo canario y aquellas que en condiciones normales de cultivo no superan los 100g de peso medio.

Atendiendo a su forma se pueden clasificar en:

**Tipos cereza y cherry:** Cultivares pertenecientes a la variedad botánica *cerasiforme*, caracterizada por el tamaño pequeño de sus hojas y frutos que generalmente no superan los 30g, pudiendo algunos pesar 6g, en estado de madurez. Los ramilletes florales son muy ramificados llegando a producir más de 50 frutos.

**Tipo mini pera:** Dentro de este grupo encontramos la variedad estudiada. En la siguiente tabla se pueden observar las distintas variedades de tomate tipo mini pera que en la actualidad están en el mercado.

**Tabla 9. Variedades de tomate tipo mini pera.**

VARIEDADES			
Candy (ZS 941)	Gran Brix F <sub>1</sub>	Operata(19 ZS 948)	Santonio F <sub>1</sub>
Capriccio H F <sub>1</sub>	HA 0643 F <sub>1</sub>	Paime F <sub>1</sub>	Ship Saint F <sub>1</sub>
Cikito (DRC 524)	Limoncito	Pecadora	Thonino
Dasher	Link F <sub>1</sub> (ISI83033)	Plumcher (DRC 1111)	Tomasito F <sub>1</sub>
Delicacy F1 (SCO-016)	Loranne	Santa F <sub>1</sub>	Tyresa
DRC 1181	Lucinda	Santalina F <sub>1</sub>	Vittoria
Ducatino (ZS 941)	Luciplus	Santasian	Vittorino
Fioline (DRC 195)	Mini-Star F <sub>1</sub>	Santella F <sub>1</sub>	Zambra F <sub>1</sub>
Flavorino			

Fuente: Portagrano 2009/2010

La variedad Santasian es una variedad de tipo mini pera. Planta muy productiva, con muy buen cuaje en invierno. Frutos de muy buen sabor, de 15-20g de peso. Para trasplante a partir del 15 de agosto, según zonas. Resistencia alta (HR) a ToMV/Va/Vd/Fol:0,1/For.

**Tipo mini san marzano:** El fruto es una baya de color rojo intenso de unos 20g de peso medio, muy firmes y con muy buen sabor y dulzor. Para recolectar tanto en ramo como sueltos.

**Para ramillete:** Variedades indicadas para recolectar en ramilletes. Tienen la propiedad de madurar todos los frutos en un corto período de tiempo y al ser variedades de larga vida, los que primero maduran aguantan en perfecto estado a los últimos.

- **PORTE SEMIDETERMINADO:**

Término que se usa para encuadrar algunas variedades indeterminadas que, por sus condiciones de cultivo, no llegan a ser demasiado altas. Son variedades de calibre medio o grueso.

- **PORTE DETERMINADO:**

Este tipo de plantas proviene de una mutación portadora del gen sp de autopoda. Se caracteriza porque desde el primer racimo floral va disminuyendo el número de hojas entre cada uno de ellos hasta llegar a haber, incluso, dos seguidos, sin ninguna hoja entre ellos y porque la yema apical termina transformándose en un racimo deteniendo así el crecimiento de la planta. Emite tallos laterales que si se dejan crecer les ocurre lo mismo que al tallo principal. Dentro de este grupo hay variedades que se recomienda entutorar y otras que se cultivan rastreras.

#### **2.1.4. Exigencias ambientales del cultivo de tomate**

##### **2.1.4.1. Temperatura**

La temperatura óptima de desarrollo oscila entre 20 y 30 °C durante el día y entre 1 y 17 °C durante la noche; temperaturas superiores a los 30-35 °C afectan a la fructificación, por mal desarrollo de óvulos y al desarrollo de la planta en general y del sistema radicular en particular. Temperaturas inferiores a 12-15 °C también originan problemas en el desarrollo de la planta. A temperaturas superiores a 25 °C e inferiores a 2 °C la fecundación es defectuosa o nula.

La maduración del fruto está muy influenciada por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración, de forma que valores cercanos a los 10 °C así como superiores a los 30 °C originan tonalidades amarillentas.

##### **2.1.4.2. Humedad**

La humedad relativa óptima oscila entre un 60% y un 80%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación.

##### **2.1.4.3. Luminosidad**

Valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación así como el desarrollo vegetativo de la planta.

En los momentos críticos durante el período vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad.

## **2.1.5. Manejo del cultivo de tomate**

### **2.1.5.1. Ciclos de cultivo**

Dependiendo de las condiciones climáticas, el tomate es cultivado en muy diversos ciclos, según las fechas deseadas de producción, cultivares empleados y destino del fruto (mercado en fresco o industria).

En España los ciclos más frecuentes hasta hace pocos años eran cuatro (Maroto, 1983):

➤ Ciclo extratemprano: Semillando a partir de octubre, el trasplante en invernadero se efectuaba en diciembre, iniciándose la cosecha a partir de febrero. Era típico del sureste de España, en invernadero parral, y se empleaban cultivares asurcados.

➤ Ciclo temprano: El trasplante (con planta procedente de semilleros protegidos) se efectuaba a partir de febrero, al aire libre, protegiendo el cultivo con espalderas de cañizo y, a veces, túneles bajos. Típico del Levante Mediterráneo. Cultivares asurcados.

➤ Ciclo normal: Trasplante al aire libre en época libre de heladas, muy variable según regiones. Típico de áreas del interior peninsular, así como del tomate de industria.

➤ Ciclo tardío: Trasplante entre julio y septiembre al aire libre para escalonar la cosecha desde mediados de septiembre a febrero, dependiendo su final de las condiciones meteorológicas. Era típico del sureste peninsular y Canarias (tomate liso de invierno).

En la actualidad, el ciclo tardío ha adelantado claramente la fecha de trasplante (primera quincena de julio) para iniciar la comercialización antes y competir con los tomates del Norte de África; se usan cultivares de tipo liso y asurcado. En invernadero sin calefacción en el sureste (Almería y Murcia) y Canarias cabe distinguir hoy día, tres ciclos:

➤ Semilleros desde final de julio a primeros de agosto, para trasplantar desde final de agosto hasta mediados de septiembre, alargando el ciclo hasta mediados o finales de primavera. Cultivares muy vigorosos de tipo liso y asurcado, principalmente de “larga vida”.

➤ Trasplante a final de agosto para finalizar el ciclo en febrero. Cultivares asurcados (cuello verde).

➤ Trasplante hasta mediados de enero alargando su ciclo hasta junio. Cultivares de tipo liso y asurcado, con predominio de los de “larga vida”.

### **2.1.5.2. Plantación**

Previo a la plantación, se procede a saturar el sustrato, lana de roca, con la solución nutritiva prevista, llenando totalmente el espacio poroso del sustrato con el objeto de contrarrestar la solución básica de los mismos. Se mantiene saturado durante 24 horas (Baixauli y Aguilar, 2002).

El trasplante se realiza evitando las horas de máximo calor, bien por la mañana o bien por la tarde (preferiblemente por la tarde). Los bloques del semillero deben recibir un riego antes de llevarlos a la finca para evitar que se sequen los cepellones y de esta manera asegurarse un trasplante con éxito.

### **2.1.5.3. Necesidades hídricas y fertilización**

El tiempo de riego en el cultivo hidropónico viene dado básicamente por la capacidad de retención de agua del sustrato, función a su vez del material en sí, la granulometría, la forma y el volumen, así como el número de goteros por unidad, del caudal del gotero, del porcentaje de drenaje que a su vez depende de la calidad del agua y de la conductividad eléctrica del sustrato en el momento (Camacho *et al.*, 2003).

Durante los primeros días, hasta la segunda o tercera semana, el riego será de control manual, uno o dos al día, y excedentario para facilitar el enraizamiento. Cuando la planta tiene ya suficiente porte y rápido desarrollo se conecta el riego automático (Cánovas, 2001).

Desde ese momento los cuidados de las plantas serán los usuales a cualquier plantación de tomate en invernadero. Para el manejo del fertirriego serán necesarios una serie de controles:

-De riego: Verificar la uniformidad de descarga, para lo que se colocan varios recipientes diseminados por parcela. Cada recipiente recogerá la descarga de un gotero y diariamente se comprobará el volumen, conductividad eléctrica y pH. (Cánovas, 2001). Como norma general la conductividad eléctrica del riego será de 2,5 en la plantación y de 2,5 a 3 durante el cultivo. El pH de riego suele ser de 5 a 5,5 y el pH de la disolución del sustrato es de 5,5 a 6,8 que es el óptimo para la absorción de nutrientes. (Escudero, 1999).

-De drenaje: Estableciendo varios puntos de drenaje para comprobar si hay desviaciones respecto a lo previsto. La conductividad eléctrica del drenaje debe de estar 0,5-1  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  por encima de la entrada (Cánovas, 2001).

-Análisis químicos: Periódicamente, cada dos o tres meses se realizaran análisis químicos de agua, o antes si se sospecha alguna variación. Con la misma periodicidad la solución nutritiva, pues aunque diariamente comprobemos la conductividad eléctrica y el pH conviene verificar el equilibrio (Cánovas, 2001).

A continuación se presenta una de las soluciones nutritivas ideales para el cultivo de tomate.

**Tabla 10. Solución nutritiva ideal para tomate**

PERIODO	MACRONUTRIENTES (mmol · L <sup>-1</sup> )					
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Inicio (Floración y cuajado)	12	1.8	0.5	7	2.5	1.5
Engorde y maduración	14	1.8	0.5	8	3	1.5

Fuente: Camacho *et al.* 2003

#### **2.1.5.4. Poda**

Es una práctica imprescindible para las variedades de crecimiento indeterminado. Esta poda se realiza a los 15-20 días del trasplante con la aparición de los primeros brotes laterales, que serán eliminados, al igual que las hojas más viejas, mejorando así la aireación del cuello. Se denomina poda de formación porque en este momento es cuando se determina el número de brazos que se van a dejar a la planta. Son frecuentes las podas a 1 ó 2 brazos, aunque en tomates tipo Cherry, suelen dejarse 3 y hasta 4 tallos (Camacho, 2003).

La poda a dos brazos consiste en dejar crecer uno de los brotes laterales a partir de la 2ª ó 3ª hoja posterior a la primera inflorescencia, de esta manera se dispondrá de dos tallos guía (Rodríguez *et al.*, 1984).

Una variante de esta poda es la poda “Hardy” que consiste en despuntar al tallo principal 2 ó 3 hojas por encima de la 1ª inflorescencia y, de los brotes axilares que salen de estas hojas (que deben ser opuestas), elegir dos tallos guía (Rodríguez *et al.*, 1984).

La poda a cuatro brazos, en principio se realiza igual a la poda a dos brazos, dejando crecer uno de los brotes axilares (a partir de la 2ª ó 3ª hojas tras la primera inflorescencia); con ello se dispone de dos tallos guía, posteriormente, de cada uno de esos brotes se dejará crecer un nuevo brote axilar (2 ó 3 hojas por encima de la segunda inflorescencia), disponiendo así de cuatro brazos o tallos guía.

#### **2.1.5.5. Tutorado**

Es una labor imprescindible para mantener la planta erguida y evitar que las hojas y sobre todo los frutos toquen el suelo, mejorando así la aireación general de la planta y favoreciendo la disposición del espacio, el aprovechamiento de la radiación y la realización de las labores culturales (destallado, recolección, etc.).

La sujeción suele realizarse con hilo de polipropileno (rafia) que se une por un extremo a la zona basal de la planta mediante liado, anudado o sujeto mediante anillas y por el otro extremo a un alambre situado a determinada altura por encima de la planta (1,8-3,4 m sobre el suelo).

#### **2.1.5.6. Destallado**

Consiste en la eliminación de los brotes laterales de la planta para mejorar el desarrollo del tallo principal. El corte de éstos debe de hacerse lo más bajo posible realizando un corte limpio sin magulladuras, para evitar infecciones fúngicas o bacterianas. Debe realizarse con la mayor frecuencia posible (semanalmente en verano-otoño y cada 10-15 días en invierno) para maximizar la productividad (Navarrete *et al.*, 2000).

En épocas de riesgo es aconsejable realizar un tratamiento fitosanitario con algún fungicida-bactericida cicatrizante, como pueden ser los derivados del cobre.

#### **2.1.5.7. Deshojado**

Se realiza para aumentar la ventilación, luminosidad en los ramilletes y adelantar la maduración. El deshojado produce un aumento en la síntesis de etileno en la planta que provoca un aumento en la concentración de ácido abscísico y éste acelera la maduración del tomate por ser un fruto climatérico. La eliminación de hojas disminuye el contenido de azúcares de los frutos (Fernández y Cuadrado, 1999).

Cuando las plantas han adquirido un exceso de vigor, es recomendable hacer un entesaque de hojas, sobre todo si éstas se solapan unas con otras y no dejan entrever los frutos. Se debe quitar la hoja que está por encima del ramo (la que enfrenta al ramo tiene un importante papel en el aporte de fotoasimilados a éste). No se quitan más de 2-3 hojas por planta en una sola vez, para no producirle a la planta un estrés demasiado grande. El corte de la hoja será por la base del peciolo, a ras de tronco y con cuchilla.

#### **2.1.5.8. Despunte**

Consiste en despuntar el tallo principal, se debe de hacer, dejando 1 ó 2 hojas por encima del último ramillete en los despuntes que se hacen en otoño y 2 ó 3 hojas en los despuntes que se hacen en primavera para proteger a los frutos del último ramillete de la incidencia del sol y evitar el planchado y coloraciones defectuosas de los frutos.

Con el despunte se acorta el ciclo de la planta y aumenta el tamaño de los frutos. Al despuntar disminuye la concentración de hormonas promotoras del crecimiento de la planta y se acelera la maduración de los frutos (Fernández y Cuadrado, 1999).

#### **2.1.5.9. Polinización**

La introducción de colmenas de abejorros de *Bombus terrestris*, en los invernaderos, es una práctica habitual en este cultivo, lográndose una clara mejora, tanto cuantitativa como cualitativa, lo cual a la vez, e indirectamente, logra que los tratamientos fitosanitarios sean



menos nocivos y mucho más controlados, para no perturbar a los abejorros siendo el principal baluarte de la lucha integrada (Rodríguez *et al.*, 1984).

#### 2.1.5.10. Recolección

La recogida del fruto para consumo en fresco se realiza en invernadero exclusivamente a mano, siendo la operación de mayor repercusión económica en los costes del cultivo. La recolección mecánica requiere la utilización de variedades que se cultiven sin entutorar, y cuyos frutos sean de maduración simultánea. El fruto sufre más, por lo que se deteriora rápidamente. Se practica fundamentalmente en el tomate para conserva, aunque en Estados Unidos es cada vez más frecuente en el tomate para consumo en fresco.

La recolección empieza según las variedades utilizadas, entre los 60 y los 80 días desde el trasplante y se realiza durante un período de tiempo bastante largo, a veces hasta 7 meses, a lo largo del cual van entrando en maduración los frutos situados a distinto nivel en la planta (Rodríguez *et al.*, 1984).

#### 2.1.6. Plagas, enfermedades y fisiopatías

##### 2.1.6.1. Plagas

###### ✓ Araña Roja (*Tetranychus urticae* y *T. evansi*)

Esta plaga es la más común en los cultivos agrícolas protegidos y se desarrolla en el envés de las hojas causando decoloraciones, punteaduras o manchas amarillentas que pueden apreciarse en el haz como primeros síntomas. Con mayores poblaciones se produce desecación o incluso defoliación. Los ataques más graves se producen en los primeros estados fenológicos.

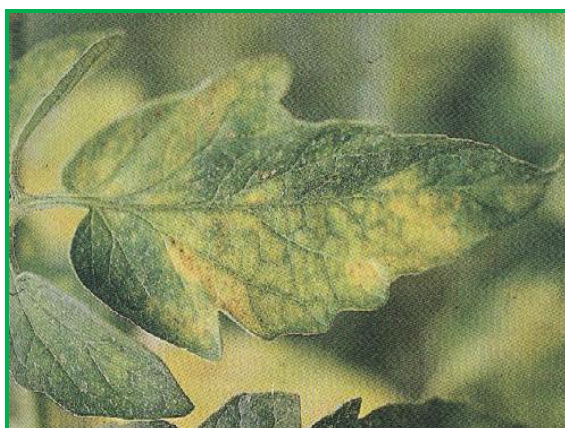


Figura 16. Decoloración y punteado en hoja de tomate producido por *T. urticae*. (Nuez, 2001).



Figura 17. Brote desecado por *T. urticae* (Nuez, 2001).



Para el control de la plaga se desinfectan las estructuras y suelo previa a la plantación en parcelas con historial de araña roja, eliminación de malas hierbas y restos de cultivo, se deben evitar los excesos de nitrógeno y hay que vigilar los cultivos durante las primeras fases del desarrollo. Además se usan especies depredadoras de huevos, larvas y adultos de araña roja como: *Amblyseius californicus*, *Phytoseiulus persimilis* (especies autóctonas y empleadas en sueltas) y *Feltiella acarisuga* (especie autóctona). También se emplean productos químicos como: azufre, espiromesifen, fenpiroximato, abamectina, fenbutaestan, etc.

✓ **Vasates (*Aculops lycopersici*)**

Diminuto ácaro polífago. En la provincia de Almería es una plaga exclusiva del tomate. Los síntomas aparecen por focos, cerca de las bandas, aparecen primero bronceados en el tallo y posteriormente en las hojas e incluso frutos. Evoluciona de forma ascendente desde la parte basal de la planta y se dispersa de forma mecánica favorecida por la elevada temperatura y baja humedad ambiental.



Figura 18. Envés de hoja de tomate de color bronceado brillante por ataque de *Aculops lycopersici*. (Sanidad vegetal de Almería).

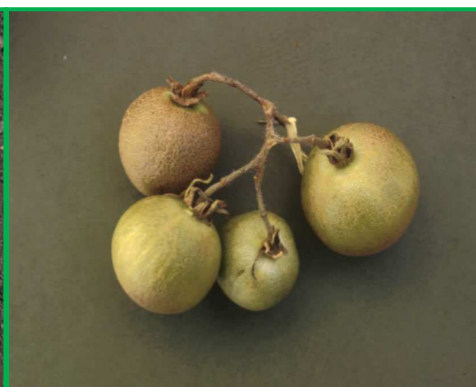


Figura 19. Frutos de tomate afectados por el ataque de *Aculops Lycopersici*. (Sanidad vegetal de Almería).

Para evitar la proliferación de la plaga debemos desinfectar la ropa, calzado, etc. y eliminar toda aquella planta que se vea muy afectada. El control químico es fácil con diversos acaricidas como espiromesifen por ejemplo, aunque suele ser suficiente el empleo frecuente de azufre (Camacho, 2003).

✓ **Trips (*Frankliniella occidentalis*)**

Los adultos colonizan los cultivos realizando las puestas dentro de los tejidos vegetales en hojas, frutos y, preferentemente, en flores (son florícolas), donde se localizan los mayores niveles de población de adultos y larvas nacidas de las puestas.

Los daños directos se producen por la alimentación de larvas y adultos, tanto en el haz como en el envés de las hojas, dejando un aspecto de placas plateadas o de zonas necróticas, que se hacen más patentes en las hojas ya formadas. Cuando la hoja es tierna, las placas

necróticas originan deformaciones al desarrollarse. En frutos, las picaduras nutricionales se traducen en plateados más o menos extensos, siendo debajo de los sépalos donde se localizan principalmente los daños.

El daño indirecto es el que acusa mayor importancia y se debe a la transmisión del virus del bronceado del tomate (TSWV) que afecta al pimiento, tomate, berenjena y judía (Nuez, 2001).



**Figura 20.** Placas marrones en hoja de tomate producidas por *Frankliniella occidentalis* (Sanidad vegetal de Almería).



**Figura 21.** Placas plateadas y necrosadas en fruto de tomate por alimentación de *Frankliniella occidentalis* (Sanidad vegetal de Almería).

Para evitar la entrada de trips hay que colocar mallas en las bandas del invernadero, limpiar las malas hierbas y los restos de cultivo y colocar trampas cromáticas azules. Además el *Nesidiocoris tenuis* es un buen depredador de larvas, también podemos destacar como fauna auxiliar autóctona el *Aeolothrips sp.* Los productos fitosanitarios más usados son: acrinatrin, azadiractin, deltametrin, formetanato, lufenuron, spinosad, etc.

#### ✓ **Pulgón (*Myzus persicae*, *Aphis gossypii* y *Macrosiphum euphorbia*)**

Presentan polimorfismo, con hembras aladas y ápteras de reproducción vivípara. Los daños directos son consecuencia de la succión de la savia, segregación de melaza e inyección de toxinas, teniendo como consecuencia la deformación de las hojas tiernas y brotes.

Como daños indirectos, todos estos áfidos son transmisores de un amplio abanico de virus, siendo el tomate susceptible principalmente al CMV (Virus de Mosaico del Pepino) y al PVY (Virus Y de la Patata). Por ser la transmisión en forma “no persistente” y ser muy baja la expectativa de entrada masiva de formas aladas de pulgón, es excepcional ver estos virus en nuestros invernaderos (Camacho, 2003).

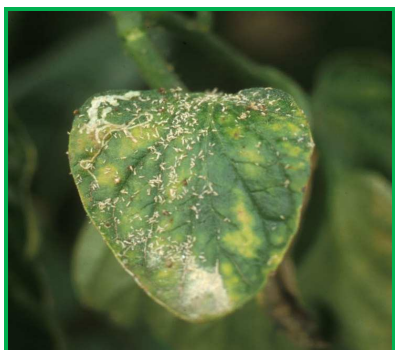


Figura 22. Mudas de *Myzus persicae* y melaza en hoja de tomate. (Sanidad Vegetal de Almería).



Figura 23. Abarquillamiento asociado a *Myzus persicae* en hoja de tomate. (Sanidad Vegetal de Almería).

Como medidas culturales se colocan mallas en las bandas del invernadero, eliminar las malas hierbas y restos del cultivo anterior y colocar trampas cromáticas amarillas. También se encuentran especies depredadoras autóctonas como *Aphidoletes aphidimyza*, como especies parasitoides autóctonas mencionamos a *Aphidius matricariae*, *Aphidius colemani* y *Lysiphlebus testaceipes*, estas últimas son avispas que endoparasitan a muchas especies de pulgón. Las materias activas utilizadas para tratar contra el pulgón son entre otras acetamiprid, azadiractin, flonicamid, imidacloprid, pimetrozina, tiametoxam, etc.

✓ **Mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci*)**

*Bemisia tabaci* es la más temida por ser trasmisora del virus de la cuchara (TYLCV) de forma persistente. Las partes jóvenes de las plantas son colonizadas por los adultos, realizando las puestas en el envés de las hojas. De estas emergen las primeras larvas, que son móviles. Los daños directos (amarillamiento y debilitamiento de las plantas) son ocasionados por larvas y adultos al alimentarse. Los daños indirectos se deben a la proliferación de negrilla sobre la melaza producida en la excreción, manchando y depreciando los frutos y reduciendo la actividad fotosintética y la transpiración de la hoja. Ambos tipos de daños se convierten en importantes cuando los niveles de población son altos. *Trialeurodes vaporariorum* es trasmisora del virus del amarillamiento en cucurbitáceas.



Figura 24. Adultos de *T. vaporariorum* en hoja de tomate (Nuez, 2001).



Figura 25. Melaza asociada a *Bemisia tabaci* en frutos de tomate. (Sanidad Vegetal de Almería).

Medidas contra la mosca blanca: colocar mallas en las bandas, limpiar malas hierbas y restos de cultivos, no abandonar los brotes al final del ciclo y colocar trampas cromáticas amarillas. Para el control biológico se pueden utilizar especies como: *Encarsia sp.*, *Cyrtopeltis tenuis* y *Eretmocerus californicus*. Algunos productos químicos utilizados son el deltanetrin, teflubenzuron, oxamilo, acetamiprid, etc.

✓ **Minador o Submarino (*Liriomyza bryoniae*, *Liriomyza strigata*, *Liriomyza trifolii*, *Liriomyza huidobrensis*)**

Las hembras adultas realizan las puestas dentro del tejido de las hojas jóvenes, donde comienza a desarrollarse una larva que se alimenta del parénquima, ocasionando las típicas galerías.

Los daños directos son consecuencia de las galerías, que reducen la fotosíntesis, llegando en casos graves al marchitamiento de folíolos y hojas enteras. Como daños indirectos, la zona necrosada de la hoja es fuente de entrada e instalación de hongos patógenos como botrytis y liveillula (Camacho, 2003).



Figura 26. Galerías y picaduras de *L. bryoniae* en hoja de tomate (Nuez, 2001).

Para el control de los minadores se suelen colocar mallas en las bandas del invernadero, eliminar malas hierbas y restos de cultivo, en fuertes ataques, eliminar y destruir las hojas bajas de la planta y colocar trampas cromáticas amarillas. También podemos encontrar especies parasitoides como *Diglyphus sp.*, *Chrysonotomyia Formosa*, *Hemiptarsenus sp.* Algunos productos fitosanitarios utilizados contra el minador son el aceite de parafina y la ciromacina, por ejemplo.

✓ **Orugas (*Heliothis armigera*, *Autographa gamma*, *Chysodeisis chalcites*, *Spodoptera exigua*, *Spodoptera litoralis*)**

Los huevos son depositados en las hojas, preferentemente en el envés, en plastones con un número elevado de especies del género *Spodoptera*, mientras que las demás lo hacen de forma aislada. Los daños son causados por las larvas al alimentarse. En *Spodoptera* y



*Heliothis* la pupa se realiza en el suelo y en *Chrysodeisis chalcites* y *Autographa gamma*, en las hojas. Los daños pueden clasificarse de la siguiente forma: daños ocasionados en la vegetación (*Spodoptera*, *Chrysodeisis*), daños ocasionados en los frutos (*Heliothis* y *Spodoptera*) y daños ocasionados en los tallos (*Heliothis*) que pueden llegar a cegar las plantas.



Figura 27. Planta de tomate cegada por comeduras de oruga. (Sanidad Vegetal de Almería).



Figura 28. Orificios en frutos de tomate por comeduras de oruga. (Sanidad Vegetal de Almería).

Para el control de las orugas colocar mallas en las bandas del invernadero, eliminar malas hierbas y restos de cultivo, en el caso de fuertes ataques, eliminar y destruir las hojas bajas de la planta, colocar trampas de feromonas y trampas de luz y vigilar los primeros estados de desarrollo de los cultivos, en los que se pueden producir daños irreversibles. También se pueden emplear parásitos como *Apanteles plutellae*, *Bacillus thuringiensis subsp. Kurstaaki* ó *Bacillus thuringiensis subsp. Aizawai*. Como productos químicos se pueden usar: azadiractin, etofenprox, indoxacarb, epinosad, etc.

#### ✓ **Nematodos (*Meloidogyne spp*)**

Afectan parcialmente a todos los cultivos hortícolas, produciendo los típicos nódulos en las raíces que le dan el nombre común de “batatilla”. Penetran en las raíces desde el suelo. Producen la obstrucción de vasos e impiden la absorción por las raíces, traduciéndose en un menor desarrollo de la planta y la aparición de síntomas de marchitez en verde en las horas de más calor, clorosis y enanismo. Se distribuyen por rodales o líneas y se transmiten con facilidad por el agua de riego. Además, los nematodos interactúan con otros organismos patógenos, bien de manera activa (como vectores de virus), bien de manera pasiva facilitando la entrada de bacterias y hongos por las heridas que han provocado (Cadenas *et al*, 2003).



**Figura 29. Raíz de tomate afectada por fuerte nodulación debida a *Meloidogyne* sp.**

Para el control de los nematodos se realiza la solarización del suelo previo a la plantación y rotación de cultivos con diferentes especies, utilizar variedades resistentes, desinfectar el suelo en parcelas con ataques anteriores y utilizar plántulas sanas. El hongo *Verticillium chlamydosporium* es un antagonista natural de estos nematodos, el cual se encuentra ampliamente distribuido en el mundo y ha demostrado potencialidades como agente de control biológico. (L. Hidalgo, 2001). Para el control químico se utilizan sustancias como etoprofos, fenamifos, metam sodio, oxamilo, etc.

#### ✓ **Microlepidópteros (*Tuta absoluta*)**

La tuta absoluta u oruga minadora es una plaga devastadora que afecta sobre todo al tomate. Las larvas crean perforaciones de gran tamaño en las hojas, el tallo, los brotes superiores y los frutos tanto verdes como maduros, llegando a provocar pérdidas de hasta el 100% de la cosecha. La tuta absoluta es una plaga que afecta al tomate en numerosos países sudamericanos pero que hasta hace poco no se encontraba presente en Europa. Sin embargo, en 2006 se encontraron los primeros ejemplares de *Tuta* en España. En 2007, se identificó la presencia de la plaga en otros países europeos (Francia e Italia) y mediterráneos (Marruecos, Argelia y Túnez). La oruga minadora del tomate provoca pérdidas considerables en las cosechas de tomate tanto de invernadero como al aire libre ([www.tutaabsoluta.es](http://www.tutaabsoluta.es)).



**Figura 30. Daños producidos en el fruto (izquierda) y en la hoja (derecha) por *Tuta absoluta*.**



Figura 31. Detalle de una larva de *Tuta absoluta* alimentándose en la hoja.

Para el control de tuta debemos tener el invernadero y su entorno directo libre de plantas viejas, frutos y malas hierbas, evitar que los ejemplares adultos penetren en el invernadero, cerrando todas las aperturas de ventilación con malla antitrips, colocar una puerta doble en la entrada del invernadero hace que la incidencia de plaga al entrar y salir de las instalaciones disminuya considerablemente y asegurarse que la planta viene libre de tuta del semillero. ([www.koppert.es](http://www.koppert.es)). Algunos enemigos naturales son los chinches depredadores *Nesidiocoris tenuis* y *Macrolophus caliginosis*, los efectos del insecto *Trichogramma* spp. las feromonas usadas en trampas de agua, atrapan sobre todo adultos macho. Las orugas abandonan las galerías en distintos momentos de su desarrollo, los tratamientos regulares y preventivos con *Bacillus thuringiensis* permiten eliminar a las orugas en esta fase y contribuyen, de este modo, a su control. ([www.koppert.es](http://www.koppert.es)). También se usan plaguicidas a base de spinosad, indoxacarb, flubendiamida, clorantamiliprol, etc.

#### 2.1.6.2. Enfermedades

- ✓ **Bacterias** (*Pseudomonas syringae* pv *tomato*, *Pseudomonas corrugata*, *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* y *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*)

*Pseudomonas syringae* pv *tomato*, también conocida como mancha negra del tomate, es la bacteriosis más frecuente en los cultivos de tomate almeriense. Afecta a todos los órganos aéreos de la planta. Las principales fuentes de infección las constituyen: semillas contaminadas, restos vegetales contaminados y la rizosfera de numerosas plantas silvestres.

*Pseudomonas corrugata*, es la responsable de la médula negra, encontrándose puntualmente en plantas de tallos gruesos, muy vegetativas y muy tiernas.

*Erwinia carotovora* subsp. *Carotovora*, excepcionalmente ataca a nuestros cultivos de tomate, entrando en los troncos por las heridas y produciendo una pudrición blanda y acuosa, pudiendo ocasionar la muerte rápida de la planta.

*Clavibacter michiganensis subsp. Michiganensis*, conocida como la quemadura bacteriana es una enfermedad vascular con síntomas de desecación en hojas con aspecto de quemadura, con marchitamiento en planta y con pardeamiento amarillo en el sistema vascular. Los frutos cerca de la madurez son más sensibles al desprendimiento (Camacho, 2003).

Para evitar la infección se deben eliminar malas hierbas, plantas y frutos enfermos, manejo adecuado de la ventilación y el riego, utilizar semillas sanas o desinfectadas y plántulas sanas y abonado equilibrado. Algunos productos químicos utilizados son el óxido cuproso, oxiclóruo de cobre, sulfato cuprocálcico, etc.

✓ **Hongos de raíz y cuello (*Pythium aphanidermatum*)**

En general el cultivo de tomate en estas zonas no tiene problemas de raíz y cuello. Ocasionalmente *Pythium aphanidermatum* ha producido daños en semillero y en postrasplante, con especial virulencia en los cultivos sin suelo cuando ha habido factores de riesgo (temperaturas extremas, plantas desequilibradas es decir con poca raíz o mucha hoja produciéndose una epirastia reversible en las horas centrales del día, rotura de raíces en el trasplante, etc.). Los síntomas son pardeamiento y estrangulamiento del cuello con caída de la planta y necrosis radicular (Camacho, 2003).

Para el control de la enfermedad hay que trasplantar plantas equilibradas, no “pasadas”, blanquear en caso de plantaciones tempranas, evitar encharcamientos y riegos en horas centrales del día. También se emplean fungicidas como propamocarb, quinazol, metam sodio, metam potasio, etc.

✓ **Fusariosis vascular (*Fusarium oxysporum fsp lycopersici*)**

Comienza con la caída de pecíolos de hojas superiores. Las hojas inferiores amarillean avanzando hacia el ápice y terminan por morir. Puede manifestarse una marchitez en verde de la parte aérea, pudiendo ser reversible. Después se hace permanente y la planta muere. También puede ocurrir que se produzca un amarilleamiento que comienza en las hojas más bajas y que termina por secar la planta (Cadenas *et al*, 2003).



Figura 32. Hoja afectada por fusariosis.



La rotación de cultivos reduce paulatinamente el patógeno en suelos infectados, eliminar las plantas enfermas y los restos de cultivo, utilizar semillas certificadas y plántulas sanas, utilizar variedades resistentes, desinfectar las estructuras y útiles de trabajo y solarizar como control preventivo. Los tratamientos químicos durante el cultivo son ineficaces. Se pueden realizar tratamientos preventivos con: dodina, procloraz, metil tiofanato, etc.

✓ **Mildiu (*Phytophthora infestans*)**

Ataca a la parte aérea de la planta en cualquier etapa de desarrollo. En hojas aparecen manchas irregulares de aspecto aceitoso al principio que rápidamente se necrosan e invaden casi todo el foliolo. Alrededor de la zona afectada se observa un pequeño margen que en presencia de humedad y en el envés aparece un fieltro blancuzco poco patente. En tallo, aparecen manchas pardas que se van agrandando y que suelen circundarlo. Afecta a frutos inmaduros, manifestándose como grandes manchas pardas, vítreas y superficie y contorno irregular. Las infecciones suelen producirse a partir del cáliz, por lo que los síntomas cubren la mitad superior del fruto ([www.sic.gob.hn/portal/agro/infoagro/tomate/](http://www.sic.gob.hn/portal/agro/infoagro/tomate/)).



Figura 33. Síntomas de *P. infestans* en tomate. (Mauricio Lolas, recogida por Sandoval, 2004).

Para el control de la enfermedad eliminar plantas y frutos enfermos, manejo adecuado de la ventilación y el riego y utilizar plántulas sanas. Se utilizan productos fitosanitarios como azoxistrobin, clortalonil, oxiclورو de cobre, etc.

✓ **Podredumbre gris (*Botrytis cinerea*)**

En plántulas produce damping-off. En hojas y flores se producen lesiones pardas. En frutos tiene lugar una podredumbre blanda (más o menos acuosa, según el tejido), en los que se observa el micelio gris del hongo. Las principales fuentes de inóculo las constituyen las conidias y los restos vegetales (Sandoval, 2004).



Figura 34. Podredumbre gris en fruto de tomate y hojas pardas (Sanidad Vegetal de Almería).



Figura 35. Podredumbre gris en tallo de tomate. (Sanidad Vegetal de Almería).

Para el control de la enfermedad, eliminar malas hierbas, restos de cultivo y plantas infectadas, tener especial cuidado en la poda, realizando cortes limpios a ras del tallo y aplicar posteriormente una pasta fungicida, controlar los niveles de nitrógeno y calcio, utilizar cubiertas plásticas en el invernadero que absorban la luz ultravioleta, emplear marcos de plantación adecuados que permitan la aireación, manejo adecuado de la ventilación en bandas y en especial de la cenital y el riego. Además existen preparados biológicos a base de *trichoderma harzianum* o *Bacillus subtilis*. También se utilizan productos químicos como captan, mancozeb, tonazol, etc.

#### ✓ **Podredumbre blanca (*Sclerotinia sclerotiorum*)**

En planta produce una podredumbre blanca acuosa al principio que posteriormente se seca más o menos según la succulencia de los tejidos afectados, cubriéndose de un abundante micelio algodonoso blanco, observándose la presencia de numerosos esclerocios, blancos al principio y negros más tarde. Los ataques al tallo con frecuencia colapsan la panta, que muere con rapidez, observándose los esclerocios en el interior del tallo (Sandoval, 2004).

Para el control se eliminan malas hierbas, restos de cultivo y plantas infectadas, utilizar cubiertas plásticas en el invernadero que absorban la luz ultravioleta, emplear marcos de plantación adecuados que permitan la aireación, manejo adecuado de la ventilación y el riego y solarización. También realizan tratamientos con tebuconazol, ciprodinil, etc.

#### ✓ **Alternariosis (*Alternaria dauci fsp solani*)**

En plántulas produce un chancro negro en el tallo a nivel del suelo. En pleno cultivo las lesiones aparecen tanto en hojas como tallos, frutos y peciolo. En hoja se producen manchas pequeñas circulares o angulares, con marcados anillos concéntricos. En tallo y peciolo se producen lesiones negras alargadas, en las que se puede observar a veces anillos concéntricos.

Los frutos son atacados a partir de las cicatrices del cáliz, provocando lesiones pardo-oscuras ligeramente deprimidas y recubiertas de numerosas esporas del hongo.

Para prevenir la enfermedad eliminar malas hierbas, plantas y frutos enfermos, manejo adecuado de la ventilación y el riego, utilizar semillas sanas o desinfectadas y plántulas sanas y utilizar un abonado equilibrado. También se utiliza el control químico con sustancias como mancozeb, maneb, oxiclóruo de cobre, etc.

#### ✓ **Oidiopsis (*Leveillula taurica*)**

Es el hongo responsable del oidio o la ceniza del tomate. Los síntomas que aparecen son manchas amarillas en el haz que se necrosan por el centro, observándose un feltro blanquecino por el envés. En caso de fuerte ataque la hoja se seca y se desprende (Camacho, 2003).

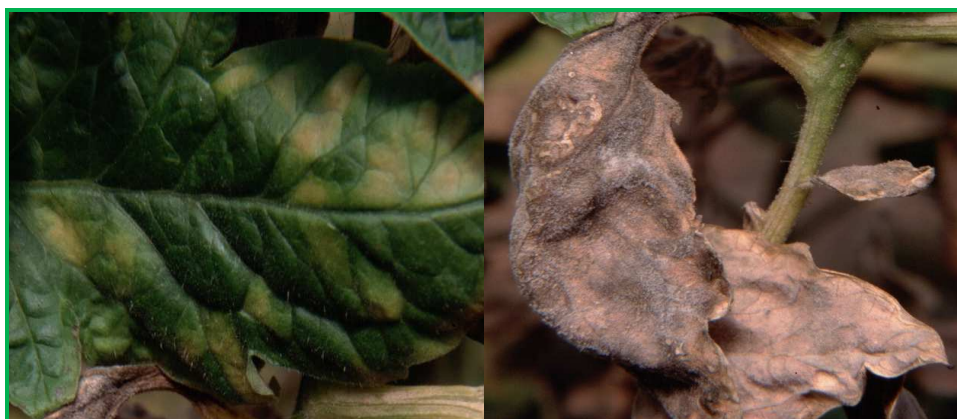


Figura 36. Hoja de tomate afectada por *L. taurina* (Sanidad Vegetal de Almería).

Como medidas de control y prevención se eliminan malas hierbas y restos de cultivo, utilizar plántulas sanas y empleo de azufre para prevenir el ataque. También se utilizan productos químicos como el azufre y el penconazol entre otros.

#### ✓ **Virus del mosaico del tomate ToMV (Tomato Mosaic Virus)**

Pertenece al grupo de los Tobamovirus y existen varias razas. Se transmite por semilla y contacto (transmisión mecánica) y en las variedades actuales comerciales de la zona no manifiesta síntomas por aportar resistencia genética. En variedades sensibles es frecuente encontrar síntomas de mosaico en hojas o necrosis en frutos (Camacho, 2003).

Control: Utilización de variedades resistentes. Utilización de semilla sana en caso de variedades no resistentes (Gutiérrez, 1988).

✓ **Virus del bronceado TSWV (Tomato Spotted Wilt Virus)**

Es transmitido por trips, de forma persistente, apareciendo en nuestra comarca después de aparecer "*Frankliniella occidentalis*", ocasionando fuertes daños en plantaciones de tomate y pimiento (Camacho, 2003).

La enfermedad comienza a manifestarse por un amarillamiento de las nerviaciones, y estrechamiento de los folíolos de las hojas apicales. Las plantas afectadas destacan por el frenado de crecimiento y el achaparramiento. En los frutos maduros destaca la presencia de áreas de color amarillo (R. Rodríguez, J.M. Tabares, 1996).

Control: Eliminación de las plantas enfermas, así como de las malas hierbas que pueden servir de huéspedes del virus y del tisanóptero, así como el control del insecto (Gutiérrez, 1988).

✓ **Virus del mosaico del pepino CMV (Cucumber Mosaic Virus)**

Debido a la gran variabilidad genética, los síntomas producidos por diferentes cepas de virus pueden ser distintos. El síntoma más frecuente es la malformación de las hojas hacia filimorfismo, la lámina foliar de los nervios se ve reducida hasta quedar prácticamente solo los nervios dándole el aspecto típico de hilos, de ahí su nombre. La transmisión por vectores se realiza de forma no persistente, encontrándose más de 60 especies de áfidos (Gutiérrez, 1988).

Control: Utilización de insecticidas para controlar al vector. Eliminación de malas hierbas y utilización de mallas antipulgón en invernaderos (Gutiérrez, 1988).

✓ **Virus del rizado amarillo del tomate TYLCV (Tomato Yellow Leaf Curl Virus)**

El virus es transmitido por la mosca blanca. La transmisión de este virus es exclusiva de esta especie, que lo propaga de forma persistente, de forma que el insecto retiene el virus durante bastante tiempo (máximo 20 días) disminuyendo la infectividad progresivamente durante este periodo. También se transmite, aunque con dificultad, por inoculación mecánica (Consejería de Agricultura y Pesca 2008).

Los síntomas típicos de la enfermedad son visibles transcurrida de dos a tres semanas y dependen de las condiciones ambientales: Brotes con folíolos enrollados hacia el haz, una clorosis marcada en su fase terminal y una reducción del área foliar, redondeándose y abarquillándose, tomando la forma de una cuchara. El peciolo presenta forma helicoidal, disminución progresiva de la lámina foliar, que puede llegar a desaparecer, quedando solo el nervio principal curvado. Pérdida de flores. Falta de cuajado, fruto más pequeño y de color pálido. Una infección temprana provoca una reducción severa del crecimiento de la planta y una disminución en la producción de frutos (R. Rodríguez, J.M. Tabares, 1996).

Control: Utilizar trampas cromáticas (cintas adhesivas de color amarillo) para registrar la presencia de mosca blanca. Colocar mallas en las aberturas laterales, cenitales y puertas. Desinfectar el suelo mediante solarización, antes de realizar la plantación. Proteger los primeros estados vegetativos de las plantas. Retirar y destruir los restos de poda. Usar variedades resistentes y semillas sanas. Arrancar y eliminar inmediatamente las plantas afectadas por el virus y las colindantes, al inicio de los síntomas (Consejería de Agricultura y Pesca, 2008).

✓ **Virus Y de la patata PVY (Potato Virus Y)**

Este virus es transmitido por pulgones de forma no persistente. Las hojas manifiestan un moteado necrótico internervial, apareciendo áreas de color marrón oscuro con muerte de zonas de las hojas (Gutiérrez, 1988).

Control: Colocación de mallas y pulverización de las plantas con aceites minerales especiales reducen la transmisión por vector (Gutiérrez, 1988).

✓ **Virus del enanismo ramificado del tomate TBSV (Tomato Bushy Stunt Virus)**

Los síntomas sistémicos consisten en un rizado de las hojas más jóvenes, proliferación de los tallos laterales dándole un aspecto amatorralado y enano. Las hojas más bajas de estas plantas muestran clorosis y pueden presentar tonos morados. Corrimientos de flor. Los frutos presentan manchas cloróticas o anillos y líneas sinuosas en fruto maduro. La transmisión se realiza por suelo y por el agua de riego (Gutiérrez, 1988).

Control: Existe una mayor o menor resistencia varietal, por lo que es aconsejable utilizar variedades resistentes. Solarización del suelo y fumigaciones con bromuro de metilo reducen la incidencia de la enfermedad (Gutiérrez, 1988).

### **2.1.6.3. Fisiopatías**

✓ **Podredumbre apical (Blossom end rot)**

Comienza con la aparición de lesiones de color tostado claro, que al aumentar de tamaño se oscurecen y se vuelven coriáceas, y que a menudo pueden ser enmascaradas por una podredumbre negra secundaria. Comienza por la zona de la cicatriz pistilar, aunque puede también producirse en alguno de los lados. En ocasiones, se producen lesiones negras internas que no son visibles en el exterior del fruto. En los órganos afectados se produce una disminución en el contenido normal del calcio, debido a una mala translocación del elemento muy ligada al potencial transpiratorio. La pueden provocar situaciones de aumento rápido de la temperatura, altos niveles de transpiración, estrés hídrico y térmico, elevada salinidad de la solución nutritiva, baja humedad durante la noche, crecimiento rápido del fruto, aumento de la

relación  $Mg^{++}/Ca^{++}$ , periodos de baja luminosidad seguidos de alta luminosidad, elevadas temperaturas y humedades relativas bajas. Para reducir su incidencia es aconsejable utilizar variedades resistentes, aplicaciones foliares de calcio, manejo adecuado de la solución nutritiva y evitar cambios bruscos de las condiciones climáticas (Baixauli *et al.*, 2002).

#### ✓ **Tejido blanco interno**

Depende del cultivar y de las condiciones ambientales. Normalmente sólo se producen unas cuantas fibras blancas dispersas por el pericarpio, aunque la formación de tejido blanco se encuentra generalmente en la capa más externa del fruto. En ocasiones, el tejido afectado se extiende desde el centro del fruto. Un estado nutricional adecuado, especialmente en cuanto a potasio, reduce la formación de tejido blanco. Se recomienda evitar condiciones de estrés y emplear cultivares tolerantes.

#### ✓ **Cracking**

Existen dos tipos de rajado de frutos en tomate: el concéntrico y el radial. El agrietado concéntrico consiste en la rotura de la epidermis formando patrones circulares alrededor de la cicatriz peduncular. El agrietado radial consiste en una rotura que irradia desde la cicatriz peduncular hacia la pistilar. Las principales causas de esta enfermedad son los desequilibrios en los riegos y fertilización y la bajada brusca de las temperaturas nocturnas después de un periodo de calor. Los frutos expuestos al ambiente se agrietan más fácilmente que los que se encuentran protegidos por el follaje; esto es debido a las grandes fluctuaciones de temperatura que resultan de la exposición directa a los rayos del sol y que durante los periodos de lluvia, los frutos expuestos al sol se enfrían rápidamente (Dorais, *et al.*, 2003).

#### ✓ **“Catface” o cicatriz leñosa pistilar**

Los tomates con esta fisiopatía carecen normalmente de forma y presentan grandes cicatrices y agujeros en el extremo pistilar del fruto. En ocasiones, el fruto tiene forma arriñonada con largas cicatrices. Una de las causas es el clima frío, la poda también puede incrementar este tipo de deformación bajo ciertas condiciones y los niveles altos de nitrógeno pueden agravar el problema (Dorais, *et al.*, 2003).

#### ✓ **Microcracking**

El microcracking se puede producir en variedades sensibles, en condiciones de alta humedad relativa ambiental en el invernadero. El correcto manejo de la nutrición y el riego evitará oscilaciones bruscas del nivel de humedad en el sustrato y de la conductividad eléctrica (Baixauli *et al.*, 2002).



## **2.2. EL CULTIVO SIN SUELO**

### **2.2.1. Concepto de hidroponía**

Por cultivo sin suelo, se entiende cualquier sistema que no emplea el suelo para su desarrollo, pudiéndose cultivar en una solución nutritiva, o sobre cualquier sustrato con adición de solución nutriente. La terminología es diversa, aunque originalmente la denominación es la de cultivos hidropónicos, que es como coloquialmente más se conoce. Cultivo hidropónico procede de las letras griegas hydro (agua) y ponos (trabajo), literalmente trabajo en agua, este término es conocido mundialmente y únicamente varía la pronunciación (Steiner A., 1968).

Se consideran sistemas de cultivo hidropónico, aquellos que se desarrollan en una solución nutritiva o en sustratos totalmente inertes y a los sistemas que se cultivan en sustratos orgánicos, como cultivo sin suelo (Baixauli, *et al.* 2002).

Desde un punto de vista práctico, los cultivos hidropónicos pueden clasificarse en: cultivo hidropónico (cultivo en agua más nutrientes o sobre materiales inertes) y cultivos en sustrato (cultivo sobre materiales químicamente activos, con capacidad de intercambio catiónico) (Abad y Noguera, 1997).

Por solución nutritiva se entiende, el agua con oxígeno (O<sub>2</sub>) y todos los nutrientes esenciales para las plantas, disueltos en una forma inorgánica completamente disociada, aunque en la solución pueden existir formas orgánicas disueltas, procedentes de los microelementos en forma de quelato (Baixauli, *et al.* 2002).

### **2.2.2. Antecedentes, evolución y perspectivas de futuro**

Ya en el siglo pasado, los cultivos sin suelo se empezaron a utilizar como medio de investigación en fisiología y nutrición vegetal y aún hoy día se siguen empleando con tal fin.

Es en los años 70 cuando los cultivos sin suelo se empiezan a implantar seriamente a nivel comercial, gracias a la aparición de los primeros elementos móviles, como los sacos de turba o el NFT. Sin embargo, en aquella época el nivel tecnológico existente hacía complicado el manejo de los sistemas cerrados, y por ello fueron postergados.

Pero es en los años 80 cuando se produce la auténtica expansión de estos cultivos, gracias a la aparición de sustratos inertes tales como la lana de roca o la perlita que, junto con los avances producidos en instalaciones y automatismos de control, han permitido obtener producciones muy elevadas. Actualmente existen en Europa amplias zonas invernadas de cultivo sin suelo y, en algunas de ellas, estos sistemas superan en superficie a los que aún utilizan el suelo como medio de cultivo (Camacho *et al.*, 2003).

De cara al futuro próximo, el desarrollo de los cultivos sin suelo parece irreversible y continuado. Algunos factores que favorecerán en el futuro el desarrollo de los cultivos sin suelo frente a los de suelo, son los siguientes:

- El aumento de los riesgos de contaminación, infección o degradación del suelo en aquellos cultivos realizados en éste.

- La necesidad de ahorrar agua, que llevará a la recirculación de las soluciones nutritivas para eliminar o, al menos, reducir los drenajes emitidos al medio.

- La obligación, a través de una legislación ambiental restrictiva, de controlar la contaminación del medio ambiente, lo cual conducirá igualmente a la recirculación de las soluciones en cultivos sin suelo (Camacho *et al.*, 2003).

A pesar de todo esto en la actualidad, existen algunos problemas en el uso de sustratos, estos son principalmente de tipo técnico y de tipo económico (Martínez, 1992 y Abad, 1993):

Los problemas de tipo técnicos son los más generalizados en las explotaciones, debido al manejo inadecuado que se le da al sustrato. También hay que tener en cuenta y considerar la dificultad para adaptar la tecnología de los cultivos sin suelo a las instalaciones simples y básicas en las que se basa nuestra producción hortícola.

Dentro de los problemas de tipo económico destacan el precio del sustrato, sobre todo cuando su origen se encuentra a gran distancia de los centros de consumo, el suministro, que a veces puede ser inestable cuando el abastecimiento procede del exterior, y la homogeneidad del mismo, que puede ser variable de un lote a otro sobre todo cuando se trata de sustratos que precisan compostaje.

### **2.2.3. Ventajas e inconvenientes de los cultivos sin suelo**

#### **✓ Ventajas:**

- Se obtiene una óptima relación aire/agua en el sistema radicular de la planta, favoreciendo por tanto el desarrollo del cultivo.

- La nutrición está mucho más controlada que en los sistemas de cultivo en suelo, puesto que no existen interacciones. Se emplea una solución nutritiva directamente o aplicada a un sustrato totalmente inerte, sin actividad química, o sobre sustratos con una baja capacidad de intercambio catiónico.

- En sistemas cerrados, en donde el drenaje es reutilizado, se puede conseguir un ahorro de agua y fertilizantes. Por el hecho de tener controlados dichos drenajes se evita la contaminación de suelos y acuíferos.



- Al emplear en la mayor parte de los casos sustratos totalmente inertes, con ausencia de enfermedades típicas del suelo, convierten al sistema de cultivo sin suelo, como una buena alternativa al empleo de desinfectantes.

- Generalmente se obtiene en los cultivos una buena uniformidad que facilita las labores culturales, como podas, entutorados, etc. Se suprimen los trabajos de incorporación de abonados de fondo, preparaciones de suelo y eliminación de malas hierbas, mejorando en general las condiciones de trabajo.

- Se puede conseguir una mayor precocidad y mayor potencial productivo, debido a que la planta cuando toma la solución nutritiva, consume menos energía para su desarrollo que en los sistemas de cultivo en suelo.

- Generalmente se puede obtener una mejor calidad de cultivo y por lo tanto de producto.

✓ **Inconvenientes:**

- En las instalaciones donde se trabaja a solución perdida, el sistema puede ser contaminante, cuando se evacuan los drenajes al suelo o a una fosa.

- El vertido tanto de sustratos como de plásticos de forma incontrolada, es también contaminante.

- Pueden aparecer, y de hecho aparecen, enfermedades de raíz, por ausencia de mecanismos de defensa en los sustratos.

- El sistema requiere de una mayor precisión en el manejo del riego y la nutrición. En cultivos sin suelo generalmente se trabaja con bajos volúmenes de sustrato, con poca reserva de agua y un error puede traer consecuencias fatales.

- En sustratos se da una menor inercia térmica que en el suelo y los cultivos están más expuestos a los posibles cambios de temperatura ambiental.

- El establecimiento de un cultivo sin suelo, supone un mayor coste de instalación, tanto por los elementos de riego, por la conveniencia de adecuar el cabezal de riego, la adquisición de contenedores y sustratos.

Podemos decir que el sistema es eficaz en la mayor parte de los cultivos hortícolas y en algunos florales en invernadero. La tecnología se está imponiendo principalmente en sistemas de cultivo hortícolas avanzados y con limitaciones de suelo (Baixauli, *et al.* 2002).

#### 2.2.4. Tipos de sustratos

Existen diferentes criterios de clasificación de sustratos, basados en el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación, etc.

Se pueden clasificar los distintos sustratos utilizados en los sistemas de cultivo sin suelo en:

✓ **Sustratos orgánicos**, que al mismo tiempo se pueden dividir en:

- *De origen natural*, entre los que se encuentran las turbas.

- *Subproductos de la actividad agrícola*, la fibra de coco, virutas de madera, paja de cereales, residuos de la industria del corcho, cascarilla de arroz, cáscara de almendra, etc.

- *Productos de síntesis*, entre los que encontramos polímeros no biodegradables, como la espuma de poliuretano y el poliestireno expandido.

✓ **Sustratos inorgánicos**, que podemos subdividir en:

- *De origen natural*, que no requieren de un proceso de manufacturación, entre los que encontramos: la arena, las gravas, las zeolitas y las tierras de origen volcánico.

- *Aquellos que pasan por un proceso de manufacturación*, como son: la lana de roca, la fibra de vidrio, la perlita, la vermiculita, la arcilla expandida, arlita, ladrillo troceado, etc.

La elección de un sustrato u otro va a depender por orden de prioridad: de la disponibilidad del mismo, de las condiciones climáticas, de la finalidad de la producción y especie cultivada, de sus propiedades, del coste, de la experiencia de manejo, homogeneidad, de la dedicación al sistema y de las posibilidades de instalación (Baixauli *et al.*, 2002).

#### 2.2.5. Caracterización de los sustratos

##### 2.2.5.1. Propiedades físicas

Desde el punto de vista físico, un sustrato se caracteriza por tres fases: sólida, líquida y gaseosa, cada una de las cuales tiene una función muy definida frente a la planta.

- La fase sólida constituye el soporte físico del vegetal, dando estabilidad a la planta.

- La fase líquida permite su alimentación en agua y elementos nutritivos.

- La fase gaseosa asegura la oxigenación de las raíces.

El equilibrio entre estas tres fases será determinante para la calidad del sustrato. A un buen sustrato le vamos a pedir un comportamiento similar al de una esponja, es decir, una elevada porosidad, gran capacidad de retención de agua fácilmente disponible, drenaje rápido,

buena aireación, distribución del tamaño de partículas, baja densidad aparente y estabilidad (Baixauli *et al.*, 2002).

En general, las propiedades físicas de un sustrato no pueden predecirse, de forma sencilla, a partir de las características de los materiales que lo conforman, pues éstos varían significativamente de una zona a otra. Además, las mezclas de los distintos materiales producen complejas interacciones que alteran las propiedades físicas de la mezcla final (Ansorena, 1994).

Las características físicas más relevantes son:

✓ **Porosidad total**, es el volumen total del sustrato de cultivo no ocupado por partículas orgánicas o minerales, es decir, el cociente entre el volumen de poros y el volumen total del sustrato que ocupa el contenedor (Burés, 1997; Baixauli *et al.*, 2002 y Urrestarazu *et al.*, 2004).

El valor óptimo de porosidad es superior al 85%, razón por la cual podemos cultivar con volúmenes reducidos de sustrato, dejando un gran volumen disponible al aire y a la solución nutritiva (Baixauli *et al.*, 2002).

El total de poros se mide en microporos, que son los encargados de retener el agua, y los macroporos que permiten la correcta aireación y drenaje del sustrato. La porosidad puede ser:

- Intraparticular (poros en el interior de las partículas), que podrá estar conectada al exterior o cerrada, esta última no será efectiva y se le conoce como porosidad ocluida.

En el caso de la porosidad ocluida, no existe comunicación posible entre los poros del interior de las partículas y los que están en el exterior, entre dichas partículas. En consecuencia los poros internos no influirán sobre la distribución del agua y del aire en el sustrato, siendo su único efecto el proporcionar cierta ligereza a dicho sustrato.

Si la porosidad es abierta, el agua puede circular por el interior de las partículas, pudiendo participar, en consecuencia, en la nutrición hídrica de las plantas.

- Interparticular, poros existentes entre las diferentes partículas.

El conocimiento de la porosidad total no es suficiente para conocer la accesibilidad del líquido a los poros, ya que como hemos comentado anteriormente, los poros formados dentro de las partículas pueden ser ocluidos, por lo que en estos casos es aconsejable hablar de porosidad efectiva que es la que interesa con fines agronómicos (Urrestarazu *et al.*, 2004).

✓ **Capacidad de aireación**, es la proporción de volumen de sustrato de cultivo que contiene aire después de que dicho sustrato ha sido saturado con agua y dejado drenar (tensión de 10cm de columna de agua) (Baixauli *et al.*, 2002).

El valor óptimo se sitúa entre el 20-30%, siendo dicho valor el encargado de suministrar aire y por tanto, oxígeno a las raíces de la planta. Un mismo volumen de sustrato retendrá más agua cuanto menor sea la altura del contenedor, debiendo adecuar la altura al tipo de sustrato empleado (Baixauli *et al.*, 2002).

✓ **Agua fácilmente disponible**, es la diferencia entre la cantidad de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado con agua y dejado drenar a tensión de 10cm de columna de agua y la cantidad de agua presente en dicho sustrato tras una succión de 50cm de columna de agua, es decir, es la succión efectuada por la planta en su alimentación sin necesidad de realizar un gran esfuerzo. El valor óptimo es 20-30% (Baixauli *et al.*, 2002).

✓ **Agua de reserva**, es la cantidad de agua (% de volumen) que libera un sustrato al pasar de 50 a 100cm de columna de agua de desorción. El valor óptimo es del 4-10% (Baixauli *et al.*, 2002 y Urrestarazu *et al.*, 2004).

✓ **Agua total disponible**, viene dada por la suma del agua fácilmente disponible más el agua de reserva. El nivel óptimo se encuentra entre el 24 y el 40% de volumen (Baixauli *et al.*, 2002).

✓ **Agua difícilmente disponible**, es el volumen de agua retenida por el sustrato tras ser sometido a una tensión superior a 100cm de columna de agua. En muchos casos se produce una incapacidad por parte de la planta de extraer el agua del sustrato, pudiendo llegar incluso a mostrar síntomas de marchitez (Baixauli *et al.*, 2002).

La disponibilidad de agua de un sustrato y su relación con las plantas, se explica en la curva de desorción o liberación de agua que se muestra a continuación:

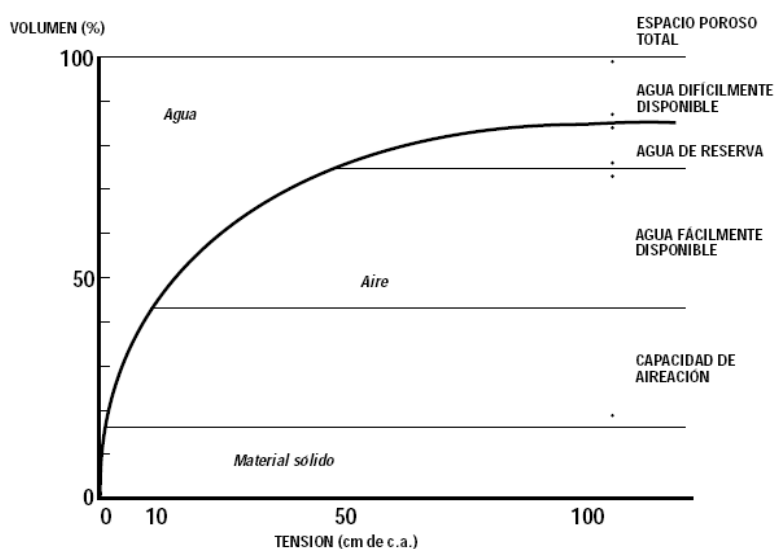


Figura 37. Curva de liberación de agua de un sustrato de cultivo (Baixauli *et al.*, 2002).

✓ **Distribución del tamaño de las partículas**, la porosidad aumenta en la medida que lo hace el tamaño medio de las partículas. Las partículas pequeñas hacen disminuir la porosidad y aumentar la cantidad de agua retenida.

El material más adecuado es el de textura media a gruesa, con distribución de tamaño de poros entre 30 y 300 micras, que retienen suficiente agua fácilmente disponible y posee un adecuado contenido en aire (Baixauli *et al.*, 2002).

✓ **Estructura estable**, que permita una buena durabilidad del material y una manipulación adecuada (Baixauli *et al.*, 2002).

✓ **Densidad aparente**, viene definida como la materia seca en gramos contenida en un centímetro cúbico de medio de cultivo. Los sustratos con valores bajos de densidad aparente son fáciles de manipular (Baixauli *et al.*, 2002).

✓ **Mojabilidad**, algunos materiales orgánicos presentan dificultades para ser humedecidos inicialmente y para ser rehumectados una vez se han secado en el contenedor, lo que puede provocar un retraso y una reducción en el crecimiento de la planta. Las dificultades para mojar un sustrato se atribuyen generalmente a dos causas: la hidrofobicidad del material y la contracción que experimenta al secarse. La mojabilidad se expresa como el tiempo necesario para que se absorban 10ml de agua destilada a través de la superficie de una muestra de sustrato seco a 40°C. El nivel óptimo es igual o inferior a 5 minutos (Urrestarazu *et al.*, 2004).

✓ **Contracción en volumen**, se refiere al porcentaje de pérdida de volumen cuando el sustrato se seca (generalmente a 105 °C referido al volumen aparente inicial en unas determinadas condiciones de humedad (generalmente saturación y drenaje posterior a 10cm tensión de c.a.)). La contracción del volumen facilita la compactación del sustrato y la compresión de las raíces, disminuye la eficiencia del riego y la fertilización, etc.

El nivel óptimo de contracción, expresado como pérdida de volumen, se sitúa por debajo del 30% (Urrestarazu *et al.*, 2004).

#### 2.2.5.2. Propiedades químicas

Las propiedades químicas de los sustratos caracterizan las transferencias de materia entre el sustrato y la solución del sustrato: reacciones de disolución e hidrólisis de los constituyentes minerales, reacciones de intercambio de iones y reacciones de biodegradación de la materia orgánica.

Los materiales orgánicos son los componentes que contribuyen en mayor grado a la química de los sustratos, debido principalmente a la formación y presencia de las sustancias húmicas, el producto final más importante de la descomposición de la materia orgánica (Urrestarazu *et al.*, 2004).

Las características químicas más relevantes son:

✓ **Capacidad de intercambio catiónico. C.I.C.**, se define como la suma de cationes que pueden ser absorbidos por unidad de peso del sustrato, es decir, la capacidad de retener cationes nutrientes e intercambiarlos con la solución acuosa.

El valor óptimo de C.I.C. de los sustratos está estrechamente relacionado con la frecuencia de la fertirrigación. Si la fertirrigación se aplica permanentemente, la capacidad de absorción de los cationes no representa ninguna ventaja, siendo recomendable la utilización de sustratos inertes, con baja o nula C.I.C. Si, por el contrario, la fertirrigación se aplica de forma intermitente, será interesante la utilización de sustratos con moderada a elevada C.I.C. (Urrestarazu *et al.*, 2004).

Una C.I.C. es propia de los sustratos orgánicos. Se expresa en miliequivalentes por unidad de peso o volumen, meq/100g o meq/100cc.

En los actuales sistemas de cultivos sin suelo, en los que la nueva tecnología existente en el riego permite formular de forma cómoda las soluciones nutritivas, suele interesar sustratos con una baja C.I.C., o sea, que sean químicamente inertes o de baja actividad (Baixauli *et al.*, 2002).

✓ **Disponibilidad de nutrientes**, la mayor parte de los sustratos inertes existentes poseen un contenido de nutrientes inicial casi nulo.

Cuando hemos elegido un sustrato orgánico como medio para desarrollar nuestro cultivo sin suelo, será conveniente realizar un análisis del extracto de saturación, para ajustar la solución nutritiva, al menos durante las primeras semanas de cultivo (Baixauli *et al.*, 2002).

✓ **Salinidad**, hace referencia a la concentración de sales existentes en el sustrato cuando es suministrado. En aquellos que son inertes la salinidad es prácticamente nula, en sustratos orgánicos puede tener valores elevados. La podemos determinar a través de una analítica del extracto saturado, para aprovechar dichas sales, si son apropiadas, o proceder al lavado del sustrato empleando agua de riego (Baixauli *et al.*, 2002).

Los valores de la conductividad eléctrica C.E. representan bien la situación de salinidad de un sustrato. A continuación se expresan unos valores orientativos para la C.E. del extracto de saturación (expresados en mS por cm a 20°C), (Bunt 1988 citado por Urrestarazu *et al.*, 2004):

---

❖ Muy bajo .....	< 0,75
❖ Apropiado para germinación de semillas y crecimiento de plántulas .....	0,75-2
❖ Apropiado para la mayoría de las plantas .....	2-3,5
❖ Elevado para la mayoría de las plantas .....	> 3,5

---

Se considera que valores de C.E. superiores a 3,5 mS/cm son excesivamente altos para la mayor parte de cultivos hortícolas.

✓ **pH**, el desarrollo de las plantas se ve reducido en condiciones de acidez o alcalinidad marcada.

El pH influye en la asimilabilidad de las nutrientes por la planta. Con un pH inferior a 5 pueden presentarse deficiencias de nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y con valores superiores a 6,5 se disminuye la asimilabilidad de hierro (Fe), fósforo (P), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), y cobre (Cu).

Los materiales orgánicos presentan mayor capacidad tampón que los inorgánicos y por lo tanto, mayor capacidad para mantener constante el pH.

En general, cuando un sustrato se encuentra fuera de los rangos de pH aconsejados, lo debemos corregir a valores adecuados.

El nivel óptimo aconsejado para el manejo de cultivos sin suelo de hortalizas en la disolución del sustrato se sitúa en valores comprendidos entre 5,5 y 6,8, que es el rango en el que se encuentran de forma asimilable la mayor parte de los nutrientes (Baixauli *et al.*, 2002).

✓ **Capacidad tampón**, la capacidad tampón de un sustrato mide su poder amortiguador sobre cambios rápidos de pH provocados por la adición de fertilizantes de carácter ácido o básico del sustrato. La capacidad tampón de un sustrato aumenta con la capacidad de intercambio catiónico. El poder tampón de los sustratos orgánicos es en general superior al de los sustratos inorgánicos puesto que las sustancias húmicas proporcionan capacidad tampón frente a un rango amplio de pH (Burés, 1997).

✓ **Relación C/N**, es la relación del porcentaje de carbono orgánico y nitrógeno total del sustrato, representando un índice de salud del mismo y de la posibilidad de éste para nutrir a la planta en N en un momento dado. El valor de dicha relación nos da una idea del grado de inmadurez de los sustratos orgánicos y de su estabilidad. Un nivel del orden de 30 puede ser indicativo de la falta de descomposición del sustrato, dando lugar a una inmovilización del nitrógeno de la solución y a una reducción del oxígeno debida a la actividad microbiana. Una relación C/N inferior a 20 es considerada como óptima para cultivo en sustrato, recomendándose un valor en torno a 10-12 (Baixauli *et al.*, 2002).

### 2.2.5.3. Propiedades biológicas

Cualquier actividad biológica en los sustratos es claramente perjudicial. Los microorganismos compiten con la raíz por oxígeno y nutrientes. También pueden degradar el sustrato y empeorar sus características físicas de partida. Generalmente disminuye su

capacidad de aireación, pudiéndose producir asfixia radical. Así las propiedades biológicas de un sustrato se pueden concretar en:

✓ **Velocidad de descomposición**, todos los sustratos orgánicos, incluso los relativamente estables son susceptibles de degradación biológica. El responsable de dicho proceso es la población microbiana, pudiendo resultar finalmente su actividad biológica en deficiencias de oxígeno y nitrógeno, liberación de sustancias fitotóxicas y contracción del sustrato. Así pues, la descomposición de la materia orgánica en los sustratos de cultivo, considerada de un modo global, es desfavorable desde el punto de vista agrícola, debiéndose tomar precauciones con objeto de minimizar sus efectos sobre la planta (Urrestarazu *et al.*, 2004).

✓ **Actividad reguladora del crecimiento**, se conocen determinadas sustancias existentes en los extractos de muchos sustratos orgánicos utilizados en los medios de cultivo de las plantas que tienen un cierto efecto estimulador sobre el crecimiento celular y la iniciación de las raíces (Baixauli *et al.*, 2002).

✓ **Propiedades supresivas**, dificultan o inhiben el crecimiento y/o desarrollo de determinados agentes fitopatógenos, especialmente hongos. Estas propiedades se han encontrado en materiales orgánicos compostados, particularmente cortezas de árboles. Con supresividad a enfermedades inducidas por *Phytophthora*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Pythium*, etc (Urrestarazu *et al.*, 2004).

#### 2.2.6. Características del sustrato ideal

Ante la pregunta ¿existe un sustrato ideal? La respuesta es muy clara, y es “no” ya que el sustrato solo es un elemento más de un complejo agroecosistema.

El mejor medio de cultivo en cada caso variará de acuerdo con numerosos factores:

- Tipo de material vegetal con el que se trabaja (semillas, plantas, estacas, etc.).
- Especie vegetal.
- Condiciones climáticas.
- Tamaño y forma del contenedor.
- Sistemas y programas de riego y fertilización.
- Aspectos económicos.
- Experiencia local en su utilización, etc.

Salvo situaciones extremas, ningún sustrato que cumpla unos requerimientos mínimos puede considerarse inapropiado para el cultivo.



Ya que las plantas responden a las características o propiedades de los sustratos más bien que a los materiales que lo componen, se debe hablar de características "ideales" de los sustratos a utilizar en la producción de plantas en vivero.

Para obtener buenos resultados durante la germinación, el enraizamiento y el crecimiento de las plantas, se requiere las siguientes características del sustrato. (Abad *et al.*, 2004)

✓ **Propiedades físicas:**

- Alta capacidad de retención de agua fácilmente disponible.
- Suministro de aire suficiente.
- Elevada porosidad.
- Distribución del tamaño de las partículas, que mantengan las condiciones anteriores.
- Baja densidad aparente.
- Una estructura estable para impedir la contracción o hinchazón del medio.

✓ **Propiedades químicas:**

- Mínima velocidad de descomposición.
- Baja o moderada capacidad de intercambio catiónico, dependiendo de que la fertirrigación se aplique permanentemente o intermitente, respectivamente.
- Salinidad reducida.
- Suficiente nivel de nutrientes asimilables.
- Alta capacidad tampón y capacidad para mantener constante el pH.

✓ **Otras propiedades:**

- Fácil de preparar y mezclar.
- Libre de semillas de malas hierbas, nematodos, patógenos y sustancias fitotóxicas.
- Reproductividad y disponibilidad.
- Bajo coste.
- Fácil de desinfectar y estabilidad frente a la desinfección.
- Resistencia a cambios externos físicos, químicos y ambientales.
- De manejo conocido.

En conclusión que un sustrato particular proporciona los mejores resultados, realmente quiere decir, que ese sustrato dio los mejores resultados bajo un sistema particular de manejo que prevaleció durante el cultivo. Un cambio en las prácticas de manejo o un cambio en el

medio ambiente, a menudo pueden llegar a proporcionar resultados completamente distintos, por tanto nunca se puede hablar de sustrato “ideal”, ya que es el binomio sustrato-manejo el que determinará el éxito o el fracaso en la utilización de un determinado material como sustrato.

### **2.2.7. La lana de roca**

El cultivo en lana de roca tiene su origen en Dinamarca y posteriormente se desplaza a los Países Bajos, en España, su crecimiento ha sido espectacular en los noventa, aunque se ha visto disminuido a partir de 2005 hasta hoy en beneficio de la fibra de coco (Baixauli *et al.*, 2002).

#### **2.2.7.1. Origen y proceso de fabricación**

La lana de roca es un material fibroso inerte obtenido por la fundición de un 60% de diabasa, 20% de piedra caliza y 20% de carbón de coque, que se introduce en un horno a una temperatura de 1600°C. La masa fundida pasa por unas ruedas giratorias, de donde sale en forma de fibras de aproximadamente 0,005mm de grosor. En el proceso se añaden estabilizantes (resina fenólica: bakelita) y mojantes. Posteriormente la lana se comprime a una temperatura de 260°C y adquiere su forma, en donde se corta en tablas (Baixauli *et al.*, 2004).

El resultado es un medio de cultivo con unas características físico-químicas idóneas para su uso en agricultura. Debido a su proceso de fabricación con altas temperaturas es un producto libre de patógenos y semillas de malas hierbas (inerte), sin reacciones químicas entre la planta, los fertilizantes y el sustrato, que nos altere el equilibrio de la solución nutritiva deseada (Fernández y Cuadrado, 1999).

Las tablas van embolsadas con un polietileno de color blanco exteriormente y negro en el interior, para evitar la proliferación de algas, e impedir la inhibición del desarrollo radicular (Abad *et al.*, 2004).



Figura 38. Tablas de lana de roca.



Figura 39. Detalle de un taco de lana de roca para siembra.

### 2.2.7.2. Composición

Aunque la composición de la lana de roca varía de unos fabricantes a otros, básicamente consta de:

Tabla 11. Composición de la lana de roca.

NOMBRE	CONCENTRACIÓN (%) LANA DE ROCA
Oxido de Silicio	47
Oxido de Calcio	16
Oxido de Aluminio	14
Oxido de Magnesio	10
Oxido de Hierro	8
Oxido de Sodio	2
Oxido de Titanio	1
Oxido de Potasio	1
Oxido de manganeso	1

Fuente: (Centro de Investigación para la horticultura en Francia, publicados en Culture Legumières sur substrats, 1986 y citados por Fernández y Cuadrado, 1999.

### 2.2.7.3. Características

La lana de roca es un sustrato que se caracteriza por tener una estructura física compacta y químicamente inerte.

✓ **Propiedades Físicas**, aunque éstas dependen del grosor de las fibras, su densidad, la cantidad de estabilizante y mojante añadidos, etc. Y esto varía en función del fabricante, puede decirse que en general dichas propiedades son las siguientes:

- Espacio poroso total: hasta el 97%.

- Agua fácilmente disponible: cuando se moja por inversión previo a la plantación, puede alcanzar un valor superior al 70%, pero posteriormente durante el cultivo tiende a descender entre el 50 y el 60% ya que la lana de roca no es capaz de rehumectarse completamente.

- Agua de reserva: entorno al 1%.
- Agua difícilmente disponible: se sitúa entre el 2 y el 4%.
- Capacidad de aireación: del 25-30%. (Camacho *et al.*, 2003)
- Densidad aparente:  $0,08\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

Se trata de un sustrato compacto, por lo que la distribución de la humedad y oxigenación va a depender de la disposición de la fibra y de la altura del sustrato. La altura del sustrato es realmente importante, ya que el gradiente de agua crece de arriba hacia abajo, por lo que la oxigenación es, mayor en la parte superior de la tabla. Esta altura hay que tenerla en cuenta a la hora del manejo del riego y de la apertura del drenaje. En los sustratos de menor altura debemos estar seguros de que no queda agua acumulada dentro, para evitar la asfixia radicular (Fernández y Cuadrado, 1999).

✓ **Propiedades Químicas**, la capacidad de intercambio catiónico es prácticamente nula al igual que su poder tampón, por lo que no es capaz de alterar la composición de la solución nutritiva existente en la rizosfera. Esto en general es una ventaja ya que podemos controlar mejor la nutrición del cultivo. Sin embargo, no se dispone de una reserva de nutrientes en caso de que el aporte no sea el correcto. Es, en definitiva, un sustrato muy técnico.

Por otro lado, la salinidad inicial es despreciable y por tanto no constituye un factor limitante. El pH inicial se sitúa en torno a 8-9, por lo que es necesario dar un riego de saturación con solución nutritiva con el fin de reducir este valor y conseguir que sea óptimo en el momento del trasplante.

En lo que respecta a las alteraciones sufridas por el material, la lana de roca no sufre descomposición por actividad biológica, sino alteraciones mecánicas que consisten básicamente en la compactación de las fibras. La vida útil suele ser de 2 ó 3 años, aunque también se comercializan tablas de un solo año de duración, más económicas y con menos riesgos fitosanitarios (Camacho *et al.*, 2003).

**Tabla 12. Resumen de las características o propiedades más relevantes de la lana de roca.**

PROPIEDADES	LANA DE ROCA
Densidad aparente (g·cm <sup>-3</sup> )	0,08
Porosidad (%)	97%
Capacidad de aireación (% Volumen)	25-30%
Agua fácilmente disponible (% Volumen)	50-60%*
Agua difícilmente disponible (% Volumen)	2-4%
Agua de reserva (% Volumen)	1%
C.I.C. (meq/100g)	0




\* Cuando se moja por inversión previo a la plantación, puede alcanzar un valor superior al 70%, pero posteriormente durante el cultivo tiende a descender entre el 50 y el 60% ya que la lana de roca no es capaz de rehumectarse completamente.

#### 2.2.7.4. Tipos de tablas de lana de roca

En el mercado internacional existe un importante y variado catálogo de tablas adaptadas a cada necesidad.

En la zona sur de Europa se desarrollan las siguientes líneas de tablas cuyas diferencias son la disposición de la fibra, densidad y dimensiones.

**Tabla 13. Presentación comercial de algunas líneas de tablas de lana de roca.**

FIBRA	DIMENSIONES MAS COMUNES (cm)
Crespada 	120x20x7,5
	120x24x7,5
Horizontal 	100x10x10
	100x15x10
	120x20x10
Vertical 	100x15x10
	100x20x8,5

Fuente: Fernández y Cuadrado, 1999.

Normalmente se utilizan tablas cuyas fibras se disponen horizontalmente ya que ello aumenta el cono de sustrato mojado directamente por el emisor y mejora la colonización de la tabla por las raíces. (Camacho *et al.*, 2003). No obstante las tablas de fibra vertical también están teniendo un gran desarrollo en los últimos tiempos ya que permite un mejor ajuste de los niveles de agua, una mejor resaturación de la tabla entre los ciclos de cultivo debido a su alta capilaridad (esto nos va a poder permitir bajar los niveles de humedad en el invierno y poder recuperar la humedad en primavera sin esfuerzos, así como, mantener una correcta relación de humedad día-noche, que nos permita conseguir un menor grado de humedad en el sustrato durante las horas de poca actividad de la planta, siendo importante en cultivos con sensibilidad al encharcamiento), la tabla es mucho más rígida, lo que asegura el uso de la misma varios años sin perder propiedades y disminuye los drenajes, lo que se traduce en un

ahorro de agua y abono. (Fernández y Cuadrado, 1999). Estas pueden tener el inconveniente de acumulación de sales durante el proceso de ascenso capilar en el volumen colindante al cono de humedad (Camacho *et al.*, 2003).

#### **2.2.7.5. Manejo del sustrato: lana de roca**

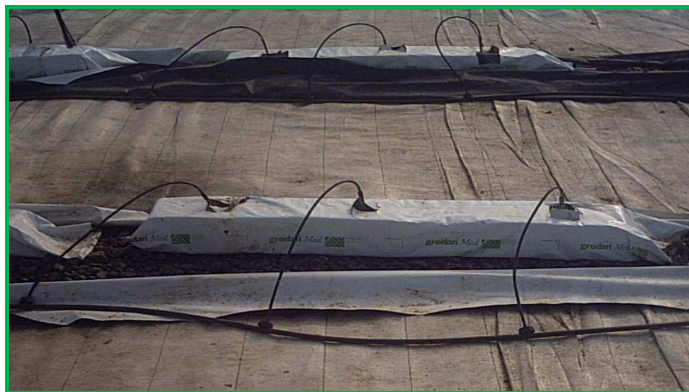
Cuando se introduce el sistema de cultivo sin suelo, una de las primeras labores es la preparación del terreno. Al ser un cultivo fuera del suelo, el terreno no necesita ningún tratamiento previo como abonado de fondo, aportación de estiércol o cualquier otra labor destinada a mejorar su estructura.

El suelo del invernadero debe estar nivelado, el objetivo de esto es conseguir la mayor homogeneidad de CE, pH y humedad dentro del sustrato, evitar drenajes incontrolados en las bolsas y captar luz de forma homogénea en toda la explotación. El suelo que se encuentra debajo de las tablas, se debe de aislar con plástico negro para evitar el franqueo de raíces, evitar la propagación de posibles patógenos existentes en los suelos y evitar acumulaciones de agua en las bolsas.

Una vez que las plantas están colocadas en el terreno, se realizan los agujeros de trasplante, posteriormente, se introducen las piquetas de los goteros en cada uno de los agujeros y se comienza a saturar las tablas con solución nutritiva a un pH y CE deseada para el cultivo (nunca se debe saturar las plantas con agua sola).

Trascurridas 48 horas desde la saturación, se realizará un pequeño orificio en el plástico que cubre a la tabla para que ésta pueda drenar. En cuanto al lugar donde realizar dicho orificio, existe cierta controversia; mientras algunas casas comerciales de lana de roca recomiendan la apertura de los drenajes a 1-2cm de la base de la tabla, en los laterales de la misma, otras, como Cultilène recomienda cortar la bolsa en bisel en el extremo situado a menor distancia coincidiendo con lo dicho por Fernández y Cuadrado, 1999 y Magán, 2000.

El interés de la primera práctica, obedece a la búsqueda de mantener una reserva de agua en la bolsa, mientras que en la segunda práctica se entiende que “es más fácil dar agua que aire y que la saturación favorece las enfermedades” (Vega *et al.*, 2004).



**Figura 40. Tablas de lana de roca preparadas para el trasplante.**

El trasplante se realizará evitando las horas de máximo calor, preferiblemente por la mañana, pero también se puede realizar por la tarde (García, 2000). En la plantación o trasplante, la plántula procedente del semillero que viene sembrada en un taco de lana de roca de 7,5 x 7,5 cm, protegido lateralmente por una lámina de plástico, se coloca directamente sobre la tabla y se sujeta a ésta por la piqueta del gotero correspondiente (Magán, 2000). Una vez conseguido el enraizamiento, se suele sacar un poquito la piqueta del taco, para evitar que las raíces taponen la salida de agua.

Otro tema que genera cierta controversia, es ¿dónde se coloca la piqueta del gotero, en el taco o en la tabla? Por lo general, se recomienda colocar la piqueta sobre la tabla, ya que si se coloca sobre el taco, el cuello de la planta se encontraría continuamente en condiciones de saturación incrementándose las posibilidades de ataques de patógenos.

Finalmente, hay que indicar que la eliminación de los residuos de lana de roca al final de su vida útil, representa un gran problema. El empleo de lana de roca supone al final de su utilización, eliminar entre 60 y 80m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de dicho material. Como la lana de roca no es biodegradable y sus residuos son nocivos para la salud humana (Bénoit, 1990, citado por Marfà, 2000), se han buscado usos alternativos de estos subproductos. Así se puede reciclar transformándola en copos para la fabricación de sustratos para el cultivo de plantas en contenedor (Strojny, 1996, citado por Marfà, 2000) o reutilizándola en la fabricación de aislantes para la construcción, como se ha llevado a cabo en Holanda (Urban, 1997, citado por Marfà, 2000).

#### **2.2.7.6. Reutilización del sustrato: lana de roca**

Los agricultores del litoral almeriense tienden a alargar la vida útil del sustrato basándose en su experiencia y en la información de técnicos y fabricantes para reducir los costes de cultivo, pero no hay criterios claros que les permitan decidir hasta cuándo deben usarlos sin que haya pérdidas productivas (Acuña *et al.*, 2004). La renovación tiene un marcado carácter económico, donde se considera el coste de esta operación y las posibles pérdidas en caso de mantenerlo (Vega y Raya, 2000). En cambio, en Holanda, en general, los agricultores de hortalizas en invernadero suelen renovar los sustratos una vez al año, para evitar gastos de desinfección (Van Oss *et al.*, 2002).

La información sobre la duración del uso de los sustratos hortícolas en el litoral almeriense es escasa y heterogénea. Hay autores que recomiendan renovaciones cada dos o tres cultivos, considerando que no hay una disminución del rendimiento de la calidad durante este periodo de uso (Amma y Cascardo, 1997, citados por Haro, 2003). Otros autores recomiendan renovaciones cada 3 ó 4 años (Sánchez *et al.*, 2001), aunque pueden apreciarse reducciones de producción en las tablas de segundo año. En general, no se recomienda alargar el uso de las tablas más de tres años.

Algunos autores indican la conveniencia de dejar el sustrato viejo bajo el nuevo para, sobre todo, aislarlo térmicamente del suelo (Vega y Raya, 2000).

La información concerniente al efecto de la reutilización de los sustratos sobre sus características físico-químicas es escasa, y la existente hace mención principalmente a sustratos de tipo orgánico y perlita.

El proyecto de investigación coordinado por Bonachela (02/06) "Técnicas de mejora de oxigenación de la rizosfera en cultivos sin suelo y enarenados del litoral mediterráneo" ha incidido, finalmente, en la oxigenación en sustratos nuevos y reutilizados y, concretamente, en lana de roca de primer y tercer uso, y en perlita de primer y quinto uso.

Las conclusiones en este sentido indican que los cambios que se producen en dichos sustratos no afectan en modo alguno a la oxigenación, lo que incide en la conveniencia de la reutilización y, por tanto, en el consiguiente ahorro para los agricultores.

La calidad de un medio de cultivo depende de sus características físicas y de sus propiedades químicas. Generalmente, el sustrato es diseñado para su óptima capacidad de retención de agua y nutrientes, así como variaciones gaseosas. Sin embargo, virtualmente todos los sustratos experimentan cambios físicos y químicos durante su uso. Además los parámetros de los sustratos cambian debido al propio cultivo. Por ejemplo, la porosidad puede disminuir por el incremento de la masa radical (Schröder y Lieth, 2002). En cuanto a la ausencia de enfermedades, hay que decir que la lana de roca se presenta como un medio inerte, libre de patógenos, pero a medida que transcurre el tiempo y las campañas, en el sustrato



reutilizado, se van acumulando restos de las raíces de los cultivos previos, que pueden estar o no contaminados por patógenos que afecten a los cultivos posteriores. Por eso, cuando la incidencia de enfermedades transmitidas a través de la reutilización de los sustratos es importante, la mejor solución es la reposición del sustrato.

Por otro lado, cuando se va a reutilizar el sustrato hay autores que recomiendan mantener su humedad, dando riegos periódicos con agua sin fertilizantes, durante el periodo en el que no hay cultivo para evitar así una excesiva acumulación de sales. Magán (2000), recomienda dar dos riegos semanales de 10 minutos de duración, mientras que García (1999), aconseja dar tres riegos de la misma duración. Sin embargo, otros especialistas no recomiendan esta práctica debido a que las altas temperaturas estivales junto con la humedad del sustrato degradan la lana de roca y empeoran sus propiedades físico-químicas. En este caso será necesario dar varios riegos antes de la próxima plantación para rehumectar y lavar las sales, controlando la conductividad eléctrica de la solución en el interior de la tabla. Incluso se deberán cerrar los orificios de drenaje con el fin de poder saturar el sustrato que deberá alcanzar una humedad mayor del 70% (García, 1999).

Finalmente, cuando se reutiliza un sustrato es conveniente hacer una desinfección con suficiente antelación a la plantación para garantizar un buen estado sanitario. La desinfección puede llevarse a cabo por diversos métodos, pero los más utilizados son la desinfección con productos químicos (hipoclorito sódico, amonio cuaternario, etc.) y mediante vapor de agua. (Haro, 2003).

## **2.3. LA OXIGENACIÓN DE LA RIZOSFERA DE LOS CULTIVOS**

### **2.3.1. Introducción**

La respiración ocurre en las mitocondrias de todas las células vivas (parte aérea y raíces) y se llama respiración mitocondrial u oscura para evitar su confusión con la foto-respiración. La respiración implica la oxigenación de sustratos de carbono a partir de la extracción de electrones e hidrógeno y la liberación de dióxido de carbono.

El funcionamiento del sistema radical requiere un suministro continuo de oxígeno a todas sus células. Un suministro sostenido de oxígeno molecular parece esencial para un crecimiento activo de las raíces (Armstrong, 1979), si bien las raíces de algunas especies pueden funcionar bajo condiciones anaerobias temporales cambiando de formas metabólicas aerobias a anaerobias.

La fuente primaria de oxígeno molecular en las raíces es la atmósfera, desde donde fluye el oxígeno vía difusión hasta las raíces a través de dos posibles vías: a través del medio de cultivo hasta la interfase medio/raíz (rizosfera) y de ahí radialmente hasta la raíz (vía externa),

o bien a través de la parte aérea y longitudinalmente a lo largo de la raíz (vía interna). La vía externa es la más importante), excepto en plantas con estructuras especiales (aerenquima) adaptadas a crecer en medios anaerobios, como el arroz.

El oxígeno se encuentra en los poros de los medios de cultivo tanto en forma gaseosa formando parte del aire, como disuelto en la solución del medio. Las raíces de las plantas, sin embargo, consumen sólo oxígeno disuelto en la solución. El oxígeno de la rizosfera se repone, fundamentalmente, por difusión en el aire entre la atmósfera y los poros de aire del medio de cultivo, y por difusión en el agua entre los poros llenos de aire y los poros llenos de solución del medio de cultivo.

### **2.3.2. Espacio poroso, intercambios aire-agua y difusión de oxígeno en el sustrato**

El oxígeno es transferido hacia las raíces (mediante difusión) a través de la lámina de agua que las rodea. La difusión del oxígeno en el aire es del orden de  $10^4$  veces a la del oxígeno en el agua. Por tanto la reposición del oxígeno en el sustrato depende en gran medida de la porosidad llena de aire del mismo y también de la morfología de la matriz porosa. Pero cuando el agua ocupa la mayor parte del espacio poroso de un sustrato, el agotamiento del oxígeno en la fase líquida y en la fase gaseosa de los microporos tiene lugar de forma exponencial y lleva asociado un aumento de la concentración de  $\text{CO}_2$  y de otros gases, tales como etileno y metano, resultando de las condiciones reductoras del medio, y también se producen alteraciones del pH.

Predominando los fenómenos de difusión sobre los flujos de masa y siendo la reposición del oxígeno lenta.

Un suelo se considera que está compactado cuando la porosidad total, de manera particular la porosidad llena de aire, es tan baja que la aireación se ve restringida, así también por efecto de la compactación, los poros son tan pequeños que la penetración de la raíz es impedida.

En los cultivos sin suelo, el sistema radical está confinado en un contenedor, en donde el volumen de la rizosfera es reducido. Este confinamiento y restricción obliga a usar sustratos, que aseguren la disponibilidad de agua y oxígeno a las raíces, por lo cual tendrán unas propiedades físicas específicas y diferenciadas del resto de los suelos naturales. Complementariamente el fertirriego de los cultivos sin suelo deberá favorecer la disponibilidad de agua y de oxígeno para el sistema radical (Marfà, 1997).

El agotamiento del agua y del oxígeno en el medio de los cultivos sin suelo evoluciona según una escala temporal acelerada, sobre todo, si las tasas transpiratorias y de respiración radical son elevadas. Estas circunstancias propias del clima mediterráneo coinciden además

con demandas evaporativas ambientales elevadas y con temperaturas y/o salinidad elevadas en el medio radical. Por ello, en los cultivos sin suelo de la zona pueden darse cambios bruscos desde situaciones de “confort” a “estrés” hídrico y también en la disponibilidad de oxígeno a nivel de la rizosfera (Marfà, 1998).

Para garantizar contenidos adecuados de aire y de agua, los sustratos deben tener una granulometría tal que el espacio poroso total sea superior al 75% y que el tamaño medio de los poros esté comprendido entre 0,03 y 0,3 mm. (Orozco *et al.*, 1997, citado por Marfà, 1999). Para cumplir con estas condiciones el diámetro geométrico medio de las partículas debe estar comprendido entre 5 y 0,25 mm y la distribución de los tamaños de las partículas debe evitar posibles empaquetamientos que den lugar a una reducción de la porosidad interparticular. Dichas características determinan que los sustratos liberen una considerable cantidad de agua en un invernadero de potencial matricial reducido, entre -1 y -10 kPa. El contenido volumétrico equivalente al agua disponible, debería ser mayor de 30%; pero el volumen de macroporos debe ser suficiente para que el contenido volumétrico lleno de aire a -1 kPa de potencial matricial sea mayor de 20%, para garantizar la correcta oxigenación de raíces. Todas estas relaciones aire-agua dependerán del tipo de sustrato.

Cuando se parte de la saturación del sustrato, el agua retenida por la matriz porosa, no se libera hasta que la succión externa alcanza un valor umbral denominado “potencial de entrada de aire” del sustrato. En sustratos con textura fina o intermedia y en aquellos que presentan empaquetamiento de partículas dicho potencial de entrada puede presentar valores superiores a -1 kPa. Esto refleja la posible existencia de condiciones deficientes de aireación al utilizar contenedores de poca altura, con riegos muy frecuentes o bien cuando el consumo de agua por parte de las raíces es lento. Sustratos como arenas de grano fino o turbas negras pueden ocasionar esta problemática (Marfà y Orozco, 1995).

Dentro de los sustratos se dan condiciones dinámicas y por tanto cambiantes. El flujo de agua y aire en el sustrato o entre el suelo y las raíces depende no sólo del gradiente del potencial matricial del agua o de la concentración de oxígeno, sino que además depende de la capacidad del medio físico de transmitir agua o aire, según su naturaleza y estado de humectación. La capacidad de transmitir agua se llama conductividad hidráulica, y depende de la humedad y la naturaleza intrínseca del sustrato representándose con el denominado índice de tortuosidad ( $\tau$ ), mientras que el inverso es denominado efectividad al flujo de agua ( $\gamma$ ). En cuanto a la fase gaseosa, la difusividad relativa de un gas en un sustrato ( $D_s/D_o$ ), respecto a la difusión del aire, es función del índice de efectividad al flujo del gas ( $\gamma^*$ ), que es inverso a la tortuosidad ( $\tau^*$ ) y función exponencial ( $\mu$ ) de la porosidad llena de aire (AFP) (King *et al.*, 1987; citado por Marfà *et al.*, 1999).

Calculo de la difusividad relativa de un gas en el sustrato:

$$D_s/D_o = \gamma^* \cdot AFP^\mu$$

Bunt (1991), observó que el suministro de oxígeno en el sustrato está determinado principalmente por las características físicas del sustrato y sobre todo por su contenido volumétrico de aire y estimó empíricamente la tasa de difusión de oxígeno (ODR) en los sustratos más comunes mediante la expresión:

$$\text{ODR} = 10 + \text{AFP}^{1,85}$$

Dicha tasa de difusión es aproximadamente igual al cuadrado de la porosidad llena de aire. Es decir que la capacidad de reposición del oxígeno es el espacio poroso de un sustrato varía en razón al cuadrado de APF. Valores de ODR superiores a  $80 \cdot 10^{-8} \text{ gO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$  se consideran adecuados, valores de  $25 \cdot 10^{-8} \text{ gO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$  empiezan a ser limitantes. Puesto que entre el oxígeno de la fase gaseosa del sustrato y el disuelto en la solución del medio de cultivo se establece un equilibrio, las medidas sucesivas del oxígeno disuelto en la solución del sustrato pueden ser un buen indicativo de la dinámica del oxígeno en el mismo (Marfà, 1990; Rivire *et al.*, 1993; Morad, 1995; citado por Marfà *et al.*, 1999).

En sustratos envueltos en una película plástica que dejan una pequeña superficie abierta a la atmósfera, la velocidad con la que el oxígeno de la rizosfera es renovado o tasa de difusión del oxígeno puede verse reducida y el oxígeno en disolución puede bajar por debajo de niveles limitantes, sobre todo si la frecuencia del riego es baja (Adams, 2002).

### **2.3.3. Factores que afectan a la solubilidad del oxígeno en agua**

La cantidad de oxígeno disuelto en agua depende fundamentalmente de las condiciones físicas y ambientales de la misma. Los principales factores físicos que afectan a la solubilidad del oxígeno son la temperatura, la presión parcial de dicho gas, la presión atmosférica, la salinidad del agua, y la superficie del agua expuesta al aire (Molina, 1996; Marfà y Guri, 1999). En condiciones normales (0 °C, 1 atmósfera de presión, y aire no enrarecido de oxígeno) la cantidad máxima de oxígeno disuelto es de 9ppm (Molina, 1996).

La solubilidad disminuye de forma lineal a medida que aumenta la temperatura. (Molina, 1996). La salinidad del agua también influye en la solubilidad del oxígeno, que disminuye cuanto mayor es la salinidad (Margalef, 1991; citado por Molina, 1996; Marfà *et al.*, 1999).

La solubilidad de los gases en líquidos cumple la ley de Henry. La solubilidad de un gas en un líquido es proporcional a la presión parcial de gas (Molina, 1996). La presión atmosférica o barométrica no es constante, sino que varía en función de las condiciones atmosféricas y la altitud. La solubilidad del oxígeno en el agua está relacionada directamente con la presión atmosférica del aire que le rodea. Si la presión del aire, por ejemplo pasa de ser el doble para la misma temperatura, la solubilidad del oxígeno en el aire se duplica (Pauling,

1958, citado por Molina, 1996). A medida que aumenta la altura en relación al nivel del mar, la presión atmosférica se hace menor y, por tanto, disminuye la solubilidad del oxígeno en agua.

Por último, otro de los factores que interviene en la disolución del oxígeno es la superficie de contacto con el ambiente (Molina, 1996; Marfà y Guri, 1999 y Vestergaard, 1984, citado por Schöder y Liethg, 2002). La difusión de oxígeno aumenta cuanto mayor sea la superficie expuesta al aire y la temperatura de la capa superficial del agua.

#### **2.3.4. Relación oxígeno-rizosfera en los cultivos en sustrato**

El oxígeno forma parte de la mayoría de los compuestos orgánicos de las plantas. Solamente unos pocos de estos compuestos orgánicos como por ejemplo el caroteno, no contiene oxígeno. También da lugar al intercambio de aniones entre las raíces y el medio exterior, y es receptor terminal de  $H^+$  en la respiración aerobia (Resh, 2001).

La presencia de una fase gaseosa volumétricamente importante es una característica primordial en un soporte de cultivo. Esta fase gaseosa permite en particular el aprovisionamiento en oxígeno del sistema radical y la evacuación del gas carbónico producido por la respiración de las raíces y de los microorganismos, han demostrado que el sistema radical está siempre más desarrollado en los sitios donde la circulación del aire es más fácil.

Cuando el sustrato está suficientemente aireado, las raíces se agrupan en la parte superior, más rica en aire; mientras que cuando su desarrollo horizontal es impedido por la pared del contenedor, las raíces se desarrollan preferentemente en la interfaz sustrato/pared (Lemaire *et al.*, 2005).

Estudios relativos a la evolución del contenido de oxígeno en la solución de la rizosfera permiten diferenciar tres etapas en las curvas de agotamiento del mismo. En la primera etapa hay un descenso lineal del contenido de oxígeno hasta alcanzar una presión parcial entre el 4 y el 6%; en la segunda etapa, que dura hasta que la presión parcial alcanza el 1%, el descenso es más lento y la tasa respiratoria radical es progresivamente más lenta; finalmente cuando se alcanza una presión parcial alrededor del 1% (presión parcial que coincide con el límite de utilización del oxígeno por parte de la mayoría de las especies hortícolas), se produce una evolución asintótica. (Morad, 1995). Desde la segunda fase, asociada a la hipoxia, aumenta la expulsión de  $CO_2$  por parte de la planta y también aumenta la concentración de etileno en la rizosfera.

La hipoxia, se produce cuando la proporción de oxígeno que entra en el medio de cultivo, procedente de la atmósfera o incorporado por el agua de riego, es menor que la

utilizada en los procesos respiratorios de la parte radical de las plantas, de las bacterias o de otros organismos (Russell, 1997; citado por Molina 1999). Las causas de hipoxia radican por una parte en el propio medio de cultivo y por otra en la planta. En condiciones de anegamiento permanente o estacional, cuando casi todos los espacios porosos están ocupados por agua, el oxígeno atrapado en las bolsas de aire es rápidamente agotado por la respiración de las raíces y los microorganismos. Otra causa es, la compactación mecánica de los sustratos (Russell, 1997 y Querol, 2004), que disminuye la fracción de volumen de huecos y, por consiguiente, aumenta la densidad aparente. Esto se traduce en una reducción de la capacidad de circulación de aire y por tanto en una reducción de la renovación del oxígeno.

Como se ha comentado con anterioridad, la disponibilidad de oxígeno está muy relacionada con la temperatura. La correlación entre ellas es inversa, de forma que en una disolución nutritiva a medida que aumenta la temperatura, disminuye la concentración de oxígeno disuelto, mientras que a la capacidad de difusión del mismo le ocurre el efecto contrario, es decir aumenta a medida que lo hace la temperatura, de manera que, en parte, estos fenómenos se compensan sin llegar a equilibrarse (Schwarz, 1995). Esta razón hace que el valor absoluto de oxígeno en una disolución nutritiva previamente saturada con aire a presión sea menor en las horas centrales donde la temperatura en el cultivo es mayor (Urrestarazu, 2004).

El problema de la baja concentración de oxígeno en la solución nutritiva debido a una elevada temperatura se puede agravar con la presencia de microorganismos en el medio, que compiten con las raíces por el oxígeno. Un aumento de la temperatura, provoca al mismo tiempo, un incremento en la demanda de oxígeno por parte de la microflora (Marfà y Guri, 1999 y Adams, 2002), que se alimentan de los exudados de las raíces de las plantas. De esta manera existe una competición entre la microflora y las raíces por el oxígeno disponible en solución, siendo la microflora el competidor más fuerte (Papadopoulos y Hao, 2002).

### **2.3.5. Efecto de la hipoxia radical sobre el medio de cultivo y el cultivo**

#### **2.3.5.1. Efecto de la hipoxia radical sobre el medio de cultivo**

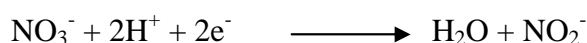
Las raíces pueden consumir el oxígeno disuelto en el agua o soluciones nutritivas hasta su agotamiento. La asfixia se produce progresivamente a medida que el oxígeno existente se va agotando. La aparición de fenómenos fermentativos en sustitución a la respiración aeróbica permite asegurar la producción de energía y mantener el funcionamiento de la vida de las células de las raíces mientras duren los niveles bajos de oxígeno en el medio (Molina, 1996).

Cuando se desarrollan condiciones anaerobias en el medio radical, aparecen numerosos cambios de tipo biológicos, químicos y físicos que pueden afectar potencialmente a las

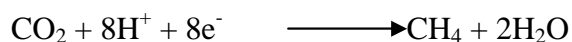
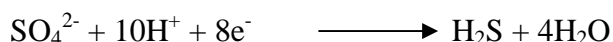
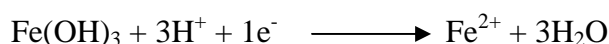
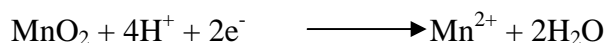
plantas. Los microorganismos, al descomponer la materia orgánica consumen el oxígeno libre disuelto en el agua del suelo mucho más rápido de lo que el oxígeno atmosférico puede infiltrarse dentro de un suelo mojado, provocando así una carencia de oxígeno. Esta carencia de oxígeno generará sustancias tóxicas producidas por los microorganismos y por pérdidas de nutrientes como el nitrógeno soluble de los suelos (ya sea por lixiviación o por desnitrificación), que pueden afectar a la supervivencia o recuperación de las plantas. Toda respiración depende de la transferencia de electrones de un nutriente que es oxidado hasta un receptor que es reducido. En el proceso aeróbico el receptor de electrones es el oxígeno libre (O<sub>2</sub>), que se combina con iones de hidrógeno para formar agua:



En ausencia de oxígeno libre, otras sustancias pueden aceptar electrones y formar parte de una reacción de reducción:



(El NO<sub>2</sub><sup>-</sup> es reducido posteriormente a N<sub>2</sub>O o N<sub>2</sub>)



Se observa, por tanto una pérdida de nitratos en el medio radicular en las formas gaseosas N<sub>2</sub>O o bien del N<sub>2</sub> (desnitrificación) y también la acumulación de sustancias fitotóxicas como el H<sub>2</sub>S y otras concentraciones de iones solubles. Fe<sup>2+</sup> y Mn<sup>2+</sup> (Molina, 1996).

### 2.3.5.2. Efecto de la hipoxia radical sobre el cultivo

La asfixia radicular comprende cambios en la planta de tipo morfológico estructural o fisiológicos metabólicos.

#### ✓ Cambios de tipo morfológico estructural

Las plantas sensibles a los suelos o sustratos anaeróbicos pueden presentar rápidamente síntomas evidentes de afecto no sólo en las raíces sino también en la parte aérea. El primer síntoma por estrés de oxígeno en las raíces conduce al marchitamiento (Schnitzler y Gruda, 2002). Después de una deficiencia prolongada de oxígeno, tiene lugar una clorosis o senescencia prematura y defoliación de las hojas situadas en la parte baja (Schröder *et al.*, 2002) cuyas consecuencias se pueden transmitir a toda la planta. Se produce una disminución



del crecimiento radical, pérdida de peso seco de la parte aérea, acortamiento de entrenudos. (Marfà y Guri, 1999). Las condiciones anaerobias persistentes también pueden provocar cambios adaptativos en algunas especies como puede ser: formación de raíces adventicias para tomar más oxígeno y formación de espacios aéreos intercelulares (parénquimas aéreos) que permiten la aportación de oxígeno desde la parte aérea hasta las raíces (Molina, 1996).

La falta de aireación provoca una reducción de la asimilación total del agua y de la mayoría de los nutrientes (N, P, K, Mg), que en ocasiones puede alcanzar un 30%, según un trabajo realizado por Adams en 1994 sobre un cultivo de tomate (Papadopoulos, 2002), Siendo el P el elemento más afectado y el Mg el menos (Adams, 2002). Todas las respuestas de la planta ante las distintas situaciones de estrés como consecuencia de la falta de oxígeno en el medio radical se traducen en pérdidas sustanciales en la producción (Marfà y Guri, 1996) o incluso la muerte de la planta (Schröder, 2002).

#### ✓ Cambios fisiológicos /metabólicos

El daño sobre las raíces y su incapacidad de funcionar, debido a las cantidades insuficientes de oxígeno, se comunica a la parte aérea mediante vías fisiológicas: los mensajes van encaminados a frenar el crecimiento y pueden comportar cambios en la transferencia de nutrientes, agua y hormonas vegetales (Drew, 1990, citado por Molina, 1996; Marfà *et al.*, 1999). En general todas las respuestas fisiológicas que se producen en la parte aérea son perjudiciales en cuanto a la productividad de los cultivos desde el punto de vista agronómico.

Muchos autores coinciden en que una respuesta habitual por parte de la planta frente a condiciones de hipoxia o anegamiento es el cierre estomático. La acumulación de ABA (ácido abscísico) en las hojas puede producir cierre estomático como respuesta a esas condiciones estresantes (Marfà *et al.*, 1999). El cierre estomático, se produce por el efecto de ABA sobre el ión  $K^+$ , que controla la turgencia de las células oclusivas. No está claro, la fuente de la que procede este ABA, pero en condiciones de hipoxia se observa una acumulación de esta hormona tanto en las hojas como en las raíces (Jackson *et al.*, 1988; Newman y Smit, 1991; Castonguay *et al.*, 1993; y Save *et al.*, 1994, citados por Molina, 1996).

Otras hormonas como las citoquininas y giberelinas también pueden modificar su concentración en el interior de las plantas e intervenir en el cierre estomático, según unos experimentos realizados por Jackson y Kowalewska en 1983 (Molina, 1996) sobre plantas de guisantes. Tanto la producción de giberelinas como la de citoquininas por las raíces, está bastante demostrada, y puede ser que la concentración de ambas hormonas disminuya en el xilema de las raíces y de la parte aérea como consecuencia de las condiciones anaerobias radicales. Según Russel, posiblemente el etileno sea la hormona que aparece más estrechamente asociada a la respuesta de las plantas a suelos anaeróbicos (Russel, 1977 citado por Molina, 1996).



### **2.3.6. Métodos de oxigenación de la rizosfera**

Hay numerosos métodos para mejorar la oxigenación del medio de cultivo. En la actualidad podemos encontrar en diferentes estudios y experimentos realizados, dos métodos o sistemas de oxigenación en cultivos sin suelo. El primero corresponde a un método de carácter físico o mecánico y el segundo se realiza mediante la aplicación de productos químicos; sin embargo ambas metodologías tienen el mismo principio, que es oxigenar la solución nutritiva.

#### **2.3.6.1. Método físico o mecánico**

Los sistemas físicos de aireación consisten en la agitación mecánica de la solución nutritiva, mediante burbujeo continuo o insuflación de aire.

La técnica más usada en investigación es el burbujeo continuo con un compresor. En sistemas recirculantes es posible aumentar la oxigenación provocando un salto del drenaje en el tanque de recogida. Según recomiendan Carrasco e Izquierdo (1996), (citado por Urrestarazu, 2004), el salto debe ser de al menos 50 cm tanto en la caída de retorno de drenaje, como en el agua de relleno para la preparación de la disolución.

Otro método que ha dado buenos resultados en sistemas NFT, es el aprovechamiento del efecto venturi en la cabecera de los inyectores o bien en un *by-pass* en el entorno del tanque (Urrestarazu, 2004).

El método más simple, en los sistemas en los que el aparato radical está inmerso en la disolución nutritiva, es la interrupción del paso de la disolución nutritiva por el canal de cultivo. Se intenta mantener el equilibrio entre la necesaria oxigenación de las raíces mediante el contacto directo con el aire y la necesidad del agua humedeciendo sus raíces para que no sufra estrés hídrico (Urrestarazu, 2004).

Otra técnica de enriquecimiento de oxígeno es la oxifertirrigación, técnica que consiste en la inyección y disolución de oxígeno gaseoso a presión en la tubería del agua de riego por encima de los valores de saturación (Marfà *et al.*, 2004). La oxifertirrigación permite aumentar la concentración de oxígeno en el espacio poroso lleno de aire del sustrato y de la solución, puede ser una técnica complementaria a la fertilización clásica cuando las condiciones técnicas puedan comportar deficiencias en el mantenimiento de una adecuada oxigenación del medio de cultivo.

Estos métodos prácticos pueden ser eficaces cuando se dan condiciones de elevadas tasas de respiración radical, cuando las aguas para el riego contienen poco oxígeno disuelto, por ejemplo cuando su temperatura es elevada (Riviére *et al.*, 1993), en condiciones de baja

evapotranspiración en que es más habitual el encharcamiento del sustrato (Ansorena, 1994) o cuando la salinidad del agua de riego es elevada.

### **2.3.6.2. Método químico**

La aplicación de productos químicos en la disolución nutritiva que mejoran e incrementan la disponibilidad de oxígeno, fue desarrollada con resultados favorables, desde mediados del pasado siglo (Melsted *et al.*, 1949) al aplicar H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en plantas de maíz. También está descrita la ozonización de las soluciones nutritivas, como medio de desinfección de las mismas, dando lugar, adicionalmente, a que las soluciones nutritivas resultantes contengan una elevada concentración de oxígeno (Vanachter *et al.*, 1988).

La aplicación de oxigenantes químicos es una alternativa para los cultivos sensibles a la hipoxia radical. Experimentos realizados por Urrestarazu *et al.* (2005) en pimiento, concluyeron que la aplicación de un oxigenante químico a base de nitrógeno y potasio, mejoró la eficiencia del uso del agua, la absorción de nutrientes y los rendimientos del cultivo.

La aplicación de peróxido de hidrógeno tiene la ventaja que el oxígeno es más soluble en el agua que si se aplica presurizado. Sin embargo, la aplicación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en altas concentraciones puede causar problemas de toxicidad en la planta (Urrestarazu y Mazuela, 2005).

Además del agua oxigenada; actualmente existen en el mercado otras sustancias químicas que permiten la oxigenación de la disolución nutritiva con buenos resultados en la producción de cultivos hortícolas que presentan sensibilidad a la hipoxia. Son comercializados como peróxido de potasio y peróxido de calcio (Walter *et al.*, 2004).

### **2.3.7. Respuesta de los cultivos al enriquecimiento de oxígeno**

El aporte de oxígeno en la solución nutritiva comprende un efecto positivo en el cultivo que no necesariamente se observa en la producción (Couto *et al.*, 2004).

En numerosos experimentos se describe un aumento del área foliar del cultivo. Holtman *et al.* (2004), observaron diferencias crecientes en el área foliar de plantas de pepino al hacerlas crecer bajo distintos niveles de oxígeno, mostrándose la mayor área foliar en aquellas plantas a las que se suministró una solución nutritiva rica en oxígeno disuelto.

Gislerod *et al.* (2004), además de obtener un mayor crecimiento de la parte aérea, observaron un aumento en el número de raíces y en su longitud en el periodo de enraizamiento.

Otros ensayos llevados a cabo por Marfà y Guri (1999) en un cultivo de pimiento, mostraron diferencias significativas en el peso fresco acumulado del fruto durante y al final del ciclo productivo y en el número de frutos cosechados.

En lechuga, obtuvieron mayores índices de cosecha, en términos de peso fresco, cuando se aplicó una solución sobresaturada de oxígeno y en experimentos realizados a escala comercial en un cultivo de pepino, la producción del tratamiento con oxigenación fue un 9.2% superior a la del tratamiento no oxigenado. El uso de un liberador de oxígeno químico, también proporcionó resultados positivos en un cultivo de melón, incrementándose la producción por un mayor número de frutos/m<sup>2</sup>.

En ocasiones, la adición de oxígeno en el medio puede no generar respuesta alguna. Goto *et al.* (1996) no observaron diferencias significativas en los parámetros evaluados (peso seco y peso fresco de raíces y parte aérea) en los distintos tratamientos en un cultivo de lechuga.

Vargas en el 2001, en su trabajo: “Uso de la oxifertirrigación en un cultivo de sandía en sustrato de perlita en un invernadero de El Ejido en Almería”, obtuvo una producción ligeramente superior en el tratamiento con aporte de oxígeno, aunque no llegó a ser estadísticamente significativa. En el resto de los parámetros evaluados (peso fresco, % de materia seca, sólidos solubles, pH, firmeza de pulpa, color, biomasa aérea e índice de cosecha), tampoco hubo diferencias significativas al fertirrigar con una solución nutritiva con concentraciones de oxígeno por encima de la saturación.

Gil en el año 2005, en su trabajo: “Respuesta de un cultivo de melón en sustrato de lana de roca al aumento del oxígeno disuelto en la solución nutritiva y a la reutilización del sustrato”, concluyó que la oxifertirrigación de la solución nutritiva aportada no afectaba ni al crecimiento ni a la producción de biomasa del cultivo, sin embargo afectaba significativamente al número de frutos de melón, y con ello, la productividad comercial y los frutos de primera categoría.

Acuña en el 2007, en su trabajo: “Oxigenación en cultivos hortícolas en sustratos de lana de roca y perlita en el litoral de Almería. Técnicas de mejora y efectos de los sustratos. ”, obtuvo resultados contradictorios; así para los cultivos de melón en lana de roca la producción fue significativamente mayor en aquellos con aplicación de oxígeno que para el control; mientras que para los cultivos de melón en perlita no hubo diferencias significativas de los cultivos con oxigenación respecto al control.

## **Materiales y métodos**

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LOCALIZACIÓN DE LA FINCA

El ensayo se realizó durante la campaña 08/09 en las instalaciones de la Fundación Finca Experimental Universidad de Almería-Anecoop, localizada en el polígono 24, parcela 281 del paraje “Los Goterones”, en el Término Municipal de Almería. Dicha finca cuenta con una superficie de 100000 m<sup>2</sup>, en la que hay construidos 26 módulos de invernaderos, lo que supone una superficie invernada de 48600 metros.



Figura 41. Localización de la Fundación Finca Experimental UAL-ANECOOP.



Figura 42. Vista aérea de la Finca Experimental.



Figura 43. Detalle aéreo de las instalaciones de la Finca UAL-ANECOOP.

### 3.2. SISTEMAS DE RIEGO

Los elementos principales del sistema de fertirrigación o cabezal de riego son básicamente: balsas, filtros, sistema de inyección de fertilizantes (compacto de riego), sistema de distribución de la solución final a los goteros y ordenador de control.

En la siguiente figura se puede observar el esquema general de un sistema de fertiriego.

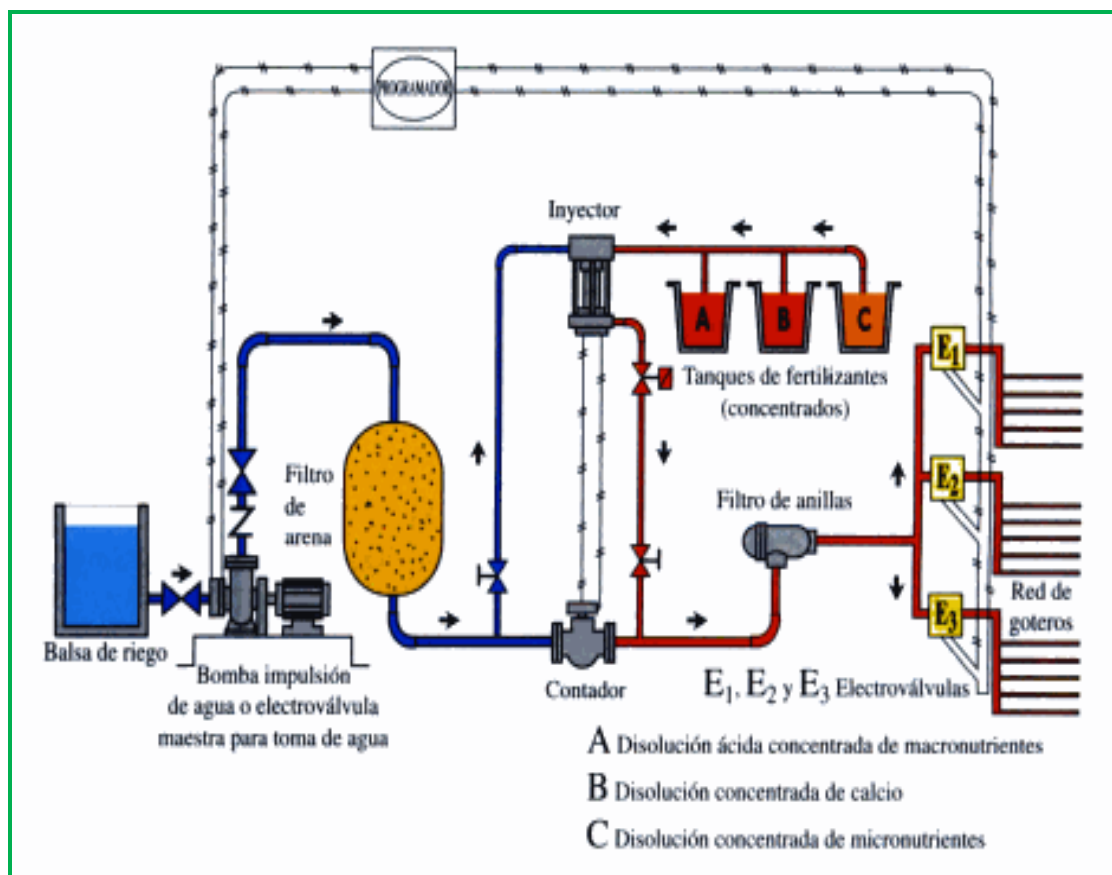


Figura 44. Esquema general del sistema de ferti-riego. (Cadahía, 2005).

#### ✓ Balsas

Se dispone de dos balsas de materiales sueltos y cubierta de polietileno negro con una capacidad de 5000 m<sup>3</sup> cada una de ellas y techadas con geotextil de color negro para evitar pérdidas por evaporación, descomposición y proliferación de algas.

Ambas balsas disponen de una bomba multicelular que bombea el agua hasta el tanque de mezclas situado en el cabezal de riego.



Las características de cada una de las balsas son las siguientes:

- **Balsa 1:** contiene aguas ozonificadas procedentes de la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) de Almería gestionada por la Comunidad de Regantes de Cuatro Vegas.

- **Balsa 2:** almacena aguas de la desaladora de Carboneras gestionada por CUNC (Comunidad de Usuarios de la Comarca de Níjar) y las aguas pluviales que se recogen mediante canaletas en la techumbre de los invernaderos y son reconducidas hasta ella a través de una red de tuberías. Dispone de un variador de velocidad de giro en su bomba que permite mezclar el agua de ambas balsa en función de las preferencias que se tengan en base a un parámetro de conductividad eléctrica del agua.



Figura 45. Detalle de las balsas.      Figura 46. Detalle de las balsas techadas.

El agua, una vez mezclada, pasa por un filtro de arena, antes de llegar al cabezal de riego. Concretamente en estas instalaciones hay dos cabezales de riego, uno para el riego de los invernaderos con suelo “enarenado” y otro para los invernaderos con cultivo hidropónico, dentro de los cuales se encuentra el modulo U1, invernadero donde se llevó a cabo el experimento.

Los volúmenes de riego consumidos se registran mediante dos contadores de volumen situados aguas arriba de los cabezales.



Figura 47. Detalle del filtro de arena.

Figura 48. Detalle de los cabezales de riego.



### ✓ Sistema de inyección de fertilizantes

El agua llega a un tanque de mezclas o compacto de riego con capacidad de 200 L. provisto de una boya para mantener su nivel, sobre este tanque se inyecta la proporción designada de cada uno de los tanques de solución madre que se detallan a continuación:

• Cuatro tanques de 1000 L de capacidad cada uno, para disolver los siguientes fertilizantes:

- Tanque A: sulfato potásico, sulfato magnesico.
- Tanque B: nitrato cálcico y microelementos.
- Tanque C: nitrato.
- Tanque D: ácido fosfórico.

• Un tanque de 1000 L de capacidad, utilizado para el ácido nítrico.

• Un tanque de 500 L de capacidad, para las aportaciones puntuales en caso de carencias.

Para que la proporción de los fertilizantes sea lo más exacta posible se ha incorporado un compacto de riego que consta de seis piezómetros que se encuentran llenos del fertilizante que le corresponda según su tanque. Se dispone de una bomba inyectora por cada piezómetro que inyecta la solución madre de cada tanque a su piezómetro correspondiente, a continuación el ordenador comanda las electroválvulas correspondientes que gobiernan el porcentaje de fertilización final que pasa al tanque de mezcla.



Figura 49. Detalle de los tanques de fertilizantes. Figura 50. Detalle de los piezómetros inyectoros de fertilizantes.

### ✓ Sistema de inyección de oxígeno

Este sistema, consta de un compresor que inyecta aire a presión en la tubería del agua de riego, y de un rotámetro (caudal 1000-1500 L·h<sup>-1</sup>) que mide el caudal de aire inyectado.

El rotámetro consiste en un flotador (indicador) que se mueve libremente dentro de un tubo vertical ligeramente cónico, con el extremo angosto hacia abajo. El fluido entra por la parte inferior del tubo y hace que el flotador suba hasta que el área anular entre él y la pared del tubo sea tal, que la caída de presión de este estrechamiento sea lo suficientemente para equilibrar el peso del flotador. El tubo es de vidrio y lleva grabado una escala lineal, sobre la cual la posición del flotador indica el gasto o caudal.



Figura 51. Detalle del compresor de aire.



Figura 52. Detalle del rotámetro.

### ✓ Sistema de distribución de la solución final a los goteros

La red de distribución está formada por las conducciones y elementos auxiliares que van a llevar la solución nutritiva hasta la planta. Electroválvulas que nos van a permitir sectorizar el riego de forma automática y reguladores de presión que aseguran una distribución homogénea de la presión en las distintas tuberías terciarias.

Una vez aportados los fertilizantes, la solución mezcla final se impulsa mediante una electrobomba de riego de 3 cv. Ésta solución nutritiva, antes de ser conducida y distribuida a los distintos invernaderos, pasa por un filtro de anillas. Este filtrado es fundamental cuando se trabaja con goteros, puesto que el diámetro de paso es tan pequeño que los emisores pueden obturarse con relativa facilidad.



Figura 53. Detalle del filtro de anillas.

Tras el filtrado, la solución nutritiva final es conducida y distribuida a los distintos invernaderos, mediante una red de tuberías de PVC de 60 mm de diámetro. Estas tuberías van enterradas para evitar su degradación por efecto de la radiación solar. Conectada a estas tuberías tendremos las tuberías portarramales, éstas no van enterradas y son de polietileno de 32 mm de diámetro.

Esta distribución nos llevará a las tuberías portagoteros, que son de polietileno de baja densidad con diámetros nominales de 16 mm y a los emisores, que son goteros autocompensantes con un caudal nominal de  $3 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ .

Dentro de cada invernadero hay una electroválvula para cada uno de los sectores de riego.

Este diseño de la instalación, permite una gran uniformidad de riego permitiendo una alta homogeneidad en el reparto de riego y garantizando que todas las plantas reciben la misma cantidad de solución nutritiva.

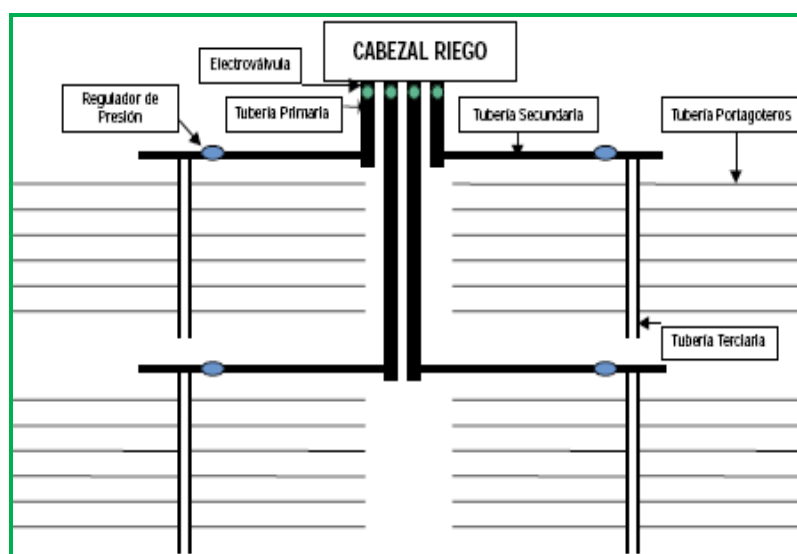


Figura 54. Esquema general de la red de distribución. (Baixauli, 2 002).

### ✓ Ordenador de control

El ordenador de control, situado en una oficina en el interior de la sala de cabezales, controla la fertirrigación de la finca. Permite realizar diferentes sistemas de programación de riego, hora fija, riegos cíclicos, riego por demanda, etc.



Figura 55. Detalle del panel o cuadro de control.

### 3.3. CARACTERÍSTICAS DEL INVERNADERO

El experimento se llevó a cabo en el módulo U1 de la Finca Experimental UAL-ANECOOP. Es un invernadero tipo multitúnel con orientación noroeste-suroeste y con techumbre curvada simétrica.

Está compuesto por 5 túneles de 8 m de ancho y 45 m de largo que dotan al invernadero de una superficie de 1800 m<sup>2</sup>. El arco de cada túnel posee una altura cenital de 5,7 m y una altura en canal de 4,5 m, consiguiendo así una estructura alta que proporciona una mayor inercia ambiental al recinto (temperatura, humedad, composición del aire), las variaciones son más suaves y es posible disponer cómodamente de elementos auxiliares como dobles cubiertas o pantallas.

La cubierta plástica del techo es polietileno térmico tricapa de 800 galgas, de tres años de duración y de color blanco. Sobre el plástico de cubierta hay instaladas unas cintas de poliéster de 4,0 cm de ancho que están montadas de modo cruzado en zig-zag (2 cintas por cada 2,5 m lineales de túnel). Los frontales y laterales están cerrados con malla textil de PE de doble cara.



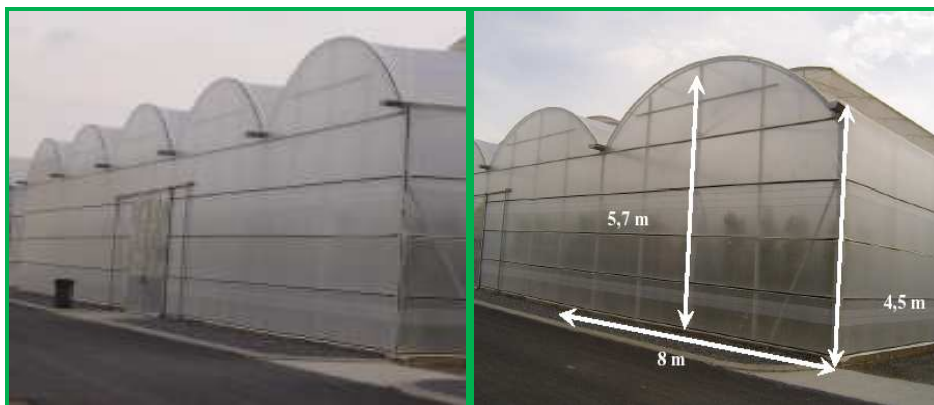


Figura 56. Vista frontal del invernadero U1. Figura 57. Detalle de las dimensiones del invernadero



Figura 58. Estructura interna del invernadero.

El invernadero dispone de un sistema de ventilación pasiva, con cinco ventanas supercentrales de medio arco desplazado de 40 m de longitud y 2,5 m de anchura que dotan al invernadero de una superficie ventilable del 27,7 % y se protegen con malla de 20 x 10 hilos/cm<sup>2</sup> para evitar la entrada de insectos al invernadero. Las ventanas tienen sentido de apertura hacia al norte y hacia el sur, alternativamente.

La apertura y cierre de las ventanas está regulada a través de un automatismo en función de la velocidad y dirección del viento y de la temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero.



Figura 59. Detalle de la ventana supercentral de medio arco desplazado.



Figura 60. Detalle del motoreductor que acciona a apertura y cierre de la ventana.

A la hermeticidad de la estructura multitúnel se le unen dos dobles puertas, con un habitáculo de 7,6 m<sup>2</sup> cada una. Dicho sistema constituye una herramienta más para el control físico de plagas.



**Figura 61. Detalle de la doble puerta.**

El invernadero cuenta con un sistema de cultivo hidropónico sobre lana de roca, donde se utilizaron cuatro tipos distintos de tablas con diferentes dimensiones, densidad de fibras, grosor y orientación.



**Figura 62. Detalle de una de las tablas de lana de roca.**

El módulo también consta de un sistema para medir el drenaje del cultivo, este sistema consta de dos bandejas o estaciones de drenaje (cada una de ellas recoge el drenaje de dos tablas de lana de roca), situadas, una en la parte norte y la otra en la parte sur del invernadero, además consta de sistemas de recogida de drenajes para el almacenamiento posterior de los lixiviados en un aljibe de 100 m<sup>3</sup> de capacidad, que se utiliza para fertilizar el agua de riego de los jardines.

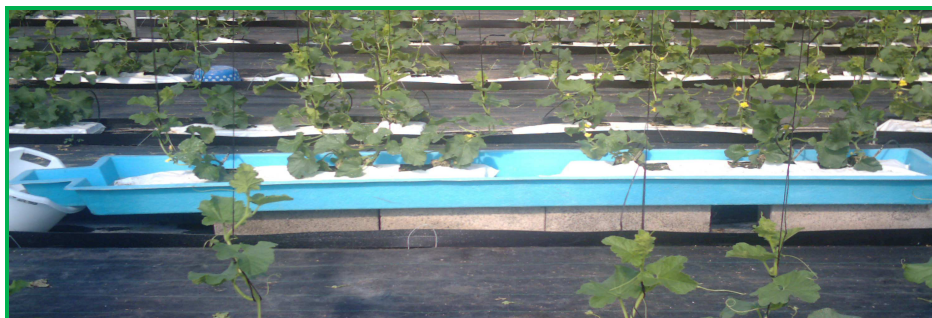


Figura 63. Detalle de las bandejas de drenaje.

### 3.4. MATERIAL VEGETAL

El experimento se realizó en un tomate tipo “mini pera” cv. Santasian, de la casa de semillas ENZA ZADEN. La variedad Santasian se requiere para los mercados más exigentes, su zona de cultivo es España. La planta es productiva, de fácil cuaje en días cortos. Su fruto es de excelente sabor, con un calibre que oscila entre los 15-20g. El trasplante se suele realizar a mediados de Agosto según zonas. Resistencia alta (HR) a **ToMV/Vd/Fol: 0,1/For.**



Figura 64. Detalle de la plántula.

### 3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

#### 3.5.1. Descripción de los tratamientos

El invernadero presentaba cuatro sectores divididos dos a dos por un pasillo central que dejaba dos al norte, con una superficie de 463 m<sup>2</sup> cada uno y dos en la parte sur con una superficie de 378,5 m<sup>2</sup>. En cada uno de los sectores se diferenciaron dos tratamientos: uno con aplicación de oxígeno disuelto a una concentración variable de O<sub>2</sub> y el tratamiento testigo sin aplicación de oxígeno disuelto.

Los factores de variabilidad del experimento fueron dos:

✓ **Oxigenación:** se diferenciaron dos tratamientos uno con aplicación de oxígeno disuelto a una concentración de 8 ppm de O<sub>2</sub> y el tratamiento testigo sin aplicación extra de oxígeno con 5 ppm de O<sub>2</sub> en el agua.

✓ **Tipo de tabla:** se colocaron cuatro tipos de tabla distintos:

- Classic More Year (100 x 15 x 10).
- Easy (100 x 15 x 10).
- Classic More Year (100 x 20 x 7,5).
- Cultilène (100 x 20 x 7,5).

Tabla 14. Parámetros característicos de las distintas tablas de lana de roca utilizadas en el ensayo.

Parámetros	Classic More Year	Easy	Classic More Year	Cultilène
Dimensiones	100 x15 x10	100 x15 x10	100 x20 x7,5	100 x20 x7,5
Tipo de fibras	Horizontal	Vertical	Horizontal	Horizontal
Índice de Saturación (%)	78	81	79	-
Resaturacion (%)	59	59	57	-
Contenido en agua en el tercio superior a C.C (%)	30	23	29	-
Contenido en agua en el tercio inferior a C.C (%)	76	67	75	-
Contenido de agua en el tercio medio a C.C (%)	46	44	46	-
Densidad (kg·m <sup>-3</sup> )	73	57	73	-

Estos dos factores de variabilidad dieron lugar a 8 tratamientos distintos, que con 4 repeticiones por tratamiento (una por cada sector de riego) dan lugar a 32 parcelas elementales distribuidas en bloques divididos.

Las parcelas elementales de los sectores 3 y 4 de la parte sur del invernadero, eran más pequeños que los sectores 1 y 2 de la parte norte del invernadero. Cada parcela elemental del invernadero quedó constituida por 3 líneas de cultivo.

A continuación se detallan los distintos tratamientos:

**T1:** Classic more year (100x15x10 cm) + SIN OXIGENACIÓN

**T2:** Classic more year (100x15x10 cm) + CON OXIGENACIÓN

**T3:** Easy (100x15x10 cm) + SIN OXIGENACIÓN

**T4:** Easy (100x15x10 cm) + CON OXIGENACIÓN



**T5:** Classic more year (100x20x7.5 cm) + SIN OXIGENACIÓN

**T6:** Classic more year (100x20x7.5cm) + CON OXIGENACIÓN

**T7:** Cultiline ( 100x 20x7.5 cm) + SIN OXIGENACIÓN

**T8:** Cultiline ( 100x 20x7.5 cm) + CON OXIGENACIÓN

El modelo que se siguió fue el que se detalla a continuación:

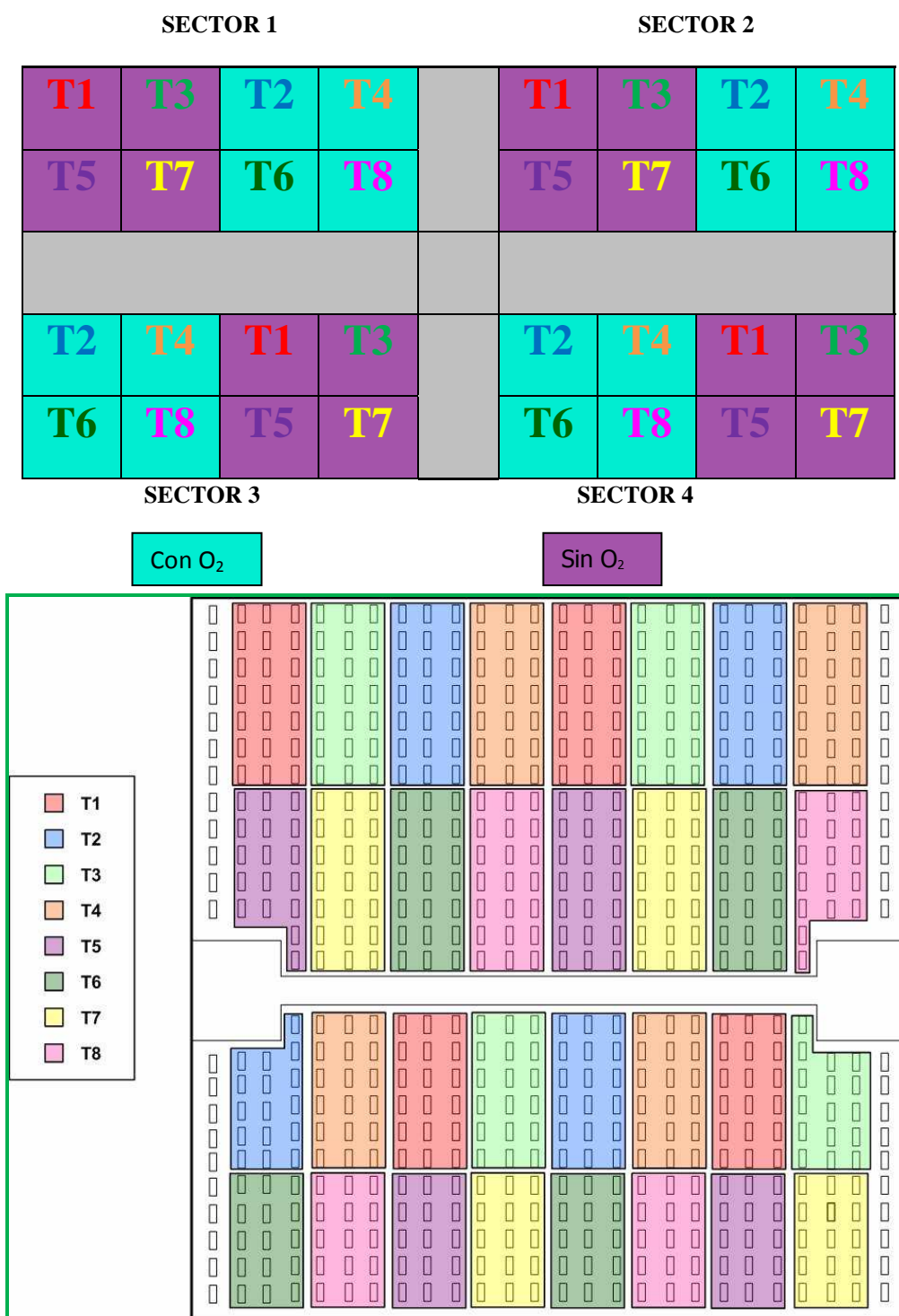


Figura 65. Distribución de los distintos tratamientos en el invernadero de ensayo.

### **3.6. MANEJO DEL CULTIVO**

#### **3.6.1. Labores preparatorias**

Previo al trasplante se procedió a la limpieza del invernadero, el cual tiene una maya geotextil de color negro que evita la proliferación de las malas hierbas.

#### **3.6.2. Trasplante**

El experimento se realizó en un ciclo de cultivo de otoño, con fecha de trasplante el 21 de Agosto de 2008.

Esta tarea consistió en colocar tres tacos de lana de roca, con dos plantas por taco, en cada una de las tablas.



**Figura 66. Detalle del trasplante.**

#### **3.6.3. Tutorado**

El sistema de “entutorado” empleado en el experimento, fue el sistema de “perchas” consistente en colocar hilo de rafia en la zona basal de la planta y enrollarla sobre este, en el otro extremo se encuentra una percha con hilo enrollado que nos permite ir descolgándolo en función a las necesidades, esta percha va sujeta al emparrillado del invernadero.



**Figura 67. Detalle del sistema de perchas y entutorado.**

#### **3.6.4. Destallado**

Esta operación consistió en eliminar todos los brotes auxiliares del tallo principal, permitiendo el crecimiento indefinido de la guía principal hasta su eventual descuelgue.

Esta labor se realizó durante todo el ciclo de cultivo con una periodicidad semanal en el ciclo de verano-otoño y cada 10-15 días en el ciclo de invierno.

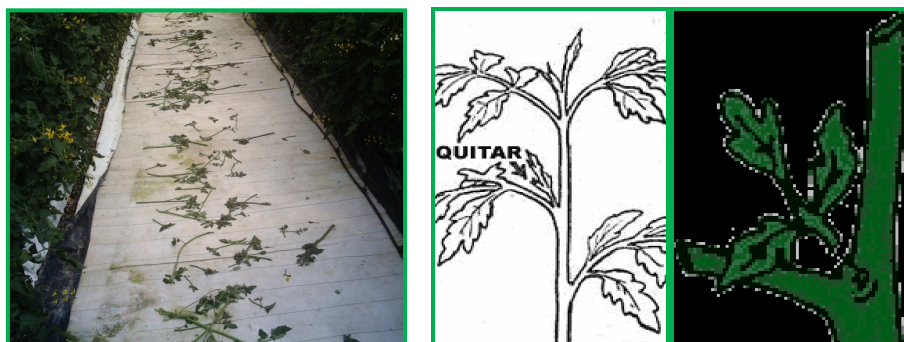


Figura 68. Detalle de los tallos tras el destallado o poda.

#### **3.6.5. Deshojado**

Esta tarea consistió en eliminar las hojas maduras de la parte basal de la planta, con el fin de conseguir una mayor calidad de fruto, principalmente, el color. Con esta tarea también se consigue aumentar la ventilación y la luminosidad en los ramilletes.

#### **3.6.6. Despunte de las plantas**

Esta tarea consistió en despuntar el tallo guía de la planta, con ello se acorta el ciclo de la planta en los cultivares de crecimiento indeterminado, además, se aumenta el tamaño de los frutos.

#### **3.6.7. Limpieza del invernadero**

Esta operación es muy importante para evitar la proliferación de enfermedades, por ello es importante realizar una limpieza de los pasillos cada vez que se realicen las operaciones de destallado, deshojado, etc. Para evitar que haya restos vegetales en las líneas de cultivo.

### 3.6.8. Insectos auxiliares

Para el cuaje de las flores se introdujeron colmenas de abejorros (*Bombus Terrestris*), el abejorro es muy eficiente en la polinización de tomate, sobre todo en invernadero, debido a que son activos a temperaturas bajas y reconocen las flores polinizadas.



Figura 69. Detalle de las colmenas (izquierda), detalle de *Bombus Terrestris* polinizando una flor (derecha).

### 3.6.9. Recolección de frutos

La recolección de los frutos se llevó a cabo de forma manual y periódicamente a lo largo del cultivo. Ésta se realizó directamente desde la mata a la caja de campo con la ayuda de los carros de recolección, separando la producción de cada una de las líneas de cultivo para la posterior toma de datos.

### 3.6.10. Arranque de las plantas

El Cultivo se dió por finalizado el día 16/02/2009 con una duración de 180 días después del trasplante, teniendo lugar el arranque del mismo el día 16/02/2009.

### 3.6.11. Tratamientos fitosanitarios

En el cultivo no hubo ninguna incidencia grave de plagas o enfermedades, los tratamientos fitosanitarios que se realizaron fueron a modo preventivo.

Estudio del comportamiento de distintos tipos de sustratos de lana de roca, en respuesta al aumento de oxígeno disuelto en la solución nutritiva respecto a la producción y calidad de un cultivo de tomate tipo “Cherry pera”

**Tabla 15. Tratamientos fitosanitarios realizados al cultivo.**

TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS					
FECHA	PRODUCTO COMERCIAL	CANTIDAD	DOSIS/m <sup>2</sup>	MATERIA ACTIVA	FUNCIÓN
26/08/2008	KADOSTIM 20	300ml	0.17	Aminoácidos 2%	Bioactivadores de fermentación enzimática
	EXUBERONE	200ml	0.11	Aminoácidos 8,4%	Bioactivadores de fermentación enzimática
29/08/2008	AZUFRIL FLOW	750ml	0.14	Azufre 80% p/v	Fungicida de aplicación foliar
	METILTEC	300g	0.06	Piridaben 20%	Acaricida de aplicación foliar
	TUREX	300g	0.00	<i>Bacillus thuringiensis</i> Aizawai 2,5%	Insecticida biológico
02/09/2008	HECATE 50	500g	0.00	Cobre 50%	Fungicida de aplicación foliar
06/09/2008	AZUFRIL FLOW	900ml	0.17	Azufre 80% p/v	Fungicida de aplicación foliar
	ALIGN	350ml	0.00	Azadiractin 3,2% p/v	Insecticida biológico
	BELTHIRUL	200g	0.00	<i>Bacillus thuringiensis</i> 32% kurstaki	Insecticida biológico
20/09/2008	AZUFRIL FLOW	300ml	0.17	Azufre 80% p/v	Fungicida de aplicación foliar
	METILTEC	100g	0.06	Piridaben 20%	Acaricida de aplicación foliar
10/10/2008	MANCOZEB	1000g	0.28	Dietilditiocarbamato	Fungicida de aplicación foliar
	TAMBORIL	250g	0.07	Tradimenol 25% p/v	Fungicida de aplicación foliar
14/10/2008	TUREX	400g	0.00	<i>Bacillus thuringiensis</i> Aizawai 2,5%	Insecticida biológico
21/10/2008	STEWARD	30g	0.02	Indoxacarb 30%	Insecticida de aplicación foliar
	TUREX	300g	0.00	<i>Bacillus thuringiensis</i> Aizawai 2,5%	Insecticida biológico
23/10/2008	HECATE 50	400g	0.00	Cobre 50%	Fungicida de aplicación foliar
	TUREX	200g	0.00	<i>Bacillus thuringiensis</i> Aizawai 2,5%	Insecticida biológico
20/11/2008	AZUFRIL FLOW	500ml	0.28	Azufre 80% p/v	Fungicida de aplicación foliar
	TAMBORIL	150g	0.08	Tradimenol 25% p/v	Fungicida de aplicación foliar

Fuente: Vademécum de productos fitosanitarios y nutricionales. Carlos De Linán.

### 3.6.12. Resumen de las diferentes labores culturales y tiempo empleado en realizar cada una de ellas

Tabla 16. Resumen del tiempo empleado en la realización de las diferentes labores culturales.

RESUMEN	
LABOR CULTURAL	HORAS
Trasplante	34.30
Poner perchas	35
Entutorado	45
Destallado	328.30
Deshojado	69
Despunte de plantas	15
Limpieza de invernadero	88.30
Recolección de frutos	555.30
Arranque de plantas	7.30
Tratamientos aéreos	49.30

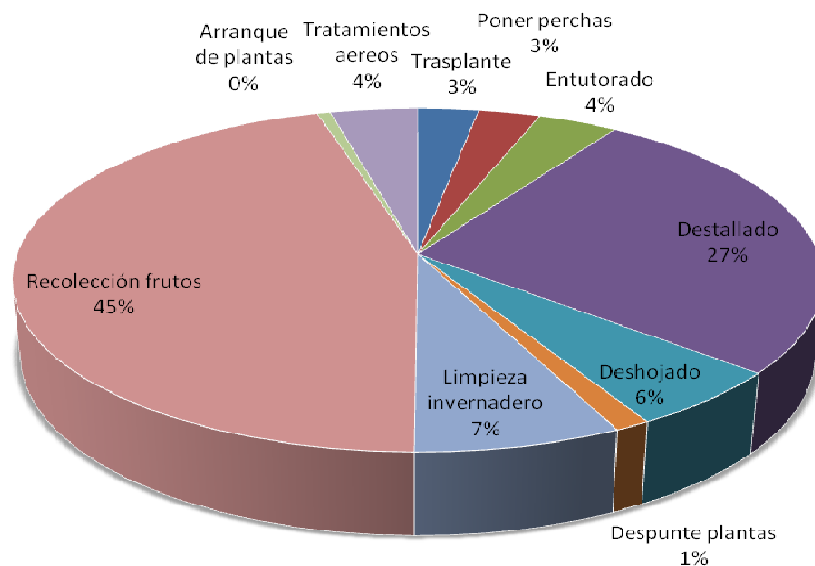


Figura 70. Distribución porcentual del tiempo empleado en las diferentes labores culturales.



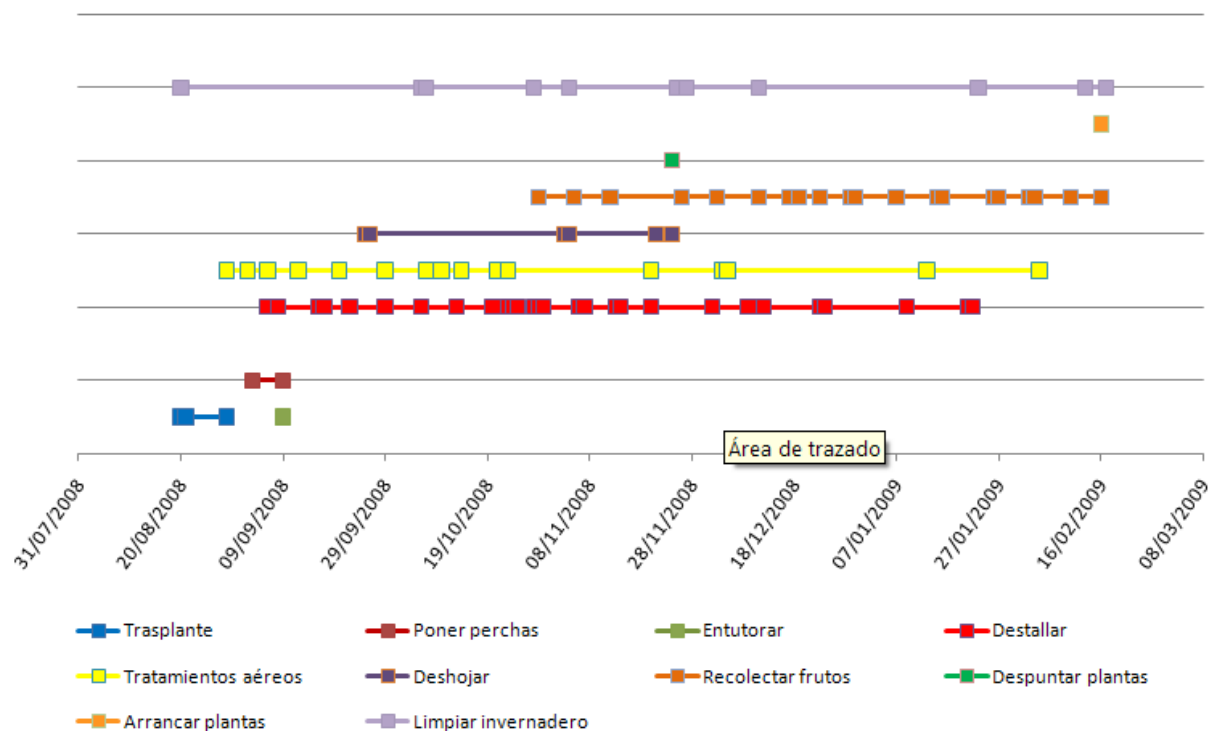


Figura 71. Calendario de labores culturales.

### 3.6.13. Fertirrigación

Las dosis de agua y fertilizantes requeridas por el cultivo fueron aplicadas mediante el sistema de riego localizado, ya descrito en apartados anteriores y bajo la supervisión del ingeniero agrónomo encargado de la finca.

Tabla 17. Cantidad total de fertilizantes aportada al cultivo.

FERTILIZANTE	CANTIDAD (Kg)
Sulfato Potásico (50 % K <sub>2</sub> O; 46 % SO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	259.5
Nitrato Cálxico (14,2 % NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ; 1,3 % NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ; 26 % CaO)	372.4
Nitrato Potásico (13 % NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ; 45 % K <sub>2</sub> O)	319.1
Ácido Nítrico (54 % NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	154.8
Sulfato Magnésico (16% MgO; 31,7% SO <sub>3</sub> )	84.4
Nutrigeo Mix (7 % Fe quelatado con EDTA y EDDHA ; 3,8 % Mn quelatado con EDTA; 0,4 % Cu quelatado con EDTA; 0,6 % Zn quelatado con EDTA; 0,5 % Mo en forma mineral)	7.6

Las cantidades de fertilizante aportadas se hicieron en base a conseguir las soluciones nutritivas que se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 18. Solución nutritiva seguida para la fertilización del cultivo de tomate.

Etapa	MACRONUTRIENTES ( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )					
	$\text{NO}_3^-$	$\text{H}_3\text{PO}_4^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
Hasta aparición de flores	8	2.5	2.5	5	4	2
Fecundación	11	2	2	7.5	6	2
Engrosamiento de frutos	14	1.5	2	8.5	5	2
Maduración	14	1.5	1.5	7	4	2

### 3.7. TOMA DE DATOS

#### 3.7.1. Sobre la cosecha

##### ➤ Toma de datos de producción

De cada parcela elemental se seleccionaron 10 plantas elegidas al azar, de dichas plantas se recogen, se pesan y se cuenta el número de frutos, a continuación se coge una muestra de diez frutos por bolsa, los cuales son pesados y calibrados de forma individual. Finalmente pesamos la producción total de cada una de las parcelas elementales.

La recolección se inició el 22/10/2008 y finalizó el 16/02/2009, el mismo día de la retirada del cultivo, se realizaron un total de diecisiete recolecciones, midiéndose los parámetros en cada una de las recolecciones.

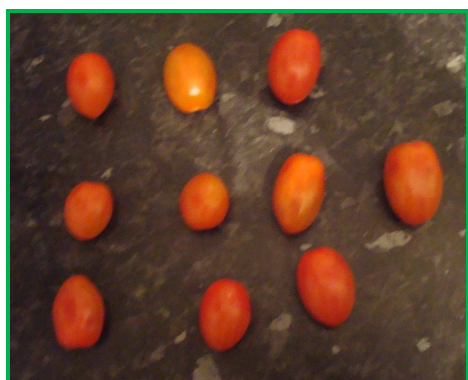


Figura 72. Detalle de los frutos de la muestra.



Figura 73. Detalle de la medida del calibre del fruto.



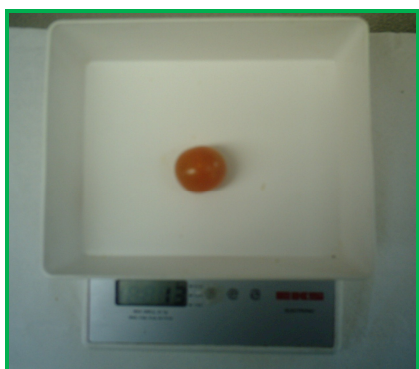


Figura 74. Detalle del peso del fruto.



Figura 75. Detalle del peso de las cajas de las parcelas elementales.

✓ **Parámetros a evaluar**

- $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ .
- kg/planta.
- nº frutos/ $\text{m}^2$ .
- nº frutos/planta.

✓ **Materiales utilizados**

- Báscula EKS, Max: 2kg, precisión = 1g.
- Báscula EKS premium, Max: 40kg, precision = 10g.
- Calibre electrónico, Stainless Hardened que mide de 0 a 150 mm, sensibilidad = 0,01mm.

➤ **Toma de datos de calidad**

La toma de datos de calidad se realizará sobre los diez frutos seleccionados para la toma de datos de producción. Se medirá el pH y los °Brix de cada fruto. De las diecisiete recolecciones se midieron estos parámetros en seis recolecciones realizadas los días: 05/11/2008, 19/11/2008, 03/12/2008, 17/12/2008, 30/12/2008 y 16/01/2009.

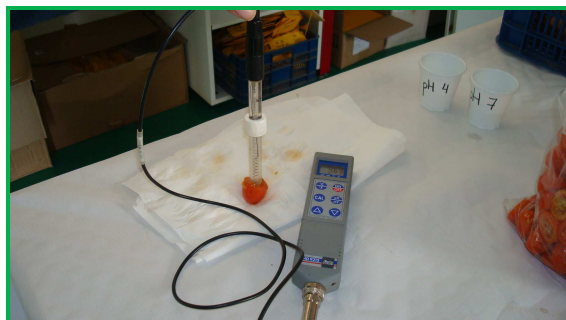


Figura 76. Detalle de la medida de pH del fruto.



Figura 77. Detalle de un refractómetro.

✓ **Parámetros a evaluar**

- Peso medio del fruto (g).
- Distribución porcentual de calibres (mm).
- pH.
- °Brix.

✓ **Materiales utilizados**

- pH-metro, modelo Delta OHM HD9212, sensibilidad = 1°.
- Refractómetro, modelo Miliwaukee MR32ATC, mide °Brix entre 0 y 32%, sensibilidad = 0,2.

### 3.7.2. Sobre la planta

De cada parcela elemental se seleccionaron al azar 4 plantas, en las cuales se midió la longitud del tallo y los diámetros basal, central y apical del mismo, número de nudos y número de ramos. Estas medidas se tomaron únicamente el último día del cultivo, 16/02/2009.



Figura 78. Detalle de la medida del diámetro de la planta.



Figura 79. Detalle de la medida de la longitud de la planta.

✓ **Parámetros a evaluar**

- Longitud del tallo (m).
- Diámetro basal, central y apical del tallo (mm).
- N° de nudos.
- N° de ramos.

✓ **Materiales utilizados**

- Cinta métrica, sensibilidad 2mm.
- Calibre electrónico, Stainless Hardened que mide de 0 a 150mm, sensibilidad = 0,01mm.

### **3.8. PROCESADO DE DATOS**

La toma de datos se realizó sobre estadillos previamente diseñados. Los datos tomados en campo y en laboratorio fueron clasificados y almacenados en una hoja de cálculo mediante la utilización del programa Microsoft Office Excel.

Para el análisis de los datos se ha utilizado el paquete estadístico Statgraphics plus V. 4.0 para Windows. Realizando análisis de la varianza y test de mínimas diferencias significativas mediante el método LSD para un valor de probabilidad del 95%.

## **Resultados y discursión**

## 4. RESULTADOS Y DISCURSIÓN

### 4.1. PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO

#### 4.1.1. Producción por superficie ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ )

En la tabla 19 se muestran los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del parámetro producción por metro cuadrado en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian a lo largo de un ciclo corto de cultivo (otoño-invierno), durante la campaña 08/09, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

Respecto al factor tipo de tabla, en los primeros días no se observan diferencias significativas, pero conforme avanza el cultivo empezamos a tener diferencias significativas entre los diferentes tipos de lana de roca. A partir de la cuarta recolección (d.d.t. 84) las tablas Easy empiezan a diferenciarse mostrando los peores resultados. Al final del cultivo podemos observar que no se aprecian diferencias significativas entre las tablas Easy y las tablas Classic More Year (100x15x10) aunque siguen siendo las Easy las de peores resultados. Las tablas Classic More Year (100x20x7.5) han sido las que mejor resultado han dado diferenciándose del resto a partir del d.d.t. 84 y obteniendo al final una producción de  $6.2 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , esto supone  $0.68 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$  más que las tablas Easy. Las tablas Cultilene nos arrojan diferencias significativas a lo largo del cultivo llegando al final de éste a colocarse en un lugar intermedio entre las Classic More Year(100x15x10) y las Classic More Year (100x20x7.5).

En el ensayo realizado por Sánchez (2008), “Evaluación de un sistema de oxigenación del agua de riego sobre un cultivo de tomate cherry (*Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiforme*) en varios tipos de sustrato de lana de roca”, no se aprecian diferencias significativas entre las distintas tablas en ninguno de los días evaluados, aunque de forma general se obtuvo una mejor producción por metro cuadrado para las tablas Classic More Year (100x20x7.5) y Cultilene (100x20x7.5), seguidas de las tablas Easy (100x15x10) y por último la Classic More Year (100x15x10).

En cuanto al factor oxigenación, no se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tratamientos en ninguno de los días evaluados, obteniéndose valores de producción muy similares, en el tratamiento con oxigenación se obtuvo una producción de  $5.82 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  y en el tratamiento con oxigenación fue de  $5.81 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Sánchez (2008) en el estudio realizado sobre la oxigenación en tablas de lana de roca en un cultivo de tomate. En dicho estudio tampoco aparecieron diferencias significativas en ninguno de los días evaluados entre ambos tratamientos. Así, también coinciden con Acuña en el 2007, en su trabajo: “Oxigenación en cultivos hortícolas en sustratos de lana de roca y perlita en el litoral de Almería. Técnicas de mejora y efectos de los sustratos” y con Vargas en el 2001, en su trabajo: “Uso de la

oxifertirrigación en un cultivo de sandía en sustrato de perlita en un invernadero de El Ejido en Almería”

**Tabla 19. Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre la producción total (kg·m<sup>-2</sup>) en un cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.**

<b>DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)</b>									
<b>TIPO DE TABLA</b>	<b>63</b>	<b>70</b>	<b>77</b>	<b>84</b>	<b>91</b>	<b>98</b>	<b>105</b>	<b>113</b>	<b>119</b>
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	0.03 a	0.12 a	0.32 a	0.51 a	0.81 a	1.26 b	1.62 a	2.05 a	2.31 a
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	0.03 a	0.13 a	0.31 a	0.54 a	0.87 a	1.35 a	1.72 a	2.17 a	2.45 a
EASY (100X15X10) FV	0.03 a	0.28 a	0.28 a	0.45 b	0.71 b	1.11 c	1.45 b	1.84 b	2.10 b
CULTILENE (100X20X7.5) FH	0.03 a	0.30 a	0.30 a	0.52 a	0.86 a	1.30 ab	1.67 a	2.09 a	2.34 a
p-valor	0.8591	0.6928	0.3700	0.0119	0.0001	0.0001	0.0006	0.0004	0.0010
<b>OXIGENACIÓN</b>									
CON OXIGENACIÓN	0.03 a	0.13 a	0.30 a	0.51 a	0.81 a	1.25 a	1.61 a	2.03 a	2.29 a
SIN OXIGENACIÓN	0.03 a	0.12 a	0.30 a	0.50 a	0.81 a	1.25 a	1.62 a	2.04 a	2.31 a
p-valor	0.1565	0.4417	0.6607	0.6267	0.9843	1.0000	0.7402	0.8856	0.7481
<b>DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)</b>									
<b>TIPO DE TABLA</b>	<b>125</b>	<b>132</b>	<b>140</b>	<b>149</b>	<b>159</b>	<b>167</b>	<b>174</b>	<b>180</b>	
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	2.71 a	3.17 bc	3.66 b	4.07 ab	4.72 ab	5.17 ab	5.54 b	5.73 b	
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	2.88 a	3.39 a	3.93 a	4.36 a	5.02 a	5.53 a	5.98 a	6.20 a	
EASY (100X15X10) FV	2.50 b	2.99 c	3.49 b	3.88 b	4.48 b	4.96 b	5.33 b	5.52 b	
CULTILENE (100X20X7.5) FH	2.76 a	3.22 ab	3.73 ab	4.11 ab	4.74 ab	5.21 ab	5.60 ab	5.80 ab	
p-valor	0.0032	0.0108	0.0185	0.0429	0.0534	0.0516	0.0272	0.0236	
<b>OXIGENACIÓN</b>									
CON OXIGENACIÓN	2071 a	3.19 a	3.70 a	4.12 a	4.75 a	5.23 a	5.62 a	5.82 a	
SIN OXIGENACIÓN	2.72 a	3.19 a	3.70 a	4.09 a	4.73 a	5.20 a	5.61 a	5.81 a	
p-valor	0.9089	0.9893	1.000	0.8310	0.8946	0.8285	0.9358	0.9299	

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para p<0,05. FH: Fibra Horizontal; FV: Fibra Vertical.

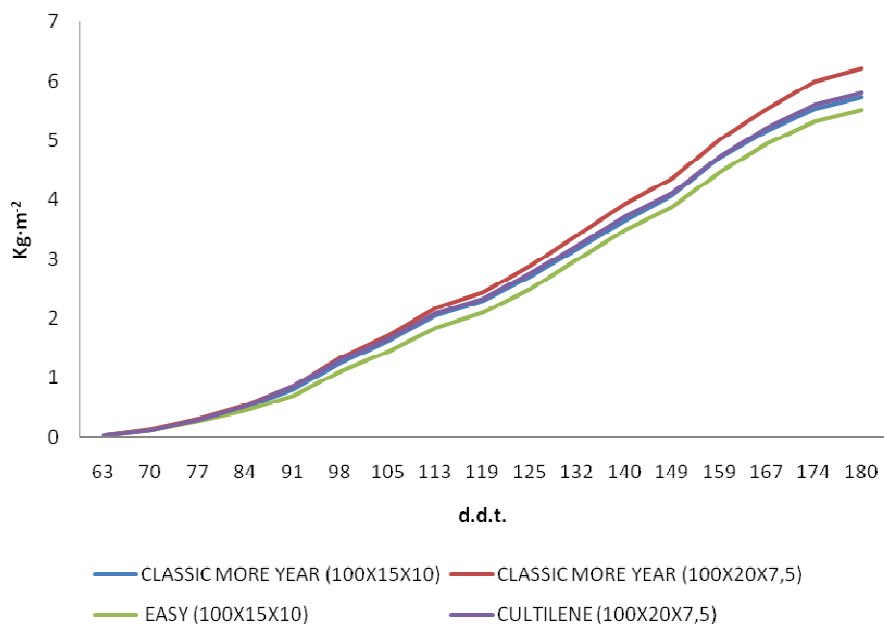


Figura 80. Efecto del factor tipo de tabla sobre la producción total ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

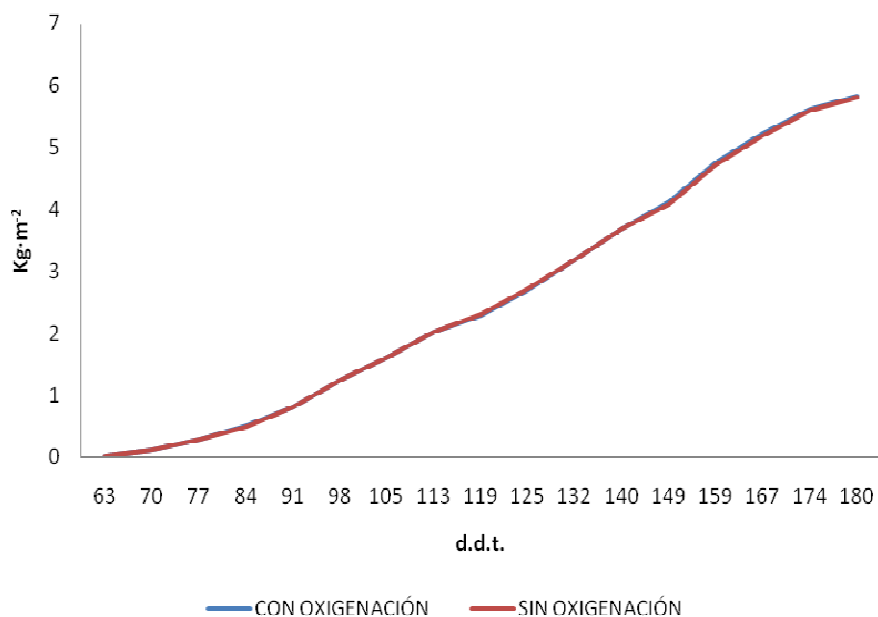


Figura 81. Efecto del factor oxigenación sobre la producción total ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

#### 4.1.2. Producción por planta (kg/planta)

En la tabla 20 se muestran los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del parámetro producción por planta en cultivo de tomate cherry pera c.v. Santasian a lo largo de un ciclo corto de cultivo (otoño-invierno), durante la campaña 08/09, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.



**Tabla 20. Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre la producción total (kg/planta) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.**

<b>DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)</b>									
<b>TIPO DE TABLA</b>	<b>63</b>	<b>70</b>	<b>77</b>	<b>84</b>	<b>91</b>	<b>98</b>	<b>105</b>	<b>113</b>	<b>119</b>
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	0.01 a	0.05 a	0.13 a	0.21 a	0.34 a	0.52 b	0.67 a	0.85 a	0.96 a
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	0.01 a	0.05 a	0.13 a	0.22 a	0.36 a	0.56 a	0.71 a	0.90 a	1.02 a
EASY (100X15X10) FV	0.01 a	0.05 a	0.11 a	0.19 b	0.29 b	0.46 c	0.60 b	0.77 b	0.87 b
CULTILENE (100X20X7.5) FH	0.01 a	0.05 a	0.12 a	0.21 a	0.36 a	0.54 ab	0.69 a	0.87 a	0.97 a
p-valor	0.6941	0.5833	0.3708	0.0143	0.0001	0.0001	0.0006	0.0004	0.0010
<b>OXIGENACIÓN</b>									
CON OXIGENACIÓN	0.01 a	0.05 a	0.13 a	0.21 a	0.34 a	0.52 a	0.67 a	0.84 a	0.95 a
SIN OXIGENACIÓN	0.01 a	0.05 a	0.12 a	0.21 a	0.34 a	0.52 a	0.67 a	0.85 a	0.96 a
p-valor	0.4074	0.5853	0.6650	0.5613	0.9849	0.9848	0.7346	0.8861	0.7533
<b>DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)</b>									
<b>TIPO DE TABLA</b>	<b>125</b>	<b>132</b>	<b>140</b>	<b>149</b>	<b>159</b>	<b>167</b>	<b>174</b>	<b>180</b>	
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	1.13 a	1.31 ac	1.52 b	1.69 ab	1.96 ab	2.14 ab	2.30 b	2.38 b	
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	1.20 a	1.41 a	1.63 a	1.81 a	2.08 a	2.29 a	2.48 a	2.57 a	
EASY (100X15X10) FV	1.04 b	1.24 c	1.45 b	1.61 b	1.86 b	2.06 b	2.21 b	2.29 b	
CULTILENE (100X20X7.5) FH	1.14 a	1.34 ab	1.55 ab	1.71 ab	1.97 ab	2.16 ab	2.32 ab	2.40 ab	
p-valor	0.0033	0.0108	0.0192	0.0430	0.0539	0.0526	0.0270	0.0238	
<b>OXIGENACIÓN</b>									
CON OXIGENACIÓN	1.12 a	1.32 a	1.54 a	1.71 a	1.97 a	2.17 a	2.33 a	2.42 a	
SIN OXIGENACIÓN	1.13 a	1.32 a	1.54 a	1.70 a	1.96 a	2.16 a	2.33 a	2.41 a	
p-valor	0.9177	0.9910	0.9911	0.8296	0.8929	0.8273	0.9294	0.9247	

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para  $p < 0,05$ . FH: Fibra Horizontal; FV: Fibra Vertical.

Observando los resultados para la producción por planta respecto al tipo de tabla se obtienen resultados similares a los comentados anteriormente para la producción por metro cuadrado, siendo las tablas más eficientes las Classic More year (100x20x7.5) con un valor medio de 2.57 kg/planta, seguidas de las Cultilene con 2.40kg/planta y las Classic More Year (100x15x10) con 2.38 kg/planta. Las tablas Easy son las menos productivas con una producción media por planta de 2.29 kg/planta, lo cual supone una merma de producción de 0.28 kg/planta.

En cuanto al actor oxigenación, no se aprecian diferencias significativas entre los distintos tratamientos en ninguno de los días evaluados, obteniéndose valores de producción prácticamente iguales en ambos tratamientos.

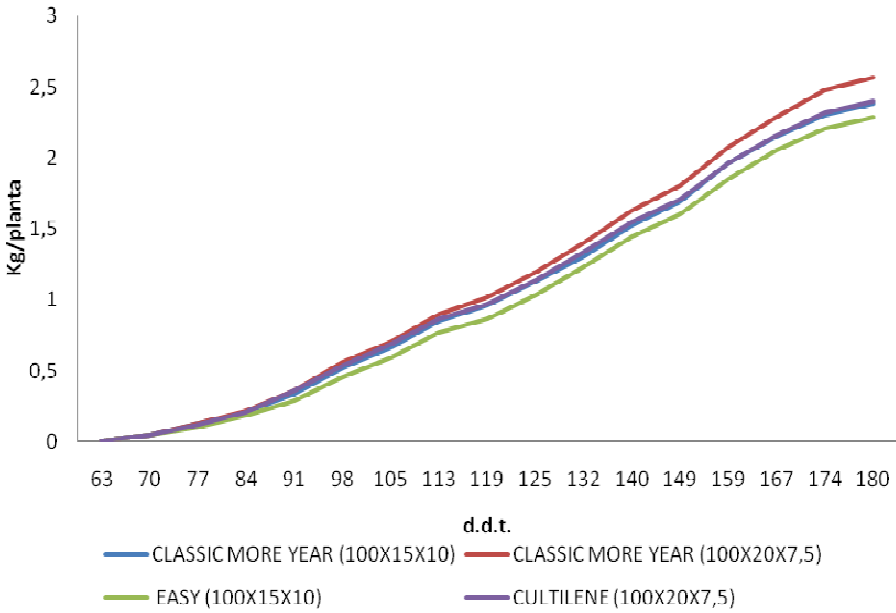


Figura 82. Efecto del factor tipo de tabla sobre la producción total (kg/planta) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

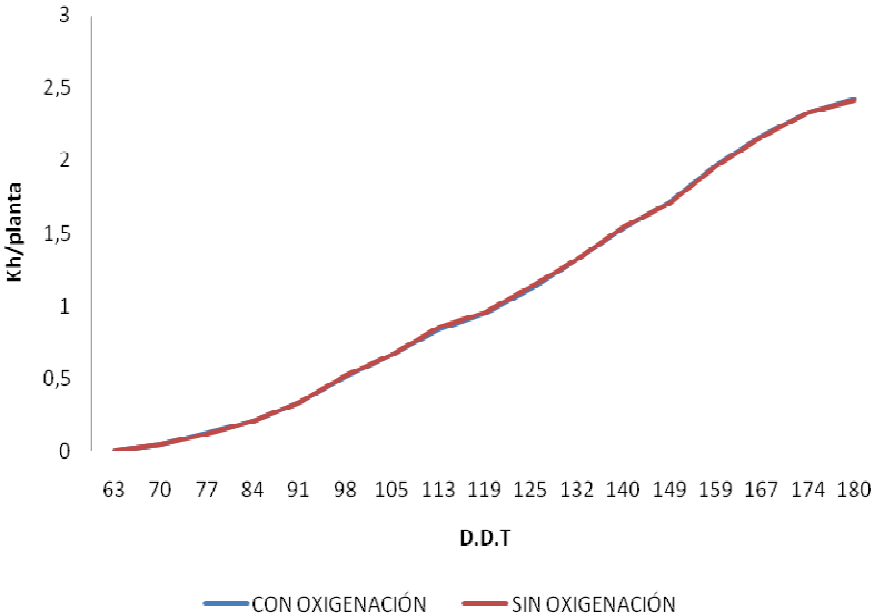


Figura 83. Efecto del factor oxigenación sobre la producción total (kg/planta) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

### 4.1.3. Número de frutos por superficie (frutos/m<sup>2</sup>)

En la tabla 21 se muestran los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del parámetro número de frutos por superficie en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian a lo largo de un ciclo corto de cultivo (otoño-invierno), durante la campaña 08/09, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

**Tabla 21. Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre el número de frutos por superficie (Nº frutos/m<sup>2</sup>) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.**

DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)									
TIPO DE TABLA	63	70	77	84	91	98	105	113	119
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	8.23 a	26.66 a	47.81 a	68.89 a	99.62 a	139.75 ab	169.33 a	203.94 a	228.77 a
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	7.56 a	26.39 a	50.06 a	72.93 a	106.37 a	148.09 a	176.50 a	207.89 a	232.44 a
EASY (100X15X10) FV	6.78 a	23.53 a	43.83 a	63.63 a	94.42 a	128.22 b	160.72 a	192.05 a	217.72 a
CULTILENE (100X20X7.5) FH	6.90 a	21.63 a	45.28 a	65.94 a	98.27 a	136.58 ab	169.18 a	200.29 a	221.35 a
p-valor	0.7073	0.4050	0.6087	0.4876	0.5068	0.2278	0.5534	0.5936	0.7226
OXIGENACIÓN									
CON OXIGENACIÓN	7.65 a	25.71 a	47.40 a	69.02 a	101.19 a	141.83 a	172.75 a	205.74 a	230.15 a
SIN OXIGENACIÓN	7.08 a	23.39 a	46.09 a	66.68 a	68.14 a	134.49 a	165.11 a	196.35 a	219.98 a
p-valor	0.5563	0.3424	0.7086	0.6000	0.5897	0.2881	0.3190	0.2628	0.3076
DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)									
TIPO DE TABLA	125	132	140	149	159	167	174	180	
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	260.76 a	303.87 a	349.96 a	389.30 a	447.23 a	496.54 a	538.80 a	565.04 a	
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	262.75 a	301.46 a	342.81 a	377.64 a	429.21 a	472.86 a	513.62 a	536.15 a	
EASY (100X15X10) FV	252.27 a	295.68 a	343.37 a	384.25 a	439.62 a	493.39 a	535.19 a	561.63 a	
CULTILENE (100X20X7.5) FH	252.68 a	291.27 a	335.40 a	369.25 a	419.85 a	462.75 a	503.51 a	529.65 a	
p-valor	0.8877	0.9256	0.9462	0.9056	0.8396	0.7366	0.7226	0.7053	
OXIGENACIÓN									
CON OXIGENACIÓN	261.44 a	302.33 a	348.95 a	386.87 a	440.80 a	491.49 a	534.39 a	562.05 a	
SIN OXIGENACIÓN	252.79 a	293.80 a	336.82 a	373.58 a	427.16 a	471.28 a	511.27 a	534.19 a	
p-valor	0.4544	0.5466	0.4657	0.4910	0.5410	0.4134	0.3605	0.2783	

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para p<0,05. FH: Fibra Horizontal; FV: Fibra Vertical.

Para el factor tipo de tabla no existen diferencias estadísticamente significativas en los primeros días de corte, en la sexta recolección (d.d.t. 98) podemos ver que la tabla que presenta una tendencia a mejor comportamiento es Classic More Year (100x20x7.5) y la tabla con peor rendimientos es la Easy (100x15x10) obteniendo 148.09 y 128.22 frutos por metro cuadrado respectivamente, lo que supone una merma de producción de 19.87 frutos por metro cuadrado menos, las tablas Classic More Year (100x15x10) y las Cutilène se comportan de un modo intermedio con un rendimiento de 139.75 y 136.58 frutos por metro cuadrado. En las siguientes recolecciones no existen diferencias estadísticamente significativas aunque podemos observar que al final del cultivo las tablas con mejor comportamiento son las Classic More Year (100x15x10) seguidas de las Easy (100x20x7.5) y de las Classic More Year (100x20x7.5) y por último las que peores resultados obtienen son las Cutilène (100x20x7.5).

Estos resultados ofrecen diferencias en cuanto al factor tipo de tabla con los obtenidos por Sánchez (2008) en el estudio realizado sobre oxigenación en tablas de lana de roca en un cultivo de tomate. En este estudio tampoco aparecieron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al número de frutos por metro cuadrado entre las distintas tablas evaluadas, pero si se observó que las tablas que mejores resultados obtuvieron fueron las Classic More Year (100x20x7.5), seguidas de las Cutilene (100x20x7.5), Las Classic More Year (100x15x10), y las Easy (100x15x10) fueron las que dieron lugar a un menor número de frutos por metro cuadrado.

Para el factor de variabilidad que representa la oxigenación, no existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos tratamientos para ninguno de los días evaluados, pudiéndose observar un mejor comportamiento no significativo en el tratamiento con oxigenación, obteniéndose al final del cultivo 562.05 frutos por metro cuadrado en el tratamiento con oxigenación y 534.19 frutos por metro cuadrado en el tratamiento testigo.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Sánchez (2008), en su estudio sobre la oxigenación en tablas de lana de roca en un cultivo de tomate cherry. En este estudio tampoco aparecieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, pudiéndose observar al final del cultivo que el número de frutos por metro cuadrado entre ambos tratamientos (con y sin oxigenación) era prácticamente el mismo, 544 frutos·m<sup>-2</sup> para aquellas parcelas con aporte de oxígeno y 545 frutos·m<sup>-2</sup> para las parcelas del tratamiento testigo, también coinciden con los resultados de Gil en el año 2005, en su trabajo: "Respuesta de un cultivo de melón en sustrato de lana de roca al aumento de oxígeno disuelto en la solución nutritiva y a la reutilización del sustrato", concluyó que la oxifertirrigación afectaba significativamente al número de frutos de melón.

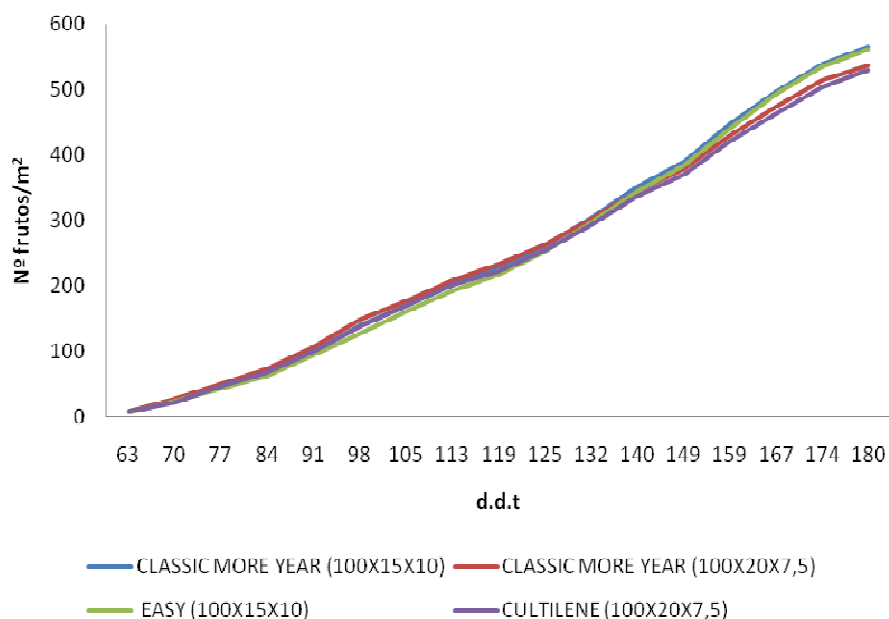


Figura 84. Efecto del factor tipo de tabla sobre el número de frutos por superficie (nº frutos/m<sup>2</sup>) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

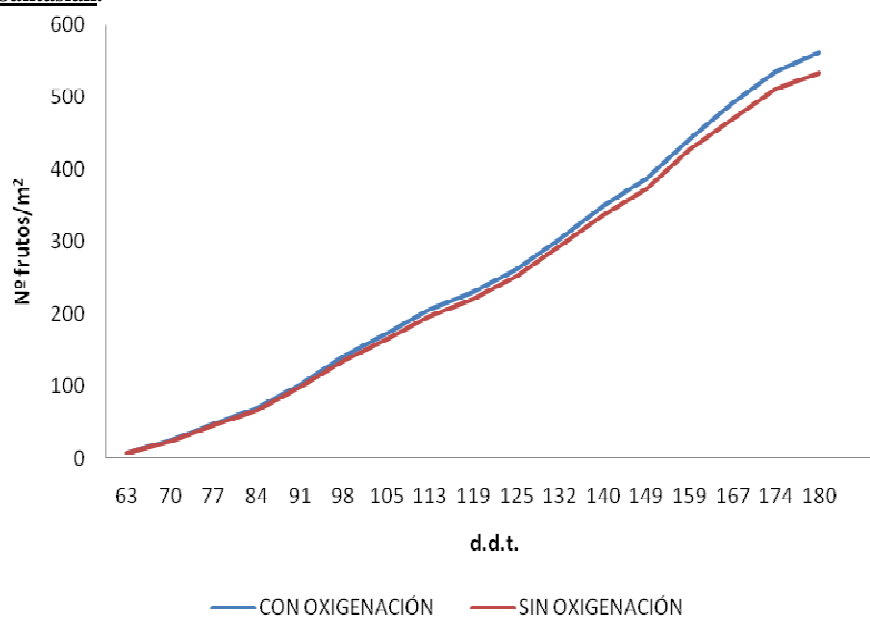


Figura 85. Efecto del factor oxigenación sobre el número de frutos por superficie (nº frutos/m<sup>2</sup>) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

#### 4.1.4. Número de frutos por planta (frutos/planta)

En la tabla 22 se muestran los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del parámetro número de frutos en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian a lo largo de un ciclo corto de cultivo (otoño/invierno), durante la campaña 08/09, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

**Tabla 22. Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre la producción total (nº frutos/planta) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.**

<b>DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)</b>									
<b>TIPO DE TABLA</b>	<b>63</b>	<b>70</b>	<b>77</b>	<b>84</b>	<b>91</b>	<b>98</b>	<b>105</b>	<b>113</b>	<b>119</b>
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	3.41 a	11.06 a	19.84 a	28.59 a	41.34 a	57.99 a	70.26 a	85.00 a	95.30 a
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	3.14 a	10.95 a	20.51 a	30.00 a	43.88 a	61.19 a	72.98 a	86.00 a	96.19 a
EASY (100X15X10) FV	2.81 a	9.76 a	18.19 a	26.35 a	39.13 a	53.15 a	66.64 a	79.64 a	91.03 a
CULTILENE (100X20X7.5) FH	2.86 a	8.98 a	18.79 a	27.56 a	40.98 a	56.88 a	70.15 a	82.85 a	91.59 a
p-valor	0.7072	0.4046	0.6884	0.5644	0.5735	0.2660	0.5930	0.6080	0.7659
<b>OXIGENACIÓN</b>									
CON OXIGENACIÓN	3.18 a	10.67 a	19.67 a	28.61 a	41.46 a	58.83 a	71.53 a	85.41 a	95.54 a
SIN OXIGENACIÓN	2.94 a	9.71 a	18.99 a	27.64 a	40.69 a	55.78 a	68.48 a	81.34 a	91.51 a
p-valor	0.5560	0.3425	0.6476	0.6031	0.5957	0.2943	0.3458	0.2527	0.3307
<b>DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)</b>									
<b>TIPO DE TABLA</b>	<b>125</b>	<b>132</b>	<b>140</b>	<b>149</b>	<b>159</b>	<b>167</b>	<b>174</b>	<b>180</b>	
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	108.58 a	126.46 a	145.59 a	161.91 a	185.95 a	206.41 a	223.95 a	234.84 a	
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	108.76 a	124.83 a	141.73 a	156.18 a	177.58 a	195.68 a	212.60 a	221.95 a	
EASY (100X15X10) FV	105.36 a	123.38 a	143.16 a	160.13 a	183.10 a	205.41 a	222.84 a	233.73 a	
CULTILENE (100X20X7.5) FH	104.59 a	120.60 a	138.91 a	153.15 a	173.95 a	191.75 a	208.66 a	219.51 a	
p-valor	0.8987	0.9149	0.9256	0.8745	0.8064	0.6958	0.6828	0.6644	
<b>OXIGENACIÓN</b>									
CON OXIGENACIÓN	108.52 a	125.49 a	144.70 a	160.44 a	182.81 a	203.85 a	221.65 a	233.13 a	
SIN OXIGENACIÓN	105.13 a	122.14 a	139.99 a	155.24 a	177.46 a	195.78 a	212.38 a	221.89 a	
p-valor	0.4782	0.5703	0.4972	0.5197	0.5677	0.4347	0.3806	0.2959	

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para  $p < 0,05$ . FH: Fibra Horizontal; FV: Fibra Vertical.

Para el factor tipo de tabla no se observan diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los días evaluados, aunque si se puede observar una alternancia en cuanto al tipo de tabla que mejores resultados ofrece, en principio las tablas Cassic More Year (100x15x10) y las Classic More Year (100x20x7.5), obtienen mayor numero de frutos por planta, en cambio las Cultilène (100x20x7.5) son las que peores resultados obtienen. Sin embargo al final del ciclo de cultivo (d.d.t. 180), se puede observar como los resultados han variado, en el caso de las tablas Cassic More Year (100x15x10) siguen siendo las tablas que ofrecen los mejores resultados, en cambio las tablas Classic More Year (100x20x7.5) cambian su tendencia a lo largo del ciclo y se sitúan por detrás de las tablas Easy (100x15x7.5) en

cuanto al número de frutos por planta se refiere. Las tablas Easy (100x15x7.5) ofrecen resultados intermedios a lo largo del cultivo, con una diferencia de 15.33 frutos por planta menos que en las tablas Classic More Year (100x15x10).

En cuanto al factor oxigenación, tampoco se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tratamientos en ninguno de los días evaluados, aunque si podemos observar que el tratamiento con oxigenación ofrece mejores resultados con una media de 233.13 frutos/planta, mientras que en el tratamiento testigo la media es de 221.89frutos/planta.

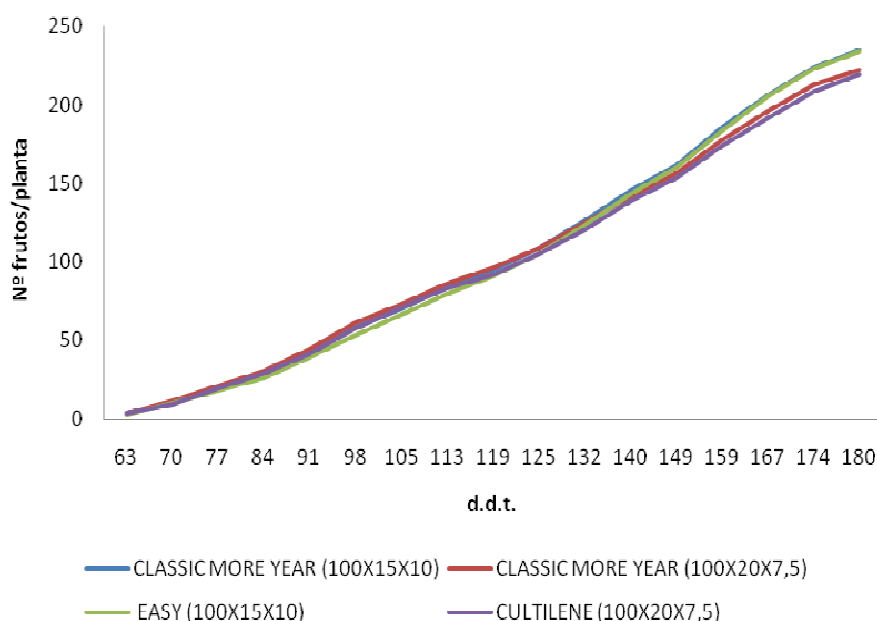


Figura 86. Efecto del factor tipo de tabla sobre el número de frutos por planta (Nº frutos/planta) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.



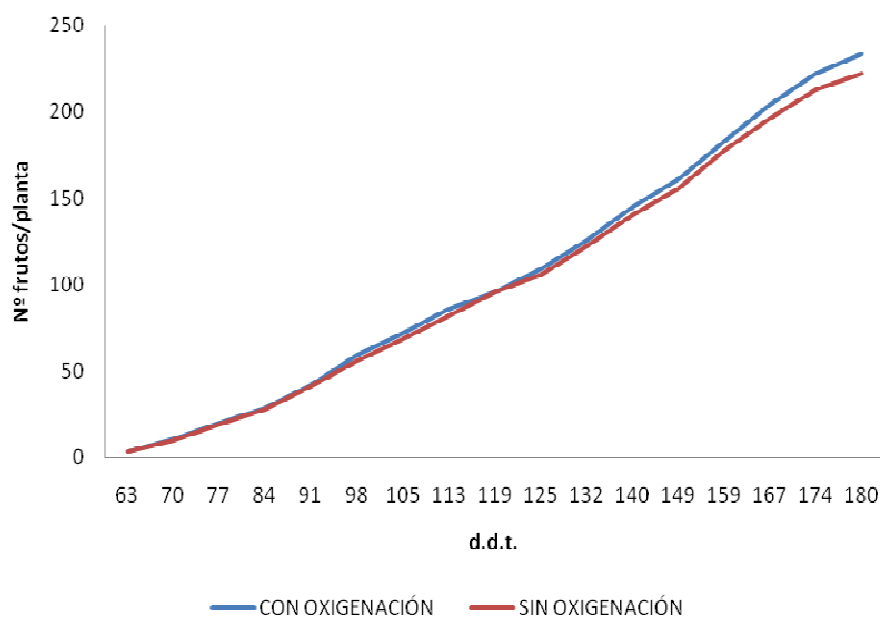


Figura 87. Efecto del factor oxigenación sobre el número de frutos por planta (Nº frutos/planta) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

## 4.2. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL FRUTO

### 4.2.1. Peso medio del fruto (g)

En la tabla 23 se muestran los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del parámetro peso medio del fruto (g) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian a lo largo de un ciclo corto de cultivo (otoño/invierno), durante la campaña 08/09, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

En cuanto al factor tipo de tabla no se aprecian diferencias estadísticamente significativas en el peso medio del fruto para ninguno de los días evaluados, aunque según la media podemos observar que las tablas que han obtenido mejores resultados son las Cultilène (100x20x7.5) seguidas por las Classic More Year (100x20x7.5) con 12.39 y 12.25g por fruto de media. En el otro extremo tenemos a las Easy (100x15x10) con 11.87g de media y las Classic More Year (100x15x10) cuyos frutos pesan de media 11.91g.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Sánchez (2008), en el estudio realizado sobre estos mismos tipos de tablas de lana de roca en un cultivo de tomate cherry cv. Salomeé, no se muestran diferencias estadísticamente significativas en cuanto al peso medio de los frutos de tomate, en ninguno de los días de corte, y en líneas generales las plantas cultivadas en los diferentes tipos de tablas produjeron frutos de similar peso.

**Tabla 23. Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre peso medio del fruto (g) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.**

<b>DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)</b>									
<b>TIPO DE TABLA</b>	<b>63</b>	<b>70</b>	<b>77</b>	<b>84</b>	<b>91</b>	<b>98</b>	<b>105</b>	<b>113</b>	<b>119</b>
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	4.70 a	5.79 a	10.30 a	10.11 a	12.44 a	12.09 a	12.74 b	13.55 a	13.96 a
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	5.28 a	6.30 a	10.66 a	9.54 a	12.29 a	13.29 a	13.81 a	13.75 a	14.13 a
EASY (100X15X10) FV	5.56 a	6.28 a	10.20 a	10.04 a	11.81 a	11.95 a	13.04 ab	12.86 a	13.43 a
CULTILENE (100X20X7.5) FH	5.46 a	6.08 a	11.21 a	9.8 a	12.39 a	12.89 a	13.56 ab	13.68 a	14.13 a
p-valor	0.3966	0.8318	0.2947	0.7378	0.6896	0.2067	0.0605	0.2077	0.5489
<b>OXIGENACIÓN</b>									
CON OXIGENACIÓN	5.17 a	6.20 a	10.56 a	9.86 a	12.11 a	12.13 a	13.38 a	13.49 a	13.86 a
SIN OXIGENACIÓN	5.33 a	6.02 a	10.63 a	9.89 a	12.36 a	12.98 a	13.20 a	13.43 a	13.96 a
p-valor	0.6771	0.6765	0.8575	0.9373	0.5377	0.1042	0.5904	0.8675	0.8126
<b>DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)</b>									
<b>TIPO DE TABLA</b>	<b>125</b>	<b>132</b>	<b>140</b>	<b>149</b>	<b>159</b>	<b>167</b>	<b>174</b>	<b>180</b>	<b>Media</b>
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	13.89 a	14.56 a	13.85 a	14.41 a	13.24 a	12.69 a	11.86 a	12.31 a	11.91
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	13.60 a	15.05 a	14.50 a	14.63 a	13.25 a	14.00 a	12.19 a	11.90 a	12.25
EASY (100X15X10) FV	13.61 a	13.98 a	13.31 a	14.18 a	14.09 a	13.26 a	11.55 a	12.65 a	11.87
CULTILENE (100X20X7.5) FH	13.86 a	15.03 a	13.69 a	14.85 a	14.65 a	13.78 a	12.06 a	12.50 a	12.39
p-valor	0.9368	0.1973	0.3270	0.7692	0.1495	0.3468	0.5499	0.4547	0.4558
<b>OXIGENACIÓN</b>									
CON OXIGENACIÓN	13.93 a	14.89 a	13.93 a	14.65 a	13.74 a	13.10 a	11.86 a	12.29 a	12.07
SIN OXIGENACIÓN	13.55 a	14.42 a	13.75 a	14.38 a	13.87 a	13.76 a	11.98 a	12.39 a	12.17
p-valor	0.3509	0.2518	0.7081	0.5636	0.8142	0.2333	0.7200	0.7883	0.8593

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para  $p < 0,05$ . FH: Fibra Horizontal; FV: Fibra Vertical.

Para el factor oxigenación, tampoco aparecen diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los días evaluados, además podemos observar que el peso medio del fruto es prácticamente igual tanto para el tratamiento con aporte de oxígeno como para el tratamiento testigo, coincidiendo nuevamente con los resultados obtenidos por Sánchez (2008), en su estudio sobre frutos de tomate cherry cv. Salomeé.

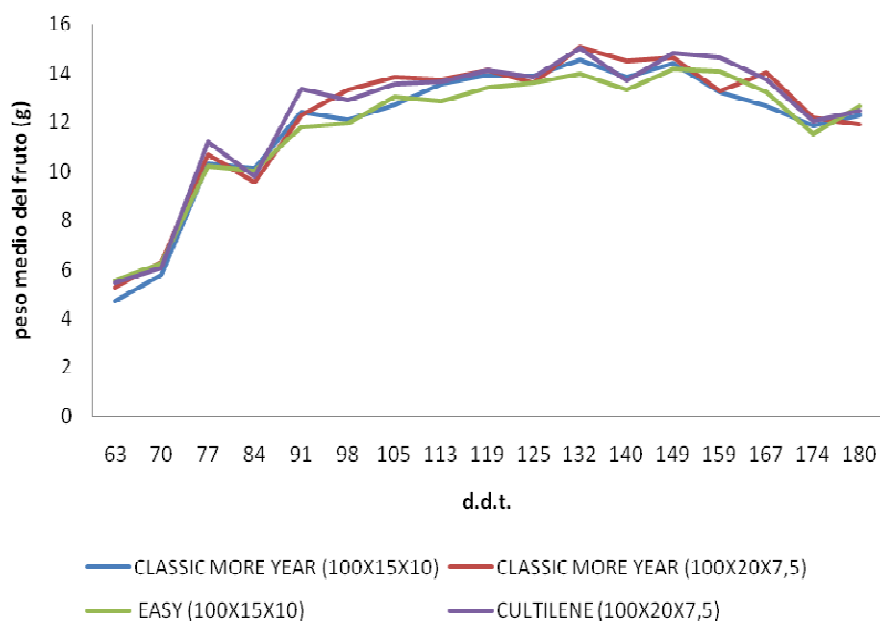


Figura 88. Efecto del factor tipo de tabla sobre el peso medio del fruto (g) de tomate cherry pera cv. Santasian.

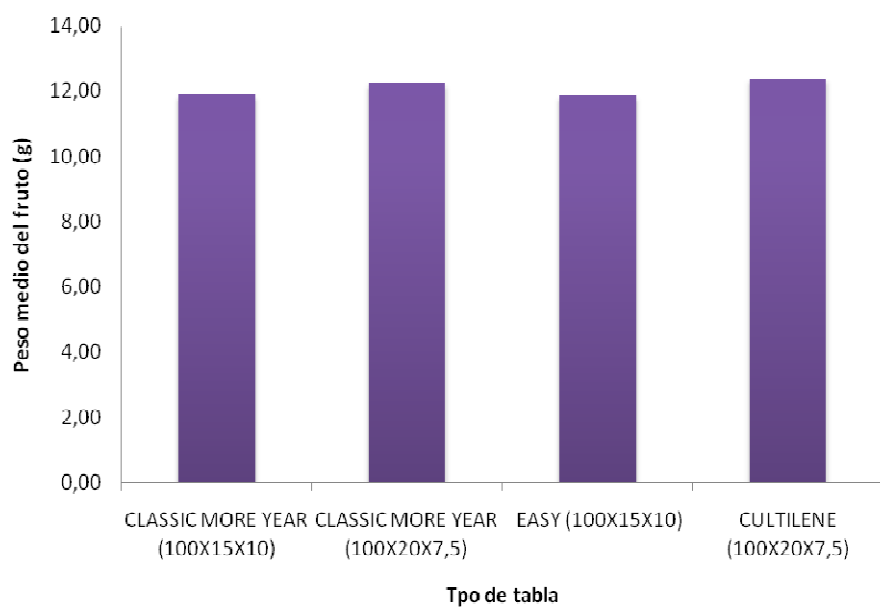


Figura 89. Efecto del factor tipo de tabla sobre el peso medio del fruto (g) de tomate cherry pera cv. Santasian. (Valores promedio)

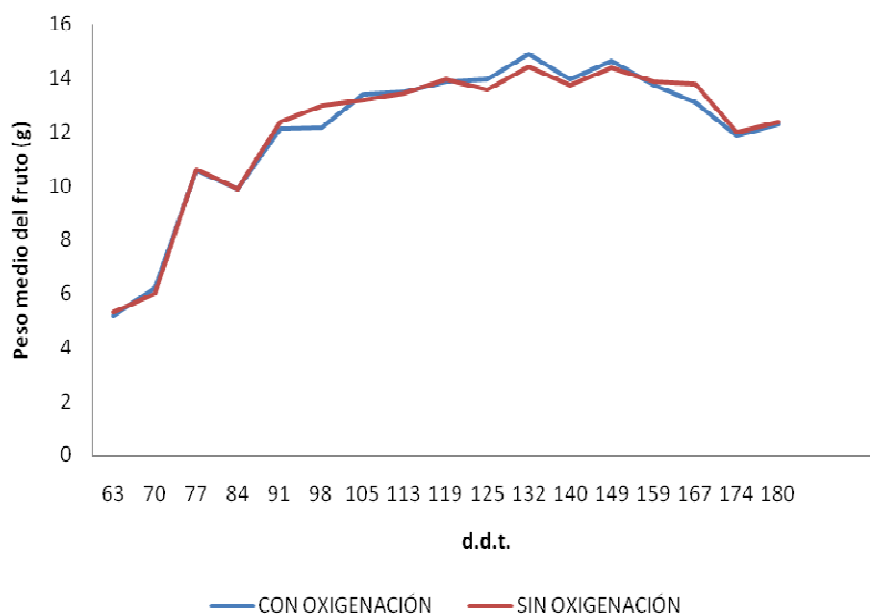


Figura 90. Efecto del factor oxigenación sobre el peso medio del fruto (g) de tomate cherry pera cv. Santasian.

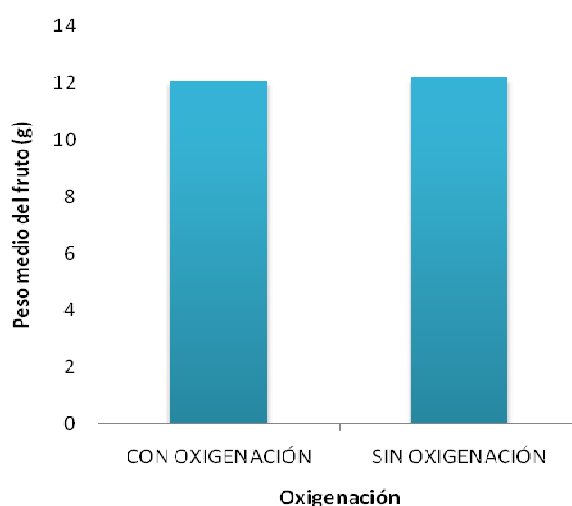


Figura 91. Efecto del factor oxigenación sobre el peso medio del fruto (g) de tomate cherry pera cv. Santasian. (Valores promedio)

#### 4.2.2. Diámetro medio del fruto (mm)

En la tabla 24 se muestran los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del parámetro diámetro medio del fruto (mm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian a lo largo de un ciclo corto de cultivo (otoño/invierno), durante la campaña 08/09, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

**Tabla 24. Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre diámetro medio del fruto (mm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.**

<b>DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)</b>									
<b>TIPO DE TABLA</b>	<b>63</b>	<b>70</b>	<b>77</b>	<b>84</b>	<b>91</b>	<b>98</b>	<b>105</b>	<b>113</b>	<b>119</b>
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	16.95 a	17.35 a	21.44 ab	21.60 a	23.58 a	23.29 a	24.02 b	24.93 a	25.82 a
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	17.31 a	17.61 a	21.75 ab	21.11 a	23.24 a	24.12 a	24.84 a	24.94 a	25.87 a
EASY (100X15X10) FV	17.12 a	17.57 a	21.10 b	21.93 a	22.98 a	23.46 a	24.49 ab	24.62 a	25.53 a
CULTILENE (100X20X7.5) FH	17.19 a	17.59 a	21.89 a	21.43 a	23.19 a	23.63 a	24.71 a	25.02 a	25.66 a
p-valor	0.8854	0.9776	0.1562	0.3669	0.4779	0.3821	0.0800	0.6683	0.8396
<b>OXIGENACIÓN</b>									
CON OXIGENACIÓN	17.06 a	17.59 a	21.54 a	21.36 a	23.20 a	23.46 a	24.52 a	24.98 a	23.63 a
SIN OXIGENACIÓN	17.23 a	17.45 a	21.55 a	21.67 a	23.45 a	23.79 a	24.51 a	24.77 a	25.81 a
p-valor	0.5820	0.7583	0.9854	0.3559	0.4342	0.3460	0.9424	0.3926	0.5415
<b>DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)</b>									
<b>TIPO DE TABLA</b>	<b>125</b>	<b>132</b>	<b>140</b>	<b>149</b>	<b>159</b>	<b>167</b>	<b>174</b>	<b>180</b>	<b>Media</b>
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	24.87 a	25.44 a	25.18 a	25.92 a	24.97 a	24.07 a	23.85 a	22.75 a	23.30 a
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	25.04 a	25.95 a	25.47 a	26.02 a	25.10 a	24.89 b	24.46 b	22.97 a	23.59 a
EASY (100X15X10) FV	24.66 a	25.24 a	24.99 a	25.59 a	25.45 a	24.15 ab	23.78 a	23.12 a	23.28 a
CULTILENE (100X20X7.5) FH	24.99 a	25.84 a	25.09 a	25.95 a	25.76 a	24.88 b	23.91 b	23.21 a	23.52 a
p-valor	0.7376	0.2337	0.7299	0.7296	0.2321	0.0626	0.0639	0.3094	0.7090
<b>OXIGENACIÓN</b>									
CON OXIGENACIÓN	24.95 a	25.72 a	25.19 a	25.90 a	25.26 a	24.38 a	23.98 a	23.06 a	23.40 a
SIN OXIGENACIÓN	24.84 a	25.51 a	25.18 a	25.83 a	25.38 a	24.62 a	24.02 a	22.97 a	23.45 a
p-valor	0.6702	0.4664	0.9793	0.8171	0.6942	0.4188	0.8627	0.6582	0.8373

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para  $p < 0,05$ . FH: Fibra Horizontal; FV: Fibra Vertical.

En cuanto al factor tipo de tabla, se observa que en general no hay diferencias estadísticamente significativas, aunque hay cuatro días puntuales en los que si se pueden apreciar diferencias estadísticamente significativas, donde se produce una alternancia entre las tablas que mayor y menor diámetro medio del fruto obtienen. Para el d.d.t. 77, se observa que las tablas Cultilène (100x20x7.5) son las que tienen frutos con mayor diámetro medio, mientras que las Easy (100x15x10) son las que dan peores resultados, las tablas Classic More Year (100x15x10) y las Classic More Year (100x20x7.5) se sitúan en una posición intermedia. Cuatro recolecciones más tarde (d.d.t. 105) se vuelven a manifestar diferencias significativas entre los distintos tipos de tablas, en este caso las tablas Classic More Year

(100x20x7.5) son las tablas que obtienen el mayor diámetro medio del fruto junto con las tablas Cultilène (100x20x7.5), en cambio se produce una alternancia en cuanto al tipo de tabla que ofrece peores resultados, en este caso son las tablas Classic More Year (100x15x10) las que soportan los peores resultados quedándose las tablas Easy (100x15x10) en una posición intermedia. El d.d.t. 167 vuelven a aparecer diferencias significativas, y podemos observar que el análisis coincide con el del d.d.t. 105. En la siguiente recolección volvemos a tener diferencias significativas, en este caso la tabla que mejores resultados ofrece es la Classic More Year (100x20x7.5), mientras que la tabla Cultilène se sitúa en una posición intermedia, dejando a las tablas Classic More Year (100x15x10) y Easy (100x15x10) con los peores resultados.

En resumen, al igual que ocurre con el peso medio del fruto podría decirse que existe una tendencia a obtener frutos de mayor diámetro cuando se trata con tablas de menor altura en nuestras condiciones de ensayo. Podemos observar en el valor promedio, que los diferentes tipos de tablas ofrecen un diámetro medio del fruto similar, comportándose mejor las tablas Classic more Year (100x20x7.5) y Cultilène (100x20x7.5) y con un diámetro ligeramente inferior las tablas Claasic More Year (100x15x10) y Easy (100x15x10).

En el ensayo realizado por Sánchez (2008), sobre oxigenación en un cultivo de tomate cherry cv. Saloméé, con respecto a este parámetro, no se aprecian diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los días evaluados, y en líneas generales las plantas cultivadas en los diferentes tipos de tablas produjeron frutos de similar diámetro.

Para el factor oxigenación, no se aprecian diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los días evaluados, observándose en los valores promedio que el diámetro del fruto es ligeramente superior en el tratamiento testigo, sin aporte de oxígeno.

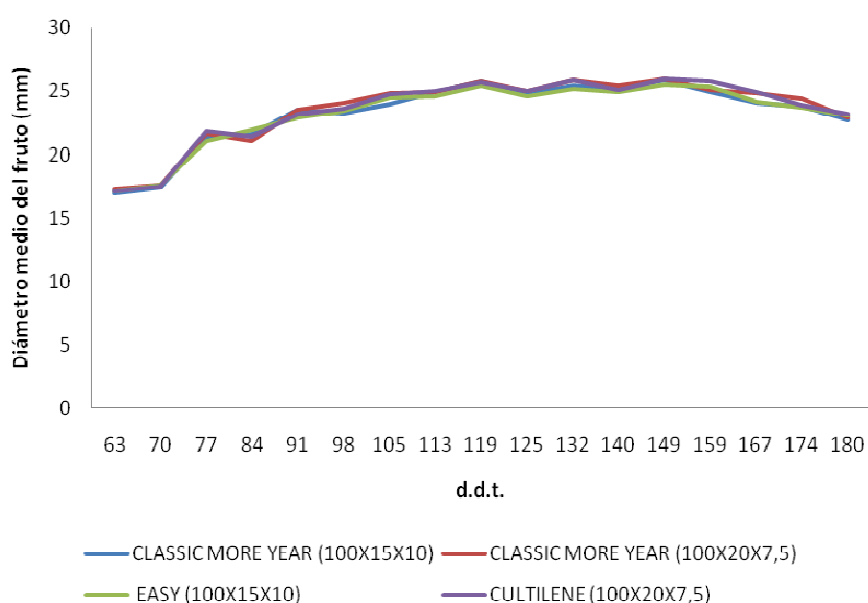


Figura 92. Efecto del factor tipo de tabla sobre el diámetro medio del fruto (mm) de tomate cherry pera cv. Santasian.

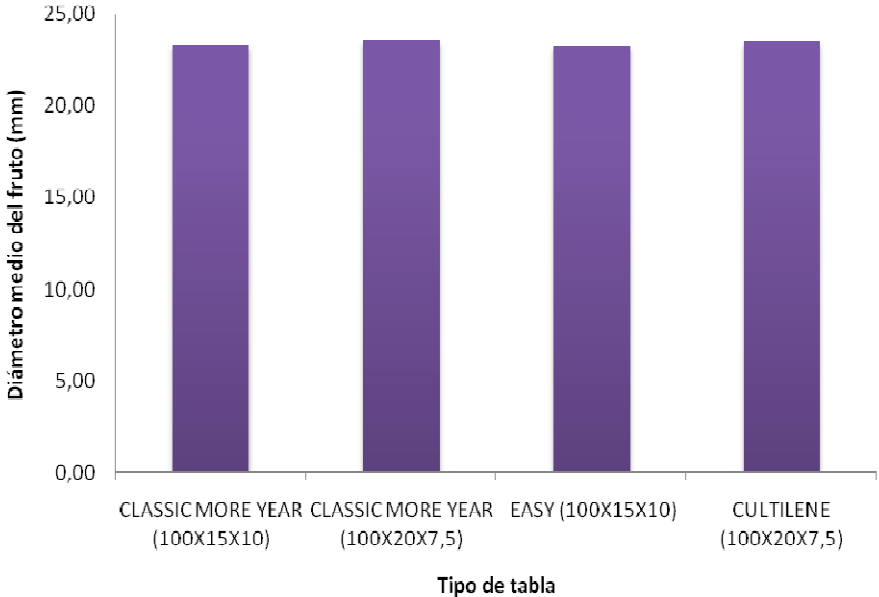


Figura 93. Efecto del factor tipo de tabla sobre el diámetro medio del fruto (mm) de tomate cherry pera cv. Santasian. (Valores promedio)

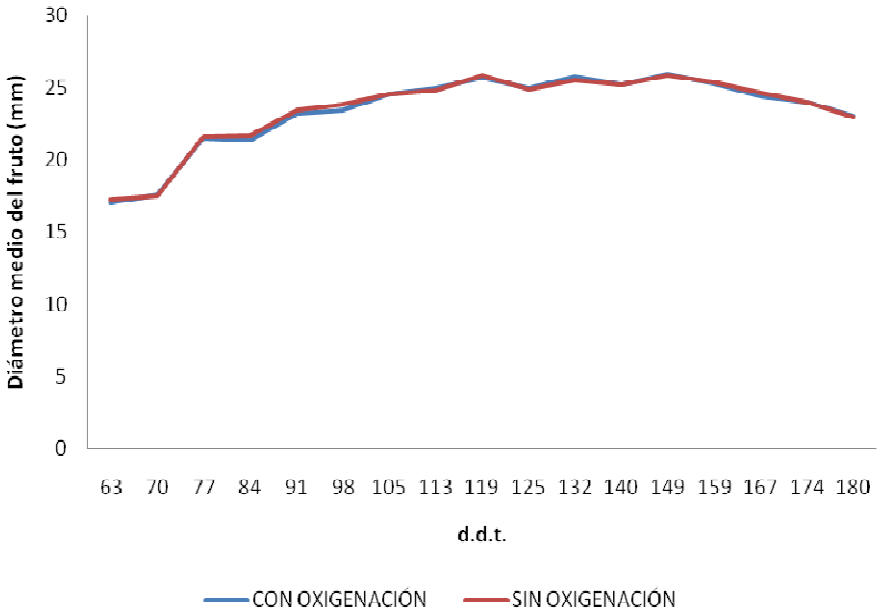


Figura 94. Efecto del factor oxigenación sobre el diámetro medio del fruto (mm) de tomate cherry pera cv. Santasian.



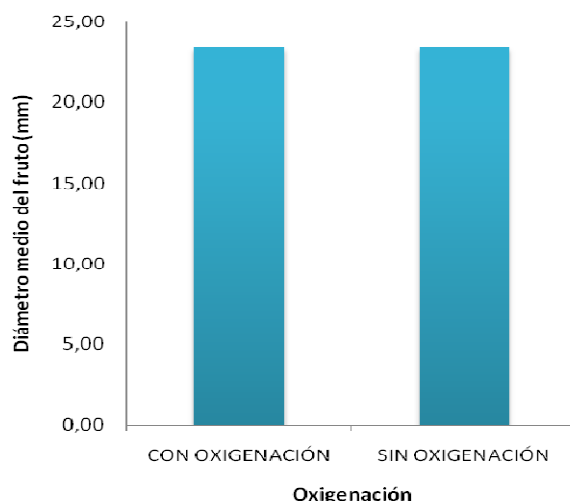


Figura 95. Efecto del factor oxigenación sobre el diámetro medio del fruto (mm) de tomate cherry pera cv. Santasian. (Valores promedio)

#### 4.2.3. Contenido en sólidos solubles en fruto (°Brix)

En la tabla 25 se muestran los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del parámetro contenido en sólidos solubles en fruto (°Brix) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian a lo largo de un ciclo corto de cultivo (otoño/invierno), durante la campaña 08/09, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

Tabla 25. Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre el contenido en sólidos solubles en fruto (° Brix) de tomate cherry pera cv. Santasian.

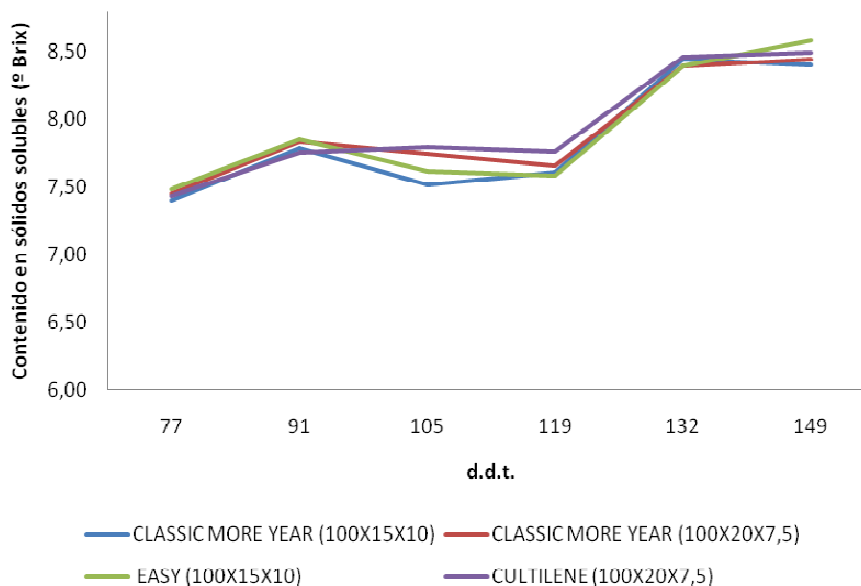
DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)							
TIPO DE TABLA	77	91	105	119	132	149	Media
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	7.40 a	7.78 a	7.51 a	7.60 a	8.44 a	8.40 a	7.86 a
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	7.45 a	7.83 a	7.74 a	7.65 a	8.39 a	8.44 a	7.92 a
EASY (100X15X10) FV	7.48 a	7.85 a	7.61 a	7.58 a	8.39 a	8.58 a	7.92 a
CULTILENE (100X20X7.5) FH	7.43 a	7.75 a	7.79 a	7.76 a	8.46 a	8.49 a	7.95 a
p-valor	0.9593	0.8779	0.2794	0.8017	0.9719	0.6347	0.8463
OXIGENACIÓN							
CON OXIGENACIÓN	7.43 a	7.81 a	7.64 a	7.63 a	8.36 a	8.44 a	7.89 a
SIN OXIGENACIÓN	7.44 a	7.79 a	7.68 a	7.66 a	8.48 a	8.51 a	7.93 a
p-valor	0.9004	0.8951	0.7364	0.8268	0.3920	0.5306	0.5795

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para  $p < 0,05$ . FH: Fibra Horizontal; FV: Fibra Vertical.

Para el factor tipo de tabla, no se muestran diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los días evaluados en cuanto al factor contenido en sólidos solubles, aunque podemos destacar en líneas generales que los frutos obtenidos de las plantas cultivadas sobre las tablas Classic More Year (100x15x10) son en las que se obtienen fruto con menor contenido en sólidos solubles, mientras que en el resto los valores son muy similares, encontrando en los frutos de las plantas cultivadas sobre tabla Cultilène el valor más alto, seguidas de las tablas Classic More Year (100x20x7.5) y Easy (100x15x10).

En el ensayo realizado por Sánchez (2008), sobre oxigenación en un cultivo de tomate cherry, aunque no se mostraron diferencias estadísticamente significativas, se pudo observar, en líneas generales que los frutos producidos por las plantas cultivadas sobre tablas Cultilène (100x20x7.5), presentaron siempre el valor más alto en contenido en sólidos solubles a excepción del último día muestreado.

Para el factor oxigenación, no se muestran diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los días evaluados, aunque podemos observar que los frutos producidos por las plantas cultivadas sobre las tablas del tratamiento testigo, sin aporte de oxígeno, siempre dieron valores superiores a excepción de un día, correspondiente al d.d.t. 91, por tanto podríamos decir que en el tratamiento testigo el contenido en sólidos solubles del fruto es ligeramente superior.



**Figura 96.** Efecto del factor tipo de tabla sobre el contenido en sólidos solubles en fruto (° Brix) de tomate cherry pera *cv. Santasian*.

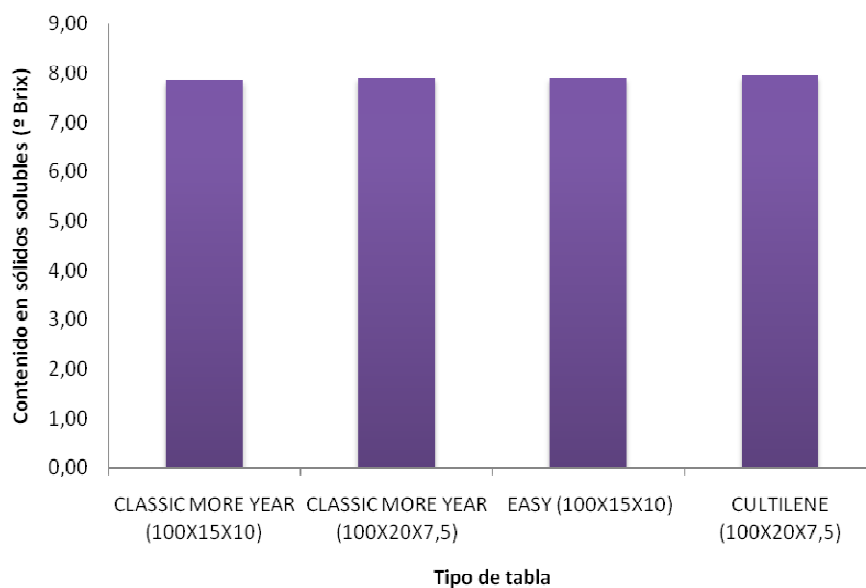


Figura 97. Efecto del factor tipo de tabla sobre el contenido en sólidos solubles en fruto (° Brix) de tomate cherry pera cv. Santasian. (Valores promedio)

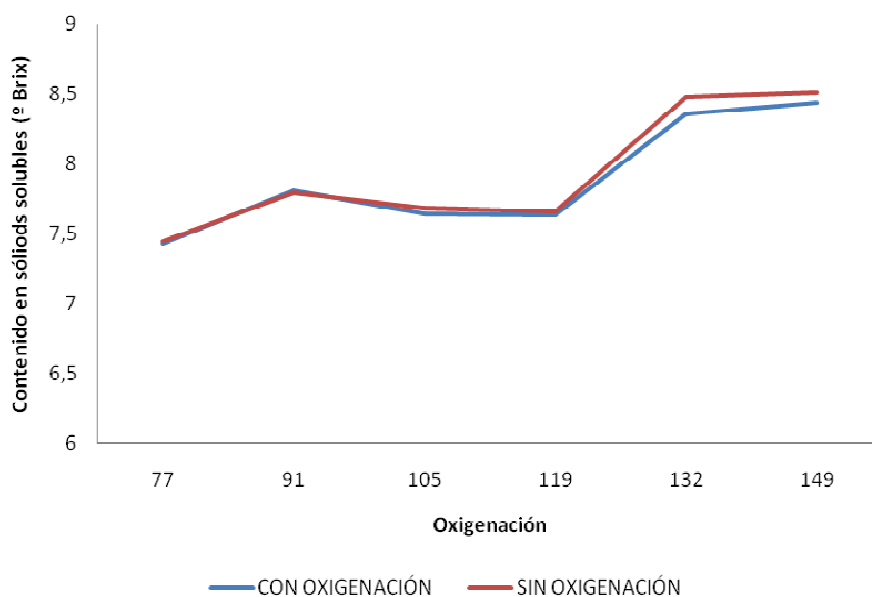


Figura 98. Efecto del factor oxigenación sobre el contenido en sólidos solubles en fruto (° Brix) de tomate cherry pera cv. Santasian.

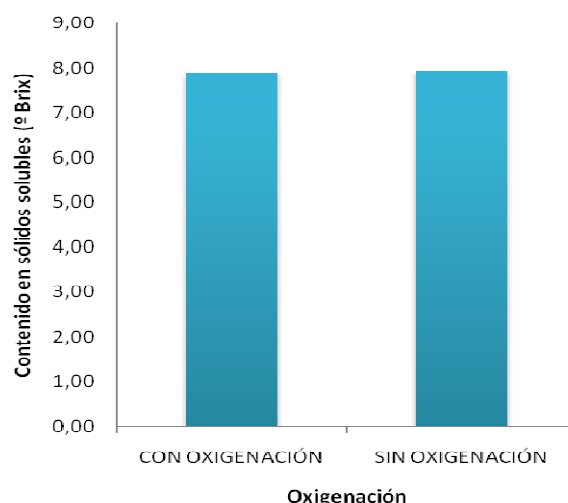


Figura 99. Efecto del factor oxigenación sobre el contenido en sólidos solubles en fruto (° Brix) de tomate cherry pera *cv. Santasian*. (Valores promedio)

#### 4.2.4. pH del fruto

En la tabla 26 se muestran los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del parámetro pH del fruto en cultivo de tomate cherry pera *cv. Santasian* a lo largo de un ciclo corto de cultivo (otoño/invierno), durante la campaña 08/09, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

Tabla 26. Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre el pH del fruto de tomate cherry pera *cv. Santasian*.

DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)							
TIPO DE TABLA	77	91	105	119	132	149	Media
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	4.13 a	4.66 a	4.28 a	4.34 a	4.23 a	4.28 a	4.32 a
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	4.20 a	4.66 a	4.35 a	4.42 a	4.28 a	4.29 a	4.37 a
EASY (100X15X10) FV	4.16 a	4.70 a	4.34 a	4.33 a	4.33 a	4.28 a	4.36 a
CULTILENE (100X20X7.5) FH	4.18 a	4.71 a	4.41 a	4.43 a	4.33 a	4.32 a	4.40 a
p-valor	0.6352	0.9265	0.3128	0.6548	0.4598	0.9740	0.4347
OXIGENACIÓN							
CON OXIGENACIÓN	4.18 a	4.71 a	4.37 a	4.40 a	4.29 a	4.28 a	4.37 a
SIN OXIGENACIÓN	4.15 a	4.65 a	4.32 a	4.35 a	4.30 a	4.30 a	4.35 a
p-valor	0.3867	0.3095	0.3410	0.4283	0.8515	0.8166	0.3574

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para  $p < 0,05$ . FH: Fibra Horizontal; FV: Fibra Vertical.

Para el factor tipo de tabla, no se muestran diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los días evaluados, aunque observando la media se puede apreciar que los frutos obtenidos de plantas cultivadas sobre tablas Cultilène (100x20x7.5) dan valores de pH ligeramente superiores al resto, mientras que los frutos obtenidos de plantas cultivados sobre tablas Classic More Year (100x15x10), obtienen los valores más bajos de pH.

Para el factor oxigenación, tampoco se muestran diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los días evaluados, aun así podemos señalar que en los primeros días evaluados se daban mayores valores de pH en los frutos de plantas cultivadas sobre el tratamiento con aporte de oxígeno, al final del cultivo, a partir de d.d.t. 132, esta tendencia cambio y se obtuvieron mayores valores de pH sobre los frutos de las plantas cultivadas en el tratamiento testigo, sin aporte de oxígeno, aunque a pesar de todo los valores de pH fueron similares en ambos tratamientos.

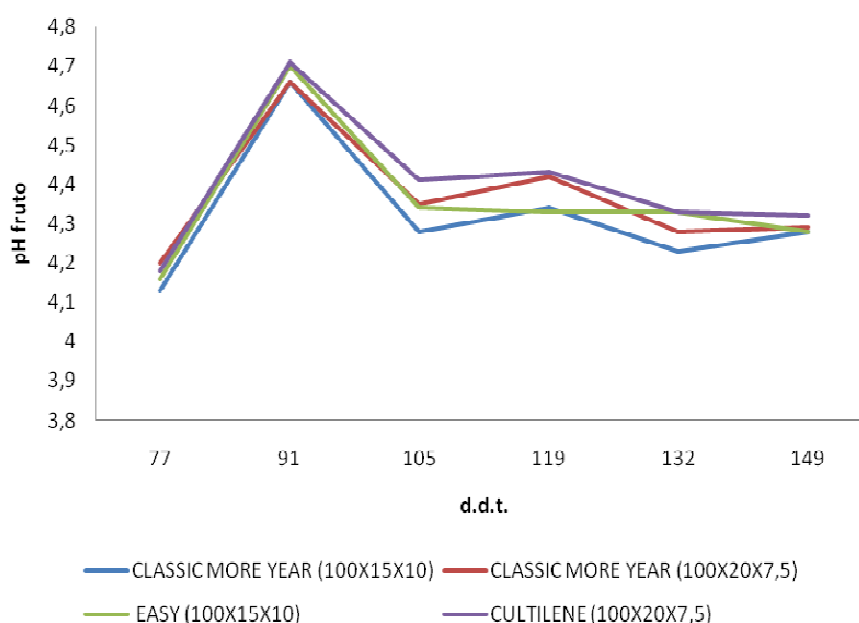


Figura 100. Efecto del factor tipo de tabla sobre el pH del fruto de tomate cherry pera cv. Santasian.

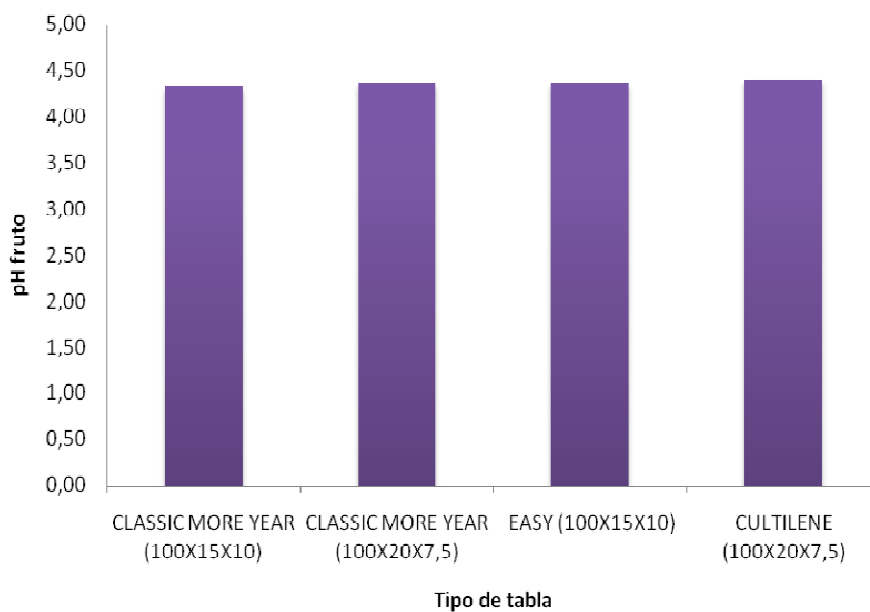


Figura 101. Efecto del factor tipo de tabla sobre el pH del fruto de tomate cherry pera cv. Santasian. (Valores promedio)

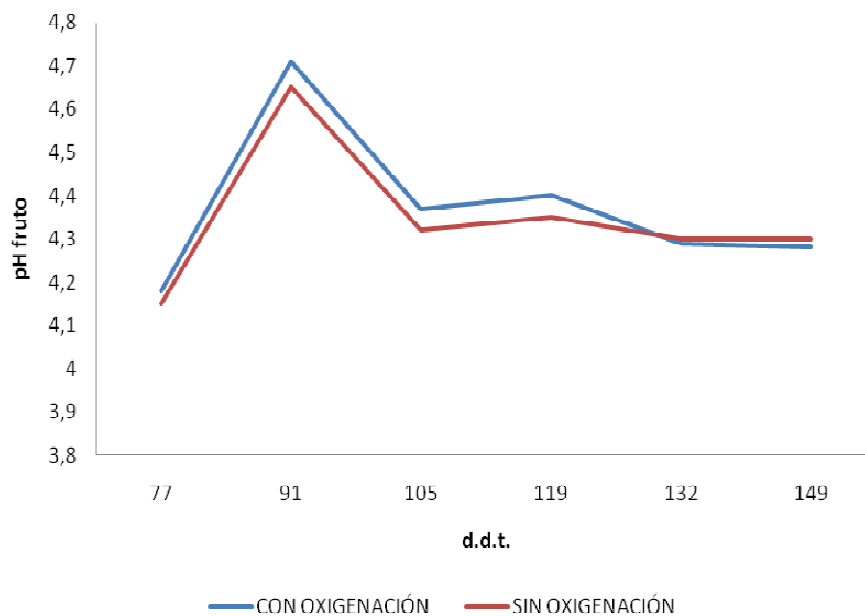


Figura 102. Efecto del factor oxigenación sobre el pH del fruto de tomate cherry pera cv. Santasian.

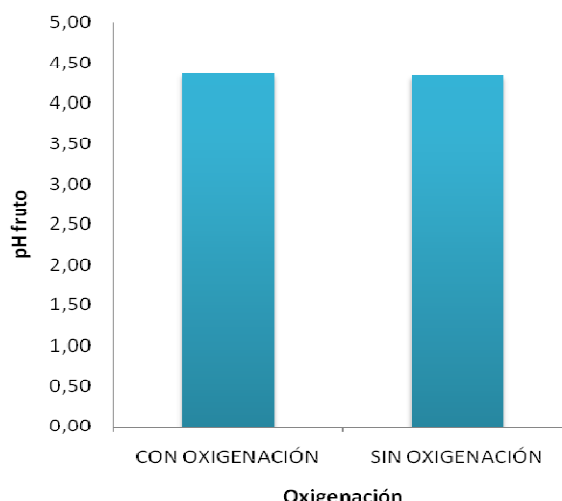


Figura 103. Efecto del factor oxigenación sobre el pH del fruto de tomate cherry pera cv. Santasian. (Valores promedio)

### 4.3. PARÁMETROS MEDIDOS SOBRE LA PLANTA

#### 4.3.1. Diámetro basal del tallo (cm)

En la tabla 27 se muestran los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del parámetro diámetro basal del tallo (mm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian a lo largo de un ciclo corto de cultivo (otoño/invierno), durante la campaña 08/09, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

Tabla 27. Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre el diámetro basal del tallo (mm) de tomate cherry pera cv. Santasian.

DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)	
TIPO DE TABLA	180
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	10.71 a
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	11.43 a
EASY (100X15X10) FV	11.09 a
CULTILENE (100X20X7.5) FH	10.91 a
p-valor	0.2676
OXIGENACIÓN	
CON OXIGENACIÓN	10.94 a
SIN OXIGENACIÓN	11.12 a
p-valor	0.4930

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para  $p < 0,05$ . FH: Fibra Horizontal; FV: Fibra Vertical.



En cuanto al factor tipo de tabla, no se aprecian diferencias estadísticamente significativas, aunque podemos observar que las plantas cultivadas sobre las tablas Classic More Year (100x20x10) presentan un diámetro basal del tallo superior, seguidas de las plantas cultivadas sobre las tablas Easy (100x15x10). Con un diámetro basal ligeramente inferior se encuentran las plantas cultivadas sobre tablas Cultilène (100x20x7.5) y en último lugar las tablas Classic More Year (100x20x7.5) son en las que las plantas tienen el menor diámetro basal.

Para el factor oxigenación, tampoco se aprecian diferencias estadísticamente significativas, aunque podemos observar que las plantas cultivadas en el tratamiento testigo, sin aporte de oxígeno, presentan valores superiores de diámetro basal.

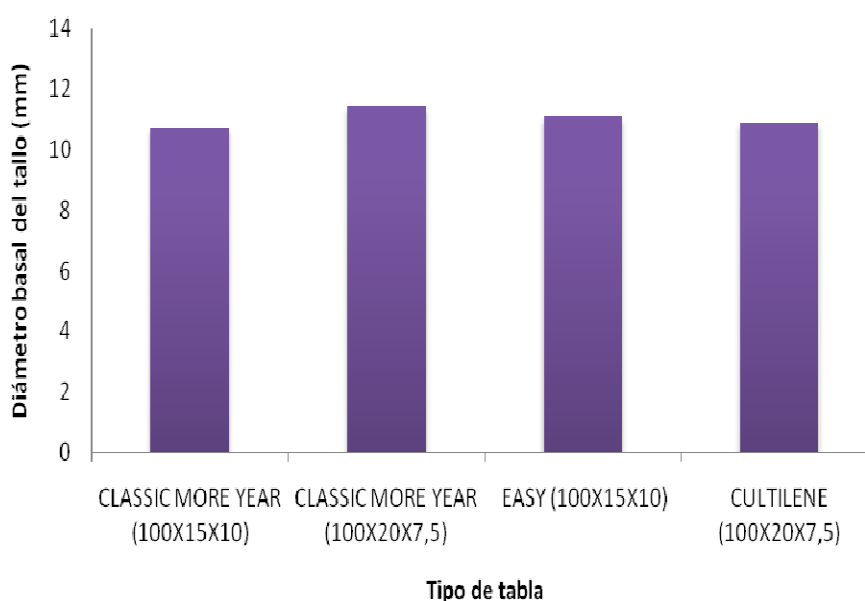


Figura 104. Efecto del factor tipo de tabla sobre el diámetro basal del tallo en (mm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

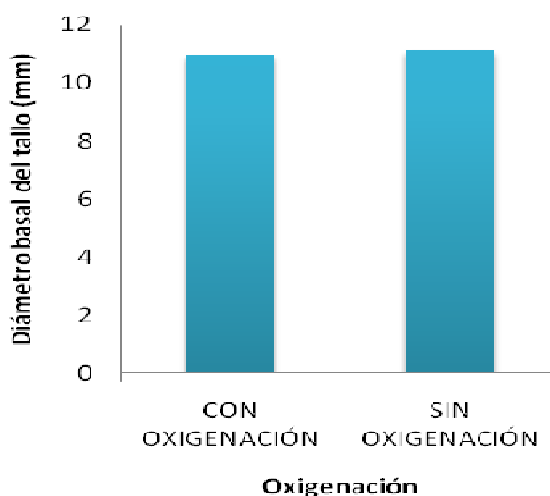


Figura 105. Efecto del factor oxigenación sobre el diámetro basal del tallo en (mm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

### 4.3.2. Diámetro medio del tallo (mm)

En la tabla 28 se muestran los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del parámetro diámetro medio del tallo (mm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian a lo largo de un ciclo corto de cultivo (otoño/invierno), durante la campaña 08/09, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

Tabla 28. Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre el diámetro medio del tallo (mm) de tomate cherry pera cv. Santasian.

DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)	
TIPO DE TABLA	180
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	12.05 b
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	12.93 a
EASY (100X15X10) FV	12.07 b
CULTILENE (100X20X7.5) FH	12.72 ab
p-valor	0.0169
OXIGENACIÓN	
CON OXIGENACIÓN	12.35 a
SIN OXIGENACIÓN	12.54 a
p-valor	0.4401

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para  $p < 0,05$ . FH: Fibra Horizontal; FV: Fibra Vertical.

En cuanto al factor tipo de tabla, podemos observar que hay diferencias estadísticamente significativas, siendo las plantas cultivadas sobre tablas Classic More Year (100x20x7.5) las que presentan un diámetro medio superior con un valor de 12.93 mm, mientras que en el otro extremo tenemos las plantas cultivadas sobre tablas Classic More Year (100x15x10) y Easy (100x15x10) con un diámetro medio de 12.05 y 12.07 mm respectivamente. Las plantas cultivadas sobre tablas Cultilène (100x20x7.5) tienen un diámetro medio intermedio con un valor de 12.72 mm.

Para el factor oxigenación, no se observan diferencias estadísticamente significativas, si bien podemos observar que las plantas cultivadas en el tratamiento testigo, sin aporte de oxígeno, presentan un diámetro medio ligeramente superior a las plantas cultivadas sobre el tratamiento con aporte de oxígeno.

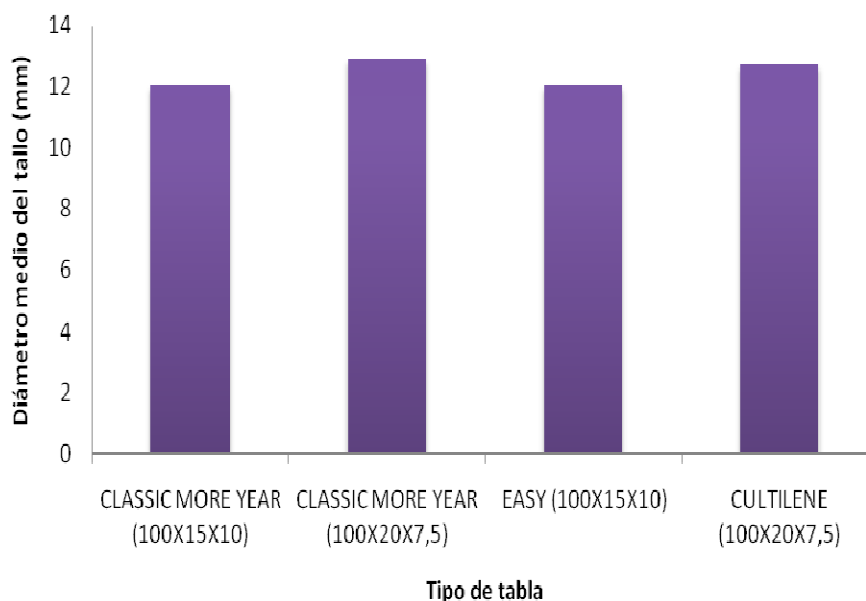


Figura 106. Efecto del factor tipo de tabla sobre el diámetro medio del tallo en (mm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

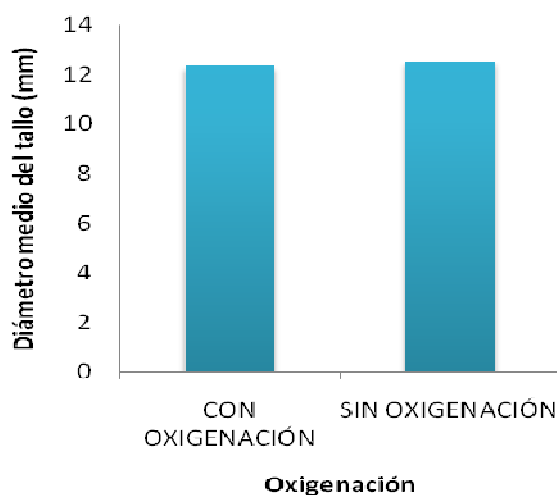


Figura 107. Efecto del factor oxigenación sobre el diámetro medio del tallo en (mm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

### 4.3.3. Diámetro apical del tallo (cm)

En la tabla 29 se muestran los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del parámetro diámetro apical del tallo (mm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian a lo largo de un ciclo corto de cultivo (otoño/invierno), durante la campaña 08/09, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

**Tabla 29. Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre el diámetro apical del tallo (mm) de tomate cherry pera cv. Santasian.**

<b>DIAS DESPUÉS DEL TRASPLANTE (d.d.t.)</b>	
<b>TIPO DE TABLA</b>	<b>180</b>
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	10.23 ab
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	11.12 b
EASY (100X15X10) FV	10.70 ab
CULTILENE (100X20X7.5) FH	9.60 a
p-valor	0.0003
<b>OXIGENACIÓN</b>	
CON OXIGENACIÓN	10.19 a
SIN OXIGENACIÓN	10.63 a
p-valor	0.1028

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para  $p < 0,05$ . FH: Fibra Horizontal; FV: Fibra Vertical.

Para el factor tipo de tabla, existen diferencias estadísticamente significativas entre las plantas cultivadas en las distintas tablas de lana de roca, siendo las plantas cultivadas sobre tablas Classic More Year (100x20x7.5) las que mayor diámetro apical presentan, seguidas de las plantas cultivadas sobre tablas Easy (100x15x10) y Classic More Year (100x15x10), por último las plantas cultivadas sobre tablas Cultilène (100x20x7.5) son las que menor diámetro apical presentan.

En cuanto al factor oxigenación, no se observan diferencias estadísticamente significativas, si bien podemos observar que las plantas cultivadas en el tratamiento testigo, sin aporte de oxígeno, presentan un diámetro apical ligeramente superior a las plantas cultivadas sobre el tratamiento con aporte de oxígeno.

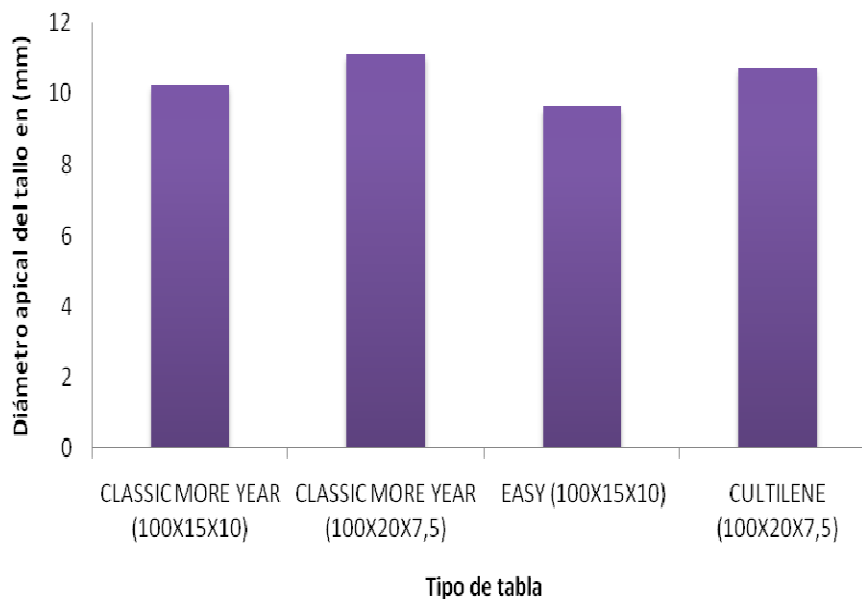


Figura 108. Efecto del factor oxigenación sobre el diámetro apical del tallo en (mm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

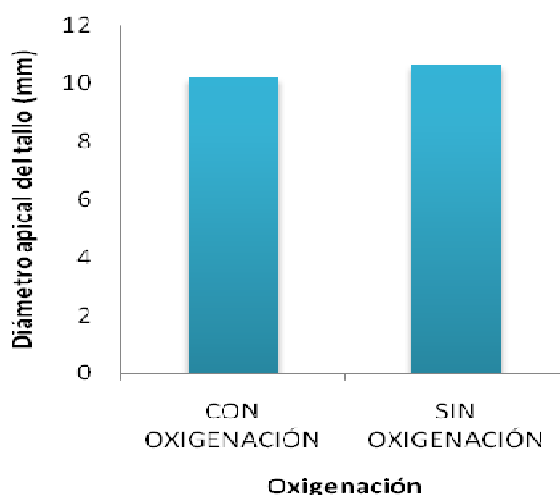


Figura 109. Efecto del factor oxigenación sobre el diámetro apical del tallo en (mm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

#### 4.3.4. Longitud del tallo (cm)

En la tabla 30 se muestran los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del parámetro longitud del tallo (cm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian a lo largo de un ciclo corto de cultivo (otoño/invierno), durante la campaña 08/09, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

**Tabla 30. Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre la longitud del tallo (cm) de tomate cherry pera cv. Santasian.**

<b>DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)</b>	
<b>TIPO DE TABLA</b>	<b>180</b>
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	288.38 a
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	287.72 a
EASY (100X15X10) FV	279.22 a
CULTILENE (100X20X7.5) FH	290.91 a
p-valor	0.2270
<b>OXIGENACIÓN</b>	
CON OXIGENACIÓN	286.36 a
SIN OXIGENACIÓN	286.75 a
p-valor	0.9267

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para  $p < 0,05$ . FH: Fibra Horizontal; FV: Fibra Vertical.

Para el factor tipo de tabla, no existen diferencias estadísticamente significativas para el parámetro longitud del tallo en ninguna de las plantas cultivadas sobre los distintos tipos de tablas, aun así podemos observar que las plantas cultivadas sobre las tablas Cultilène (100x20x7.5) son las que mayor longitud presentan, seguidas de las plantas cultivadas sobre tablas Classic More Year y por último, las plantas cultivadas sobre tablas Easy (100x15x10) son las plantas con menor longitud de tallo.

En cuanto al factor oxigenación, no se muestran diferencias estadísticamente significativas para el parámetro longitud del tallo en ninguno de los tratamientos, si bien podemos observar que las plantas cultivadas sobre el tratamiento testigo, sin oxigenación, presenta mayor longitud que las plantas cultivadas en el tratamiento con aporte de oxígeno.

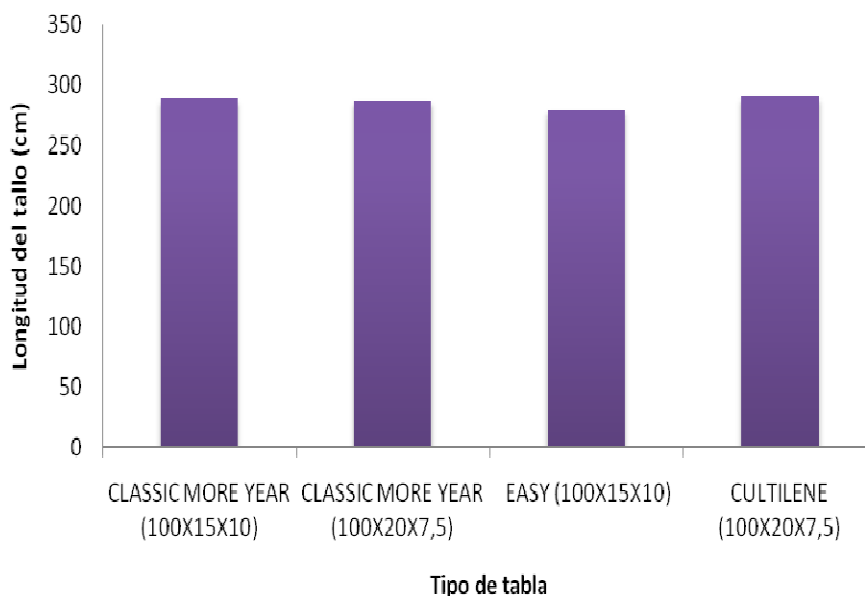


Figura 110. Efecto del factor tipo de tabla sobre la longitud del tallo en (cm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

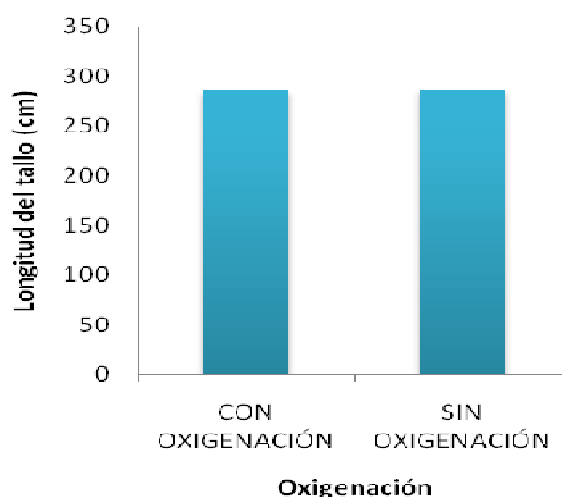


Figura 111. Efecto del factor oxigenación sobre la longitud del tallo en (cm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

#### 4.3.5. Longitud entre nudos (cm)

En la tabla 31 se muestran los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del parámetro longitud entre nudos (cm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian a lo largo de un ciclo corto de cultivo (otoño/invierno), durante la campaña 08/09, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

**Tabla 291. Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre la longitud entre nudos (cm) de tomate cherry pera cv. Santasian.**

<b>DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)</b>	
<b>TIPO DE TABLA</b>	<b>180</b>
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	9.64 a
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	9.83 a
EASY (100X15X10) FV	9.45 a
CULTILENE (100X20X7.5) FH	9.78 a
p-valor	0.2970
<b>OXIGENACIÓN</b>	
CON OXIGENACIÓN	9.66 a
SIN OXIGENACIÓN	9.68 a
p-valor	0.8912

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para  $p < 0,05$ . FH: Fibra Horizontal; FV: Fibra Vertical.

Para el factor tipo de tabla, no se muestran diferencias estadísticamente significativas para el parámetro longitud entre nudos, aun así podemos observar que las plantas cultivadas sobre tablas Classic More Year (100x20x7.5) son las que mayor distancia presentan entre nudos, mientras que las plantas cultivadas sobre tablas Easy (100x15x10) son las que menor distancia entre nudos presentan.

En cuanto al factor oxigenación, tampoco aparecen diferencias estadísticamente significativas para el tratamiento testigo, con aporte de oxígeno, y para el tratamiento sin aporte de oxígeno, siendo los valores prácticamente iguales en ambos tratamientos.



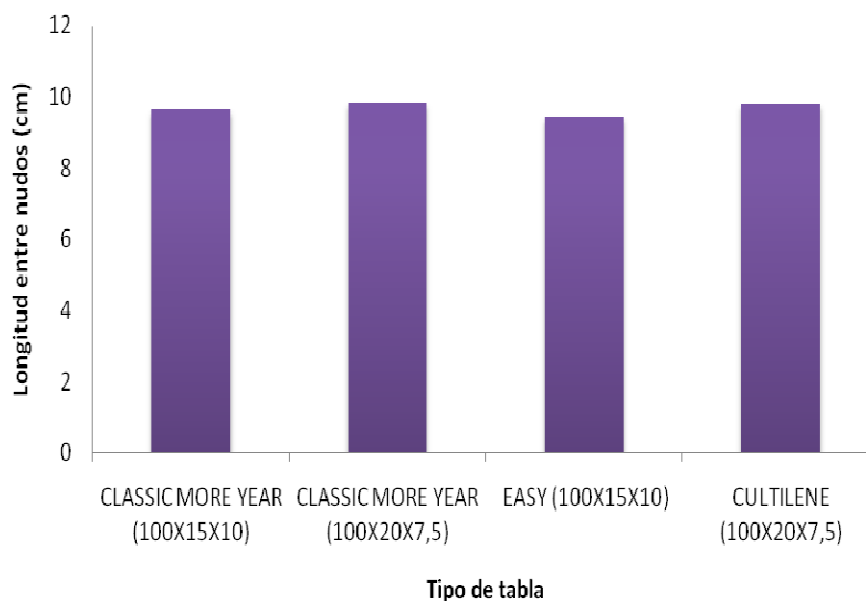


Figura 112. Efecto del factor tipo de tabla sobre la longitud entre nudos (cm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

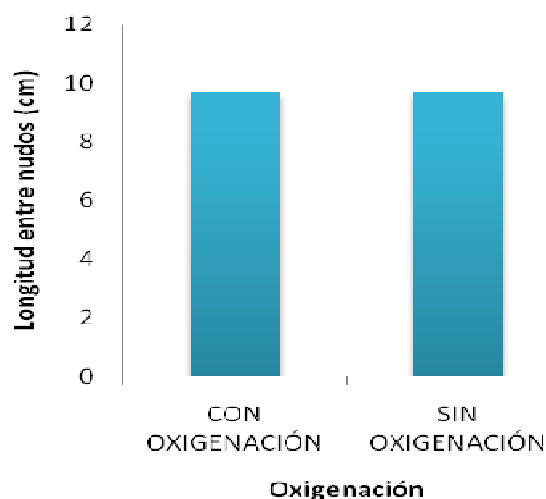


Figura 113. Efecto del factor oxigenación sobre la longitud entre nudos (cm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

#### 4.3.6. Longitud entre ramos (cm)

En la tabla 32 se muestran los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del parámetro longitud entre ramos (cm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian a lo largo de un ciclo corto de cultivo (otoño/invierno), durante la campaña 08/09, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

**Tabla 302. Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre la longitud entre ramos (cm) de tomate cherry pera cv. Santasian.**

<b>DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)</b>	
<b>TIPO DE TABLA</b>	<b>180</b>
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	27.58 ab
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	27.63 ab
EASY (100X15X10) FV	26.72 b
CULTILENE (100X20X7.5) FH	28.18 a
p-valor	0.1443
<b>OXIGENACIÓN</b>	
CON OXIGENACIÓN	27.59 a
SIN OXIGENACIÓN	27.46 a
p-valor	0.7720

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para  $p < 0,05$ . FH: Fibra Horizontal; FV: Fibra Vertical.

En cuanto al factor tipo de tabla, existen diferencias estadísticamente significativas para el parámetro longitud entre ramos, siendo las plantas cultivadas sobre tablas Easy (100x15x10) las que tienen menor longitud entre ramos, seguidas de las plantas cultivadas en tablas de tipo Classic More Year, y las que mayor longitud entre ramos presentan son las plantas cultivadas sobre tablas Cultilène (100x20x7.5).

En cuanto al factor oxigenación, no se encuentran diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los tratamientos, observando que las plantas cultivadas en el tratamiento con aporte de oxígeno presentan una longitud entre ramos superior que la de las plantas cultivadas sobre el tratamiento testigo, sin aporte de oxígeno.

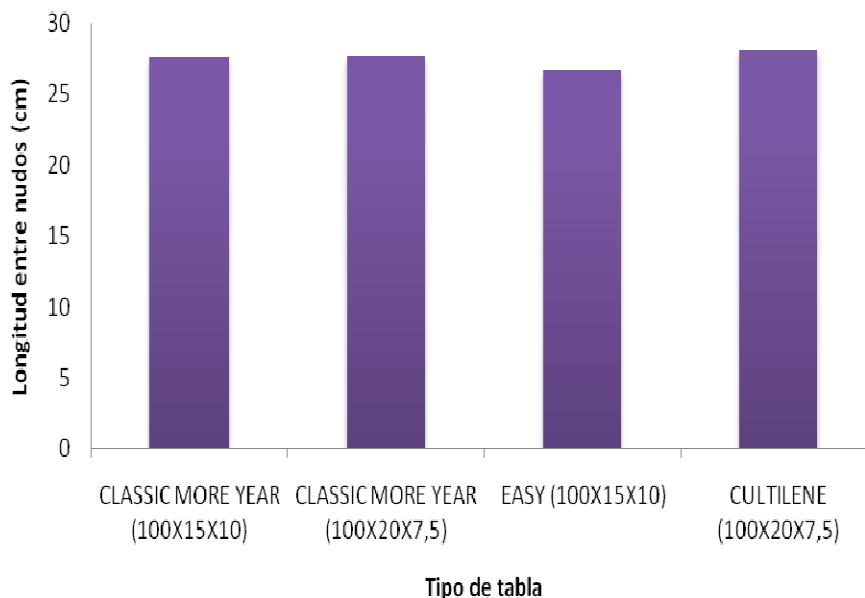


Figura 114. Efecto del factor tipo de tabla sobre la longitud entre ramos en (cm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

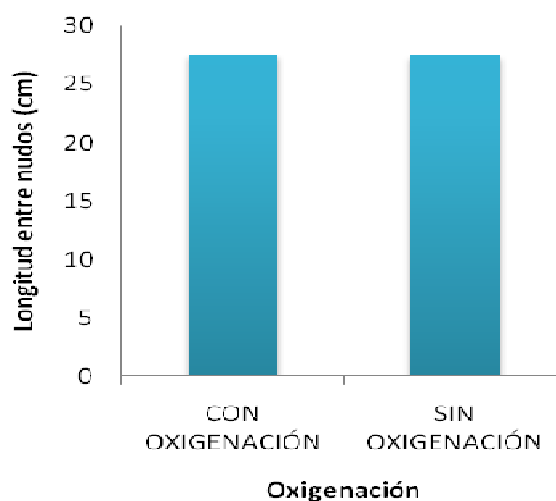


Figura 115. Efecto del factor oxigenación sobre la longitud entre ramos en (cm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

#### 4.3.7. N° de nudos por planta

En la tabla 33 se muestran los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del parámetro número de nudos por planta en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian a lo largo de un ciclo corto de cultivo (otoño/invierno), durante la campaña 08/09, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

**Tabla 313. Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre el número de nudos por planta de tomate cherry pera cv. Santasian.**

<b>DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)</b>	
<b>TIPO DE TABLA</b>	<b>180</b>
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	30.06 a
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	29.38 a
EASY (100X15X10) FV	29.59 a
CULTILENE (100X20X7.5) FH	29.84 a
p-valor	0.6601
<b>OXIGENACIÓN</b>	
CON OXIGENACIÓN	29.72 a
SIN OXIGENACIÓN	29.72 a
p-valor	1.000

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para  $p < 0,05$ . FH: Fibra Horizontal; FV: Fibra Vertical.

En cuanto al factor tipo de tabla, no existen diferencias estadísticamente significativas, siendo el número de nudos por planta muy similar para todas las plantas cultivadas sobre los distintos tipos de tablas, si bien podemos observar que las plantas con mayor número de nudos son las cultivadas sobre tablas Classic More Year (100x15x10), mientras que las plantas con menor número de nudos son las cultivadas sobre tablas Classic More Year (100x20x7.5) y Easy (100x15x10).

Para el factor oxigenación, tampoco se observan diferencias estadísticamente significativas, comportándose igual las plantas cultivadas sobre el tratamiento testigo, sin oxigenación, como las plantas cultivadas en el tratamiento con aporte de oxígeno, el número de nudos por planta en ambos casos es igual.

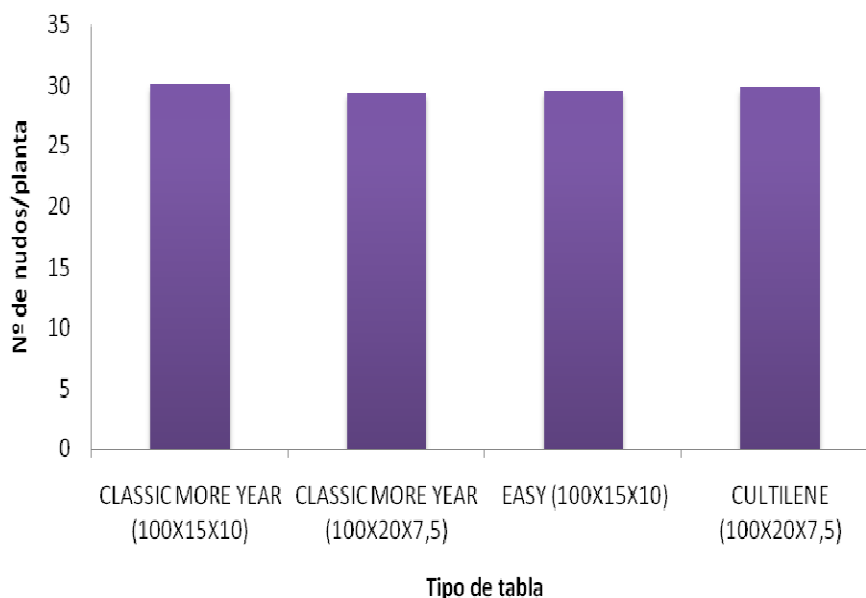


Figura 116. Efecto del factor tipo de tabla sobre el número de nudos por planta en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

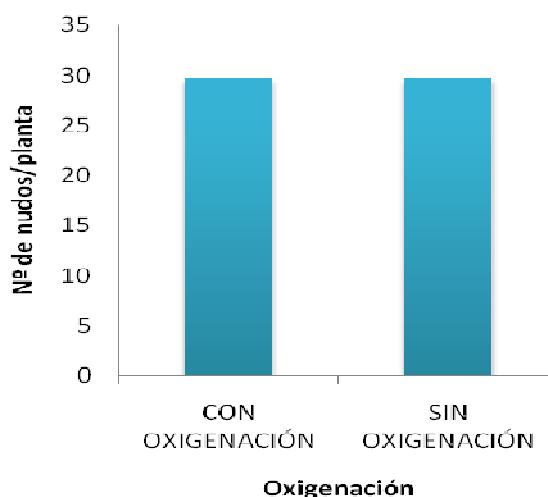


Figura 117. Efecto del factor oxigenación sobre el número de nudos por planta en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

#### 4.3.8. N° de ramos por planta

En la tabla 34 se muestran los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del parámetro número de ramos por planta en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian a lo largo de un ciclo corto de cultivo (otoño/invierno), durante la campaña 08/09, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

**Tabla 324. Efecto de los factores (tipo de tabla y oxigenación) sobre el número de ramos por planta de tomate cherry pera cv. Santasian.**

<b>DIAS DESPUÉS DEL TRSPLANTE (d.d.t.)</b>	
<b>TIPO DE TABLA</b>	<b>180</b>
CLASSIC MORE YEAR (100X15X10) FH	10.50 a
CLASSIC MORE YEAR (100X20X7.5) FH	10.50 a
EASY (100X15X10) FV	10.47 a
CULTILENE (100X20X7.5) FH	10.38 a
p-valor	0.9493
<b>OXIGENACIÓN</b>	
CON OXIGENACIÓN	10.42 a
SIN OXIGENACIÓN	10.50 a
p-valor	0.6481

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para  $p < 0,05$ . FH: Fibra Horizontal; FV: Fibra Vertical.

Para el factor tipo de tabla, no existen diferencias estadísticamente significativas, siendo los valores para el parámetro número de ramos por plantas muy similares entre las plantas cultivadas en los distintos tipos de tablas de lana de roca.

En cuanto al factor oxigenación, no existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos, si bien se observa que las plantas cultivadas sobre el tratamiento testigo, sin aporte de oxígeno, presentan un valor ligeramente superior en cuanto al número de ramos por planta.

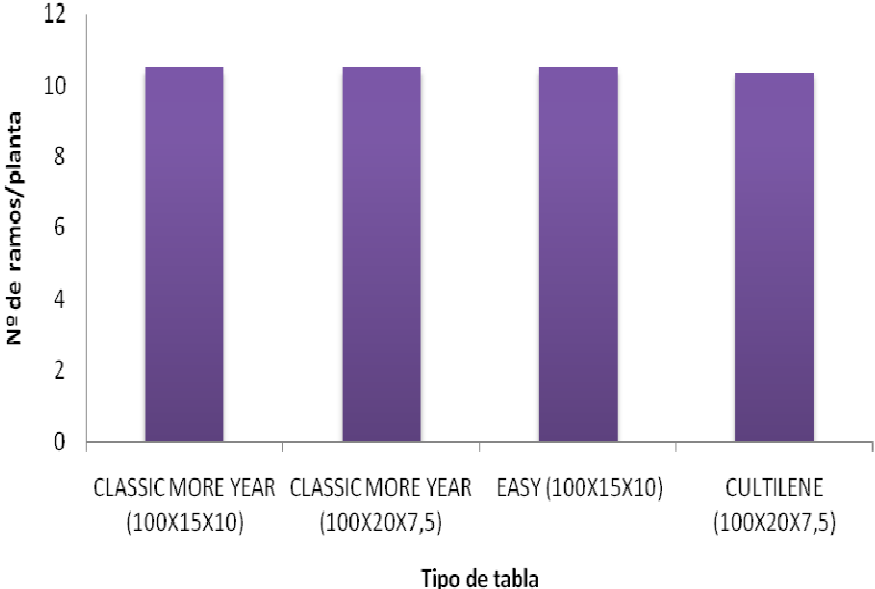


Figura 118. Efecto del factor oxigenación sobre el diámetro basal del tallo en (mm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

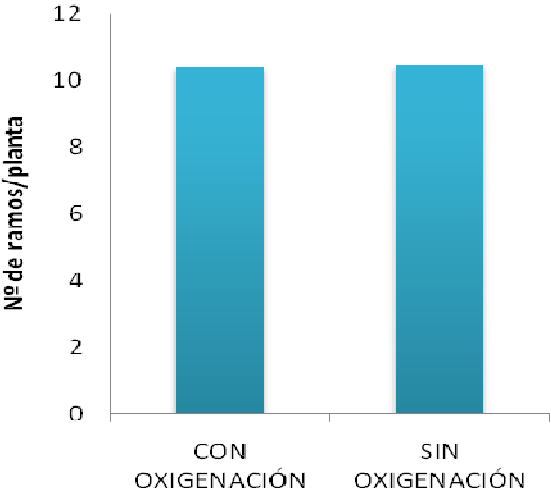


Figura 119. Efecto del factor oxigenación sobre el diámetro basal del tallo en (mm) en cultivo de tomate cherry pera cv. Santasian.

## **Conclusiones**



## 5. CONCLUSIONES

La evaluación de los resultados obtenidos en nuestro ensayo, nos lleva a concluir lo siguiente:

### ❖ Tipos de tablas de lana de roca

Los distintos tipos de tablas de lana de roca evaluados, mostraron diferencias estadísticamente significativas sobre los parámetros de producción ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$  y  $\text{kg}/\text{planta}$ ), observándose mayor productividad en las plantas cultivadas sobre tablas Classic More Year (100x20x7.5), seguidas de las Cultilène (100x20x7.5) ambas de perfil bajo en altura y fibras horizontales por lo que este tipo de estructura de tabla puede presentar ventajas técnicas respecto a este parámetro en nuestras condiciones de trabajo.

En los parámetros de producción frutos/ $\text{m}^2$  y frutos/planta, no mostraron diferencias estadísticamente significativas, pero si se pudo observar que las plantas cultivadas sobre tablas Classic More Year (100x15x10) y Easy (100x15x10), tenían tendencia a producir más frutos, mientras que las plantas cultivadas sobre tablas Cultilène (100x20x7.5) eran las que menos frutos producían.

En el peso medio del fruto (g), los distintos tipos de lana de roca tampoco apartaron diferencias estadísticamente significativas para la mayoría de los días evaluados, sin embargo, con estos resultados pudimos apreciar que las plantas que producían mayor número de frutos, producían frutos de menor peso y a la inversa.

Para el diámetro del fruto, tampoco se apreciaron diferencias estadísticamente significativas para la mayoría de los días evaluados, siguiendo la tendencia comentada para el peso medio de los frutos, es decir, las tablas que daban lugar a mayor número de frutos producían frutos de menor diámetro.

Respecto a los parámetros de calidad interna del fruto (contenido en sólidos solubles °Brix y pH del fruto), podemos concluir que aspectos relacionados con las dimensiones de las tablas; la orientación de las fibras y la oxigenación; no tienen un efecto significativo sobre la calidad interna de los frutos de las plantas cultivadas en ellas.

En los parámetros medidos sobre la planta (diámetro apical y medio del tallo) si aparecieron diferencias estadísticamente significativas, pudiéndose concluir que las tablas cultivadas sobre tablas Classic More Year (100x20x7.5) obtuvieron un mayor diámetro de tallo tanto apical como medio. En cuanto al diámetro basal del tallo, no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas, aunque si una tendencia similar.

En cuanto a la longitud del tallo, tampoco se apreciaron diferencias estadísticamente significativas, si bien se observó que las plantas cultivadas sobre tablas Cultilène

(100x20x7.5) presentaban mayor longitud, mientras que las cultivadas en tablas Easy (100x15x10) eran las más pequeñas.

En cuanto a la longitud entre nudos no se apreciaron diferencias significativas para ningún tipo de tabla, pero para la longitud entre ramos aparecieron diferencias estadísticamente significativas, siendo las plantas cultivadas en tablas Cultilène (100x20x7.5) las que mayor longitud entre ramos presentaban coincidiendo con las plantas que mayor longitud presentan.

Respecto a los aspectos fisiológicos/morfológicos de las plantas cultivadas en los sustratos evaluados; podemos concluir que las tablas diseñadas con una menor altura (7,5cm) han dado lugar a plantas con un crecimiento vegetativo más vigoroso predominando ligeramente un desarrollo vegetativo frente al generativo; se han observado en ellas diámetros de tallo medios mayores y mayor longitud de entrenudos frente a las tablas de mayor altura (10cm).

Por otro lado se obtiene (en los contenedores de mayor altura) una tendencia a hacer plantas con mayor número de nudos y mayor presencia de frutos; lo cual se asocia a un comportamiento más generativo que en el caso de los contenedores bajos.

Definitivamente el parámetro geométrico “Altura de la tabla” puede ser más influyente en el comportamiento de los cultivos que todos los demás.

Para el número de ramos por planta, no se aprecian diferencias estadísticamente significativas en ningún tipo de tabla.

#### ❖ Oxigenación

El aporte suplementario de oxígeno al sistema radical de la planta, no influyó sobre los parámetros de producción ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ,  $\text{kg/planta}$ ,  $\text{frutos}/\text{m}^2$  y  $\text{frutos/planta}$ ), ya que no aparecieron diferencias estadísticamente significativas sobre ninguno de los parámetros, observándose valores muy similares entre los distintos tratamientos.

En cuanto a los parámetros de calidad de fruto evaluados (peso medio, diámetro medio, ° Brix y pH), tampoco se apreciaron diferencias estadísticamente significativas, por tanto podemos decir que el aporte de oxígeno no tuvo influencia sobre ninguno de los parámetros ya que los valores obtenidos fueron prácticamente iguales para ambos tratamientos.

En los parámetros medidos sobre la planta (diámetro apical, medio y basal del tallo, longitud del mismo, longitud entre nudos y entre ramos y número de nudos y de ramos) tampoco aparecieron diferencias estadísticamente significativas, volviendo a ser los valores entre ambos tratamientos muy similares.

## **Bibliografía**

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- ABAD, M.; NORUEGA, P. Y CARRION, C., 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu, M. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. Pp. 113-158.
- ABAD, M., 1994. Sustratos para el cultivo sin suelo. En: El cultivo de tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. Pp. 131-166.
- ABAD, M., 1993. Sustratos para el cultivo sin suelo: inventario y características. En: Cultivos sin suelo. Cánovas, F y Díaz, J. FIAPA. Pp.47-80.
- ACUÑA, R.; GIL, I.; BONACHELA, S.Y MAGÁN, J.J., 2008. Oxyfertigation of a greenhouse melon crop grown in rockwool slabs in a mediterranean area. Acta Horticulturae 779: International Symposium on Growing Media.
- ACUÑA, R., 2007. Oxigenación en cultivos hortícola en sustratos de lana de roca y perlita en el litoral de Almería. Técnicas de mejora y efectos de los sustratos. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería. Pp. 84 – 120.
- ADAMS, P., 2004. Aspectos del manejo de los diferentes sustratos, su comparación, elección y factores medioambientales a considerar. En: Urrestarazu, M. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. Pp. 111-262.
- ADAMS, P., 2002. Nutricional Control in Hidroponics. En: Hydroponics Production of Vegetables and Ornamentals. Savvas, D. y Passam. Embryo Publications, Athen, Greece. Pp. 211 – 261.
- ADANS, P., 1991. Effects of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwool. Horticulture Research International. U.K.
- AGROTERRA, 2004. Los Trips en hortícola. [Web en línea]. Disponible en: [http://www.agroterra.com/plagasyenfermedades/detalle\\_PEasp?IdPE=76](http://www.agroterra.com/plagasyenfermedades/detalle_PEasp?IdPE=76).
- AGROTERRA, 2004. Mosca blanca de los invernaderos. [Web en línea]. Disponible en: [http://www.agroterra.com/plagasyenfermedades/detalle\\_PEasp?](http://www.agroterra.com/plagasyenfermedades/detalle_PEasp?)

- ALARCÓN, A.L., 2000. Introducción a los cultivos sin suelo. En: Tecnología para Cultivos de Alto Rendimiento. Alarcón, A.L. (coord.). Ed. Novedades Agrícolas. Almería. Pp. 191-203.
- ALDANONDO, A.M., 1996. El Mercado europeo del tomate fresco. Hortoinformación. 74: 21-28.
- ALIAGA, J.A., 2000. La producción intensiva en Almería. Evolución y situación actual. En: "Comercialización de productos hortofrutícolas II". Fernández, M.; Cuadrado, I.M. (eds). D.G.I.F.A., Comercializadora de productos andaluces S.A. y caja rural de Almería. Almería: 27-44.
- ANSORENA, J., 1994. Sustratos. Propiedades y Características. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- ARMSTRONG, W., 1979. Aeration in higher plants. Advances in Botanical Research. 7:225-332.
- AUNG, L.H., 1976. Effects of photoperiod and temperatura on vegetative and reproductive responses of *Lycopersicon esculentum*. Mill. J. Amer Soc. Hort. Sci. 101: 358-360.
- BAIXAULI, C. Y AGULAR, J. M., 2002. Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos. Ed. Generalitat Valenciana. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- BAKKER, J.C., 1990. Effects of day and night humidity in yield and frutiquality of glasshouse tomatoes. J. Hort. Sci. 65: 323-331.
- BERENGUER, J.J.; ESCOBAR, I.; CUARTERO, J., 2002. Greenhouse cultivation of Cherry tomatoes in Spain. Ist International on Cherry Tomatoes. Santorini, Greece.
- BONACHELA, S.; VARGAS, J. A. Y ACUÑA, R., 2004. Fertirrigación con una solución Nutritiva con Contenidos de Oxígeno Disuelto por encima de Saturación en un Cultivo de Sandía en sacos de Perlita en Invernadero. En: IX Simposio Internacional sobre Cultivo sin Suelo e Hidroponía. ISHS, Working Group on Soiles Culture-ISOSC y el Departamento de Producción Vegetal de Universidad de Almería. Universidad de Almería. Almería. Pp. 10 - 11.

- BUNT, A. C., 1991. The Relationship of Oxygen diffusion Rate to the Air-Filled-Porosity of Potting Substrate. En: Actas de Horticultura nº 294. Ed. R.U. Roeber. Inglaterra. Pp. 215 - 224.
- BURES, S., 1997. Sustratos. Ed. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid.
- CADAHÍA. C., 2005. Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. 3ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- CADENAS, F; GONZALES, V. Y HERNANDEZ, M., 2003. "El cultivo protegido del tomate". En: Camacho, F. Técnicas de producción en cultivos protegidos. (Tomo 2). Almería: Caja Rural Intermediterránea, Cajamar y Institutos de estudios Cajamar. Pp. 483-587.
- CALVERT, A., 1973. Environmental responses. In "Kingham, H.G. (Ed). The U.K. tomato manual. Growers Books, London": 23-24.
- CAMACHO, F. Y FERNÁNDEZ, E., 2008. Manual práctico de fertirrigación en riego por goteo. Ed. Ediciones Agrotécnicas, S.L. Madrid.
- CAMACHO, F., 2003. Técnicas de producción en cultivos protegidos. Volumen 1 y 2. Ed. Caja Rural Intermediterránea. Almería, España.
- CANOVAS, F., 2001. "Manejo del cultivo sin suelo". En: Nuez, F. El cultivo del tomate. Madrid: Mundi-Prensa, Pp. 227-254.
- CÁNOVAS, F., 1993. Principios básicos de la hidroponía. Aspectos comunes y diferencias de los cultivos con y sin suelo. En: Cultivos sin suelo. Cánovas, F. y Díaz, R. FIAPA. Pp. 25-42.
- CASTILLA, N., 2001. "Manejo del cultivo intensivo con suelo". En: Nuez, F. El cultivo del tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. Pp. 190-225.
- CASTILLA, N., 1996. Producción hortícola en invernadero y radiación solar. Hortoinformación. 78: 30-33. España.
- CASTELLANOS, D., 2006. Aireación radical a bajo costo de hortalizas en sistemas de cultivo sin suelo con diferentes sustratos. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.

- CHAMARRO, J., 2001. "Anatomía y fisiología de la planta". En: Nuez, F. El cultivo del tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. Pp. 43-91.
- CHAMARRO, J. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. En: El cultivo del tomate. (ed. Nuez, F.). Ed. Mundi.Prensa. España. 43-91 Productivity and cultivation cost analysis in plastic greenhouses in the Níjar (Almería) area. *Acta Horticulturae*, 559: 737-743.
- COUTO, T.; MAZUELA, P.; GUILLÉN, C.; VENTURA, F. Y URRESTARAZU, M., 2004. Efecto de la aplicación de aire sobre los parámetros de fertirrigación en cultivo sin suelo. En: IX Simposio Internacional sobre cultivo sin suelo e hidroponía. ISHS, Working Group on Soilless Culture-ISOSC y el departamento de producción vegetal de la Universidad de Almería. Universidad de Almería. Almería. Pp. 100.
- CUARTERO, J.; ORIHUEL, B.; ARTÉS, F.; CASTILLA, N. Y RODRÍGUEZ, A., 1995. Debate sobre calidad en los productos hortícolas. *Boletín informativo de la SECH*. VII-3: 8-10.
- DEL RIO, A.; LÓPEZ CANTERERO, I.; SÁNCHEZ, A.; VALENZUELA, J.L. Y ROMERO, L., 1993. Cambios fisiológicos durante el desarrollo y la maduración de frytos de tomate. En: La calidad en frutas y hortalizas. (eds. Albi, M.A.; Gutiérrez, F.; Roca, M.). *Maduración Y Postrecolección 93*. Sevilla. 45-50.
- EHRET, D.; HELMER, T., HALL, J.W. 1993. Cuticle creacking in tomato fruit. *J. Hortic. Sci.* 68 (2) 195-201. E.U.A.
- ESCOBAR, I.; BERENGUER, J.J. Y HERNÁNDEZ, J., 1995. El tomate cherry en invernadero. *Hortoinformación*. 6: 27-30. España.
- ESCUDERO, S., 1999. "Cultivo hidropónico del tomate". En: Canovas, F. y Díaz, J. R. *Curso Superior de Especialización sobre cultivos sin suelo II*. Almería: Dirección General de Investigación y Formación Agraria: FIAPA: Caja Rural de Almería. Pp. 451-484.
- ESQUINAS – ALCAZAR, J. Y NUEZ, F., 2001. "Situación taxonómica domesticación y difusión del tomate". En: Nuez, F. El cultivo del tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. Pp. 15-42.
- FAOSTAT. 2013. Bases de datos estadísticos de FAO. [Web en línea]. Disponible en: <http://faostat.fao.org>.

- FEPEX. 2013. Bases de datos estadísticos. [Web en línea]. Disponible en: <http://fepex.es>.
- FERNÁNDEZ, M.; CUADRADO, I.M. 1999. Cultivos sin suelo II. Curso Superior de Especialización. Consejería de agricultura y pesca, Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería (FIAPA) y Caja Rural de Almería.
- FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, E.J., 1999. Un caso práctico: El sistema de cultivo de ganchos y descuelgue para tomate. En: Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos. Volumen 3. Es. Camacho, F. Instituto de estudios y proyectos socioeconómicos Caja Rural de Almería. 289-294.
- FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, E.J., 1998. Calidad y productividad del tomate cereza en cuatro combinaciones poda-marco de plantación. En: Actas de horticultura. VI jornadas del grupo de horticultura.
- GARCIA, A., 2004. Cultivo en lana de roca. Parte III. En: Urrestarazu, M. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. Pp. 603-636.
- GISLEROD, R. Y ADAMNS, P., 1993. The oxygen content of flowing nutrient solutions used for Cucumber and Tomato Culture. *Scientia Hort.* 20:23-33.
- HOLTMAN, W.; VAN DUIJN, B.; BLAAKMEER, A. Y BLOK, C., 2004. Optimización de los niveles de oxígeno en el aparato radical como herramienta de cultivo efectiva. En: IX Simposio Internacional sobre cultivo sin suelo e hidroponía. ISHS, Working Group on Soilless Culture-ISOSC y el departamento de producción vegetal de la Universidad de Almería. Universidad de Almería. Almería. Pp. 23-24.
- INFOAGRO, 2011. El cultivo del tomate. [Web en línea]. Disponible en: <http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate.htm>.
- JACKSON, M.B., 1980. Aeration in the nutrient film technique at glasshouse production and the importance of oxygen, ethylene and carbon dioxide. *Acta Hort.* 98:61-78.
- JUNTA DE ANDALUCÍA. Observatorio de precios. Consejería de agricultura y pesca. [Web en línea]. Disponible en:  
<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/obsprecios/servlet/FrontControllerhtt>



- JUNTA DE ANDALUCÍA. Anuario de Estadísticas Agrarias. Consejería de agricultura y pesca. [Web en línea]. Disponible en:  
<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/opencms/portal/DGPAgraria/Estadisticas/estadisticasagrarias?entrada=servicios&servicio=201>.
- JUNTA DE ANDALUCÍA. Plagas de los cultivos. Consejería de agricultura y pesca. [Web en línea]. Disponible en:  
<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/opencms/portal/navegacion.jsp?entrada=tematica&tematica=271&subtematica=730>.
- JORDA, C., 1998. “Virus, viroides y fisiopatías”. En: Jordá, C. La sanidad del cultivo del tomate: fisiopatías, plagas, enfermedades, malas hierbas y su relación en el agrosistema. Valencia: M. V. Phytoma-España. Pp. 197-234.
- KINET, J.M. and PEET, M.M., 1997. Tomato. In “The physiology of vegetable crops (HC Wien) CAB international: 207-248.
- KOPPERT. Empresa de control biológico y polinización. [Web en línea]. Disponible en <http://www.koppert.es>
- LACASA, A. Y CONTRERAS, J., 2001. “Las plagas”. En: Nuez, F. El cultivo del tomate. Madrid: Mundi-Prensa. Pp. 386-467.
- LARA, A., 2000. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. [Publicado en línea]. Disponible en: <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/17/3/art221-229.pdf>.
- LEMAIRE, F.; DARTIGUEZ, A.; RIVIÈRE, L.M.; CHARPENTIER. S. Y MOREL, P., 2005. Cultivos en macetas y contenedores. Principios agronómicos y aplicaciones. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- LEMAIRE, F., 1989. Influence des caractéristiques du substrat sur la morphologie du Systeme racinaire des plantes ornementales cultivées en conteneurs ou pots. Agronomie. 9:795-801.
- LLURBA, M., 1997. Parámetros a tener en cuenta en los sustratos. En: Revista Horticultura Nº 125 - Diciembre 1997.

- LÓPEZ, J., 1993. Problemática general de los cultivos de invernadero en la zona de Almería. La hidroponía, elemento fundamental de las nuevas tecnologías de cultivo. En: Cultivos sin suelo. Díaz, J.R; Cánovas, F. Ed. DGIFA y FIAPA. Almería. Pp. 17-25.
- MAGAN, J. J., 2008. La agricultura sin suelo en la región mediterránea. [publicado en línea]. Disponible en: [www.canagua.com/es/pdf/agricultura.pdf](http://www.canagua.com/es/pdf/agricultura.pdf).
- MARFÁ, O.; CACERES, R. Y GURI, S., 2004. Oxifertigación: Una nueva Técnica para Cultivos sin suelo. En: IX Simposio Internacional sobre Cultivo sin Suelo e Hidroponía. ISHS, Working Group on Soiles Culture-ISOSC y el Departamento de Producción Vegetal de Universidad de Almería. Universidad de Almería. Almería. Pp. 25.
- MARFÁ, O. Y GURI, S., 1999. Física de sustratos y oxigenación del medio radicular. En: Curso Superior de Especialización sobre cultivos sin suelo II. Canovas, F. y Díaz, J. R. Almería: Dirección General de Investigación y Formación Agraria: FIAPA: Caja Rural de Almería. Pp. 93-106.
- MARFÁ, O., 1998. Física, hidrología y oxigenación en los sustratos para cultivos sin suelo. Riegos y drenajes. 101: Pp. 39-44.
- MARFÁ, O; OROZCO, R., 1995. Granulometric alteration, air entry potencial and hydraulic conductivity in perlites used in soilless-cultures. Acta Hort. 408: Pp. 147-161.
- MARÍN, J., 2010-11. Vademécum de variedades hortícolas. PORTAGRANO. Escobar impresores S.L. Almería. España.
- MAROTO, J. V., 2002. Hortalizas aprovechables por sus frutos. En: Maroto, J. V. Horticultura herbácea especial. 5ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. Pp. 401-618.
- MAROTO, J.V., 1995. Horticultura herbácea especial. Ed. Mundi.Prensa. Madrid. 3º Ed.
- MARTÍNEZ, E. Y GARCÍA, M. 1993. Cultivos sin suelo: hortalizas en clima mediterráneo. Ediciones de Horticultura. Reus.
- MARTÍNEZ, P.F., 2000. Presente y futuro de los sustratos en la horticultura mediterránea. Actas de Horticultura. 32:19:31.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, RURAL Y MARINO. Anuario de Estadística Agroalimentaria. [Web en línea].Disponible en:

<http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/introduccion.htm>.

- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, RURAL Y MARINO. Registro de Productos Fitosanitarios. [Web en línea]. Disponible en:

<http://www.mapa.es/es/agricultura/pags/fitos/registro/menu.asp>.

- MOCCIA, S.; FREZZA, D.; CHACRA, Y. Y MONACO, E., 1997. Comportamiento en postcosecha del tomate cherry. Facultad de agronomía. Buenos Aires. Argentina.
- MOLINA, X., 1996. Efectes de l'Aplicació d'Oxigen a l'Agua de Reg. Departamento de producciones Agrarias. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona. Barcelona.
- MORAD, P., 1995. Etude, de l'oxygenation du Systeme racinaire. En: Les cultures végétales hórres-sol. Ed. SARL pub. Agric.Agen Francè. Pp. 245-252.
- NAVARRETE, M.; JEANNEQUIN, 2001. Effect of frecuency of axillary bud pruning on vegetative growth and fruit yield in greenhouse tomato crops. *Sciencia Horticulturae*, 86: 197-210.
- NUEZ, F., 2001. El Cultivo del tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- OROZCO, R.; GSCHWANDER, S. Y MARFÁ, O., 1997. Substrate classification from particle size analysis. *Acta Hort.* 450:397:404.
- PAPADOPOULUS, A. P. Y HAO, X., 2002. Interactions between Nutrition an Enviromental Conditions in Hidroponics. En: *Hydroponics Production of Vegetables and Ornamentals*. Savvas, D. y Passam. Embryo Publications, Athen, Greece. Pp. 413 – 445.
- PÉREZ-ALFOCEA, F.; BALIBREA, E.; BOLARÍN, M.C. Y CUARTERO, J., 1997. Efecto de la salinidad sobre el rendimiento y la calidad del fruto en *Lycopersicon esculentum*, *Lycopersicon pimpinellifolium* y sus híbridos interespecíficos. *Actas Horta.* 2: 243-248.
- QUESADA, J., 2008. Respuesta de un cultivo de tomate en sustrato de lana de roca a la oxigenación de la solución nutritiva. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.
- RESH, H.M., 2001. Cultivos hidropónicos 5º Ed. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

- RIVIÈRE, L.M; CHARPENIER, D; JEANNIN, B; KAFKA, B., 1993. Oxygen concentration of nutrient solution in mineral wools. Acta Hort. 342:93:101.
- RODRÍGUEZ, R.; TABARES, J.M. Y MEDINA, J.A., 2001. Cultivo moderno del tomate. (2ª edición). Madrid: Mundi-Prensa.
- RODRÍGUEZ, R.; TABARES, J.M. Y MEDINA, J.A. 1984. Cultivo moderno del tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- SALAS SAN JUAN, M.C. 2001. Técnicas de fertirrigación en cultivo sin suelo. Ed. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería.
- SÁNCHEZ, M.J., 2008, Evaluación de un sistema de oxigenación del agua de riego sobre un cultivo de tomate cherry (*Lycopersicon esculentum* var. Cerasiforme) en varios tipos de sustrato de lana de roca, Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.
- SANDOVAL, C., 2004. MANUAL TECNICO. Manejo integrado de Enfermedades en cultivos hidropónicos. [publicado en línea]. Disponible en: [www.rlc.fao.org/es/agricultura/aup/pdf/integral.pdf](http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/aup/pdf/integral.pdf).
- SCHNITZLER, W.H; GRUDA, N.S., 2002. Hydroponics and Product Quality. En: Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Savvas, D. y Passam. Embryo Publications, Athen, Greece. Pp. 263 – 298.
- SCHRÖDER, F. G. Y LIETH, J. H., 2002. Irrigation Control in Hidroponics, En: Hidroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Savvas, D. y Passam. Embryo Publications, Athen, Greece. Pp. 263 - 298.
- SONNEVELD, C. Y VOOGT, W., 2001. Chemical análisis in substrate systems and hydroponics-use and interpretation. Proc. Int. Symp. On growing media & hydroponics. Act. Hort. 548: 247-259.
- TELLO, J. Y DEL MORAL, J., 2001 "Enfermedades no víricas del tomate". En: Nuez, F. El cultivo del tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. Pp. 197-234.
- TERRES, V.; ARTETXE, A.; BEUNZA, A., 1997. Caracterización física de los sustratos de cultivo. En: Revista Horticultura Nº 125 - Diciembre 1997.

- THAKUR, B.R.; SINGH, R.K. Y NELSON, P.E., 1996. Quality attributes of processed tomato products. Food reviews International. 12: 275-401.
- TUTA ABSOLUTA: [Web en línea]. Disponible en <http://www.tutaabsoluta.es>.
- URRESTARAZU, M., 2004. Bases y sistemas de los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu, M. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. Pp. 3-37.
- URRESTARAZU, M., 2000. Manual de cultivo sin suelo. Universidad de Almería, Servicio de Publicaciones.
- URRESTARAZU, M. Y MAZUELA, P., 2005. Effect of slow-release oxygen suplí by fertigation on horticultural crops. Under soilless culture. Hort Science 41:1729-1730.
- VANACHTER, A.; THYS, L.; VAN WAMBEKE, E. Y VAN AASSCHE, C., 1988. Posible use of ozon for desinfestation of plant nutrient solutions. Acta Hort. 221:259-301.
- VAN OSS, E.A.; GIELING, Th. H. Y RUIJS, M.N., 2002. Equipment for Hydroponic installations. En: Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Savvas, D. y Passam. Embryo Publications, Athen, Greece. Pp. 103-142.
- VARGAS, J.A., 2001. Uso de la oxifertirrigación en un cultivo en Sandía en sustrato de perlita en un invernadero de El Ejido (Almería). Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería. Pp. 50 – 78.
- VEGA, M; RAYA, J.L., 2000. Cultivo de Lana de Roca. Parte I. En Manual de Cultivo Sin suelo. Urrestarazu, M. (coord.). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería. Almería. Pp. 481-499.
- VENTURA, F.J., 2004. Influencia de la aireación de la rizosfera en el desarrollo de plantas hortícolas cultivadas en sustratos. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.
- VILLALOBOS, F.J.; MATEOS, L.; ORGAZ, F. Y FERRERES, E., 2002. Bases y tecnologías de la producción agrícola. Edt. Mundi-Prensa. Madrid.