

**Universidad Pública de Navarra**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR**  
**DE INGENIEROS AGRÓNOMOS**

*Nafarroako Unibertsitate Publikoa*  
*NEKAZARITZA INGENIARIEN*  
*GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA*

# **EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CULTIVO DE TOMATE: EFECTO EN LA PRODUCCIÓN Y LA CALIDAD**

Presentado por

**Miren Itsasne Zabala Amesti (e)k**

*Aurkeztua*

**INGENIERO TÉCNICO AGRICOLA EN HORTOFRUTICULTURA Y  
JARDINERIA**

*NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKOA BARATZEZAINZA,  
FRUTAGINTZA ETA LOREZAINZA BEREZITASUNA*

Junio de 2012 / 2012-ko Ekaina

# RESUMEN

**Tutora:** Dr. M. Inmaculada Farran Blanch

**Directores:** Dr. Patrick Riga y Dr. M. Edurne Baroja Fernández

Las fuentes de energía más utilizadas, en todos los sistemas de calefacción, han sido desde siempre los combustibles fósiles. Los cultivos intensivos bajo invernadero han visto en los últimos años como el coste derivado de la calefacción disminuye la rentabilidad de las cosechas en función de la deriva del precio de los combustibles fósiles. El coste energético debido a la calefacción puede alcanzar hasta el 30% de los gastos totales de estas empresas, además, no es económicamente viable prescindir de la calefacción ya que gran parte del valor añadido de la producción radica en los precios de las hortalizas fuera de temporada.

Esta problemática nos ha llevado a buscar fórmulas relacionadas con las técnicas de cultivo y la gestión climática que posibiliten la reducción del gasto energético a ser posible, sin reducir la producción y la calidad de los tomates.

En este contexto se diseñó este trabajo cuyo objetivo principal es, caracterizar la respuesta del cultivo de dos variedades de tomate (Jack y Óptima), tanto en producción como en la calidad, sometidos a distintas estrategias de gestión climática (diferentes temperaturas del aire y de las raíces).

Para ello nos planteamos los siguientes objetivos parciales:

1. Ver la influencia del momento de cosecha, tanto en la producción como en la calidad de las dos variedades de tomate.
2. Estudiar el efecto que tiene la aplicación de calefacción a nivel radicular en la producción y en la calidad del tomate.
3. Estudiar el efecto de los distintos regímenes de temperatura ambiental en la producción y la calidad del tomate.
4. Determinar la respuesta de las dos variedades en estudio, en producción y calidad del tomate, en los distintos regímenes térmicos.
5. Calcular el gasto energético de cada régimen térmico.

Para caracterizar la respuesta del cultivo se realizaron cinéticas de la evolución de la biomasa y de la superficie foliar de los cultivos. Se tomaron datos cuantitativos y cualitativos de la producción. Los parámetros de calidad fueron, color "a", "b", "L", dureza, contenido en sólidos solubles, porcentaje de materia seca, ácido cítrico, conductividad eléctrica, pH, relación °Brix/ácido cítrico y porcentaje de jugosidad. La eficiencia energética del cultivo (kw necesarios para producir un kg de producto comercial) se calculó mediante registros de consumo energético de cada cultivo.

Los resultados obtenidos demostraron que la calefacción no conlleva cambios en la calidad ni en la producción. Los regímenes de temperatura más altos favorecen la producción y algunos aspectos de la calidad y el momento de muestreo, es importante en ciertos aspectos de la calidad.

El acúmulo de biomasa se correlaciona con la producción, resultando la variedad Jack, mejor que la variedad Óptima.

Se ha demostrado que se reduce el gasto energético dirigido a la calefacción radicular, a temperaturas ambientales elevadas.

El coste de producción en euros/kg se correlaciona con la biomasa, resultando 0,065 euros/kg de media más barato, producir 1 kg de tomates de la variedad Jack que de Óptima.

LA ALUMNA

Fdo: Miren Itsasne Zabala Amesti

LA TUTORA

Fdo. Dr. M. Inmaculada Farran Blanch

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a todas las personas que me han ayudado, familia y amigos, especialmente a Begoña Epalza, por toda la ayuda y el apoyo recibido en la realización de este trabajo.

# INTRODUCCIÓN

Debido al aumento de la demanda, por parte de los consumidores, de hortalizas frescas durante de todo el año, los cultivos bajo invernadero se han intensificado hasta producir durante 10 meses por año. La producción de hortalizas fuera de su estación requiere el aporte de calor en los invernaderos.

Las principales fuentes de energías utilizadas para calentar los invernaderos, han sido desde siempre los combustibles fósiles. Los cultivos intensivos bajo invernadero han visto en los últimos años como el coste derivado de la calefacción disminuía la rentabilidad de las cosechas en función de la deriva del precio de los combustibles fósiles. El coste energético debido a la calefacción puede suponer hasta el 30% de los gastos totales de estas explotaciones. De ahí que la reducción de estos gastos sea de absoluta prioridad bajo el contexto actual, en el que vivimos una crisis energética. Por otra parte, el uso de combustibles fósiles aumenta la contaminación atmosférica. Así, se estima que se pueden liberar entre 850 y 1100 t de CO<sub>2</sub> por ha de invernadero calentado. Además, no es económicamente viable prescindir de la calefacción ya que gran parte del valor añadido de la producción radica en los precios de las hortalizas fuera de temporada.

Esta problemática nos ha llevado a buscar fórmulas relacionadas con las técnicas de cultivo y la gestión climática que posibiliten la reducción del gasto energético, a ser posible, sin reducir la producción y la calidad de los tomates.

Para caracterizar la respuesta del cultivo se realizaron cinéticas de la evolución de la biomasa y de la superficie foliar de los cultivos. Se tomaron datos cuantitativos y cualitativos de la producción. Los parámetros de calidad fueron, color ("a", "b" y "L"), dureza, contenido en sólidos solubles (°Brix), porcentaje de materia seca (%MS), ácido cítrico (g/100ml, g/fruto, g/kg de peso fresco), pH, conductividad eléctrica (CE), relación de °Brix/acidez y porcentaje de jugosidad. La eficiencia energética del cultivo (kW necesarios para producir un kg de producto comercial) se calculó mediante registros del consumo energético de cada cultivo.

## ÍNDICE GENERAL

<b>1. Antecedentes.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 COSTE ENERGÉTICO DE LA CALEFACCIÓN DE LOS INVERNADEROS.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 EL CULTIVO DE TOMATE .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 CARACTERÍSTICAS DEL TOMATE EUSKO LABEL .....</b>	<b>18</b>
1.3.1 Características del cultivo de tomate .....	19
1.3.1.1 Origen .....	19
1.3.1.2 Taxonomía y morfología.....	20
1.3.1.3 Requerimientos edafoclimáticos .....	22
<b>1.4 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA CALIDAD Y PRODUCCIÓN DEL TOMATE .....</b>	<b>23</b>
1.4.1 Calentamiento del suelo a nivel radicular .....	23
1.4.2 Calentamiento del aire .....	24
<b>1.5 EFICIENCIA ENERGÉTICA .....</b>	<b>24</b>
1.5.1 Técnicas de ahorro energético .....	26
1.5.1.1 Mejora de aislamiento térmico .....	26
1.5.1.2 Mejora de la eficiencia energética .....	26
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>30</b>
<b>3. Materiales y métodos.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 MATERIALES.....</b>	<b>31</b>
3.2.1 Invernaderos y sistema de calefacción.....	31
3.2.2 Sistema de riego y fertilización .....	33
<b>3.3 MÉTODOS .....</b>	<b>34</b>
3.3.1 El cultivo.....	34
3.3.2 Tratamientos.....	34
3.3.3 Diseño experimental del ensayo.....	35
3.3.4 Producción .....	36
3.3.5 Calidad .....	36
3.3.6 Biomasa .....	41
3.3.7 Cálculo del gasto energético de los invernaderos.....	41
<b>3.4 TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL INVERNADERO .....</b>	<b>45</b>
<b>3.5 ANALISIS ESTADISTICO .....</b>	<b>45</b>
<b>4 Resultados y discusión.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1 BIOMASA.....</b>	<b>47</b>
4.1.1 Biomasa a los 45 días del trasplante.....	47
4.1.2 Biomasa a los 83 días del trasplante.....	49
<b>4.2 RENDIMIENTO .....</b>	<b>53</b>
4.2.1 Producción total.....	53
4.2.2 Producción comercial.....	56
4.2.3 Producción Destrío.....	58
4.2.4 Producción por calibres .....	60
<b>4.3 CALIDAD .....</b>	<b>62</b>
4.3.1 Color.....	62
4.3.1.1 Color “a” .....	62
4.3.1.2 Color “b” .....	65
4.3.1.3 Color “L” .....	67
4.3.2 Dureza .....	70
4.3.3 Porcentaje de materia seca .....	72
4.3.4 Porcentaje de jugosidad .....	75
4.3.5 Concentración en sólidos solubles ( <sup>o</sup> Brix) .....	77
4.3.6 Conductividad eléctrica (CE).....	79

4.3.7 pH.....	81
4.3.8 Acido cítrico.....	84
4.3.8.1 Acido cítrico g/100ml.....	84
4.3.8.2 Acido cítrico g/fruto.....	86
4.3.8.3 Acido cítrico g/kg de peso fresco.....	88
4.3.9 Relación °Brix/acido cítrico.....	90
<b>4.4 CONSUMO TÉRMICO.....</b>	<b>94</b>
4.4.1 Consumos de combustible y costes monetarios.....	95
<b>5 Conclusiones.....</b>	<b>97</b>
<b>6. Bibliografía.....</b>	<b>98</b>
<b>7.ANEXOS.....</b>	<b>101</b>
<b>7.1 Temperatura aérea, radicular y déficit de saturación.....</b>	<b>101</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Conjunto de tomates Eusko Label; fotografía perteneciente a la fundación Kalitatea.....	16
Figura 2 Kilos de tomate vendido en Mercabilbao, en el año 2011; Fuente Mercabilbao: <a href="http://www.mercabilbao.com/index/index.asp">http://www.mercabilbao.com/index/index.asp</a> .....	17
Figura 3 Precio máximo, mínimo y más frecuente en euros, recibido por el tomate del país en el año 2011; Fuente Mercabilbao: <a href="http://www.mercabilbao.com/index/index.asp">http://www.mercabilbao.com/index/index.asp</a> .....	18
Figura 4 Esquema de la planta: raíces, hojas, tallos, flores y frutos de la planta del tomate ( <i>Lycopersicum esculentum</i> ). Fuente: Internet.....	20
Figura 5 Tallos, hojas y flores de la planta del tomate ( <i>Lycopersicum esculentum</i> ). Fuente: Internet.....	21
Figura 6 Frutos de la planta del tomate ( <i>Lycopersicum esculentum</i> ) inflorescencia en forma de racimo. Fuente: Internet .....	21
Figura 7 Invernaderos multicapilla de placa rígida. Foto cedida por Neiker.....	31
Figura 8 Fila de tomates junto con el sistema de calefacción aéreo. Foto cedida por Neiker.....	31
Figura 9 Monorraíles de calefacción del aire calentados por agua a 80°C. Foto cedida por Neiker.....	32
Figura 10 Sistema de calefacción por monorraíles. Foto cedida por Neiker.....	32
Figura 11 Caldera de biomasa Osby P500 de 450kW de potencia, funcionamiento con pellets de serrín prensado. Foto cedida por Neiker.....	32
Figura 12 Tubos corrugados para calefacción de suelo, calentados por agua a 45°C y dispuestos debajo del sustrato. Foto cedida por Neiker.....	33
Figura 13 Sistema de fertirrigación automatizado, tanques de fertilizado con soluciones nutritivas. Foto cedida por Neiker.....	34
Figura 14 Sistema de fertirrigación automatizado, conjunto de tuberías y medidores. Foto cedida por Neiker.....	34
Figura 15 Esquema del planteamiento del ensayo de los dos compartimentos, a 20/15°C y 18/12°C día/noche con ventilación a 22/20°C día/noche y dos tratamientos radiculares, con calefacción a 20°C y sin calefacción.....	35
Figura 16 Diseño del ensayo del compartimento C4 (20/15°C día/noche) y del C3 (18/12°C día/noche), con calefacción en raíces (20°C) y sin calefacción en las variedades Jack y Óptima.....	36
Figura 17 Laboratorio donde se realizaron los ensayos; tomates divididos en 3 lotes de cinco tomates. Foto cedida por Neiker.....	37
Figura 18 Separación de las unidades de color en el espacio CIEL. Fuente: Internet....	38
Figura 19 Tomates troceados en una licuadora Braun. Foto cedida por Neiker.....	39
Figura 20 pH metro Crison. Foto cedida por Neiker.....	40
Figura 21 Refractómetro digital para medir los °Brix. Foto cedida por Neiker.....	40
Figura 22 Bureta para titración. Foto cedida por Neiker.....	41
Figura 23 Sonditas de temperatura para el cálculo del gasto energético. Foto cedida por Neiker.....	42
Figura 24 Contador Sensus metering. Foto cedida por Neiker.....	42
Figura 25 Diferencia de temperatura de impulsión y retorno en la calefacción ambiental (monorraíles a 80°C) del C3 (18/12°C).....	43
Figura 26 Diferencia de temperatura de impulsión y retorno en la calefacción radicular (tubo corrugado a 45°C) del C3 (18/12°C).....	43

Figura 27 Diferencia de temperatura de impulsión y retorno en la calefacción ambiental (monorraíles a 80°C) del C4 (20/15°C). .....	44
Figura 28 Diferencia de temperatura de impulsión y retorno en la calefacción radicular (tubo corrugado a 45°C) del C4 (20/15°C). .....	44
Figura 29 Evolución de la producción total expresado en kg/m <sup>2</sup> en el compartimento C3 (18/12°C día/noche) contabilizado en días después del trasplante (DDT). .....	54
Figura 30 Evolución de la producción total expresado en kg/m <sup>2</sup> en el compartimento C4 (20/15°C día/noche) contabilizado en días después del trasplante (DDT). .....	55
Figura 31 Rendimiento total de dos variedades (Jack y Óptima) sometidas a distintos tratamientos térmicos: ambiental (compartimento C4 a 20/15°C y C3 a 18/12°C día/noche) y de suelo (con calefacción a 20°C y sin calefacción). .....	56
Figura 32 Evolución de la producción comercial expresado en kg/m <sup>2</sup> en el compartimento C3 (18/12°C día/noche) contabilizado en días después del trasplante (DDT). .....	56
Figura 33 Evolución de la producción comercial expresado en kg/m <sup>2</sup> en el compartimento C4 (20/15°C día/noche) contabilizado en días después del trasplante (DDT). .....	57
Figura 34 Rendimiento comercial de dos variedades (Jack y Óptima) sometidas a distintos tratamientos térmicos: ambiental (compartimento C4 a 20/15°C y C3 a 18/12°C día/noche) y de suelo (con calefacción a 20°C y sin calefacción). .....	58
Figura 35 Evolución de la producción de destrío expresado en kg/m <sup>2</sup> en el compartimento C3 (18/12°C día/noche), contabilizado en días después del trasplante (DDT). .....	58
Figura 36 Evolución de la producción de destrío expresado en kg/m <sup>2</sup> en el compartimento C4 (20/15°C día/noche), contabilizado en días después del trasplante (DDT). .....	59
Figura 37 Producción de destrío de dos variedades (Jack y Óptima) sometidas a distintos tratamientos térmicos: ambiental (compartimento C4 a 20/15°C y C3 a 18/12°C día/noche) y de suelo (con calefacción a 20°C y sin calefacción). .....	60
Figura 38 Producción por calibres expresado en kg/m <sup>2</sup> y clasificación por tamaños durante el cultivo en el compartimento 3 a temperaturas aéreas de 18/12°C día/noche. ....	61
Figura 39 Producción por calibres expresado en kg/m <sup>2</sup> y clasificación por tamaños durante el cultivo en el compartimento 4 a temperaturas aéreas de 20/15°C día/noche. ....	61
Figura 40 Evolución del color "a" durante el cultivo en la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar. ....	63
Figura 41 Evolución del color "a" durante el cultivo en la variedad Óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar. ....	64
Figura 42 Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación [C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N)] y la variedad (Óptima y Jack) en el color "a" independientemente del momento de cosecha. Los datos representan la media y la desviación estándar. ....	65
Figura 43 Evolución del color "b" en la duración del cultivo de la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de	

temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.....	66
Figura 44 Evolución del color "b" durante el cultivo en la variedad Óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.....	66
Figura 45 Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en el color "b" independientemente del momento de cosecha.....	67
Figura 46 Evolución del color "L" durante el cultivo en la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.....	68
Figura 47 Evolución del color "L" durante el cultivo en la variedad Óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.....	69
Figura 48 Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en el color "L" independientemente del momento de cosecha. ...	70
Figura 49 Evolución de la dureza durante el cultivo en la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.....	71
Figura 50 Evolución de la dureza durante el cultivo en la variedad Óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.....	71
Figura 51 Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en la dureza independientemente del momento de cosecha. ....	72
Figura 52 Evolución del porcentaje de materia seca durante el cultivo en la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar. ....	73
Figura 53 Evolución del porcentaje de materia seca durante el cultivo en la variedad Óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar. ....	74
Figura 54 Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en el porcentaje de materia seca (%MS) independientemente del momento de cosecha.....	75
Figura 55 Evolución del porcentaje de jugosidad durante el cultivo en la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar. ....	76
Figura 56 Evolución del porcentaje de jugosidad durante el cultivo en la variedad Óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos	

regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar. ....	76
Figura 57 Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en el porcentaje de jugosidad independientemente del momento de cosecha.....	77
Figura 58 Evolución del contenido en sólidos solubles durante en cultivo en la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar. ....	78
Figura 59 Evolución del contenido en sólidos solubles durante el cultivo en la variedad óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar. ....	78
Figura 60 Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en la concentración de sólidos solubles (°Brix) independientemente del momento de cosecha.....	79
Figura 61 Evolución de la conductividad eléctrica expresada en mS*cm-1 durante el cultivo en la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar. ....	80
Figura 62 Evolución de la conductividad eléctrica expresada en mS*cm-1 durante el cultivo en la variedad Óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar. ....	80
Figura 63 Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en la conductividad eléctrica (CE) independientemente del momento de cosecha.....	81
Figura 64 Evolución del pH en la duración del cultivo de la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.....	82
Figura 65 Evolución del pH en la duración del cultivo de la variedad óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.....	83
Figura 66 Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en el pH independientemente del momento de cosecha. ....	84
Figura 67 Evolución de los niveles de ácido cítrico (g/100ml) durante el cultivo en la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.....	85
Figura 68 Evolución de los niveles de ácido cítrico (g/100ml) durante el cultivo en la variedad óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.....	85

Figura 69 Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en la acidez expresado en g/100ml de muestra independientemente del momento de cosecha.....	86
Figura 70 Evolución de los niveles de ácido cítrico (g/fruto) durante el cultivo en la variedad óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.....	87
Figura 71 Evolución de los niveles de ácido cítrico (g/fruto) durante el cultivo en la variedad óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.....	87
Figura 72 Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en la acidez expresado en g/fruto independientemente del momento de cosecha.....	88
Figura 73 Evolución de los niveles de ácido cítrico (g/kg de peso fresco) durante el cultivo en la variedad óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.	89
Figura 74 Evolución de los niveles de ácido cítrico (g/kg de peso fresco) durante el cultivo en la variedad óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.	89
Figura 75 Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en la acidez expresado en g/kg peso fresco independientemente del momento de cosecha.....	90
Figura 76 Evolución de los niveles de °Brix/ácido cítrico durante el cultivo en la variedad óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.....	91
Figura 77 Evolución de los niveles de °Brix/ácido cítrico durante el cultivo en la variedad óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.....	92
Figura 78 Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en la relación °Brix/ácido cítrico independientemente del momento de cosecha.....	93
Figura 79 Consumo térmico de la calefacción radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) y ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche ) expresado en kW/m <sup>2</sup> en el compartimento C3 a 18/12°C día/noche. ....	94
Figura 80 Consumo térmico de la calefacción radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) y ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche ) expresado en kW/m <sup>2</sup> en el compartimento C4 a 20/15°C día/noche. ....	95

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Producción mundial de tomates y posicionamiento por países productores en 1000\$ Int y T del año 2010; Fuente FAOSTAT.....	15
Tabla 2 Producciones (T), superficie (ha), rendimiento (qm/ha), precio (euros/100kg), valor (miles de euros) y comercio exterior (T) de tomates en España desde el año 1999 hasta el 2009; Fuente MAGRAMA. <a href="http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estad-publicaciones/anuario-de-estadistica/2010/">http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estad-publicaciones/anuario-de-estadistica/2010/</a> .....	18
Tabla 3 Necesidades energéticas de un invernadero según la potencia media instalada y necesidades energéticas en función del gradiente térmico; FAO 2002. Fuente IDAE.....	26
Tabla 4 Tipos de biomasa y sus características medidos en humedad (%), cenizas (%), PCI (Kcal/m <sup>3</sup> ), densidad (kg/m <sup>3</sup> ) y precio aproximado de la biomasa (euros/MWh); Fuente IDAE.....	28
Tabla 5 Efecto de la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche), radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) en el área foliar (cm <sup>2</sup> ) de dos variedades (Jack y Óptima) a los 45 días después de trasplante.....	47
Tabla 6 Efecto de la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche), radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) en el peso seco de las hojas (g) de dos variedades (Jack y Óptima) a los 45 días después de trasplante. ....	48
Tabla 7 Efecto de la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche), radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) en el peso seco de los tallos (g) de dos variedades (Jack y Óptima) a los 45 días después de trasplante. ....	48
Tabla 8 Efecto de la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche), radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) en el peso seco de los tallos más hojas (g) de dos variedades (Jack y Óptima) a los 45 días después de trasplante. ....	49
Tabla 9 Efecto de la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche), radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) en el área foliar (cm <sup>2</sup> ) de dos variedades (Jack y Óptima) a los 83 días después de trasplante.....	50
Tabla 10 Efecto de la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche), radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) en el peso seco foliar (cm <sup>2</sup> ) de dos variedades (Jack y Óptima) a los 83 días después de trasplante. ....	51
Tabla 11 Efecto de la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche), radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) en el peso seco de los tallos (cm <sup>2</sup> ) de dos variedades (Jack y Óptima) a los 83 días después de trasplante.....	51
Tabla 12 Efecto de la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche), radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) en el peso seco de los tallos más las hojas (cm <sup>2</sup> ) de dos variedades (Jack y Óptima) a los 83 días después de trasplante. ....	52
Tabla 13 Consumo energético del compartimento C4 a 20/15°C día/noche: producción comercial (kg/m <sup>2</sup> ), consumo (kWh/m <sup>2</sup> ), coste por producción (kW/kg) y coste monetario (kg de pellets/kg), (euros/kg) en función de la calefacción radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) y la variedad (Jack y Óptima).....	95
Tabla 14 Consumo energético del compartimento C3 a 18/12°C día/noche: producción comercial (kg/m <sup>2</sup> ), consumo (kWh/m <sup>2</sup> ), coste por producción (kW/kg) y coste monetario (kg de pellets/kg), (euros/kg) en función de la calefacción radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) y la variedad (Jack y Óptima).....	96

# **1. Antecedentes**

## ***1.1 COSTE ENERGÉTICO DE LA CALEFACCIÓN DE LOS INVERNADEROS***

La demanda energética de un invernadero depende de la relación entre las condiciones climáticas exteriores y las necesidades ambientales de los cultivos dentro del invernadero. El control climático mejora el confort de las plantas y ayuda a conseguir los objetivos productivos del invernadero.

Los sistemas de calefacción y refrigeración se usan para controlar la temperatura interior. Su objetivo es el lograr valores de temperatura los más cercanos posibles a las óptimas de producción. Debido a las características del sector hortícola, las medidas de climatización y aislamiento no están tan extendidas.

El material de cubierta utilizado es uno de los factores que influyen de forma decisiva en las necesidades de calefacción o refrigeración de las plantas cultivadas en los invernaderos. Igualmente tienen importancia la propia refrigeración que proporcionan estas mismas plantas a través de su transpiración y el calor que entra o sale a través de los sistemas de ventilación.

## ***1.2 EL CULTIVO DE TOMATE***

El tomate es una de las hortalizas más consumidas a nivel mundial; posee un alto contenido en vitaminas, hidratos de carbono y minerales. Es un alimento con escasa cantidad de calorías. De hecho, 100gr. de tomate aportan solamente 18 kcal. Contiene azúcares simples, minerales como el potasio y magnesio, vitaminas B1, B2, B5 y C; así como carotenoides y licopeno. Según la FAO en el año 2010 se cultivaron 4.338.834 ha mundiales de tomate. España fue el octavo país en el ranking mundial de producción de tomates en el año 2010 con una producción de 4.312.700 de toneladas producidas (Tabla I).

**Tabla 1** Producción mundial de tomates y posicionamiento por países productores en 1000\$ Int y T del año 2010; Fuente FAOSTAT

Posición	Región	Producción (1000\$ Int)	Símbolo	Producción (T)	Símbolo2
1	China	15477223	*	41879684	Im
2	Estados Unidos de América	4768114	*	12902000	
3	India	4427265	*	11979700	
4	Egipto	3157920	*	8544990	
5	Turquía	3157628	*	10052000	
6	Italia	2226549	*	6024800	
7	Irán (República Islámica del)	1942469	*	5256110	
8	España	1556862	*	4312700	
9	Brasil	1364178	*	3691320	
10	México	1107819	*	2997640	
11	Uzbekistán	867366	*	2347000	*
12	Federación de Rusia	739128	*	2000000	*
13	Nigeria	687610	*	1860600	Im
14	Ucrania	674343	*	1824700	
15	Grecia	519680	*	1406200	
16	Portugal	519643	*	1406100	
17	Marruecos	472210	*	1277750	
18	República Árabe Siria	427326	*	1156300	
19	Túnez	406520	*	1100000	
20	Iraq	374434	*	1013180	
* : Cifras no oficiales					
[ ]: Datos oficiales					
Im: Datos de FAO basados en una metodología de imputación					

En los últimos 10 años la superficie apenas ha variado (Tabla 2), sin embargo el rendimiento de los cultivos ha ido aumentando cada año, con lo cual la producción también ha aumentado (Tabla 2). El precio en los últimos 4 años se ha mantenido en unos 36,675 euros/100kg de media (Tabla 2). Las exportaciones han oscilado alrededor de los 900.000 toneladas, salvo en el año 2009 que bajaron en 228.245 toneladas respecto al 2008 (Tabla 2).

**Tabla 2** Producciones (T), superficie (ha), rendimiento (qm/ha), precio (euros/100kg), valor (miles de euros) y comercio exterior (T) de tomates en España desde el año 1999 hasta el 2009; Fuente MAGRAMA. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estad-publicaciones/anuario-de-estadistica/2010/>

Años	Superficie (miles de hectáreas)	Rendimiento (qm/ha)	Producción (miles de toneladas)	Precio medio percibido por los agricultores (euros/100kg)	Valor (miles de euros)	Comercio exterior (toneladas)	
						Importaciones	Exportaciones
1999	63,4	611	3.874,7	32,1	1.243.781	19.596	958.429
2000	62,3	605	3.766,3	43,2	1.628.654	10.441	891.756
2001	63,0	630	3.971,7	33,6	1.334.885	35.445	1.041.117
2002	59,3	672	3.979,7	46,0	1.829.476	47.181	974.399
2003	63,0	627	3.947,3	49,1	1.937.743	69.462	966.002
2004	69,9	627	4.383,2	41,2	1.806.318	102.313	1.036.833
2005	72,3	665	4.810,3	52,2	2.510.496	132.513	937.004
2006	56,7	670	3.800,6	37,2	1.415.326	82.965	997.514
2007	53,3	766	4.081,5	39,8	1.622.795	246.202	884.244
2008	54,9	738	4.049,8	37,3	1.508.533	191.582	957.603
2009	63,8	752	4.798,1	32,4	1.556.488	186.594	729.358

España exportó un total de 729.358 toneladas en el 2009 al mundo; la mayor parte fue destinado a la Unión Europea. En concreto Alemania se lleva la mayoría de nuestra producción con 149.911 toneladas. Les sigue Reino Unido, Francia y Holanda (anuario de estadística MAGRAMA).

La comunidad de Extremadura y en concreto su provincia de Badajoz dedica 25.976 ha al cultivo de tomate, la mayor superficie dedicada a este cultivo en todo el Estado. El País Vasco dedica 296 ha al cultivo de todo tipo de tomate, de las cuales la mayoría se producen en la provincia de Vizcaya con 163 ha dedicadas a esta hortaliza; un 0,46% del suelo nacional (Fuente MAGRAMA).

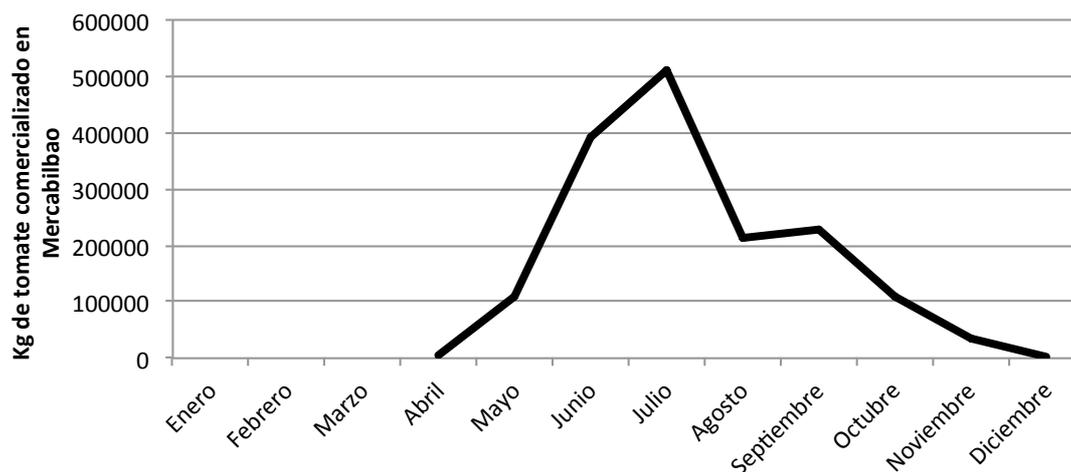
En la Comunidad Autónoma Vasca (CAPV) y Navarra el tomate comercializado bajo la denominación Label es muy valorado por los consumidores ya que es uno de los productos más conocidos e importantes de la marca Eusko Label. Se recolecta entre abril y diciembre; se caracteriza por su color entreverado y forma asurcada (Figura 1). En los últimos años la superficie ha aumentado un 2%, aunque el número de productores ha descendido un 8%. Es uno de los productos más estables, ya que el volumen identificado como Eusko Label ha aumentado un 3% en ventas (Fuente fundación kalitatea).

En el año 2010 en la CAPV, eran 27 el número de productores registrados y 46 el número de productores/envasadores; Con 49,56 ha registradas de superficie de tomate Eusko Label y una producción de 4.222 Tn producidos dentro de la CAPV (Fuente fundación kalitatea).



**Figura 1** Conjunto de tomates Eusko Label; fotografía perteneciente a la fundación Kalitatea.

En la figura 2 podemos ver los kilos de tomate vendidos a lo largo del 2011 en Mercabilbao. El precio medio del tomate del país, el año pasado en Mercabilbao, fue de 1,26 euros/kilo (Figura 3).



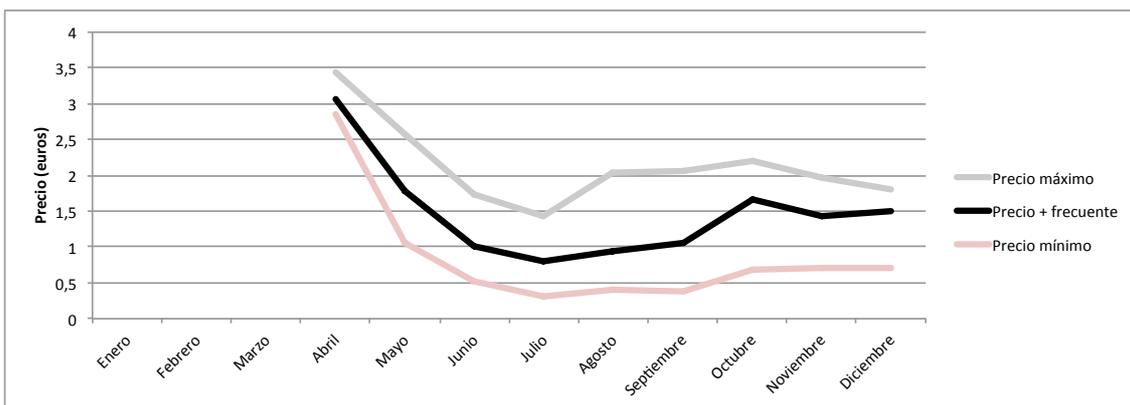
**Figura 2** Kilos de tomate vendido en Mercabilbao, en el año 2011; Fuente

Mercabilbao: <http://www.mercabilbao.com/index/index.asp>

Los meses de abril, mayo y la mitad de junio son los meses de mayor demanda de tomate Eusko Label debido a que su producción y comercialización empieza en ese período del año y finaliza alrededor de noviembre y diciembre, para garantizar la plena calidad del producto.

El tomate del país es el que se produce en la CAPV y que se comercializa a través de Mercabilbao, o bien directamente por los propios agricultores en algunos mercados. Este tomate se consume en la zona en que se produce. El tomate Label también es tomate del país con distintivo Label, este tipo de tomate se comercializa a través de Mercabilbao dentro del conjunto de tomate del país y se distribuye también a través de las grandes superficies y puede ser enviado al resto de la península (el resto del tomate de país no se exporta a otras comunidades). Se empieza a comercializar a mediados de abril, con precios máximos de hasta 3,5 euros/kg. registrados al inicio de la temporada. El precio medio no baja de 0,79 euros/kg. a lo largo del año (Figura 3).

La comercialización de tomate del país en Mercabilbao en 2011 fue de 1.621 Tm.



**Figura 3** Precio máximo, mínimo y más frecuente en euros, recibido por el tomate del país en el año 2011; Fuente Mercabilbao: <http://www.mercabilbao.com/index/index.asp>

### 1.3 CARACTERÍSTICAS DEL TOMATE EUSKO LABEL

La certificación de calidad Eusko Label se aplica al tomate producido y envasado en la Comunidad Autónoma del País Vasco y que cumpla los requisitos que la fundación Euskal Kalitatea exige para comercializarlo bajo ese nombre.

Los tomates asignados como Eusko Label tienen que ser de una de las variedades siguientes: Jack, Cabrales, Ramon, Robin y Pio admitidas por la fundación Eusko Kalitatea para el año 2012 (fuente Fundación Kalitatea).

Los tomates de dicha categoría tienen que cumplir las siguientes características físicas y organolépticas:

- Ser de categoría Extra (categoría superior, pulpa firme, aspecto, forma y desarrollo característicos de la variedad, de forma uniforme y sin defectos), o Primera (tomates de buena calidad, con la pulpa suficientemente firme, forma aspecto y desarrollo característicos de la variedad, uniformes de tamaño y con defectos leves) y estar intactos y sanos, quedando excluidos los productos que presenten podredumbre u otras alteraciones que los hagan impropios para el consumo..
- Frescos de aspecto y limpio, es decir, prácticamente exentos de materias extrañas visibles.
- Exentos de plagas en general y plagas que produzcan daños que afecten a la pulpa.
- Desprovistos de humedad exterior, y exentos de olores y sabores extraños.
- Deben estar en un estado y una fase de desarrollo que les permita conservarse bien durante su transporte y manipulación llegando en condiciones satisfactorias a su destino.
- Totalmente lleno de pulpa, sin zonas huecas.

- Forma y apariencia característica de la variedad y coloración adecuada; se debe recoger cuando haya empezado a madurar y, por lo menos, una quinta parte de su superficie, sea de color rojo o se encuentre entreverada.
- Calibrado según la legislación vigente; calibre mínimo para granel de 74mm y para bandeja 67mm.
- En el momento de la comercialización la concentración de azúcares en el tomate expresado en °Brix deberá ser superior a 4,5° o la dureza del mismo expresada en 0,5 kg/cm<sup>2</sup>. (Fuente: Fundación Kalitatea)

La zona de producción del tomate comprende el ámbito geográfico de la comunidad autónoma vasca, las explotaciones tendrán todas las parcelas que producen tomates registrados y de las variedades que la fundación Kalitatea permite.

Todos los productores que opten a Eusko Label deberán estar certificados en Producción Integrada o en Producción Ecológica para la producción del tomate, siguiendo las técnicas de cultivo (más adecuadas para su perfecto desarrollo y fructificación además de tener que cumplir con los sistemas de cultivo) y tratamientos bajo la autorización de los técnicos acreditados.

El etiquetado lo llevarán a cabo empresas ubicadas en la Comunidad Autónoma del País Vasco y estarán inscritos en los registros de "Euskal Tomatea". Los envases deben ser homogéneos, en cuanto a variedad, madurez, calibre y coloración, además de estar exentos de tierra o restos de hojas, siendo inviolable el contenido del envase.

Los controles de calidad se efectúan, por la fundación Kalitatea, periódicamente en las cadenas de producción, conservación y almacenamiento, transporte, envasado, manipulación y durante la comercialización con el fin de certificar el producto. En total en el año 2008 se hicieron 115 inspecciones en la fase de producción, 132 en la fase de envasado y manipulación y 191 inspecciones en los puntos de venta con un total 167 análisis realizados por la fundación Kalitatea al tomate Eusko Label (Fuente: Fundación Kalitatea).

### **1.3.1 Características del cultivo de tomate**

#### **1.3.1.1 Origen**

El origen del género "Lycopersicon" se localiza en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile. Durante el siglo XVI se consumían en México tomates de distintas formas y tamaños, pero por entonces ya habían sido traídos a España y servían como alimento en España e Italia. Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, y de allí a otros países asiáticos.

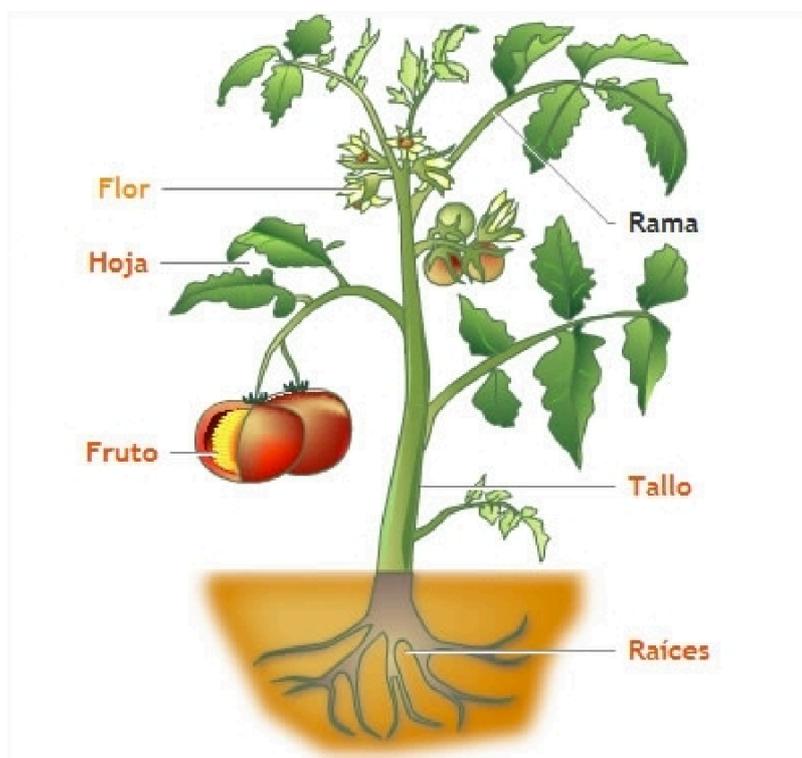
### 1.3.1.2 Taxonomía y morfología

Familia: *Solanaceae*

Especie: *Lycopersicon esculentum* Mill.

Planta: Perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. Puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta. Existen variedades de crecimiento limitado (determinados) y otras de crecimiento ilimitado (indeterminadas) (Figura 4).

Flor: Consta de 5 o más sépalos, igual número de pétalos de color amarillos y dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135°, de igual número de estambres soldados que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo, y de un ovario bi o plurilocular (Figura 5). Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racimoso, generalmente en número de 3 a 10 en variedades comerciales de tomate calibre mediano (M) y grande (G); Es frecuente que el eje principal de la inflorescencia se ramifique por debajo de la primera flor formada dando lugar a una inflorescencia compuesta, de forma que se han descrito algunas variedades con más de 300 flores. 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, que se distingue por un engrosamiento con un pequeño surco originado por una reducción del espesor del córtex. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas (Figura 5).



**Figura 4** Esquema de la planta: raíces, hojas, tallos, flores y frutos de la planta del tomate (*Lycopersicum esculentum*). Fuente: Internet



**Figura 5** Tallos, hojas y flores de la planta del tomate (*Lycopersicum esculentum*). Fuente: Internet

Fruto: Es una baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos (Figura 6). El fruto puede recolectarse separándolo por la zona de abscisión del pedicelo, como ocurre en las variedades industriales, en las que es indeseable la presencia de parte del pecíolo, o bien puede separarse por la zona peduncular de unión al fruto.



**Figura 6** Frutos de la planta del tomate (*Lycopersicum esculentum*) inflorescencia en forma de racimo. Fuente: Internet

### **1.3.1.3 Requerimientos edafoclimáticos**

El tomate es un cultivo de clima cálido. El manejo de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la actuación sobre uno de estos incide sobre el resto.

#### **Temperatura**

La temperatura óptima de desarrollo oscila entre 20 y 30°C durante el día y entre 10 y 17°C durante la noche; temperaturas superiores a los 30-35°C afectan a la fructificación, afectando negativamente al desarrollo de la planta. A temperaturas superiores a 35°C e inferiores a 12°C la fecundación es defectuosa o nula. La temperatura influye tanto en la precocidad como en la coloración, de forma que valores cercanos a los 10°C así como superiores a los 35°C originan tonalidades amarillentas. No obstante, los valores de temperatura descritos anteriormente son meramente indicativos, debiendo tenerse en cuenta las interacciones de la temperatura con el resto de los parámetros climáticos.

#### **Humedad**

La humedad relativa ambiental 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, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. El rajado del fruto puede tener su origen en un exceso de humedad edáfica o riego abundante tras un período de estrés hídrico. Una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor y por tanto la fecundación.

#### **Luz**

Valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre la floración, fecundación y el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos durante el período vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna, nocturna y la luminosidad.

#### **Suelo**

La planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos. Actualmente el cultivo en hidroponía suprime la necesidad de suelo para el cultivo del tomate. En cuanto al pH, los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos cuando están enarenados. Es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua de riego.

## **1.4 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA CALIDAD Y PRODUCCIÓN DEL TOMATE**

### **1.4.1 Calentamiento del suelo a nivel radicular**

Una de las formas más eficaces de ahorro de combustible pasa por elevar la temperatura de las raíces y reducir la temperatura del aire. Sin embargo, esto puede conllevar a cambios fisiológicos que no favorecen a la productividad.

Hurd y Graves. (1985) estudiaron el efecto de la reducción de las temperaturas diurnas hasta los 15°C y de las raíces hasta los 12°C dando lugar a pequeñas reducciones de producción en el cultivo y la calidad de los frutos de tomate tempranos. En el ensayo realizado por Hurd y Graves. (1985), redujeron la temperatura nocturna entre 11 y 16°C como forma de ahorro de combustible. Estas condiciones, supusieron un ahorro de combustible que incrementó la rentabilidad en un 10% a lo largo de 20 semanas de cosecha (Hurd y Graves. 1985) (Grosselin y Trudel. 1983). Sin embargo estas consignas de temperatura conllevaron a un retraso en el crecimiento, fructificación, cosecha tardía, e incluso, mayor incidencia de enfermedades (Hurd y Graves. 1985). Este mismo estudio indicó que la fructificación tardía asociada con las bajas temperaturas del aire no puede modificarse mediante el calentamiento de las raíces (Hurd y Graves. 1985).

El calentamiento de las raíces ha sido investigado desde hace más de 30 años y generalmente se ha visto que incrementa el crecimiento vegetativo cuando se mantienen temperaturas aéreas normales (Grosselin y Trudel. 1983).

Hasta hace poco tiempo la conclusión ha sido que los costes de producción para calentar las raíces utilizados para el cultivo de tomate no han sido rentables, especialmente cuando el calentamiento se había hecho eléctricamente. Pero la introducción de otro tipo de cultivos como son el NFT (nutrient film technique) o la introducción de energías renovables que abaraten el coste de los combustibles, puede dirigir el interés de calentar las raíces debido a que este tipo de cultivo (NFT) permite la mejor aplicación de este sistema (Grosselin y Trudel. 1983).

Las bajas temperaturas nocturnas ambientales contribuyen a un incremento del peso seco de las raíces (Grosselin y Trudel. 1983), sin embargo, cuando aumentan las temperaturas ambientales nocturnas como las de la raíz, aumenta el peso seco debido a la mayor eficiencia en el crecimiento de los brotes y en la absorción de agua (Grosselin y Trudel. 1983). El crecimiento vegetativo máximo de los brotes sucede cuando la temperatura del aire es menor (15°C) que la temperatura de las raíces (30°C), aunque estas consignas de temperatura no contribuyen al rendimiento máximo, ni tampoco a las finalidades de producción de frutos. Sin embargo, la rentabilidad del cultivo se consigue cuando la temperatura nocturna del aire oscila alrededor de los 18°C y la de las raíces alrededor de los 24°C aproximadamente (Grosselin y Trudel. 1983).

Por lo tanto, según Grosselin y Trudel. (1983), hay un ahorro calentando las raíces y reduciendo la temperatura del aire, sobre todo en las consignas nocturnas, que es cuando caen los termómetros y el

consumo de combustible se dispara. Pero estas ventajas tienen el inconveniente de que retrasan el inicio de cosecha al retrasar la floración y el cuajado, aunque se llegan a conseguir cosechas totales y mayores rendimientos de cultivo (Grosselin y Trudel. 1983).

Otros experimentos indican lo contrario, es decir, que el calentamiento de las raíces no favorece a la producción (Anza y Riga. 2010). Pero el uso de energías alternativas mejorando la rentabilidad, aunque no aumente el cultivo, como la biomasa llegan a reducir un 65% el coste de la producción total, afectando sólo al calibre en el fruto temprano de algunas variedades (Anza y Riga. 2010).

#### **1.4.2 Calentamiento del aire**

La calidad del tomate se ve afectada por las temperaturas ambientales, sobre todo se ha demostrado que la dureza, el contenido en sólidos solubles y la conductividad (CE) se ven estrechamente relacionados con la temperatura ambiental, mientras que el pH y la acidez, se encuentran débilmente relacionados con las temperaturas aéreas (Anza, Riga y Ecay. 2007).

Por otra parte la relación entre las temperaturas nocturnas ambientales y la temperatura radicular están estrechamente relacionadas (Hurd y Graves. 1985). Cuando los tomates se cultivan a bajas temperaturas nocturnas ambientales (como técnica de ahorro energético), un aumento de la temperatura radicular puede tener éxito. Para obtener un rendimiento máximo, las temperaturas de raíz deben ser proporcionales a la temperatura nocturna del aire (Hurd y Graves. 1985).

Se ha demostrado que la duración de la floración y de la maduración de la fruta, dentro de una inflorescencia, dependen de la temperatura del aire (Hurd y Graves. 1985). Además la altura de la planta se ve afectado, por las temperaturas ambientales; a mayor temperatura ambiental, mayor altura y viceversa (Grosselin y Trudel. 1983).

Por lo tanto, las interacciones entre las temperaturas radiculares y las ambientales nocturnas tienen una estrecha relación en cuanto a crecimiento y la calidad de los frutos de tomate. La calidad de los frutos, puede verse afectada solo por las temperaturas ambientales, de echo algunos parámetros están estrechamente relacionados con la calidad de los frutos de tomate y las consignas de temperatura aplicados; estos se deben al echo de que la acumulación de materia seca en los frutos, depende principalmente de la fuerza sumidero y de la actividad bioquímica de las hojas que, a su vez, son altamente dependientes de la temperatura (Grosselin y Trudel. 1983).

### **1.5 EFICIENCIA ENERGÉTICA**

La superficie de cultivo bajo cubierta en la Unión Europea está en constante ascenso, y en determinadas zonas como el Sureste de España tiene una importancia socioeconómica muy relevante. El consumo energético en los invernaderos es un factor muy importante a considerar dentro de los costes de producción, de ahí que se considere prioritaria la optimización energética de estos sistemas. Por otra parte, optimizando el consumo de energía se facilitará el cumplimiento de las regulaciones ambientales y

energéticas, cada vez más restrictivas, que afectan al sector, logrando unos invernaderos más amigables con el medio ambiente a la vez que competitivos en el mercado europeo.

Los factores directamente implicados en la eficiencia energética son los siguientes:

- Las condiciones climáticas de la región.
- Las particularidades locales de la zona.
- Las necesidades climáticas del cultivo dentro del invernadero, según época, variedades, estado fisiológico de la planta y tipo de cultivo.
- La relación coste/eficacia de las inversiones en los equipos de control climático en los invernaderos (IDAE. 2008 ).

Los aspectos básicos que contribuyen al ahorro y eficiencia energética, son los siguientes:

- Aislamiento y estanqueidad adecuados de los invernaderos.
- Regulación correcta de los equipos de climatización.
- Iluminación eficiente.
- Revisión y mantenimiento de los equipos.
- Aplicación de energías renovables para la generación de calor. (IDAE. 2008)

Como ya se ha dicho las necesidades energéticas están influidas por las condiciones meteorológicas a las que está expuesto el invernadero así como por las condiciones climáticas que es necesario mantener en su interior para el correcto desarrollo de los cultivos. El tomate necesita unas temperaturas nocturnas de 13-16°C y diurnas de 22-26°C para su correcto desarrollo (Tesi. 2001). Aunque los sistemas de calefacción utilicen estos parámetros para guiarles sobre el terreno de cuanto tienen que calentar, en la actualidad se utilizan temperaturas de consigna referidas en función del periodo del día, así como según el tipo cultivo (Urban. 1997).

Las necesidades energéticas del invernadero dependen fundamentalmente del salto térmico, es decir, la diferencia entre la temperatura interior y exterior que se desea mantener (Tabla 3).

**Tabla 3** Necesidades energéticas de un invernadero según la potencia media instalada y necesidades energéticas en función del gradiente térmico; FAO 2002. Fuente IDAE.

Salto térmico (Ti-Te)	Potencia caldera (W·m-2)	Necesidades reales (W·m-2)
5	115	50
10	175	105
15	290	121

## 1.5.1 Técnicas de ahorro energético

Las técnicas de ahorro energético van desde la mejora del aislamiento hasta el uso de sistemas que maximicen el rendimiento de los sistemas de calefacción en invernaderos.

### 1.5.1.1 Mejora de aislamiento térmico

La mejora del aislamiento térmico pasa por la impermeabilización de las radiaciones infrarrojas de onda larga, esto es la introducción de pantallas térmicas que permiten disminuir las pérdidas de calor y aumentar la temperatura del invernadero que producen otros cambios en su microclima, como la disminución de la tasa de ventilación.

El viento exterior es un aspecto fundamental en las pérdidas de energía del invernadero. Se debe minimizar su efecto mediante cortavientos y eligiendo correctamente la orientación de los invernaderos.

Los mayores ahorros de energía vienen del aumento de la hermeticidad del invernadero, principalmente con la disminución de la tasa de infiltración de aire en los invernaderos. Así, sellando todas las grietas en las que se pueda escapar el aire se podrían conseguir ahorros de hasta un 40% en combustible. Utilizar materiales aislantes en las puertas y ventanas del invernadero permite proteger al cultivo de las temperaturas exteriores así como impedir las fugas de aire.

### 1.5.1.2 Mejora de la eficiencia energética

El esfuerzo realizado para mejorar la eficiencia energética de los sistemas de calefacción se concentra básicamente en tres aspectos:

- Mejorar la eficiencia de la generación de calor.
- Mejorar el control de la emisión del calor y de los sistemas de distribución.
- Utilizar la energía solar y otras energías renovables.
- Calentamiento del suelo a nivel radicular

#### 1.5.1.2.1 Mejora de la eficiencia energética en la generación de calor

La fase de generación de calor engloba, la transformación de la energía contenida en el combustible en

energía térmica, y su transferencia al agua, que sirve de transporte del calor hasta el interior del invernadero.

El aumento del rendimiento en la generación de calor suele realizarse en los generadores. La optimización del rendimiento de la combustión para que se desarrolle en concordancia al combustible, tipo de generador y régimen de trabajo. Para ello es fundamental las revisiones periódicas de la caldera.

Así mismo, existen pérdidas de calor en la red de distribución de agua caliente. Por ello el aislamiento térmico se traduce en una reducción de consumo de combustible y en una forma de ahorro de calor.

### ***1.5.1.2.2 Mejora en la emisión de calor***

La adecuada distribución de calor es necesaria para un correcto crecimiento del cultivo. Para ello hay que evitar calentar ciertas zonas del invernadero que no redundan en una mejora de las condiciones de crecimiento del cultivo.

El control de la temperatura de la calefacción es una de las primeras medidas a adoptar y la forma más rápida y más barata de reducir su consumo energético. Para ello se debe controlar la temperatura del aire a la altura de las plantas, aumentando la eficiencia en la distribución y la conservación del calor en los sistemas de conducción. El calor aplicado ya sea al suelo o al aire pasa desde poner inyectores de aire y monorraíles, hasta calentar el suelo mediante suelo radiante y tubos corrugados debajo del sustrato para calentar las raíces.

### ***1.5.1.2.3 Uso de energías renovables en los invernaderos***

La reducción de la disponibilidad de combustibles fósiles y sus altos precios en el mercado hacen de las energías renovables una alternativa interesante a los combustibles comunes. Una de las posibles energías es el uso de calderas de biomasa o placas solares. Sin embargo, la mayoría de estos sistemas no son rentables hoy en día, la subida del precio de los combustibles fósiles y los avances tecnológicos harán de ellos una alternativa en auge.

## **USO DE CALDERAS DE BIOMASA EN INVERNADEROS**

La biomasa se puede utilizar para la generación de calor. Los sistemas de calefacción con biomasa tienen en muchos casos, considerables ventajas económicas y son, generalmente, fáciles de utilizar, ya que pueden llegar a una disminución de hasta un 65% en el coste del kilogramo de tomate comercial producido respecto al gasoil (Anza y Riga, 2010).

Los factores clave que determinan la viabilidad económica son dos:

- Número de horas de demanda de calor anuales.
- Tamaño de la caldera necesaria.

El primero de ellos depende fundamentalmente de la climatología, es decir, de la localización del

invernadero, y del tipo de cultivo. El segundo depende fundamentalmente de la superficie de cultivo y de la climatología.

En el mercado existen diferentes tipos de biomasa que se comercializan como combustible. El precio de los combustibles de biomasa que se comercializan es muy inferior al de los combustibles fósiles, aunque el poder calorífico de estos es inferior (Tabla 4). Existen diferencias de unos combustibles de biomasa a otros, en función de las calidades de los mismos (densidad, poder calorífico, humedad y contenido en cenizas). Los biocombustibles más utilizados para el uso de biomasa con aplicaciones para calefacción son los pellets, las astillas de madera y los residuos agroindustriales como los orujillos, las pepitas de uva o las cáscaras de almendra (Tabla 4).

Los parámetros más importantes de la biomasa como combustible son los siguientes: granulometría, densidad, poder calorífico, humedad, contenido en cenizas, contenido en cloro y temperatura fusión cenizas.

A continuación se presentan distintos tipos de biomasa con sus correspondientes características (Tabla 4). Las astillas de madera son la biomasa más económica del mercado, sin embargo poseen un poder calorífico inferior al resto. Los pellets de madera son biomasa con un poder calorífico muy grande, aportan aproximadamente más de 4.000 Kcal/kg pero su precio es el más elevado del mercado, 25-34 euros/MWh (Tabla 4).

**Tabla 4** Tipos de biomasa y sus características medidos en humedad (%), cenizas (%), PCI (Kcal/m<sup>3</sup>), densidad (kg/m<sup>3</sup>) y precio aproximado de la biomasa (euros/MWh);  
Fuente IDAE

Tipo de biomasa	Humedad (%)	Cenizas (%)	PCI (Kcal/kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Precio aproximado(mayo 2006) (euros/MWh)
Pellets de madera	<12	<1	>4.000	700	25-34*
Hueso de aceituna	12-23*	<1	>3.800	680	23
Cáscara de almendra	9-15*	1-3*	>3.700	400	13
Orujo de uva seco	<12	<4	>3.800	275-300	11
Astillas de madera	20-55	1-2*	1.600-3.300	250	9-13*

Cada caldera de biomasa está diseñada para un tipo de combustible, con unas especificaciones determinadas. Normalmente las calderas de pequeña potencia admiten un combustible estandarizado, como por ejemplo los pellets o astillas secas (<30%) y cribadas con una granulometría adecuada. Por otro lado, las calderas de gran potencia se diseñan a medida de un combustible determinado y admiten una variación limitada en las características de éste.

Los pellets son un biocombustible estandarizado, cilíndrico, hecho por la compresión de virutas y astillas molidas y secas, y en muchos casos procedentes de residuos de madera limpios, de serrerías o de otras industrias de la madera. Los pellets tienen una densidad energética mayor y necesitan menos volumen de almacenamiento que el resto de los biocombustibles pero, no obstante, su precio es más alto. El poder calorífico mínimo de los pellets es aproximadamente de 4,7 kWh/kg (4.000 kcal/kg). Dos kilogramos de pellets equivalen aproximadamente a un litro de gasóleo.

Hoy en día las calderas de biomasa han alcanzado rendimientos similares a los del gasóleo y gas natural, permitiendo la competitividad entre ellos. Los sistemas modernos de calefacción con biomasa trabajan del mismo modo que los sistemas de calefacción convencionales con gasóleo o gas. El estado actual de desarrollo tecnológico de estas calderas permite que la limpieza de las superficies de intercambio y la extracción de cenizas sean automáticas.

Sin embargo, el coste de inversión de la instalación de biomasa (caldera y elementos auxiliares necesarios como silo, alimentación de biomasa, etc.) es bastante mayor que las instalaciones con calderas de gasóleo (hasta 4-10 veces para calderas de biomasa de alta calidad). El valor final en cada caso depende de estos factores: características del combustible, rendimiento, silo de almacenamiento, limpieza automática, extracción de cenizas, límites de emisiones, tipo de aplicación, y obra civil necesaria

Por ello, cuanto mayor sea el ahorro anual en combustible respecto a la inversión inicial antes se amortizará la instalación y menor será el coste del calor generado.

## 2. Objetivos

En este contexto se diseñó este trabajo cuyo objetivo principal es, caracterizar la respuesta del cultivo de tomate, tanto en producción como en la calidad, sometido a distintas estrategias de gestión climática (diferentes temperaturas del aire y de las raíces).

Para ello nos planteamos los siguientes objetivos parciales:

6. Ver la influencia del momento de cosecha, tanto en la producción como en la calidad de las dos variedades de tomate.
7. Estudiar el efecto que tiene la aplicación de calefacción a nivel radicular en la producción y en la calidad del tomate.
8. Estudiar el efecto de los distintos regímenes de temperatura ambiental en la producción y la calidad del tomate.
9. Determinar la respuesta de las dos variedades en estudio, en la producción y calidad del tomate, en los distintos regímenes térmicos.
10. Calcular el gasto energético de cada régimen térmico.

## 3. Materiales y métodos

### 3.1 LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO

El ensayo se desarrolló en la finca experimental del instituto vasco de I+D agrario Neiker-Tecnalia ubicada en Derio, Bizkaia (latitud 43° 17'N, longitud 2° 52'W y una altitud de 65 m sobre el nivel del mar).

### 3.2 MATERIALES

#### 3.2.1 Invernaderos y sistema de calefacción

El cultivo de tomate (Figura 7) se realizó en dos invernaderos contiguos completamente automatizados (fertirrigación y clima) con recubrimiento de placa rígida, ventilación cenital y una superficie de 320 y 352 m<sup>2</sup> denominados C3 y C4 respectivamente (Figura 8). Cuentan con calefacción de tubería radiante de alta temperatura en forma de monorraíles de 65 mm en los pasillos (Figura 9 y 10), elevada a 15 cm del suelo. El agua circula a 80°C por los raíles y se calienta, mediante una caldera de biomasa (P500 marca Osby, Suecia) (Figura 11) con una potencia de 450kW, cuando las necesidades climáticas así lo requieran. El combustible usado fue granulados de serrín prensado (pellets) con un poder calorífico aproximado de 5 kWh kg<sup>-1</sup>. Con el fin de calentar las raíces se utilizó agua a baja temperatura (45 °C) que circulaba por un tubo corrugado de polipropileno de 25 mm de diámetro localizado por debajo de los sacos de cultivo (Figura 12). Además los invernaderos están equipados con sondas de temperatura, de humedad y solarímetros, para el correcto control de las condiciones climáticas y el registro de los datos.



**Figura 7** Invernaderos multicapilla de placa rígida.  
Foto cedida por Neiker.



**Figura 8** Fila de tomates junto con el sistema de calefacción aéreo. Foto cedida por Neiker.



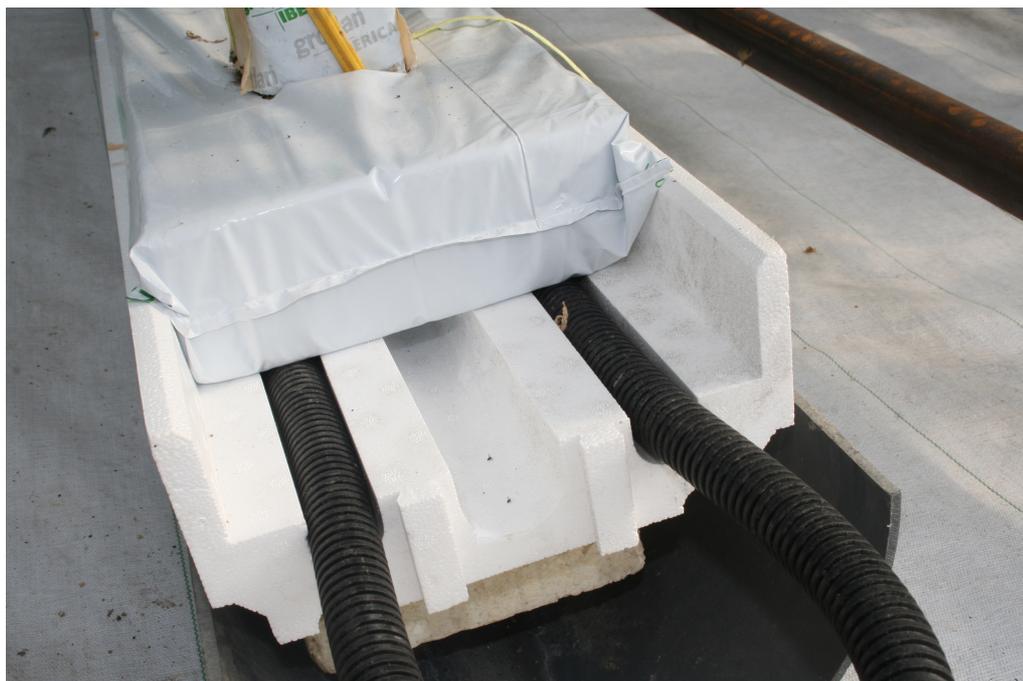
**Figura 9** Monorraíles de calefacción del aire calentados por agua a 80°C. Foto cedida por Neiker.



**Figura 10** Sistema de calefacción por monorraíles. Foto cedida por Neiker.



**Figura 11** Caldera de biomasa Osby P500 de 450kW de potencia, funcionamiento con pellets de serrín prensado. Foto cedida por Neiker.



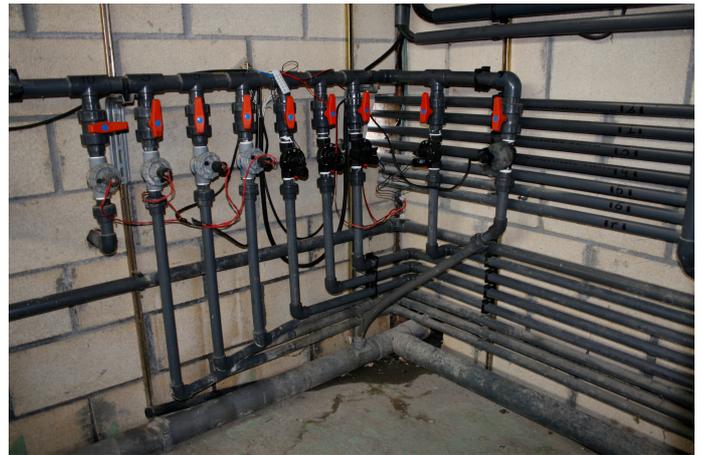
**Figura 12** Tubos corrugados para calefacción de suelo, calentados por agua a 45°C y dispuestos debajo del sustrato. Foto cedida por Neiker.

### 3.2.2 Sistema de riego y fertilización

Para el riego en hidroponía se disponía, a parte del cabezal de riego automatizado (MCU global de la casa Grup Sabater) y los goteros, de un sistema de bombas, filtros, válvulas y electroválvulas para asegurar una óptima nutrición al cultivo en cada riego (la cantidad de riego a aplicar por día se ajustó midiendo la conductividad eléctrica (CE) en el drenaje del cultivo)(Ver figuras 13 y 14). El pH de drenaje y el de la solución fue de 5,5-6,5 y la conductividad eléctrica de 2,5-3,3 mS cm<sup>-1</sup>. La solución nutritiva se volvió a inyectar en el sistema de riego tras su desinfección mediante peróxido (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y el reajuste del pH y de la CE. La fertilización fue automática. La composición de la solución nutritiva fue (meq L<sup>-1</sup>): 5.0 Mg<sup>2+</sup>, 0.2 Na<sup>+</sup>, 8.0 K<sup>+</sup>, 9.0 Ca<sup>2+</sup>, 0.2 Cl<sup>-</sup>, 14.8 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 2.0 HPO<sub>4</sub><sup>-</sup> y 5.0 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Se añadieron microelementos a partir de una formulación comercial (Nutrel C, Phosyn, Jaén) para obtener una concentración final (mM) en la solución de riego de: Cu, 0.76; Fe, 20.15; Mn, 9.01; Zn, 1.38; B, 9.71; y Mo, 0.31. La frecuencia del riego se ajustó mediante una bandeja de demanda para obtener un volumen de drenaje del 30%, con el fin de optimizar el aprovechamiento del riego y reducir costes y mejora, el drenaje se volvió a inyectar en el sistema de riego.



**Figura 13** Sistema de fertirrigación automatizado, tanques de fertilizado con soluciones nutritivas. Foto cedida por Neiker.



**Figura 14** Sistema de fertirrigación automatizado, conjunto de tuberías y medidores. Foto cedida por Neiker.

### 3.3 MÉTODOS

#### 3.3.1 El cultivo

Las variedades utilizadas en este experimento han sido Jack de la casa Seminis (variedad autorizada por la fundación Kalitatea) y Óptima de la casa Royal Sluis. Tanto la variedad Jack como la Óptima son tomates híbridos y se caracteriza por tener frutos grandes ( $>81$  mm).

Los cultivos se desarrollaron en hidroponía sobre lana de roca ( $100*20*7.5$  cm, Grodan Expert) a razón de tres plantas por saco, siendo la densidad de cultivo de 2 plantas por  $m^2$ . El sustrato tiene una densidad de  $46$   $kg/m^3$ , con una porosidad del 98% del volumen total, un contenido en agua posterior al drenaje del 86%, una materia orgánica de 2,6% y una conductividad de  $0,01$   $mS/cm^2$ .

#### 3.3.2 Tratamientos

Los tratamientos se distribuyeron en bloques salteados con seis repeticiones, estando cada parcela elemental constituida por 18 plantas para evitar gradientes que pudieran perjudicar al ensayo. La siembra se realizó el 14 de octubre de 2010 y 13 días después fue el trasplante a tacos. La plantación se realizó el 2 de diciembre de 2010. La primera cosecha en el C4 se realizó el 4 de marzo de 2011 y en el C3 el día 25 de marzo de 2011, siendo la última el 17 de mayo de 2011 y 23 de mayo de 2011 respectivamente, realizándose dos cosechas por semana. El fin del período de calefacción fue el día 19 de abril de 2011.

Las consignas de temperatura del aire durante las horas de luz fueron de  $18^{\circ}C$  para el C3 y  $20^{\circ}C$  en el C4 y las nocturnas fueron de  $12^{\circ}C$  y  $15^{\circ}C$  para el C3 y C4 respectivamente (ver figura 15). La consigna del sustrato en los dos compartimentos para el calentamiento radicular fue de  $20^{\circ}C$  día y noche. Las consignas de temperatura de la apertura de la ventilación fueron de  $22/20^{\circ}C$  día/noche.

Con el objeto de evaluar el efecto de calentar la rizosfera en la producción y calidad de los tomates, se establecieron los siguientes tratamientos (Figura 15):

1.- Sin Calefacción de las Raíces (-CR)

2.- Con Calefacción de las Raíces (+CR) a 20°C día y noche

	C3		C4	
Ambiente	18/12°C día/noche		20/15°C día/noche	
Suelo	Sin calefacción	Con calefacción (20°C)	Sin calefacción	Con calefacción (20°C)

**Figura 15** Esquema del planteamiento del ensayo de los dos compartimentos, a 20/15°C y 18/12°C día/noche con ventilación a 22/20°C día/noche y dos tratamientos radiculares, con calefacción a 20°C y sin calefacción.

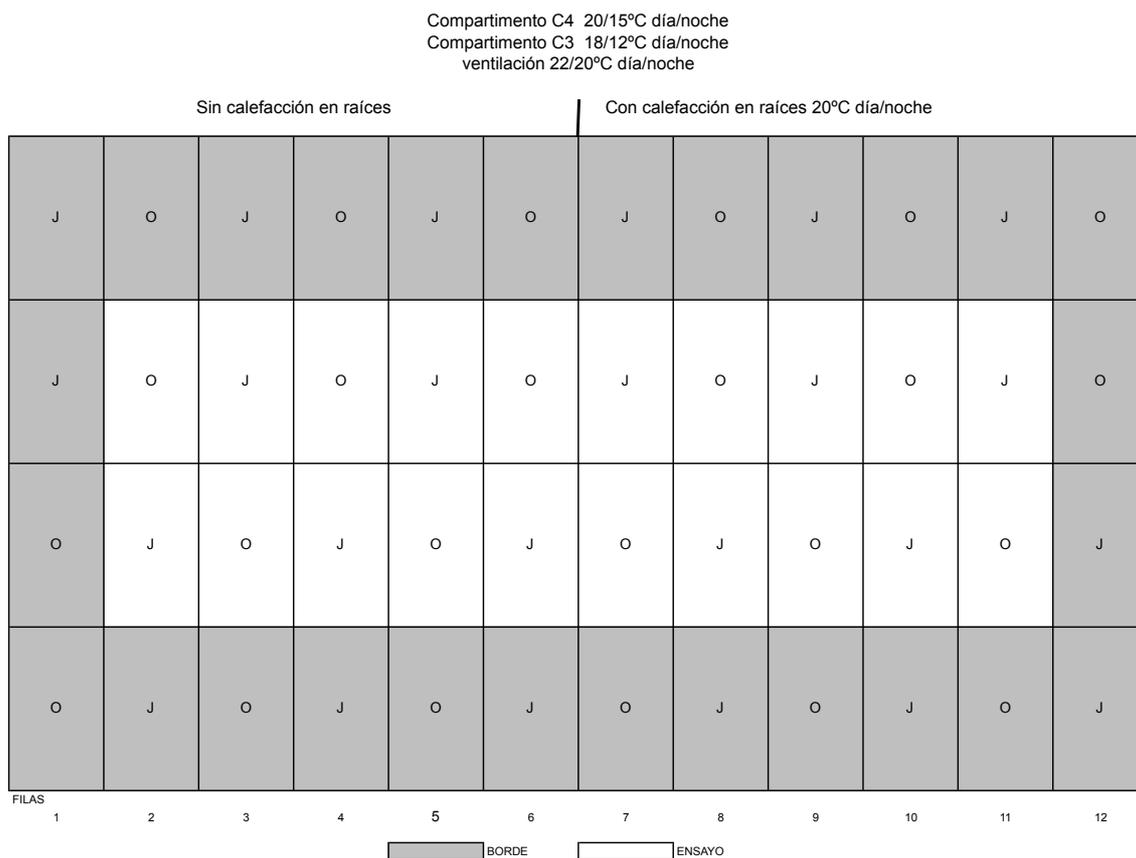
Para caracterizar la respuesta del cultivo se realizaron seguimientos de la evolución de la biomasa y de la superficie foliar de los cultivos. Se tomaron datos cuantitativos y cualitativos de la producción. Los parámetros de calidad analizados fueron: color ("a", "b" y "L"), dureza, contenido en sólidos solubles (°Brix), porcentaje de materia seca (%MS), ácido cítrico (g/100ml, g/fruto y g/kg de peso fresco), porcentaje de jugosidad, pH, conductividad (CE) y relación entre los °Brix/ácido cítrico.

Para caracterizar la producción la recolección se hizo de forma manual dos veces por semana los meses de marzo, abril y mayo cuando el color empezaba a ser entreverado. 92 días después del trasplante se empezó a cosechar en el compartimento C4 y 113 días después en el compartimento C3 y finalizó 171 y 190 días después del trasplante, respectivamente. Cada tratamiento tenía un mínimo de 15 plantas (3 plantas por saco) en total 60 plantas por cada invernadero.

La eficiencia energética del cultivo (kW necesarios para producir un kg de producto comercial) se calculó mediante registros del consumo energético de cada cultivo.

### 3.3.3 Diseño experimental del ensayo

El diseño experimental fue planteado en la forma que explica la figura 16, se tomó en cuenta el efecto borde de la plantación, la posición de las dos variedades así como las plantas que se utilizaron para el ensayo.



**Figura 16** Diseño del ensayo del compartimento C4 (20/15°C día/noche) y del C3 (18/12°C día/noche), con calefacción en raíces (20°C) y sin calefacción en las variedades Jack y Óptima.

### 3.3.4 Producción

Los frutos de tomate cosechados eran calibrados en: <57 mm (destrío), 57-67 mm (pequeño), 67-82 mm (mediano), 82-101 mm (grande) y >101 mm (muy grande); los frutos de las plantas situadas en las esquinas laterales, superior e inferior del ensayo no se contabilizaron como producción ni se analizaron debido al efecto borde (Figura 16). Los frutos de tomate cosechados, salvo los frutos de destrío que se eliminaban y sólo se catalogaban como producción, eran seleccionados independientemente de su calibre para realizar los análisis de calidad.

### 3.3.5 Calidad

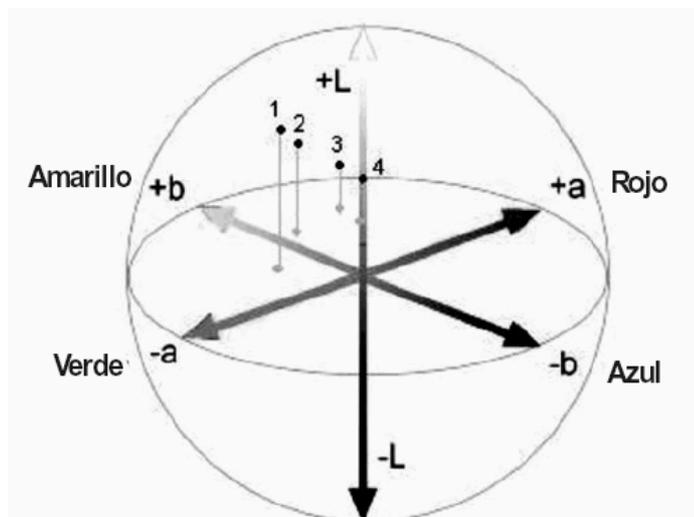
Se realizaron analíticas físico-químicas para caracterizar la calidad de los tomates. Los tomates maduros completamente rojos aptos para el consumo y de un diámetro aproximado de 57 a >101 mm se analizaron en 3 repeticiones de 5 tomates para cada tratamiento.



**Figura 17** Laboratorio donde se realizaron los ensayos; tomates divididos en 3 lotes de cinco tomates. Foto cedida por Neiker.

Los tomates seleccionados, por compartimento, tratamiento y variedad, se agrupaban en 3 lotes de cinco tomates. Así, por ejemplo el tratamiento "C4 Jack con" tenía en total 15 frutos, separados en 3 lotes y en cada lote había 5 tomates (Figura 17). Luego se pesaban lote a lote en una balanza de precisión (Radwag modelo PS3500/C/1).

A continuación y mediante la ayuda de un cromómetro Konica Minolta modelo CR-400 se procedía a evaluar el croma ("a", "b" y "L") en tres puntos del mismo tomate, este parámetro mide el tipo de color representando la luminosidad y las tonalidades de color. Así el color "a" indica su posición entre magenta y verde ("a", valores negativos indican verde mientras valores positivos indican magenta), el color "b" indica su posición entre amarillo y azul ("b", valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo) y el color "L" indica la luminosidad ("L", "L"=0 indica negro y "L"=100 indica blanca) (Ver figura 18).



**Figura 18** Separación de las unidades de color en el espacio CIEL. Fuente: Internet

Después se procedía a medir la dureza mediante un Durofel, modelo DFT100, en tres puntos del ecuador del fruto. Este parámetro mide la firmeza a través de una punta móvil que da una unidad al ser presionado por la punta.

Los tomates se troceaban y trituraban durante 1 minuto en una licuadora comercial marca Braun (Figura 19) para dos procesos distintos; por una parte en el zumo de tomate conseguido, se medía el porcentaje de materia seca (%MS) y por otra parte el sobrenadante del zumo centrifugado se utilizaba para medir la jugosidad (%), °Brix (°), ácido cítrico [(gr/100ml), (gr/fruto) y (gr/kg Peso fresco)], conductividad (CE), pH y relación °Brix/ácido cítrico, este último se calculaba mediante tablas Excel mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{^{\circ}\text{Brix}}{\text{g}/100\text{ml}}$$



**Figura 19** Tomates troceados en una licuadora Braun. Foto cedida por Neiker.

Para calcular el porcentaje de materia seca (%MS), se dispensaban unos 40 gramos de zumo de tomate en tarrinas previamente pesadas para luego volver a pesarlas con el zumo y meterlas en una estufa (marca Selecta modelo n°313113) manteniendo la temperatura a 65°C durante una semana, posteriormente, volver a pesarlas y ver el porcentaje de materia seca que tenían. El porcentaje de materia seca (%MS), se calculó utilizando la siguiente fórmula:

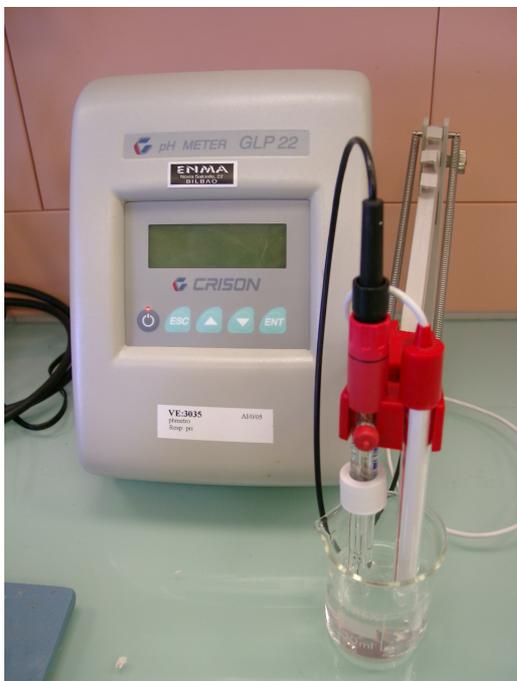
$$\frac{100 * (\text{Tarrina} + \text{PS} - \text{Peso Tarrina})}{(\text{Tarrina} + \text{Puré} - \text{Peso Tarrina})}$$

Otra parte del zumo, unos 100 g, se metían en botes de centrifuga, pesados previamente para luego volver a pesarlos con el zumo; y se centrifugaban a 6.000 rpm unos 10 minutos en una centrifuga Sorvall modelo XTR. El sobrenadante de los botes era recogido para medir la conductividad (CE), el contenido en sólidos solubles (°Brix), el pH y la acidez. El resto de los sedimentos se pesaba para calcular el porcentaje de jugosidad. Este parámetro mide la cantidad de sedimentos que queda después de restar el sobrenadante. Se siguió el procedimiento descrito por Mollendorf y colaboradores (Von Mollendorf et al. 1992) y se calculó del siguiente modo:

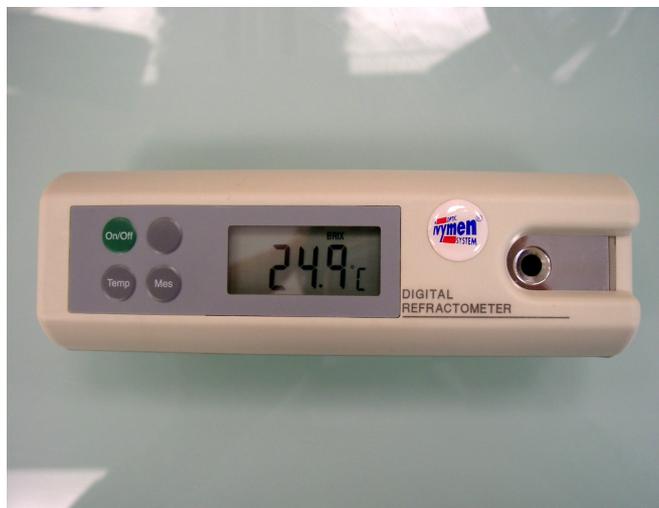
$$\frac{100 * (\text{Peso jugo})}{\text{Peso muestra}}$$

El suero recogido se dividía en dos partes, una parte (100ml) se utilizaba para la medición de la acidez o ácido cítrico y el resto se utilizaba para medir la conductividad eléctrica (Crison, modelo GLP32), la concentración de sólidos solubles (°Brix) (refractómetro digital modelo PR-101) (Figura 21), y el pH

(Crison, modelo GLP22) (Figura 20) en ese orden. La concentración de sólidos solubles (°Brix) muestra la densidad de azúcares, ácidos etc. que tiene el suero del tomate a una determinada temperatura ambiental, la conductividad eléctrica y el pH miden la cantidad de sales y basicidad/acidez que hay en un medio repectivamente.



**Figura 20** pH metro Crison. Foto cedida por Neiker.



**Figura 21** Refractómetro digital para medir los °Brix. Foto cedida por Neiker.

La acidez o ácido cítrico se midió según el método oficial de la AOAC (AOAC, 1999) mediante una titración (Figura 22), cogiendo 100ml de suero y valorándolo con NaOH (hidróxido sódico). El pH del suero se subió hasta pH 8.1 con NaOH 0.1N. La acidez se expresó en gramos de ácido cítrico por 100ml de muestra, en gr/fruto y gr/kg de peso fresco (PF).

Se utilizaron las formulas siguientes:

$$\frac{\text{Volumen NaOH} \cdot 100}{\text{Volumen zumo titración}} \cdot 192,12 \cdot 0,001$$

3

g/100ml

\*192,12 peso atómico de NaOH

\*0,001 cambio de unidades

$$\frac{\text{g/100ml} \cdot \text{Peso jugo}}{100}$$

g/fruto

$$\frac{\text{g/fruto} \cdot 1000}{\text{Peso tomates}}$$

g/kg PF



**Figura 22** Bureta para titración. Foto cedida por Neiker.

### 3.3.6 Biomasa

El acúmulo de la parte aérea, (biomasa) se determinó mediante el análisis de la materia seca; se hicieron dos muestreos durante la vida del cultivo, uno el 17 de Enero de 2011 y otro el 24 de Febrero de 2011, 45 y 83 días después de trasplante (DDT) respectivamente. Se cogieron 3 plantas de tomate de cada variedad, compartimento y tratamiento, teniendo así un total de 24 plantas para analizar. Las plantas se dividieron en hojas y tallos; las hojas se subdividían para tomar fotos y así cuantificar mediante análisis de imagen (programa ASSES 2.0) el área del subfoto de hojas, e interapolarla a la totalidad del área de la planta mediante la relación del peso seco entre el subfoto y la totalidad de las hojas de la planta, esto se contabilizó mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Superficie hojas foto (cm}^2\text{)} * \text{Peso total hojas}}{\text{Peso hojas foto}}$$

La biomasa seca se estimó secando las muestras (hojas y tallos) en una estufa con ventilación forzada a 70°C durante 7 días para después pesarlas en una báscula.

### 3.3.7 Cálculo del gasto energético de los invernaderos

El gasto energético del invernadero se determinó contabilizando las calorías emitidas por el sistema de calefacción en un totalizador contador de calor (PolluTherm, Sensus Metering System, Badalona) (Figura 24). A este totalizador se acoplaron unos contadores volumétricos (WP-Dynamic DN65, Sensus Metering System, Badalona) (Figura 23) para determinar el volumen de agua caliente inyectado al sistema, y unos

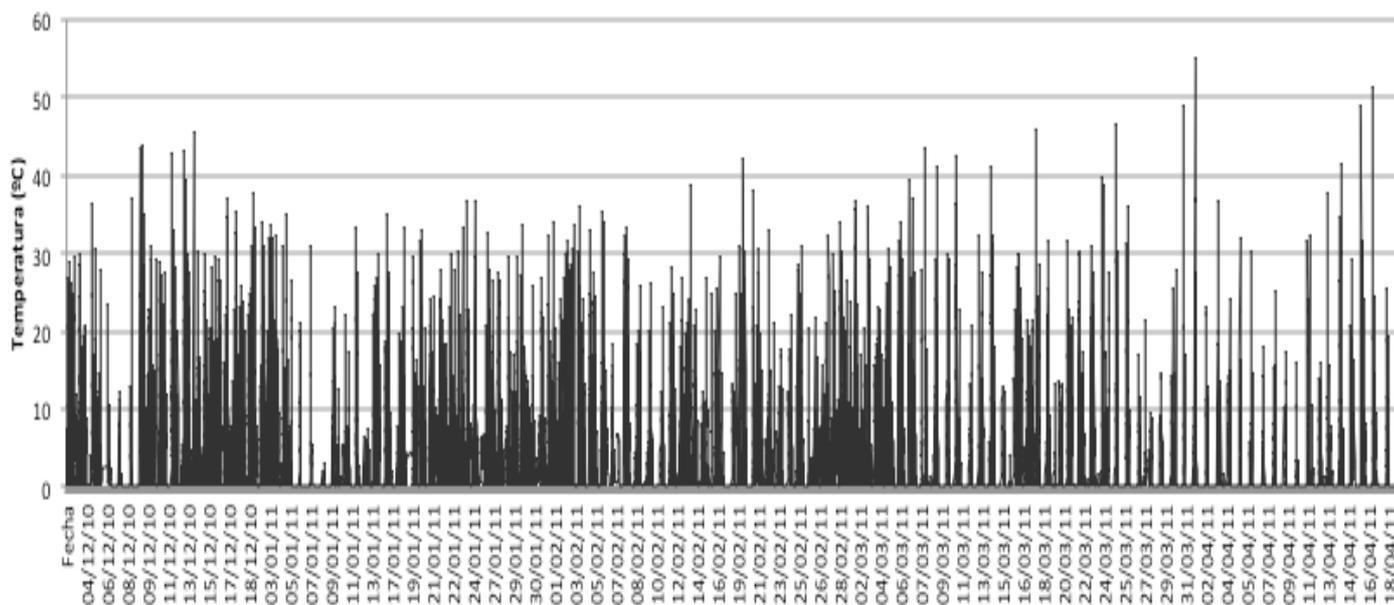
sensores de temperatura PT-500 para determinar la temperatura del agua a la ida y al retorno del sistema de calefacción. No se contabilizó la caldera debido a que ésta calentaba más de un invernadero en el momento del ensayo. La diferencia de temperatura de impulsión y retorno (Figuras 25, 26, 27 y 28) muestra el gasto térmico que tiene la calefacción de los monorrales (80°C) y la calefacción en las raíces (45°C) de los dos compartimentos (C4<sub>20/15°C</sub> y C3<sub>18/12°C</sub>). Los datos mostrados en las figuras 25, 26, 27 y 28 se registraron desde diciembre hasta abril (fin del periodo de calefacción). En las figuras 26 y 28 se observa un descenso de temperatura al final del periodo de cultivo, dirigido al calentamiento de las raíces. Esto es debido al periodo estacional, ya que en primavera las temperaturas empiezan a elevarse y por lo tanto hay un menor gasto energético calentando las raíces.



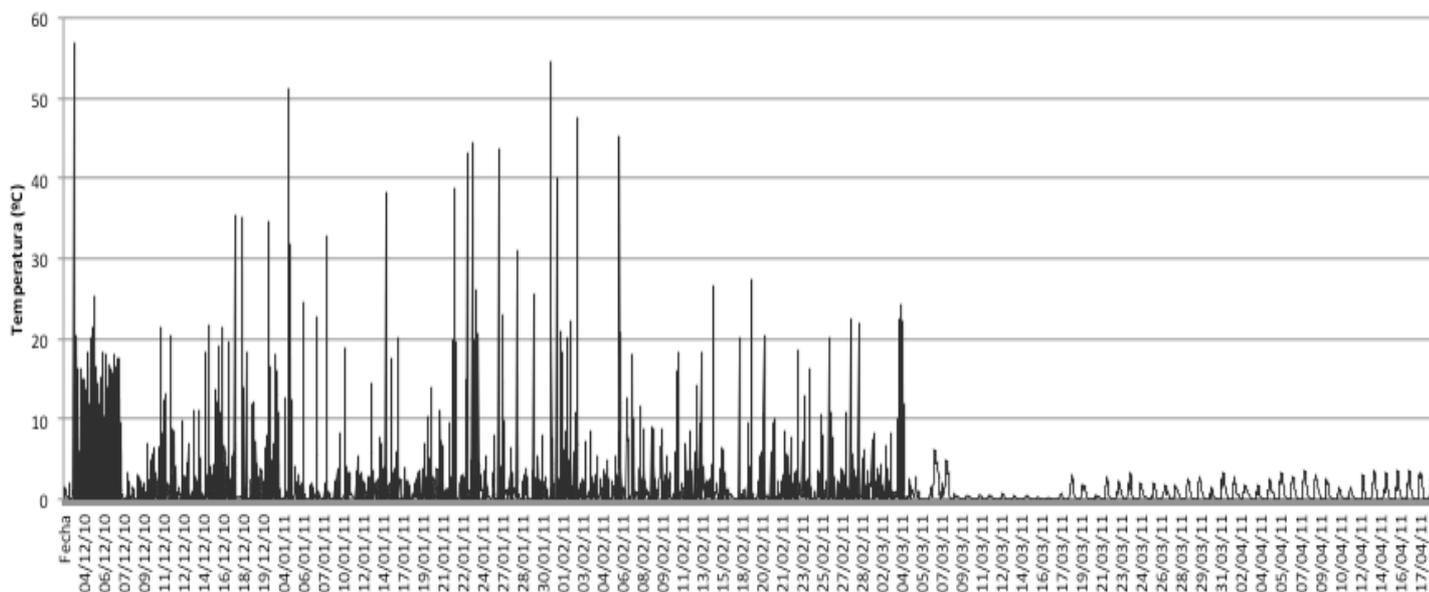
**Figura 23** Sondas de temperatura para el cálculo del gasto energético. Foto cedida por Neiker.



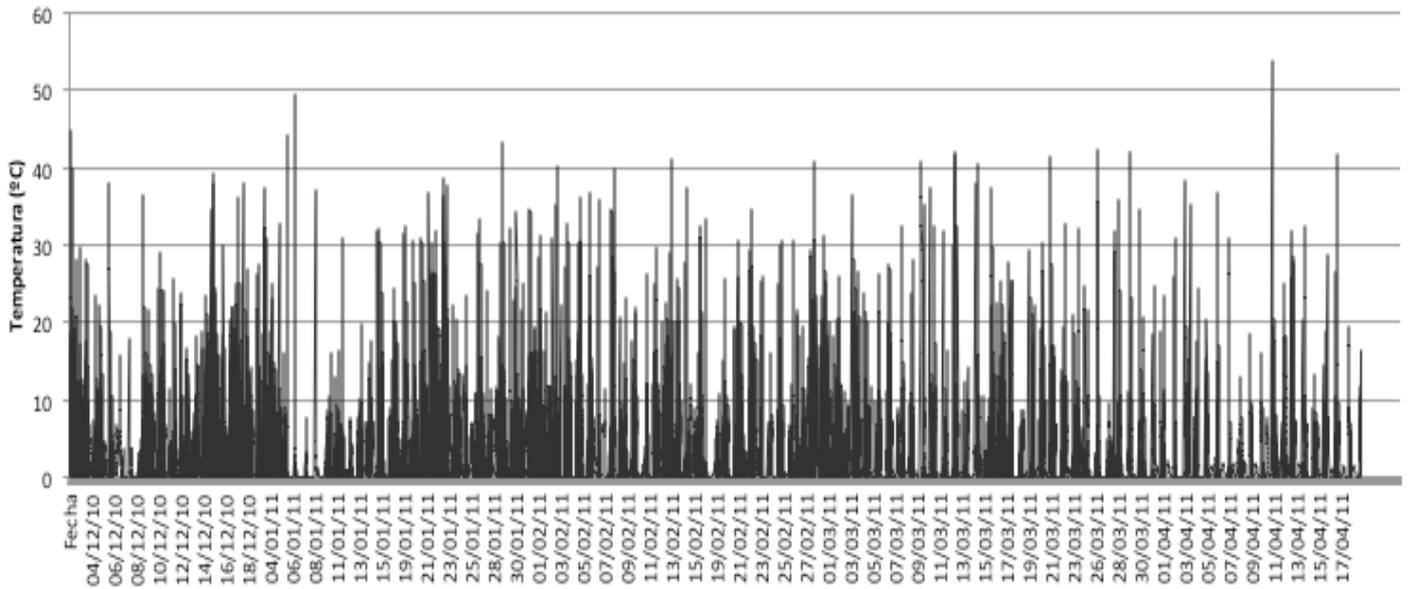
**Figura 24** Contador Sensus metering. Foto cedida por Neiker



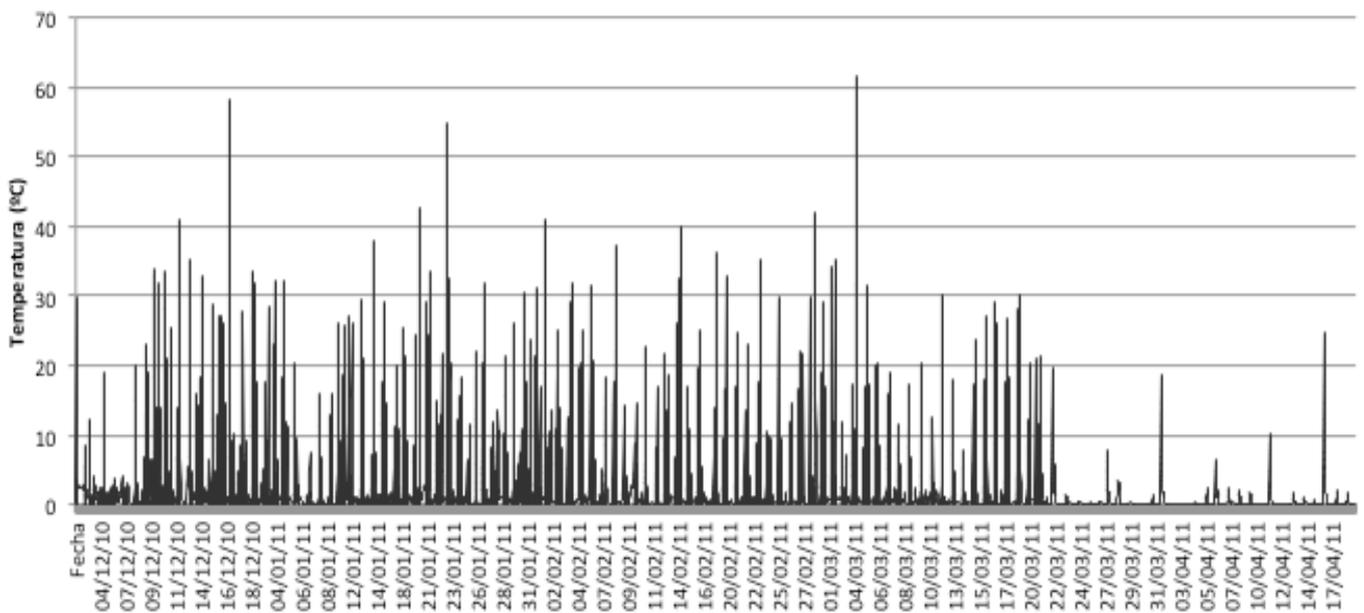
**Figura 25** Diferencia de temperatura de impulsión y retorno en la calefacción ambiental (monorraíles a 80°C) del C3 (18/12°C).



**Figura 26** Diferencia de temperatura de impulsión y retorno en la calefacción radicular (tubo corrugado a 45°C) del C3 (18/12°C).



**Figura 27** Diferencia de temperatura de impulsión y retorno en la calefacción ambiental (monorraíles a 80°C) del C4 (20/15°C).



**Figura 28** Diferencia de temperatura de impulsión y retorno en la calefacción radicular (tubo corrugado a 45°C) del C4 (20/15°C).

### **3.4 TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL INVERNADERO**

Los parámetros climáticos determinados fueron el déficit de saturación, la temperatura ambiental interior y la temperatura del suelo en los compartimentos  $C_{3_{18/12^{\circ}\text{C}}}$  y  $C_{4_{20/15^{\circ}\text{C}}}$  desde diciembre de 2010 hasta Mayo de 2011.

Los índices del compartimento  $C_{3_{18/12^{\circ}\text{C}}}$  (Ver anexo apartado 7.1, Figuras 81 y 82) fueron más altos y mas diferenciados que el compartimento  $C_{4_{20/15^{\circ}\text{C}}}$  (Ver anexo apartado 7.1, Figuras 83 y 84), esto es, la diferencia de temperaturas día/noche fue más pronunciada que en el compartimento  $C_{4_{20/15^{\circ}\text{C}}}$ , sobre todo la temperatura interior y el déficit de saturación. La temperatura del suelo no tuvo tantas fluctuaciones como los anteriores parámetros debido al efecto tampón del suelo.

El compartimento  $C_{4_{20/15^{\circ}\text{C}}}$  fue más homogéneo en las diferencias día/noche excepto en la última parte que llegó a unos déficits de saturación próximos al 90% y temperaturas interiores de hasta 40°C, esto probablemente provocado por el viento sur de la zona.

### **3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Una vez realizadas todas las mediciones y conteos, se procedió al análisis estadístico de las variables cuantitativas del ensayo. Para ello se utilizó el programa estadístico SPSS (versión 18), con análisis de la varianza (comparación de medias, ANOVA de un factor) y pruebas de separación de medias Post-Hoc (test de Duncan), en el que se rechaza la hipótesis nula de que todas las medias son iguales con un nivel de significación del 5%.

## 4 Resultados y discusión

Los resultados que se van a exponer a continuación son fruto de los diferentes parámetros analizados. Estos parámetros han sido: producción, calidad, biomasa y consumos térmicos; de cuyos parámetros se han realizado diferentes determinaciones en laboratorio y en campo.

Los resultados estadísticos obtenidos en los apartados de calidad, producción y biomasa se mostrarán en este orden:

- 1) Influencia del momento de la cosecha en los distintos parámetros.
- 2) El efecto que tiene la calefacción (con<sub>20°C</sub> y sin calefacción) en los distintos parámetros.
- 3) El efecto que tiene la compartimentación (C<sub>4</sub><sub>20/15°C</sub> y C<sub>3</sub><sub>18/12°C</sub>) en los distintos parámetros.
- 4) El efecto varietal (Diferencias entre Jack y Óptima) en los distintos tratamientos.

## 4.1 BIOMASA

En la biomasa se analizaron cuatro parámetros: área foliar (cm<sup>2</sup>), peso seco hojas (g), peso seco tallos (g) y peso seco hojas + tallos (g). El test de Duncan mostró las diferencias existentes entre los tratamientos aplicados, para cada uno de estos parámetros (tablas 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, y 12).

Se realizaron pruebas Post-Hoc para ver la diferencia que había entre los tratamientos en cada fecha de cosecha, concretamente los días 17-01-11 y 24-02-11, 45 y 83 días después del trasplante (DDT).

Dado que la biomasa incrementa con el desarrollo, no se analizó el efecto del momento de cosecha, debido a que la biomasa es función dependiente del tiempo o estado de desarrollo (Bugarín-Montoya et al. 2002).

### 4.1.1 Biomasa a los 45 días del trasplante

Se determinó el efecto de cada una de las variables en estudio, sobre la biomasa del tomate a los 45 días del trasplante; los datos se recogen en las tablas. 5, 6, 7, y 8.

**Tabla 5** Efecto de la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche), radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) en el área foliar (cm<sup>2</sup>) de dos variedades (Jack y Óptima) a los 45 días después de trasplante.

Tratamientos	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	
C3 OPTIMA CON	6.014,75	a
C4 OPTIMA CON	6.625,90	ab
C3 JACK SIN	6.967,53	abc
C4 OPTIMA SIN	9.525,43	abc
C3 OPTIMA SIN	9.741,78	abc
C4 JACK CON	10.111,73	bc
C4 JACK SIN	10.594,92	bc
C3 JACK CON	10.839,78	c

La tabla 5, nos muestra que el área foliar está influenciada por la variedad; la variedad Jack, con una media de 10.839,78 cm<sup>2</sup> de área es significativamente diferente de la variedad Óptima, con 6.014,75 cm<sup>2</sup> de área foliar. La diferencia varietal entre Jack y Óptima ocurre en ambos regímenes térmicos ambientales y el mayor crecimiento foliar corresponde a la variedad Jack con un área significativamente mayor que la variedad Óptima (Tabla 5).

**Tabla 6** Efecto de la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche), radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) en el peso seco de las hojas (g) de dos variedades (Jack y Óptima) a los 45 días después de trasplante.

Tratamientos	Peso seco hojas (g)	
C3 OPTIMA SIN	6,94	a
C3 JACK SIN	14,17	b
C3 OPTIMA CON	16,86	bc
C4 OPTIMA SIN	19,26	bc
C4 JACK CON	20,44	bc
C3 JACK CON	21,46	c
C4 JACK SIN	21,68	c
C4 OPTIMA CON	29,81	d

El peso seco de las hojas a los 45 días después del trasplante (DDT) se observa en la tabla 6. Los resultados obtenidos confirman que la temperatura ambiente es un factor determinante del desarrollo foliar. Las mayores áreas foliares se obtienen creciendo a mayor temperatura ambiental (20/15°C día/noche). Así mismo observamos que la variedad Jack, creciendo a menor temperatura ambiental (18/12°C día/noche) es capaz de aumentar su desarrollo foliar si se aumenta la temperatura del suelo (tabla 6).

**Tabla 7** Efecto de la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche), radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) en el peso seco de los tallos (g) de dos variedades (Jack y Óptima) a los 45 días después de trasplante.

Tratamientos	Peso seco tallos (g)	
C3 OPTIMA SIN	5,90	a
C4 JACK CON	10,93	b
C3 JACK SIN	11,20	b
C3 OPTIMA CON	13,67	b
C4 OPTIMA SIN	14,23	bc
C3 JACK CON	15,23	bc
C4 JACK SIN	16,31	bc
C4 OPTIMA CON	19,10	c

El peso seco de los tallos y de los tallos más hojas a los 45 días después del trasplante (DDT) se observa en las tablas 7 y 8. Los resultados muestran como el acúmulo de biomasa en la variedad Óptima se ve muy afectada por la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche) y con la temperatura radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción). Así, el máximo desarrollo lo consigue con temperaturas aéreas altas (20/15°C) y con temperaturas radicales altas (a 20°C) (Tablas 7 y 8).

**Tabla 8** Efecto de la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche), radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) en el peso seco de los tallos más hojas (g) de dos variedades (Jack y Óptima) a los 45 días después de trasplante.

Tratamientos	Peso seco tallos+hojas (g)	
C3 OPTIMA SIN	12,83	a
C3 JACK SIN	25,37	b
C3 OPTIMA CON	30,53	bc
C4 JACK CON	31,37	bc
C4 OPTIMA SIN	33,48	bc
C3 JACK CON	36,70	bc
C4 JACK SIN	37,98	c
C4 OPTIMA CON	48,90	d

En la tabla 8 se observa que la variedad Jack muestra variación en el peso seco de las hojas más los tallos en función de la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche). Así, cuando crece a temperaturas aéreas más bajas (18/12°C) produce significativamente menos (25,37 g) que cuando crece a temperaturas aérea más altas (20/15°C) (37,98 g) y estando sin calefacción radicular. Sucede a la inversa cuando se trata con calefacción radicular la variedad Jack (Tabla 8).

#### 4.1.2 Biomasa a los 83 días del trasplante

Los datos recogidos a los 83 días después del trasplante se muestran en las tablas 9, 10, 11 y 12.

El área foliar no muestra diferencias entre los tratamientos. Lo que indica que según avanza el desarrollo se reduce el efecto de la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche) y radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción).

Si comparamos el área foliar en los dos momentos de muestreo (Tablas 5 y 9), observamos que la variedad Óptima ha experimentado un menor desarrollo foliar que Jack. Llama la atención el descenso del área foliar en el tratamiento "C3 Óptima sin".

**Tabla 9** Efecto de la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche), radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) en el área foliar (cm<sup>2</sup>) de dos variedades (Jack y Óptima) a los 83 días después de trasplante.

Tratamientos	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	
C3 OPTIMA SIN	3.809,40	a
C3 OPTIMA CON	8.365,03	a
C4 OPTIMA CON	9.209,85	a
C3 JACK CON	11.004,23	a
C4 JACK SIN	11.107,80	a
C4 OPTIMA SIN	12.845,40	a
C3 JACK SIN	12.954,20	a
C4 JACK CON	14.475,13	a

En la tabla 10, se observa el peso seco de las hojas, este muestra diferencias entre los tratamientos. Así, la variedad Óptima creciendo en el compartimento C3<sub>18/12°C</sub> sin calefacción radicular y la variedad Jack creciendo en el compartimento C4<sub>20/15°C</sub> con 20°C calefacción radicular, difieren claramente del resto con el menor y el mayor peso seco foliar registrado (Tabla 10).

Si observamos con detenimiento la tabla 10 vemos como el peso seco foliar se ve afectado positivamente por la calefacción radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) y aún más cuando actúa con la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche).

Si observamos en peso seco en los dos momentos (Tabla 6 y 10), observamos un aumento significativo (el triple) del peso seco en todas las condiciones, Ello nos indica que al avanzar en el desarrollo el área foliar incrementa. Esto coincide con los resultados de Peil y Galvez. (2005), que concluyeron que la hoja recién desplegada se comporta más como sumidero, importando asimilados procedentes de otras hojas, hasta que alcanza el 30% de su tamaño final, cuando la importación cesa gradualmente y la hoja pasa de importar a exportar carbono.

**Tabla 10** Efecto de la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche), radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) en el peso seco foliar (cm<sup>2</sup>) de dos variedades (Jack y Óptima) a los 83 días después de trasplante.

Tratamientos	Peso seco hojas (g)	
C3 OPTIMA SIN	47,23	a
C3 JACK SIN	58,99	ab
C4 OPTIMA SIN	65,18	ab
C4 JACK SIN	69,51	bc
C3 JACK CON	74,11	bcd
C3 OPTIMA CON	74,59	bcd
C4 OPTIMA CON	89,36	cd
C4 JACK CON	93,12	d

En el peso seco de los tallos y tallos más hojas (Tablas 11 y 12), ocurre lo mismo que en el peso foliar (Tabla 10), la variedad Óptima creciendo en el compartimento C3<sub>18/12°C</sub> sin calefacción radicular y la variedad Jack creciendo en el compartimento C4<sub>20/15°C</sub> con 20°C calefacción radicular, difieren claramente del resto de los tratamientos.

**Tabla 11** Efecto de la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche), radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) en el peso seco de los tallos (cm<sup>2</sup>) de dos variedades (Jack y Óptima) a los 83 días después de trasplante.

Tratamientos	Peso seco tallos (g)	
C3 OPTIMA SIN	24,72	a
C3 JACK SIN	27,60	ab
C4 OPTIMA SIN	28,68	ab
C3 JACK CON	31,92	bc
C4 JACK SIN	32,60	bc
C3 OPTIMA CON	33,20	bc
C4 OPTIMA CON	37,32	c
C4 JACK CON	37,38	c

La variedad Óptima creciendo a temperaturas ambientales de 20/15°C con calefacción radicular difiere, con una media de peso seco mejor (foliar y tallos), del tratamiento sin calefacción de suelo (Tablas 11 y 12).

Si comparamos el peso seco del tallo en los dos momentos de muestreo observamos un aumento de la materia seca en todos los casos, siendo bastante incrementado en el caso de "C3 Óptima sin" (Tablas 7 y 11).

**Tabla 12** Efecto de la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche), radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) en el peso seco de los tallos más las hojas (cm<sup>2</sup>) de dos variedades (Jack y Óptima) a los 83 días después de trasplante.

Tratamientos	Peso seco hojas+tallos (g)	
C3 OPTIMA SIN	71,95	a
C3 JACK SIN	86,59	ab
C4 OPTIMA SIN	93,85	ab
C4 JACK SIN	102,10	bc
C3 JACK CON	106,03	bcd
C3 OPTIMA CON	107,79	bcd
C4 OPTIMA CON	126,68	cd
C4 JACK CON	130,50	d

Si comparamos los datos de las tablas 6 y 7 a los 45 días de trasplante, observamos que el peso seco foliar es superior al peso seco de los tallos. Sin embargo, si observamos las tablas 10 y 11 podemos decir que el peso seco de las hojas disminuye y aumenta la de los tallos, es decir que la relación entre los tallos/hojas disminuye. Esto concuerda con lo publicado por Peil y Gálvez. (2005), quienes observaron que en plantas jóvenes la relación tallo/hoja, generalmente, aumenta con el incremento de la edad y tamaño de la planta. En cambio, en plantas adultas, la distribución de materia seca entre tallos y hojas parece ser constante e independiente de la edad y tamaño de la planta

El interés de estudiar el efecto de los tratamientos y variedades en la biomasa, atiende al hecho de que un buen desarrollo de biomasa (área foliar y peso seco), es importante para una buena producción. Sin embargo, la translocación de nutrientes de la parte vegetativa al fruto es lo determinante, esta translocación va a verse afectada por la temperatura y humedad. Esto concuerda con el estudio de Peil y Gálvez. (2005), en el que observaron un aumento de la relación tallo/hoja con un aumento de la temperatura.

## **4.2 RENDIMIENTO**

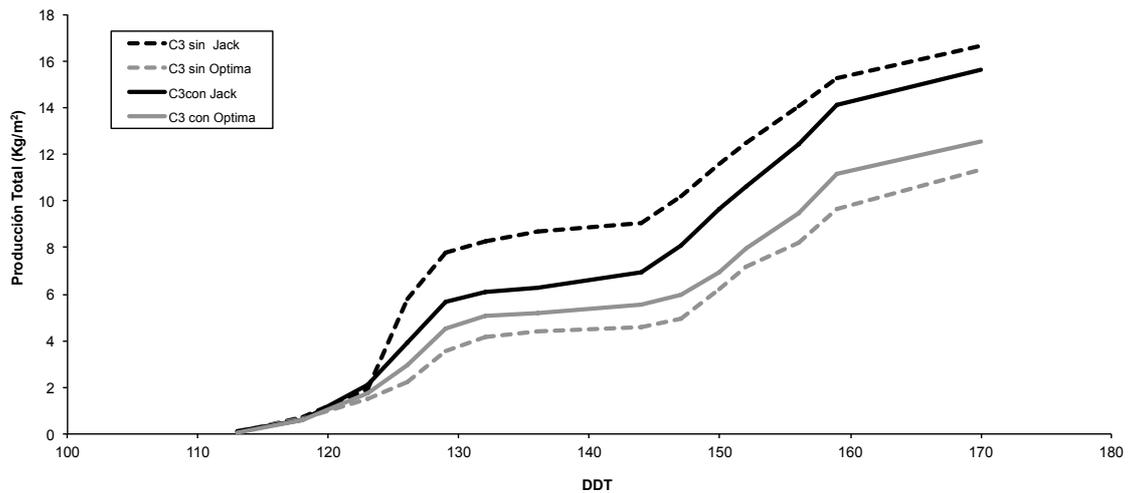
La producción de los tomates se catalogó y caracterizó por producción total, comercial, destrío y calibres [ $>101$  (muy grande), 82-101 (grande), 67-82 (mediano), 57-67 (pequeño) y  $<57\text{mm}$  (destrío)]. Se estudió el rendimiento de los tomates de dos variedades (Jack y Óptima) sometidas a distintos tratamientos térmicos: ambiental (compartimento  $C4_{20/15^\circ\text{C}}$  y  $C3_{18/12^\circ\text{C}}$ ) y de suelo (con calefacción a  $20^\circ\text{C}$  y sin calefacción). El momento de cosecha no se analizó ya que la planta produce tomates de modo continuo, y por ello se va cosechando según van madurando los tomates producidos y se considera como rendimiento la suma de todos los tomates obtenidos.

### **4.2.1 Producción total**

En la figura 29 se muestra la evolución de la producción total del compartimento  $C3_{18/12^\circ\text{C}}$ . Así se observa que la variedad Jack es más productiva que Óptima (Figura 29), en ambos tratamientos de suelo, y este a su vez es más productiva creciendo sin calefacción de suelo.

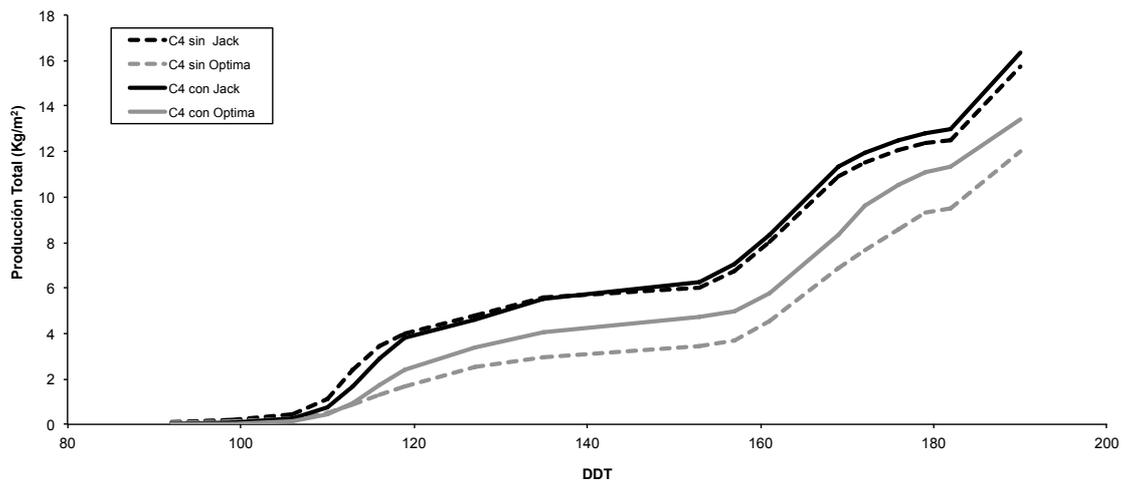
Según Gent y Ma. (1998) la calefacción radicular a  $21^\circ\text{C}$  aumenta la producción un 15% más que en ausencia de calefacción, por lo tanto la producción aumenta en función la calefacción (Gent y Ma. 1998). Se ha visto que la calefacción radicular puede compensar en parte, las bajas temperaturas ambientales en cuanto a rendimiento (Grosselin y Trudel. 1983).

Anza y Riga. (2010) concluyeron, en un ensayo realizado a la variedad Jack, que la calefacción radicular a  $20^\circ\text{C}$  no influía en la producción frente la ausencia de calefacción. Por lo tanto, afirmaron que el aporte de calor para mantener una temperatura mínima de  $20^\circ\text{C}$  en la rizosfera no tuvo ningún efecto en las producciones. Estos resultados confirman datos presentados por otros autores (Fuyishige, Sugiyama y Ogata. 1991) que tampoco obtuvieron diferencias significativas de producciones entre plantas con temperaturas mínimas de la rizosfera de  $15$  y de  $20^\circ\text{C}$ .



**Figura 29** Evolución de la producción total expresado en kg/m<sup>2</sup> en el compartimento C3 (18/12°C día/noche) contabilizado en días después del trasplante (DDT).

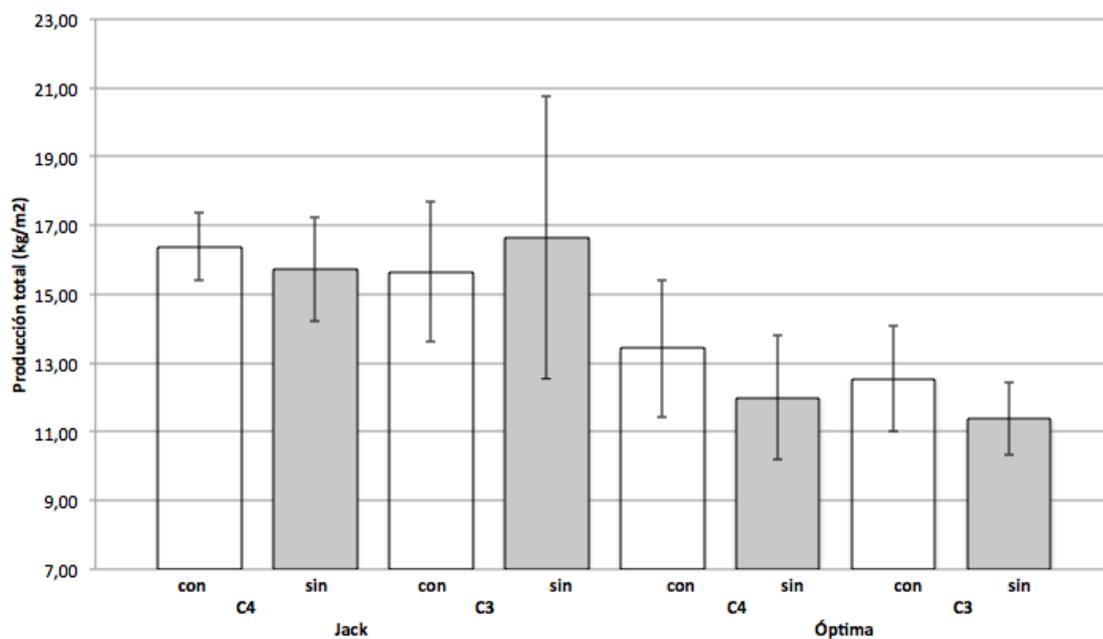
La producción en el compartimento C<sub>4</sub><sub>20/15°C</sub> muestra una tendencia similar a lo observado en el C<sub>3</sub><sub>18/12°C</sub>. En este régimen térmico Jack sigue siendo más productivo, aunque no se ve afectado por el régimen térmico radicular aplicado (con calefacción a 20°C y sin calefacción) (Figuras 29 y 30). Parece que la mayor temperatura ambiental del compartimento C<sub>4</sub><sub>20/15°C</sub> hace que el rendimiento no se vea paralizado por la calefacción radicular en la variedad Jack y Óptima. (Figura 30). Si comparamos las figuras 29 y 30, podemos decir que el aumento de la temperatura ambiental (20/15°C día/noche) conlleva un aumento del rendimiento total (Figura 30) en la variedad Óptima, pero no afecta a Jack. Así mismo, podemos ver como la temperatura radicular (a 20°C) conlleva un aumento del rendimiento de Óptima en ambos regímenes térmicos (20/15°C y 18/12°C día/noche) pero penaliza a Jack cuando crece a menor temperatura ambiental (18/12°C día/noche).



**Figura 30** Evolución de la producción total expresado en kg/m<sup>2</sup> en el compartimento C4 (20/15°C día/noche) contabilizado en días después del trasplante (DDT).

La figura 31 muestra la producción total de los tomates creciendo en distintas temperaturas aéreas (20/15°C y 18/12°C día/noche) y radicales (con calefacción a 20°C y sin calefacción). De las dos variedades en estudio (Jack y Óptima) ni la temperatura ambiental ni la radicular afectan significativamente al rendimiento total. La diferencia de rendimiento obtenido parece deberse a la variedad, observando que Jack sin calefacción es más productiva que Óptima creciendo a 20/15°C (Figura 31).

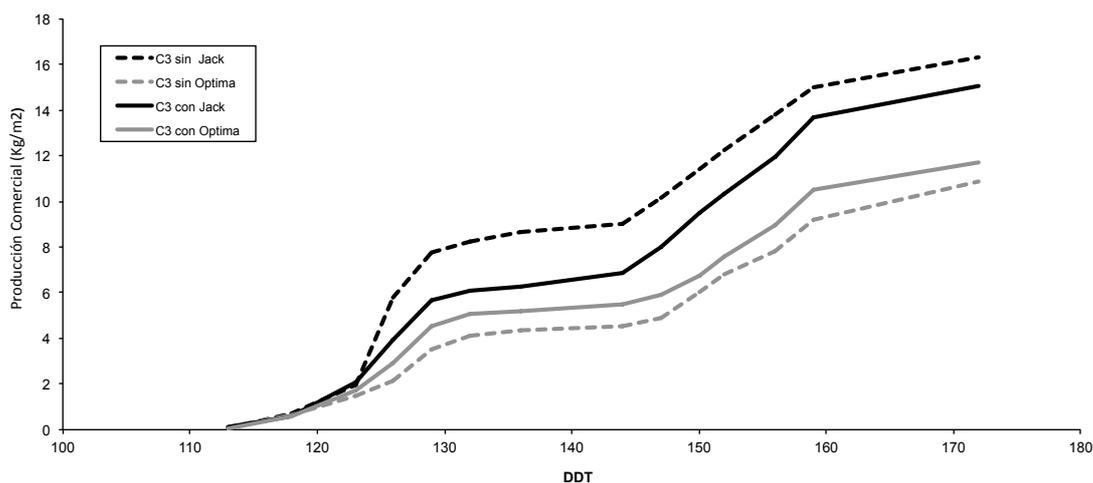
Anza y Riga. (2010) obtuvieron en un ensayo realizado con variedades Jack y Goloso una producción total de 16,2 y 17,8 kg/m<sup>2</sup> respectivamente. En nuestro caso es un resultado bueno ya que la variedad Jack no ha variado la producción total esperada.



**Figura 31** Rendimiento total de dos variedades (Jack y Óptima) sometidas a distintos tratamientos térmicos: ambiental (compartimento C4 a 20/15°C y C3 a 18/12°C día/noche) y de suelo (con calefacción a 20°C y sin calefacción).

#### 4.2.2 Producción comercial

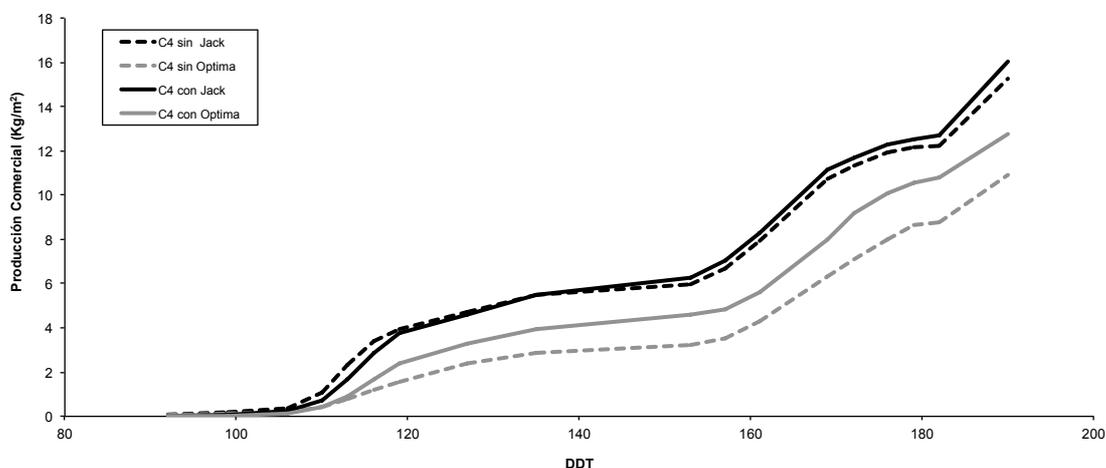
En las figuras 32 y 33 se observa la evolución del rendimiento comercial en kg/m<sup>2</sup> en los dos regímenes térmicos estudiados (20/15°C y 18/12°C día/noche) respectivamente.



**Figura 32** Evolución de la producción comercial expresado en kg/m<sup>2</sup> en el compartimento C3 (18/12°C día/noche) contabilizado en días después del trasplante (DDT).

Como sucedía con la producción total, Jack posee mejor rendimiento que Óptima en ambos regímenes térmicos (Figuras 32 y 33). La diferencia en rendimiento entre los tratamientos térmicos radiculares

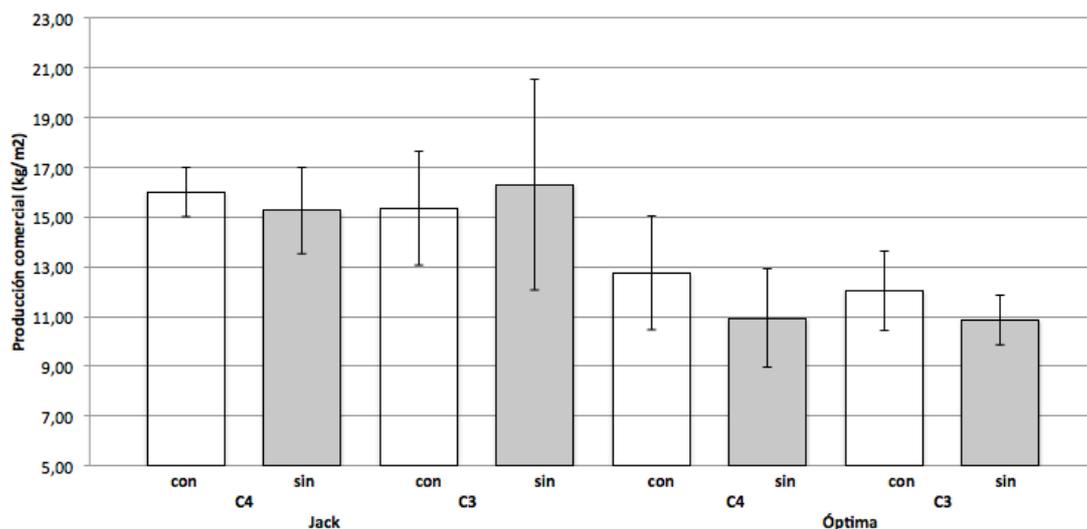
aplicados es menor cuanto mayor es la temperatura aérea (20/15°C día/noche) para la variedad Jack. La variedad Óptima (Figuras 32 y 33) sin embargo consigue producciones mas homogéneas en todas las situaciones, es decir no responde a los cambios de temperaturas ambientales (C4 a 20/15°C y C3 a 18/12°C día/noche).



**Figura 33** Evolución de la producción comercial expresado en kg/m<sup>2</sup> en el compartimento C4 (20/15°C día/noche) contabilizado en días después del trasplante (DDT).

En la figura 34 se muestra el resultado de la producción comercial obtenido para las dos variedades, en ambos regímenes de temperatura aérea (20/15°C y 18/12°C día/noche) y radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción). El análisis estadístico indica que no hay diferencias en la producción comercial debido al efecto de la calefacción (con calefacción a 20°C y sin calefacción) ni a la temperatura aérea (20/15°C y 18/12°C día/noche). De nuevo el carácter genético es el que determina las diferencias en la producción comercial, siendo la variedad Jack sin calefacción radicular la más productiva a temperatura ambiental de 20/15°C (Figura 34).

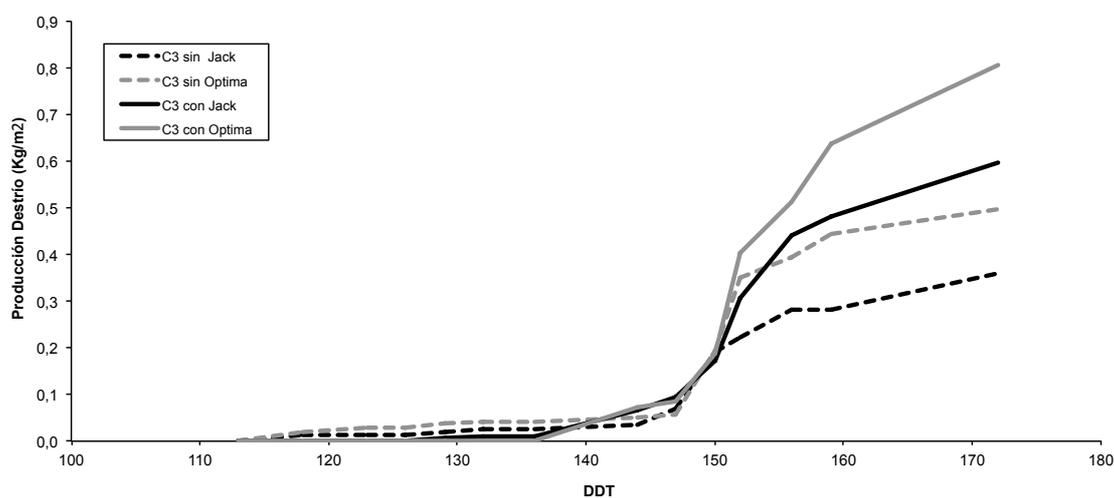
Anza y Riga, (2010) obtuvieron en un ensayo realizado con variedades Jack y Óptima una producción comercial de 16,1 y 17,2 kg/m<sup>2</sup> respectivamente. En nuestro caso la variedad Jack obtuvo 15,8 kg/m<sup>2</sup>, dentro de lo esperado para este ensayo.



**Figura 34** Rendimiento comercial de dos variedades (Jack y Óptima) sometidas a distintos tratamientos térmicos: ambiental (compartimento C4 a 20/15°C y C3 a 18/12°C día/noche) y de suelo (con calefacción a 20°C y sin calefacción).

### 4.2.3 Producción Destrío

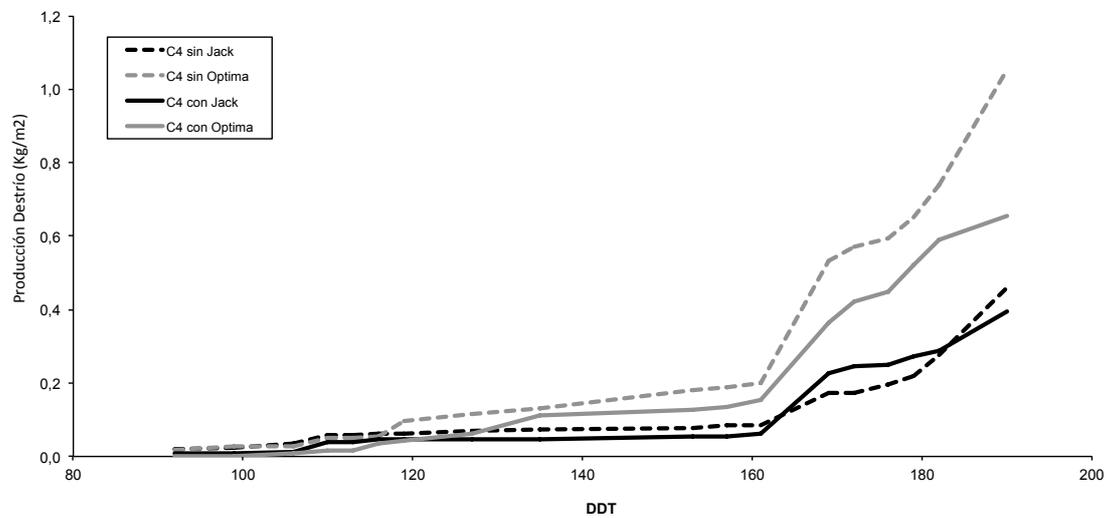
La producción destrío se muestra en las figuras 35 y 36. En ellos observamos que a medida que evoluciona el cultivo, los frutos de destrío empiezan a aumentar, a partir de los 150 y 160 días de trasplante. En general la variedad Óptima tiende a producir más frutos de destrío que la variedad Jack (Figura 35 y 36).



**Figura 35** Evolución de la producción de destrío expresado en kg/m<sup>2</sup> en el compartimento C3 (18/12°C día/noche), contabilizado en días después del trasplante (DDT).

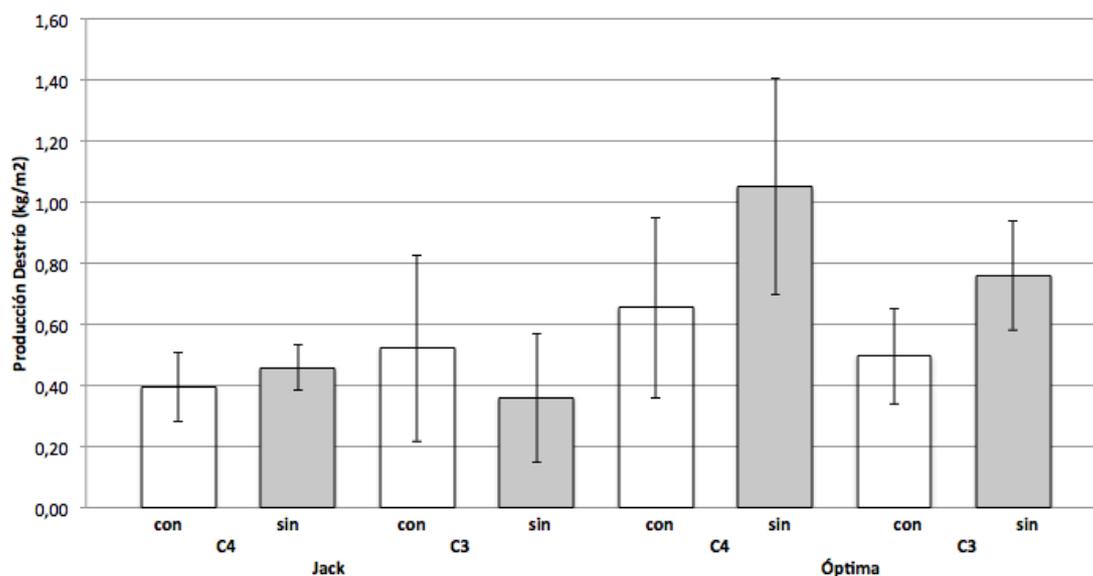
La calefacción radicular parece afectar a la producción de destrío, en ambas variedades, cuando crece a baja temperatura ambiental (18/12°C día/noche) (Figura 35). Este efecto, varía cuando crece a alta temperatura

ambiental (20/15°C día/noche) (Figura 36). En esta situación la variedad Óptima sigue produciendo más frutos destrío, pero la variedad Jack no.



**Figura 36** Evolución de la producción de destrío expresado en kg/m<sup>2</sup> en el compartimento C4 (20/15°C día/noche), contabilizado en días después del trasplante (DDT).

En la figura 37 se muestra la producción de destrío de las dos variedades en estudio (Jack y Óptima), creciendo en distintas temperaturas aéreas (20/15°C y 18/12°C día/noche) y radicales (con calefacción a 20°C y sin calefacción). A la producción de destrío no le influye la calefacción radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) ni la diferencia de temperaturas ambientales (20/15°C y 18/12°C día/noche). La genética es el factor que influye en la producción de destrío. La variedad Óptima produce más frutos de destrío cuando crece sin calefacción radicular en ambos compartimentos (20/15°C y 18/12°C) (Figura 9) Esto no es deseable para la producción ya que estos frutos no son comerciales.



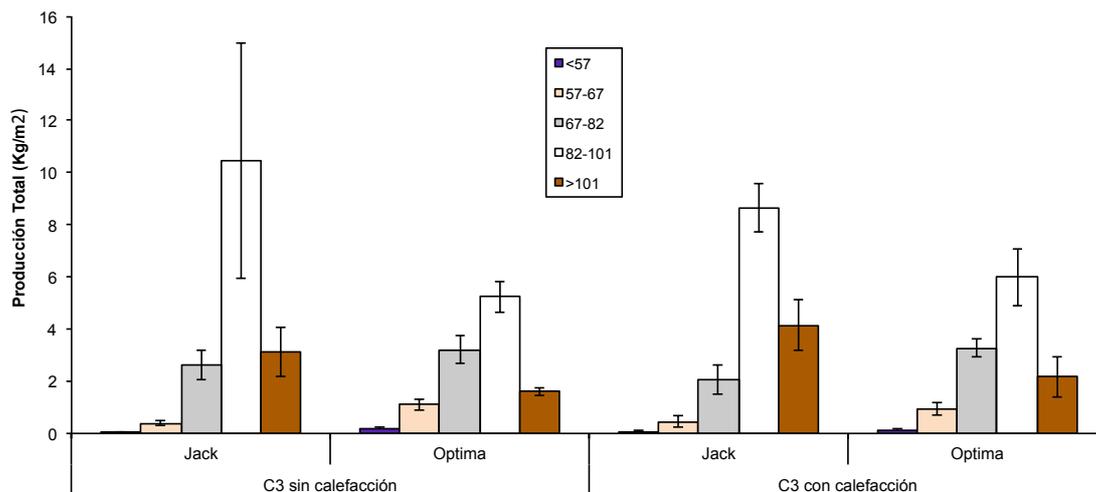
**Figura 37** Producción de destrío de dos variedades (Jack y Óptima) sometidas a distintos tratamientos térmicos: ambiental (compartimento C4 a 20/15°C y C3 a 18/12°C día/noche) y de suelo (con calefacción a 20°C y sin calefacción).

#### 4.2.4 Producción por calibres

Al analizar la producción por calibres (figuras 38 y 39), observamos que la variedad Jack produce más frutos de calibre 82-101 mm (grande) y >101 mm (muy grande) que Óptima. Ambas variedades producen similar cantidad de calibres más pequeños [57-67 mm (pequeño) y 67-82 mm (mediano)] y Óptima destaca por su mayor producción de calibre destrío (Figuras 38 y 39).

La distribución por calibres, en un ensayo realizado con variedades Jack y Goloso, con y sin calefacción radicular, se observó que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos pero sí entre variedades. Los mayores porcentajes se obtuvieron en los calibres 82-101 mm (grande) y >101 mm (muy grande) (Anza y Riga. 2010). En este mismo ensayo el tratamiento sin calefacción produjo más frutos de calibre 82-101 mm (grande) en la variedad Goloso frente a la variedad Jack, esto se vio compensado con una mayor producción de Jack en el calibre >101mm (muy grande) con respecto a Goloso (Anza y Riga. 2010). Sin embargo el tratamiento con calefacción no tuvo diferencias significativas entre las dos variedades de tomate en los calibres más grandes (Anza y Riga. 2010).

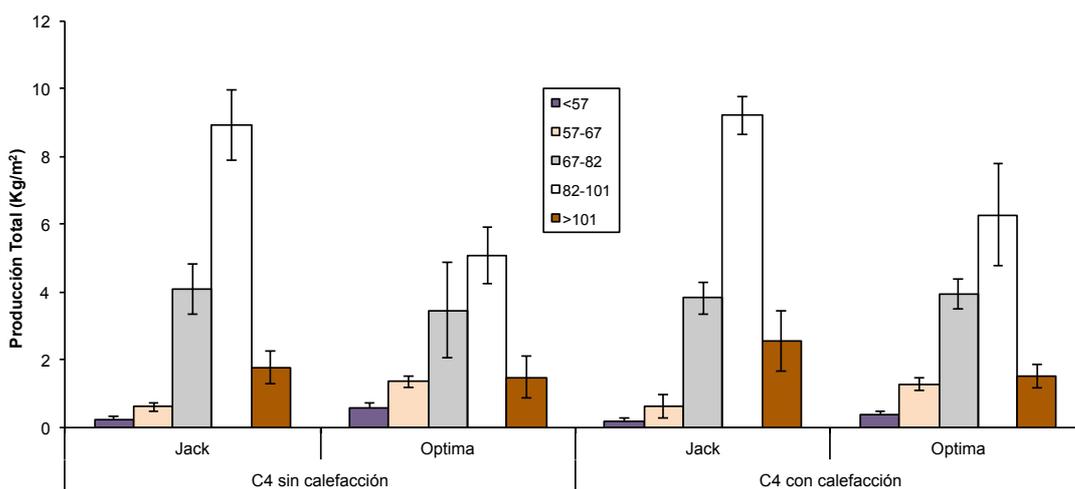
En nuestro caso la variedad Jack es más productiva frente a la variedad Óptima. Así mismo, concuerda con Anza y Riga. (2010) en la distribución de calibres, ya que la variedad Jack produce frutos de mayor calibre.



**Figura 38** Producción por calibres expresado en kg/m<sup>2</sup> y clasificación por tamaños durante el cultivo en el compartimento 3 a temperaturas aéreas de 18/12°C día/noche.

En el compartimento C3<sub>18/12°C</sub> (Figura 38) la calefacción de suelo a 20°C, aumenta solo el porcentaje de tomates de calibre más grande (>101 mm) tanto en la variedad Jack como en Óptima. El resto de los calibres no se ven afectados por la calefacción de suelo (Figura 38).

La calefacción radicular conlleva un aumento de los calibres intermedios [67-82 mm (mediano), 82-101 mm (grande)] en la variedad Óptima y los grandes [>101 mm (muy grande)] en la variedad Jack. De nuevo se observa que la variedad Óptima tiende a tener más frutos de calibre pequeño que la variedad Jack, por el contrario la variedad Jack tiende a producir frutos de mayor calibre (Figura 38 y 39).



**Figura 39** Producción por calibres expresado en kg/m<sup>2</sup> y clasificación por tamaños durante el cultivo en el compartimento 4 a temperaturas aéreas de 20/15°C día/noche.

## 4.3 CALIDAD

Con el fin de cumplir los objetivos de este trabajo de fin de carrera se estudió el posible efecto del momento de cosecha sobre la calidad de los tomates. Para ello se cosecharon tomates en diferentes momentos, de Marzo a Junio. En el caso del compartimento C4 se cosecharon en 6 momentos diferentes (17-03-11, 24-03-11, 31-03-11, 07-04-11, 14-04-11 y 27-04-11). En el caso del compartimento C3 se cosecharon en 5 momentos (31-03-11, 07-04-11, 14-04-11, 27-04-11 y 10-05-11).

Así mismo se estudió la calidad de los tomates de dos variedades (Jack y Optima) sometidas a distintos tratamientos térmicos: ambiental (compartimento C4<sub>20/15°C</sub> y C3<sub>18/12°C</sub>) y de suelo (con calefacción a 20°C y sin calefacción).

De todos los posibles parámetros de calidad del tomate en este TFC se midieron los siguientes: color ("a", "b" y "L"), dureza, pH, conductividad eléctrica (CE), contenido en sólidos solubles (°Brix), ácido cítrico [(g/100ml), (g/fruto) y (g/kg de peso fresco)], relación °Brix/ac. cítrico, porcentaje de materia seca (%MS), y porcentaje de jugosidad.

### 4.3.1 Color

La técnica de medida de color utilizada (Cromómetro Konica minolta, apartado 3.3.5) nos permite dividir a los tomates en tres grupos de color: "a", "b" y "L". Los tres parámetros representan la luminosidad y las tonalidades de color. Así el color "a" indica su posición entre magenta y verde ("a", valores negativos indican verde mientras valores positivos indican magenta), el color "b" indica su posición entre amarillo y azul ("b", valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo) (ver figura 18) y el color "L" indica la luminosidad ("L", "L"=0 indica negro y "L"=100 indica blanca).

El color en el tomate es una característica extremadamente importante, ya que determina la madurez y vida post-cosecha, y es un factor determinante en cuanto a la aceptabilidad por parte del consumidor (Zapata et al. 2007). La madurez óptima de los tomates está asociada con el desarrollo óptimo del color y del sabor (Zapata et al. 2007).

#### 4.3.1.1 Color "a"

Los resultados de color "a" obtenidos se evaluaron siguiendo el orden de los objetivos. Primero se vio la posible influencia que tiene el momento de la cosecha y después se analizó, independientemente del momento de cosecha, el posible efecto de la temperatura en la raíz (calefacción con<sub>20°C</sub> y sin), la temperatura ambiental (compartimento C4<sub>20/15°C</sub> y C3<sub>18/12°C</sub>) y la calidad de los tomates de las dos variedades estudiadas (Jack y Óptima).

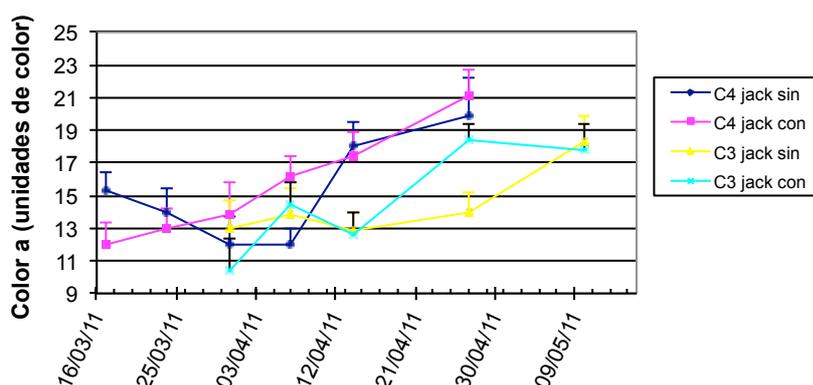
Según Gómez et al. (2001) los índices de color para tomates híbridos oscilan entre los 17 y 32 unidades de color; Pero para Borgeshi et al. (2011) no desciende de 40 y para Zapata et al. (2007) los niveles de color

“a” oscilan entre -10 y 20 unidades; en nuestro caso, las dos variedades oscilan de media entre los 14,5 y 17,5 unidades de color.

- **Momento de cosecha**

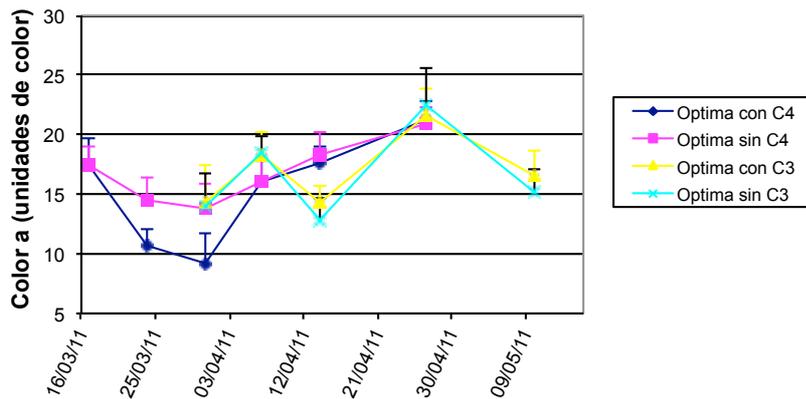
Los resultados obtenidos para el índice de color “a” para las dos variedades, Jack y Óptima, en los distintos momentos muestreados se recogen en las figuras 40 y 41.

Observamos como la variedad Jack (Figura 40) muestra diferencias de color “a” en función del momento de muestreo. El momento de cosecha influye en el parámetro de la calidad del color “a” y el momento adecuado para cosechar los frutos serían las dos últimas semanas ya que los niveles del color “a” suben hasta una media de 18. Así mismo la figura 40 parece indicar que pueden existir diferencias entre los tratamientos estudiados; estos resultados se presentan a continuación en los apartados calefacción radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción), compartimentación (20/15°C y 18/12°C día/noche) y variedad (Jack y Óptima).



**Figura 40** Evolución del color "a" durante el cultivo en la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

Cuando analizamos los resultados del color “a” para la variedad Óptima (Figura 41) se observa que el momento de muestreo afecta de modo distinto en cada una de las condiciones ambientales estudiadas (a 20/15°C y a 18/12°C día/noche). Así, a 20/15°C D/N (compartimento C4) se ve un aumento del color “a” según avanzamos en la cosecha, mientras que a 18/12°C D/N (compartimento C3) no se observan tendencias, solamente fluctuaciones. El momento de cosecha influye en el color “a” de la variedad Óptima siendo las primeras y últimas semanas los momentos óptimos para cosechar (Figura 41).



**Figura 41** Evolución del color "a" durante el cultivo en la variedad Óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

- **Temperatura radicular**

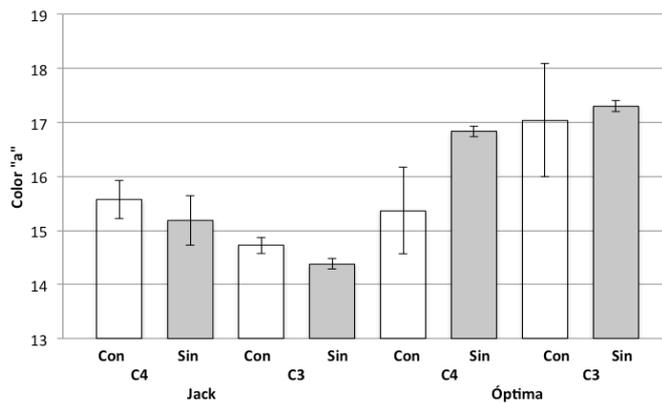
El análisis estadístico de los resultados obtenidos en el estudio del efecto de la calefacción radicular (con<sub>20°C</sub> y sin) en el color "a" muestra que existe un efecto de la temperatura de raíces en el parámetro del color "a". Así, la variedad Óptima posee mayor color "a" en el compartimento C4<sub>20/15°C</sub> sin calefacción. Por el contrario, la variedad Jack creciendo en el compartimento C3<sub>18/12°C</sub>, posee mayor color "a" cuando se calientan las raíces (Figura 42).

- **Temperatura ambiental**

La comparación entre compartimentos se hizo para ver el efecto que las temperaturas ambientales puedan tener sobre la calidad, concretamente en el color "a". Al comparar los dos regímenes de temperatura (Figura 42), una a 20/15°C y la otra a 18/12°C día/noche (D/N), observamos que este afecta a la variedad Jack cuando se calienta la raíz y a la variedad Óptima cuando no se calienta. Así mismo, observamos que el régimen térmico del compartimento C4<sub>20/15°C</sub> es el que más favorece al color "a" de la variedad Jack y el compartimento C3<sub>18/12°C</sub> al color "a" de la variedad Óptima (Figura 42).

- **Variedad**

Al comparar variedades, observamos (Figura 42) como la variedad Jack posee menos color "a", en valores absolutos en todas las situaciones analizadas. Así mismo el régimen de temperaturas del compartimento C3<sub>18/12°C</sub> sin calefacción radicular y el régimen de temperaturas del compartimento C4<sub>20/15°C</sub> con calefacción radicular promueven más estas diferencias varietales entre Jack y Óptima. También observamos como la calefacción radicular afecta positivamente al color "a" de la variedad Jack y negativamente al color "a" de la variedad Óptima.



**Figura 42** Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación [C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N)] y la variedad (Óptima y Jack) en el color "a" independientemente del momento de cosecha. Los datos representan la media y la desviación estándar.

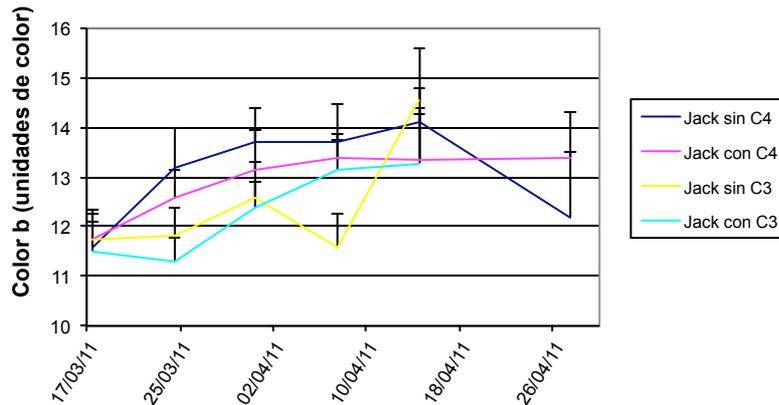
### 4.3.1.2 Color "b"

Al igual que pasa con el color "a", se estudió el posible efecto del momento de cosecha, así como de la calefacción, la diferencia de temperaturas ambientales y la variedad en el color "b".

Según Gómez et al. (2001), los índices de color "b" para tomates híbridos oscilan entre los 17 y 32 unidades de color; para Zapata et al. (2007) el color "b" oscila entre los 15 y 40 unidades, y para Borghesi et al. (2011) no bajaba de 33 unidades de color; en nuestro caso las dos variedades oscilan de media entre los 12,20 y 13,6 unidades de color tipo "b" (Figura 45). Aunque los índices de color sean muy variables el color "b" en este caso está por debajo de los esperado, esto puede ser debido a los tratamientos térmicos recibidos, ya que el color está influido por la temperatura (Zapata et al. 2007).

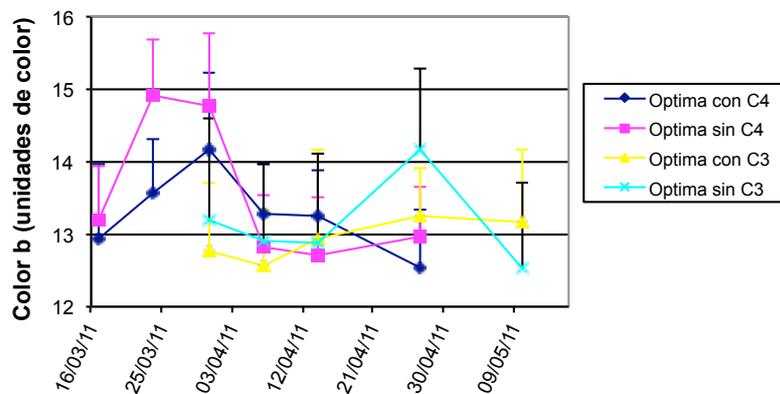
- **Momento de cosecha**

El color "b" se ve afectado por el momento de cosecha. En las figuras 43 y 44 se observa que la variedad Jack tiene niveles más altos de color "b" en los regímenes de temperatura del compartimento C4<sub>20/15°C</sub>. El momento de cosecha influye en el color "b" de la variedad Jack (Figura 43). A partir de la mitad del período de cultivo, los niveles de color "b" van mejorando, de modo que las primeras fechas de cosecha no son óptimas para obtener buenos niveles de color "b".



**Figura 43** Evolución del color "b" en la duración del cultivo de la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

A diferencia de lo observado para la variedad Jack el color "b" de la variedad Óptima no sigue una pauta clara al existir gran variabilidad en este parámetro (Figura 44).



**Figura 44** Evolución del color "b" durante el cultivo en la variedad Óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

- **Temperatura radicular**

El análisis estadístico de los resultados obtenidos en el estudio del efecto de la calefacción radicular (con<sub>20°C</sub> y sin) en el color "b" (Figura 45) muestra que existe un efecto de la temperatura de raíces en los casos analizados. Así, observamos que el calentamiento de la raíz favorece niveles altos de color "b" en la

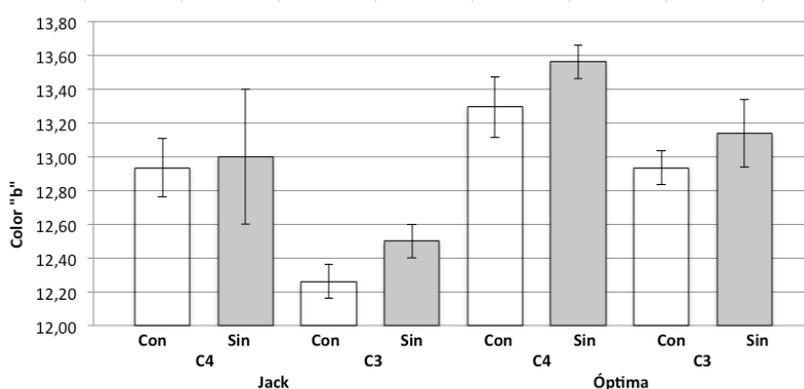
variedad Jack a temperaturas ambientales de 18/12°C. Esta pauta se observa, aunque sin diferencias significativas, para Óptima en todas las condiciones y Jack en el compartimento C4<sub>20/15°C</sub>.

- **Temperatura ambiental**

La comparación entre compartimentos se hizo para ver el efecto que las temperaturas ambientales puedan tener sobre la calidad (Figura 45), en la mayoría de los casos la diferencia de temperaturas ambientales (compartimentos a 20/15°C y 18/12°C día/noche) afecta significativamente al color "b", teniendo en ambas variedades y en ambos tratamientos de suelo, mayor nivel de color "b" en el compartimento C4<sub>20/15°C</sub>. Es decir, temperaturas ambientales más altas favorecen el color "b".

- **Variedad**

Al comparar variedades (Jack y Óptima), observamos que afecta incluso más que la temperatura ambiental (C4<sub>20/15°C</sub> y C3<sub>18/12°C</sub>), la calefacción radicular. La variedad Óptima posee mayores niveles de color "b" que Jack para este parámetro (Figura 45).



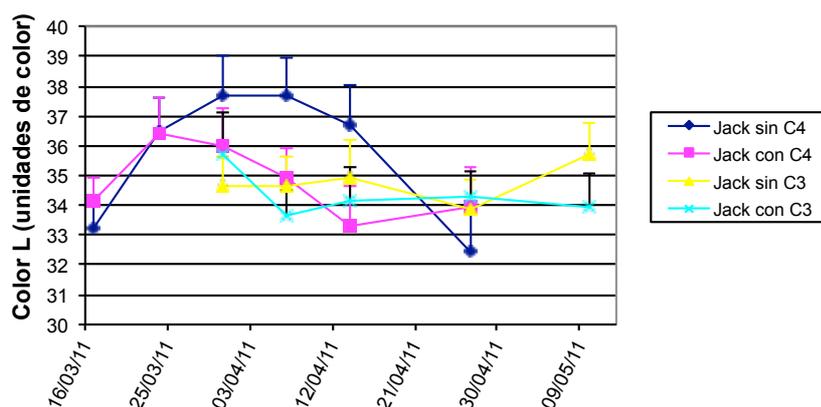
**Figura 45** Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en el color "b" independientemente del momento de cosecha.

### 4.3.1.3 Color "L"

La determinación del color "L" se realizó de la misma forma que el color "a" y el "b". Según Gómez et al. (2001), los índices del color tipo "L" para tomates híbridos oscilan entre los 40 y 46 unidades de color, en nuestro caso las dos variedades de media oscilan entre los 34,5 y 35,5 unidades de color, muy por debajo de lo obtenido por Gómez et al. (2001). Sin embargo según los datos presentados por Zapata et al. (2007) el color oscila entre 35 y 60 unidades y según Borghesi et al. (2011) el color "L" no desciende de 35 unidades. Estas diferencias podrían deberse a los distintos regímenes de temperatura aplicados en cada caso.

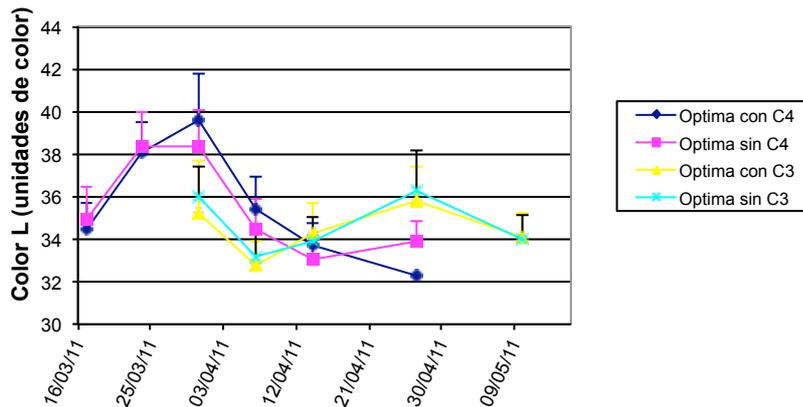
- **Momento de cosecha**

El color "L" va aumentando en los primeros muestreos en ambas variedades (Figura 46 y 47) hasta alcanzar su mejor momento, a partir del que empieza a caer hasta los valores mínimos. El momento de cosecha influye en casi todos los tratamientos de la variedad Jack (Figura 46), no así, en la ausencia de calefacción radicular en el compartimento C3<sub>18/12°C</sub>. A la vista de los resultados podemos decir que a mediados del ciclo de cultivo, es cuando conviene cosechar los frutos de tomate cuando deseemos obtener unos buenos niveles de color "L".



**Figura 46** Evolución del color "L" durante el cultivo en la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

La variedad Óptima sigue la misma tendencia que Jack, al principio asciende pero luego cae más en picado. El momento de cosecha en la variedad Óptima (Figura 47) influye en todos los tratamientos, siendo las primeras semanas de cosecha las fechas más idóneas para la recolección de los frutos de tomate con alto color "L".



**Figura 47** Evolución del color "L" durante el cultivo en la variedad Óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

- **Temperatura radicular**

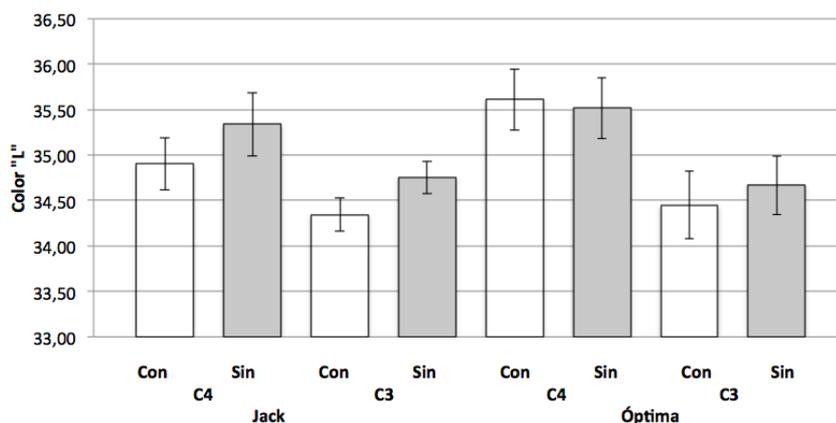
Independientemente del momento de la cosecha, el efecto de la calefacción radicular no influye en la mayoría de los tratamientos al color "L". El caso en el que sí influye, la variedad Jack del compartimento C3<sub>18/12°C</sub> la ausencia de calefacción le favorece mayores unidades de color "L"(Figura 48).

- **Temperatura ambiental**

La diferencia de temperaturas ambientales del C3<sub>18/12°C</sub> y del C4<sub>20/15°C</sub> es el factor más influyente en los niveles de color "L". En este caso, las temperaturas ambientales más altas del C4<sub>20/15°C</sub> favorece el color "L" en los frutos de tomate (Figura 48).

- **Variedad**

No se observan diferencias en el color "L" entre variedades (Figura 48). Ambas variedades poseen valores altos, superiores a 35 cuando crecen en el compartimento C4<sub>20/15°C</sub>, e inferiores a 35 cuando crecen en el compartimento C3<sub>18/12°C</sub>.



**Figura 48** Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en el color "L" independientemente del momento de cosecha.

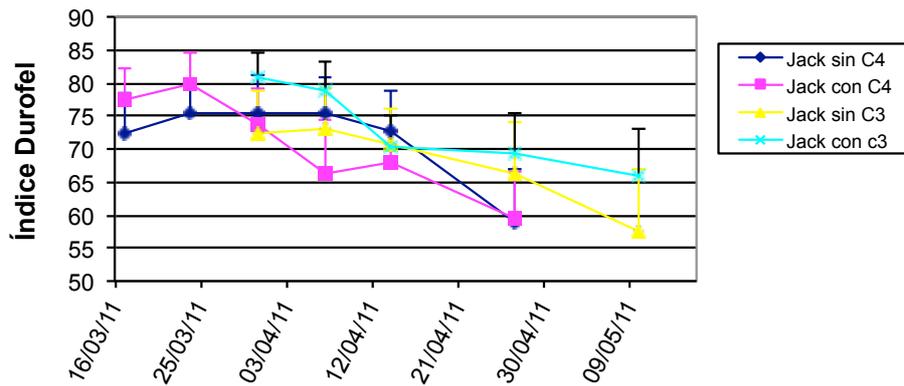
### 4.3.2 Dureza

La determinación de la dureza se realizó con el penetómetro (Durofel, apartado 3.3.5). Este parámetro indica la dureza de los frutos de tomate. Mide la firmeza a través de una punta móvil que da una unidad al ser presionado por la punta. Los parámetros de dureza, midiendo la fuerza de punción, disminuyó a lo largo de la duración del cultivo, lo que podría deberse a el cambio en la composición química de los frutos (Zapata et al. 2007).

A nivel molecular, los diferentes procesos que provocan la disminución en la firmeza no están claros. Se sabe que están relacionados con la ruptura de la pared y membrana celular, activación e inactivación de las enzimas, etc. e interacción de unos procesos con otros. La dureza es una cualidad importante para la frigo-conservación de los frutos (Zapata et al. 2007). En las figuras 49, 50 y 51 se recogen los resultados de la dureza obtenidos en este ensayo.

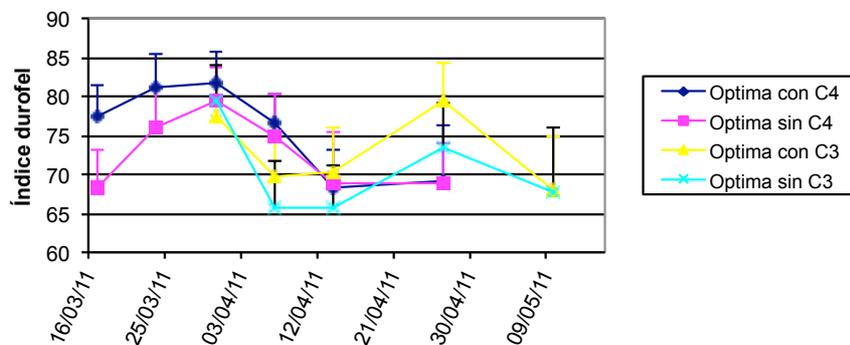
- **Momento de cosecha**

Los resultados obtenidos para el índice de dureza en las dos variedades, Jack y Óptima, en los distintos momentos muestreados se recogen en las figuras 49 y 50. Al inicio del ciclo de cultivo la dureza es alta en las dos variedades (Jack y Óptima) y luego desciende al final del ciclo.



**Figura 49** Evolución de la dureza durante el cultivo en la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

La dureza se ve afectada por el momento de cosecha, obteniéndose valores mas altos las primeras semanas de cosecha. Cuanto más duro sea un fruto mejores cualidades de frigo-conservación tendrá (Zapata et al. 2007), por lo tanto los frutos cosechados en las primeras semanas presentan mayor capacidad de conservación que los frutos cosechados al final del cultivo.



**Figura 50** Evolución de la dureza durante el cultivo en la variedad Óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

- **Temperatura radicular**

El análisis estadístico de los resultados obtenidos en el estudio del efecto de la calefacción radicular (con<sub>20°C</sub> y sin) en la dureza (Figura 51) muestran que la calefacción influye. La calefacción radicular favorece más la

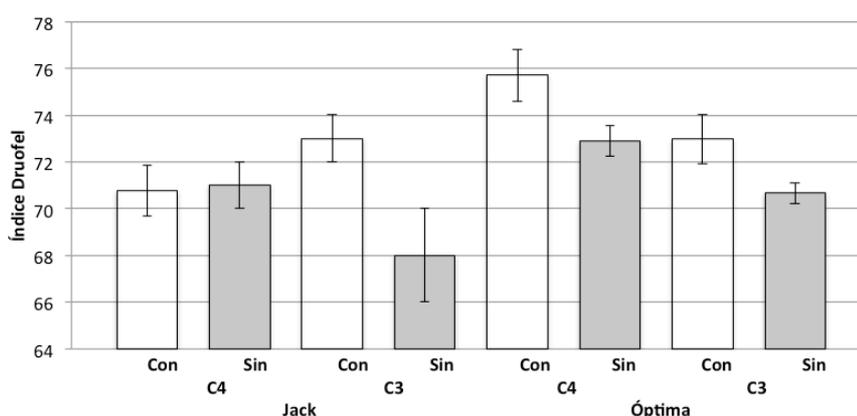
dureza de los frutos. Con la excepción de la variedad Jack a temperaturas ambientales del compartimento C4<sub>20/15°C</sub> (Figura 51). Es decir, la variedad Jack creciendo a altas temperaturas ambientales, no responde al calentamiento radicular con un aumento de la dureza del fruto.

- **Temperatura ambiental**

La diferencia de temperaturas ambientales 20/15°C y 18/12°C día/noche influye en la dureza, en la mayoría de los casos. concretamente el régimen térmico del compartimento C4<sub>20/15°</sub> estimula la producción de los frutos con más dureza. Sin embargo, si comparamos los dos compartimentos (C4<sub>20/15°C</sub> y C3<sub>18/12°C</sub>) sin calefacción radicular observamos que la variedad Jack posee menos dureza, aunque estadísticamente no significativa (Figura 51).

- **Variedad**

Al comparar las dos variedades en estudio, observamos diferencia en la dureza del fruto. La variedad Óptima produce de media, frutos con más dureza que la variedad Jack. El único caso en el que no se detectan cambios significativos es cuando se comparan ambas variedades del compartimento C3<sub>18/12°C</sub> con calefacción radicular (Figura 51).



**Figura 51** Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en la dureza independientemente del momento de cosecha.

### 4.3.3 Porcentaje de materia seca

El porcentaje de materia seca (% MS) es la parte que resta de un material vegetal tras extraer toda el agua posible a través de un calentamiento hecho en condiciones de laboratorio. El porcentaje de materia seca en los frutos, excepto durante el período de crecimiento inicial, las prácticas culturales, la selección de cultivares y el control climático deben tener como finalidad que la máxima proporción de asimilados sea destinada a los órganos que se cosechan (Peil y Gálvez. 2005).

La intensidad de aparición de frutos nuevos aumenta con el incremento de la temperatura y con la intensidad de luz, así como con la reducción de la competencia por asimilados de otros órganos sumideros (recolección de frutos más viejos) (Peil y Gálvez. 2005).

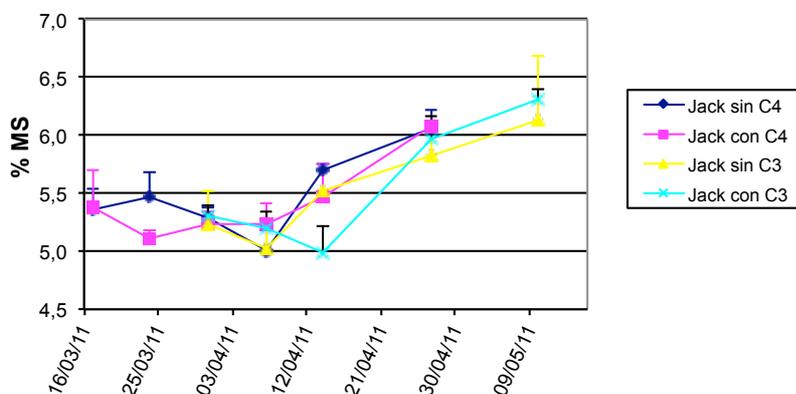
El incremento de la temperatura promueve la actividad metabólica del fruto, incrementando el flujo de carbono y agua hacia este, de tal manera que la potencia de sumidero de cada fruto aumenta con la elevación de la temperatura, incrementando la distribución de biomasa hacia el fruto (Peil y Gálvez. 2005).

Según Anza, Riga y Garbisu. (2005), los niveles de materia seca para la variedad Jack en un cultivo realizado en primavera oscilan entre los 4,5 y 5,5%, en nuestro caso de media oscilan entre 5,4 y 5,5%, dentro de lo esperado. Este parámetro de calidad se ha visto que está débilmente relacionada con las temperaturas aéreas (Anza, Riga y Eca. 2007) Los resultados obtenidos se recogen en las figuras 52, 53 y 54.

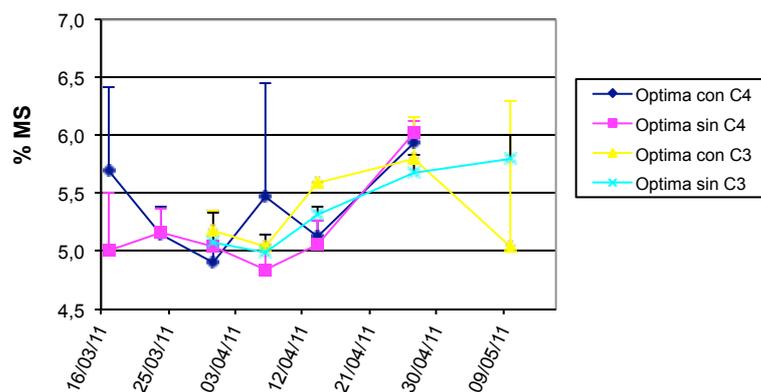
- **Momento de cosecha**

La variedad Jack (Figura 52) incrementa el porcentaje de materia seca (%MS) según avanza el ciclo de cultivo, por el contrario la variedad Óptima (Figura 53) no sigue un patrón lineal.

El momento de cosecha influye en el porcentaje de materia seca (%MS), que se mantiene constante durante las primeras etapas del ciclo del cultivo, para aumentarlo en los últimos momentos del ciclo de cultivo en ambas variedades (Figura 52 y 53). Ello indica que el fruto comienza a acumular más materia seca.



**Figura 52** Evolución del porcentaje de materia seca durante el cultivo en la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.



**Figura 53** Evolución del porcentaje de materia seca durante el cultivo en la variedad Óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

- **Temperatura radicular**

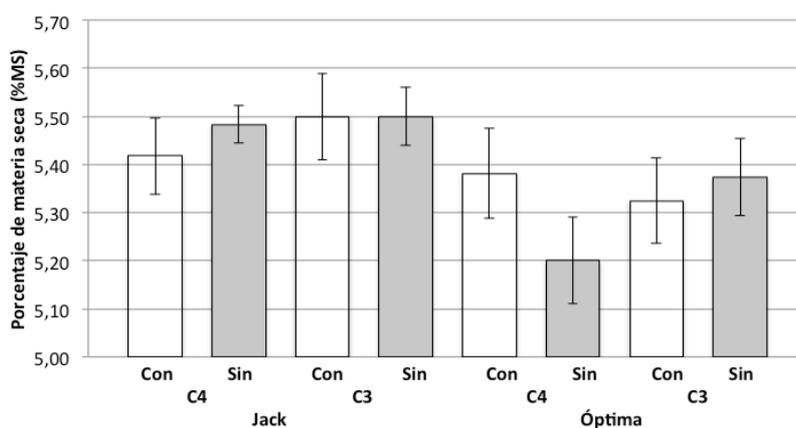
Si analizamos la figura 54 se observa que la temperatura radicular no influye en el porcentaje de materia sea (%MS).

- **Temperatura ambiental**

Analizando los datos recogidos en la figura 54, podemos decir que la temperatura ambiental no afecta al contenido de materia seca (%MS) en ninguna de las variedades ni régimen radicular.

- **Variedad**

Al comparar el peso seco de ambas variedades, observamos que la tendencia es a menor peso seco en Óptima que en Jack, aunque la variabilidad obtenida hace que solo sea estadísticamente menor, el valor de Óptima en C4<sub>20/15°C</sub> sin calefacción (5,2%) frente a los más de 5,4% de Jack (Figura 54).



**Figura 54** Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en el porcentaje de materia seca (%MS) independientemente del momento de cosecha.

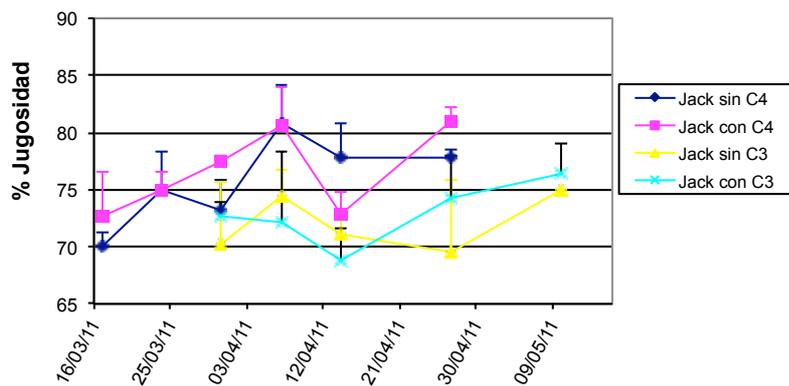
#### 4.3.4 Porcentaje de jugosidad

La jugosidad medida en porcentaje, es la parte de sedimentos que queda después de centrifugar el zumo de tomate y separarlo del sobrenadante o suero. El porcentaje de jugosidad para la variedad Jack según Anza y Riga. (2010) se sitúa entre el 72,6 y el 78%. Según Anza, Riga y Garbisu. (2005), la jugosidad es un carácter que depende de la variedad y la época de cultivo, en nuestro caso la jugosidad en la variedad Jack oscila entre el 72 y el 76%.

Según Stommel et al. (2005), la jugosidad es un parámetro condicionado al contenido de licopenos y beta-carotenos en el fruto del tomate, compuestos que están directamente relacionados con el color de los frutos. Para Stommel et al. (2005), la jugosidad oscilaba entre 51 y 72% en las variedades estudiadas ("Mountain belle" y "Castlette"), existiendo una buena correlación entre el color y la jugosidad del fruto, así, a mayor contenido de pigmentos rojos mayor jugosidad posee el fruto (Stommel et al. 2005). Esta observación no se ajusta a nuestro caso, ya que el mayor porcentaje de jugosidad lo posee la variedad Jack (Figura 57). Sin embargo los niveles de color en Jack son bajos comparados con la variedad Óptima (Figuras 42, 45 y 48), esta a su vez presenta menos jugosidad en los frutos (Figura 57).

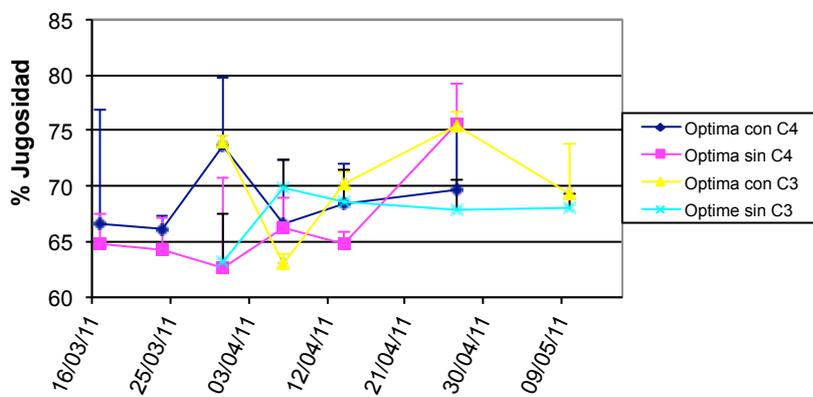
- **Momento de cosecha**

La jugosidad varía mucho a lo largo del cultivo, tanto en la variedad Jack como en Óptima (Figuras 55 y 56). Los datos, aunque muestren gran variabilidad en el porcentaje de jugosidad, parecen mostrar la existencia de diferencias entre tratamientos.



**Figura 55** Evolución del porcentaje de jugosidad durante le cultivo en la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

Aunque la jugosidad no este influida por el momento de cosecha, es un parámetro que asciende con el tiempo (Figuras 55 y 56). Así, los frutos cosechados al final del período de cultivo son más jugosos que el resto.



**Figura 56** Evolución del porcentaje de jugosidad durante le cultivo en la variedad Óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

- **Temperatura radicular**

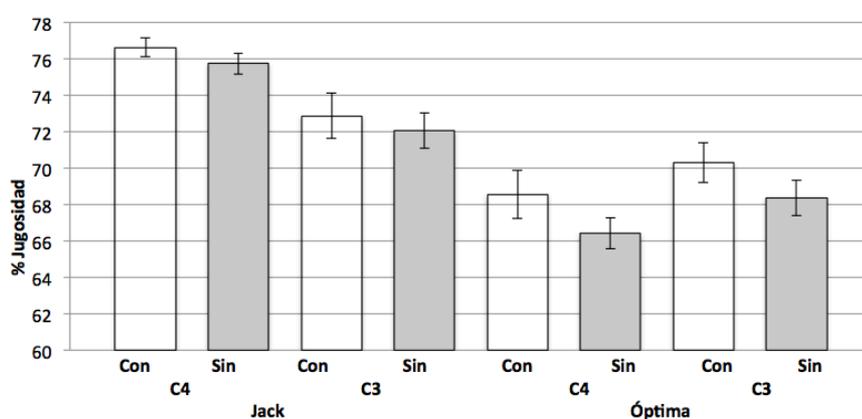
Los datos recogidos en la figura 57 muestran que la calefacción radicular no afecta al porcentaje de jugosidad en ninguna variedad ni régimen de temperaturas ambientales.

- **Temperatura ambiental**

La temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche) favorece significativamente el porcentaje de jugosidad en el compartimento C4<sub>20/15°C</sub> en la variedad Jack en ambos tratamientos de suelo (con<sub>20°C</sub> y sin calefacción); por contra, la compartimentación (20/15°C y 18/12°C día/noche) no afecta los índices de jugosidad en la variedad Óptima con calefacción radicular (Figura 57).

- **Variedad**

Al comparar variedades, observamos (Figura 57) que la variedad Jack es la que mayor porcentaje de jugosidad presenta (Figura 57). El único caso en el que no se observa diferencia varietal (Jack vs Óptima), es en el compartimento C3<sub>18/12°C</sub> con tratamiento de calefacción en el suelo.



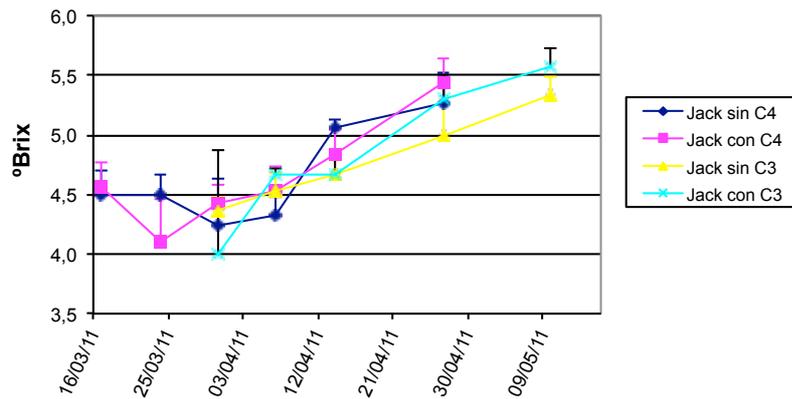
**Figura 57** Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en el porcentaje de jugosidad independientemente del momento de cosecha.

#### 4.3.5 Concentración en sólidos solubles (°Brix)

La concentración de sólidos solubles se mide en grados Brix. Muestra la densidad de azúcares, ácidos etc. que tiene el suero del tomate a una determinada temperatura. Según Aguayo y Artes. (2001) para que los tomates tengan un aroma y sabor óptimo deben tener un contenido en sólidos solubles de entre 4 y 6 grados Brix, en este caso los frutos de tomate de este ensayo se encuentran dentro de los índices de Aguayo y Artes. (2001). El nivel de azúcares de un fruto de tomate es un parámetro importante de calidad, ya que muestra la dulzura de los frutos (Zapata et al. 2007).

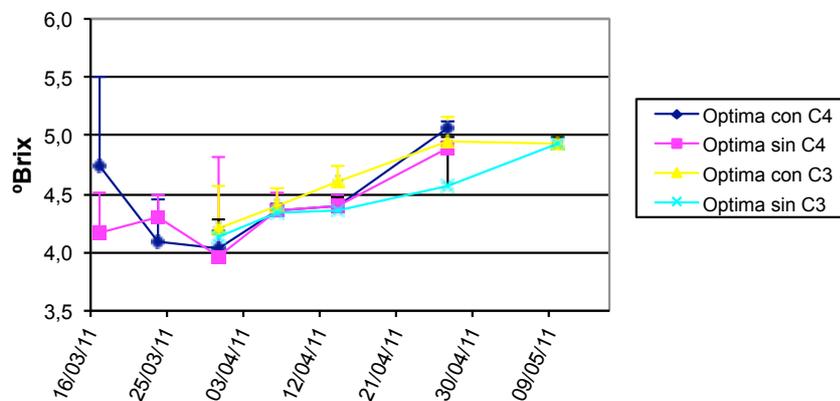
- **Momento de cosecha**

La variedad Jack aumenta progresivamente sus °Brix a lo largo del ciclo de cultivo, hasta llegar a valores encima de los 5,5 °Brix (Figura 58). La tendencia de la variedad Óptima (Figura 59) es parecida a la variedad Jack, con la excepción de los valores obtenidos en el primer momento de muestreo.



**Figura 58** Evolución del contenido en sólidos solubles durante en cultivo en la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

El momento de cosecha influye en la concentración de sólidos solubles (°Brix), siendo buena época para cosechar a partir de la mitad del ciclo de cultivo hasta el final de ciclo, ya sea, para la variedad Jack como para la Óptima (Figuras 58 y 59).



**Figura 59** Evolución del contenido en sólidos solubles durante el cultivo en la variedad óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

- **Temperatura radicular**

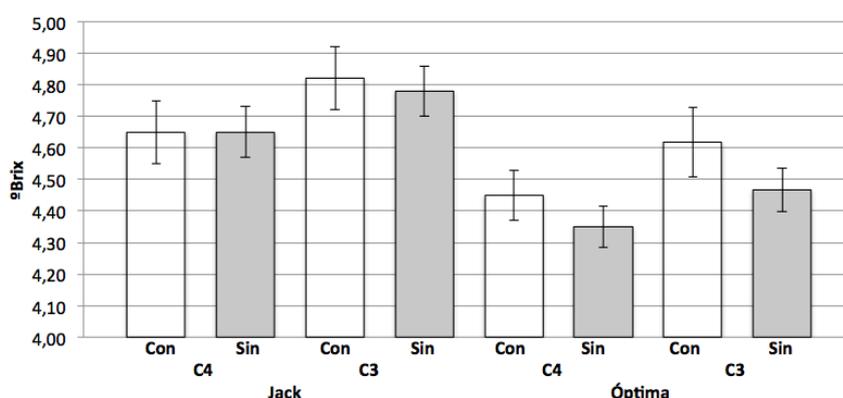
Analizando los datos recogidos en la figura 60, podemos decir que la temperatura radicular no afecta al contenido en sólidos solubles en ninguna de las variedades ni régimen térmico radicular.

- **Temperatura ambiental**

Si observamos la figura 60 podemos decir que la temperatura ambiental no afecta al contenido en sólidos solubles en ninguna de las dos variedades ni en ningún régimen de temperaturas radiculares.

- **Variedad**

Cuando analizamos los resultados obtenidos, independientemente del momento de cosecha, observamos que la concentración de sólidos solubles (°Brix) se ve afectada por las diferencias genéticas. La variedad Jack posee mayores niveles de °Brix que la variedad Óptima. Estas diferencias son más claras en los tratamientos sin calefacción radicular (Figura 60).



**Figura 60** Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en la concentración de sólidos solubles (°Brix) independientemente del momento de cosecha.

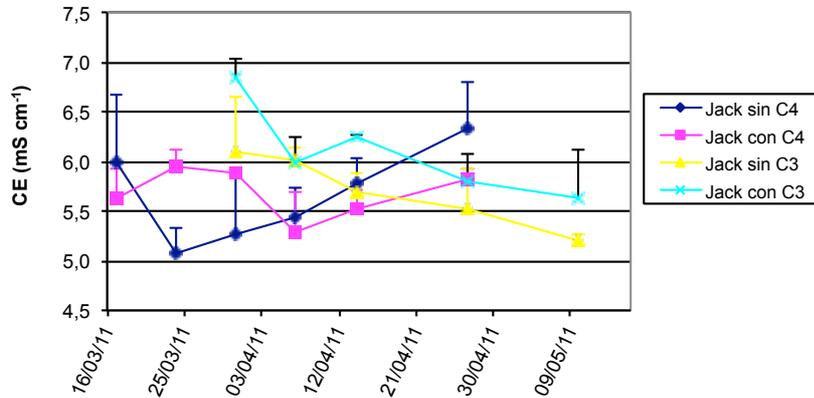
#### 4.3.6 Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad se midió a partir del sobrenadante o suero de tomate recogido con un conductímetro (Crison, ver apartado 3.3.5); La conductividad (CE) mide el nivel de sales que hay en el suero (ver apartado 3.3.5).

Según Anza, Riga y Garbisu. (2005), los niveles de conductividad para la variedad Jack oscilan entre los 4,25 y 5 mS/cm<sup>-1</sup>. En nuestro caso oscilan entre los 5,65 y 6,10 mS/cm<sup>-1</sup> en la variedad Jack, muy por encima de lo esperado. Esto puede deberse al riego empleado en el cultivo, o al efecto de las temperaturas, ya que este parámetro está fuertemente correlacionado con las condiciones climáticas (Anza, Riga y Garbisu. 2008). Los datos de la conductividad se recogen en las figuras 61, 62 y 63.

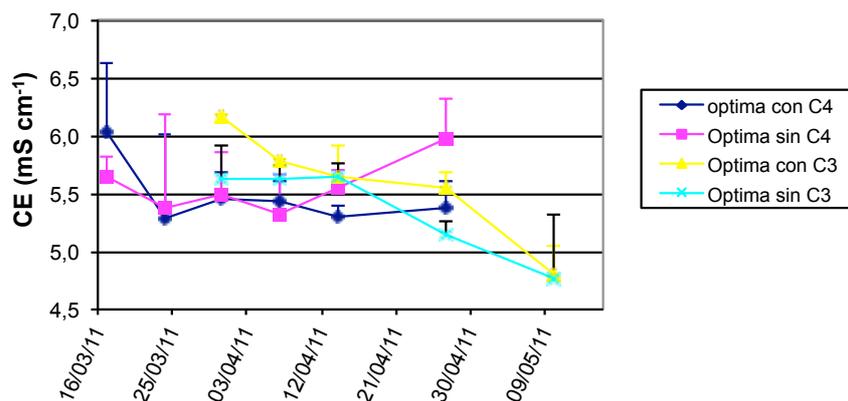
- Momento de cosecha

El momento de cosecha influye en la conductividad eléctrica (CE). El compartimento C3<sub>18/12°C</sub> tiene los niveles más altos de conductividad tanto en la variedad Jack como en la Óptima (Figuras 61 y 62).



**Figura 61** Evolución de la conductividad eléctrica expresada en mS\*cm-1 durante el cultivo en la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

Los niveles más altos de conductividad se encuentran al principio y al final (Figuras 61 y 62) del período de cosecha. Sin embargo la variedad Óptima con<sub>20°C</sub> y sin calefacción radicular del compartimento C4<sub>20/15°C</sub> no parece influirle el momento de cosecha.



**Figura 62** Evolución de la conductividad eléctrica expresada en mS\*cm-1 durante el cultivo en la variedad Óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

- **Temperatura radicular**

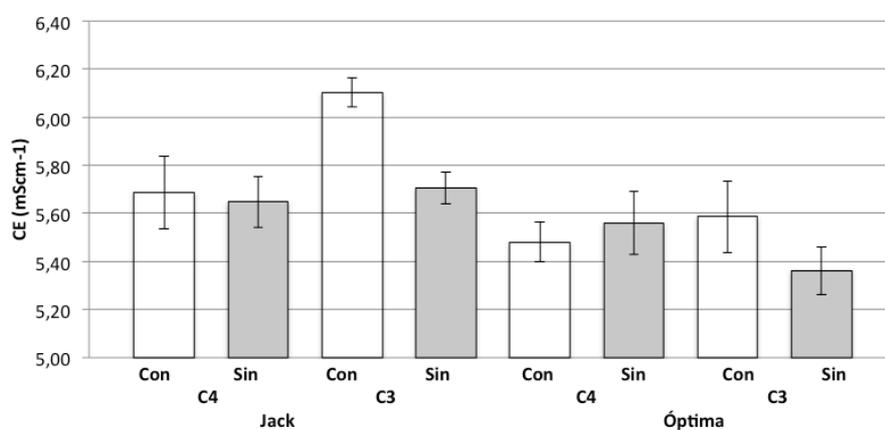
El análisis estadístico de los resultados obtenidos en el estudio del efecto de la calefacción radicular (con<sub>20°C</sub> y sin) en la conductividad (CE), muestra que en la mayoría de los casos no existe un efecto de la temperatura de raíces en el parámetro de la conductividad. El único caso en el que influye la calefacción es en la variedad Jack creciendo a temperaturas de 18/12°C día/noche (Figura 63).

- **Temperatura ambiental**

El efecto en la conductividad debido a la diferencia de temperaturas ambientales (20/15°C y 18/12°C día/noche) no influye. Como excepción, tenemos los altos niveles de conductividad de la variedad Jack en el compartimento C3<sub>18/12°C</sub>, por ello, todas las comparaciones que se han realizado con este tratamiento han dado diferencias significativas (ver figura 63, la media es superior al resto de tratamientos). Excepto las comparaciones con este tratamiento, en las restantes, la diferencia de temperaturas ambientales (20/15°C y 18/12°C día/noche) no influye en la conductividad eléctrica.

- **Variedad**

No se observan diferencias entre variedades en los valores de conductividad obtenidos. De nuevo, la excepción es la variedad Jack creciendo en el compartimento C3<sub>18/12°C</sub> con calefacción radicular. (Figura 63).



**Figura 63** Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en la conductividad eléctrica (CE) independientemente del momento de cosecha.

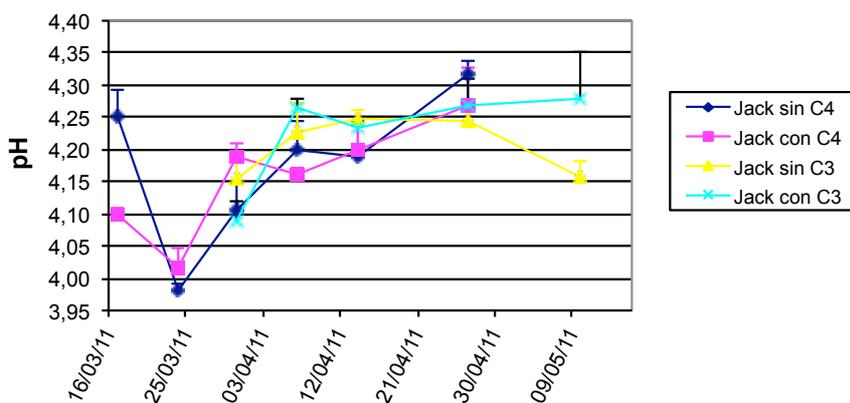
### 4.3.7 pH

El pH se midió con un pH-metro (Crison, apartado 3.3.5); Este parámetro mide la basicidad/acidez del suero de tomate. Según Anza, Riga y Garbisu. (2008) los niveles de pH para la variedad Jack son ácidos,

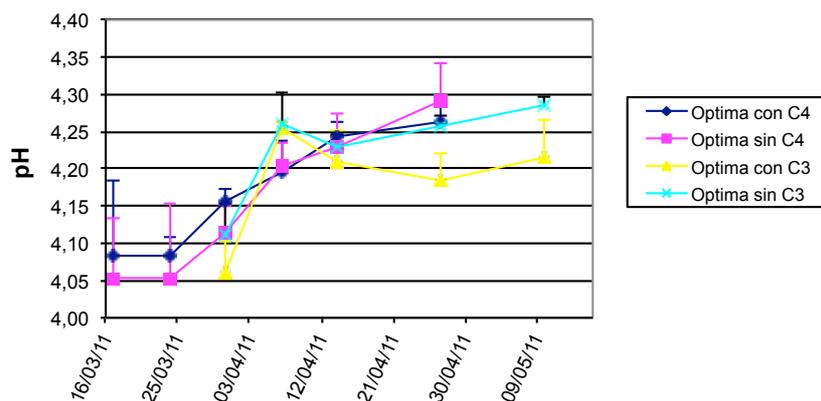
oscilando entre los 4 y 4,5. En nuestro caso el pH oscila de media alrededor de esos niveles. Los resultados de este parámetro se recogen en las figuras 64, 65 y 66.

- **Momento de cosecha**

El nivel de pH desciende bruscamente el segundo día de cosecha en la variedad Jack (Figura 64) sin embargo se mantiene constante las siguientes semanas. La variedad Óptima (Figura 65) por su parte, tiende a incrementar los niveles de pH sin caídas bruscas. El momento de cosecha influye en todos los tratamientos, siendo las últimas fechas mejores, para obtener unos buenos niveles de pH.



**Figura 64** Evolución del pH en la duración del cultivo de la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.



**Figura 65** Evolución del pH en la duración del cultivo de la variedad óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

- **Temperatura radicular**

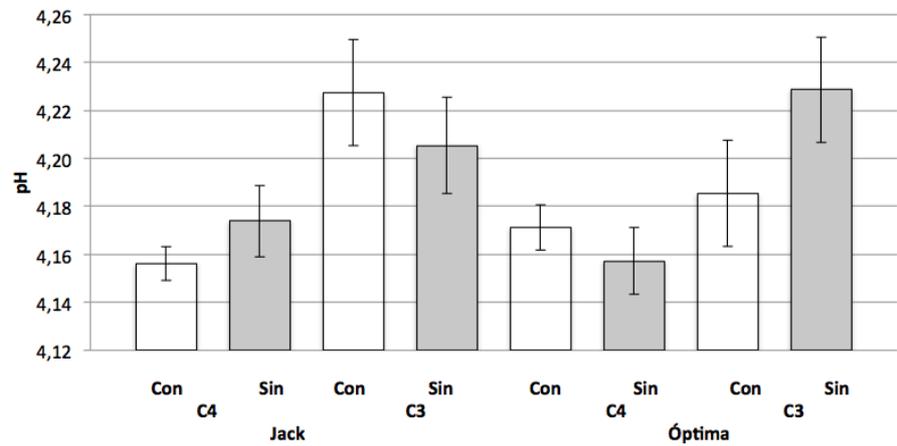
Analizando los datos obtenidos del pH en la figura 66, podemos decir que la calefacción radicular no afecta al pH en ninguna de las variedades y ni en ningún régimen de temperaturas ambientales.

- **Temperatura ambiental**

La diferencia de temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche), es el único factor que afecta al pH. El compartimento C3<sub>18/12°C</sub> favorece los niveles más altos de pH frente al compartimento C4<sub>20/15°C</sub>. Concretamente en la variedad Jack con<sub>20°C</sub> calefacción radicular y la variedad Óptima sin calefacción de suelo (Figura 66).

- **Variedad**

Los datos recogidos en la figura 66, demuestran que el efecto varietal no afecta al pH en ningún tratamiento térmico.



**Figura 66** Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en el pH independientemente del momento de cosecha.

### 4.3.8 Acido cítrico

Para determinar la acidez de los frutos de tomate cosechados, se valoró con hidróxido sódico (NaOH), anotando la cantidad de volumen (ml) utilizado para conseguir un pH de 8,1 (ver apartado 3.3.5).

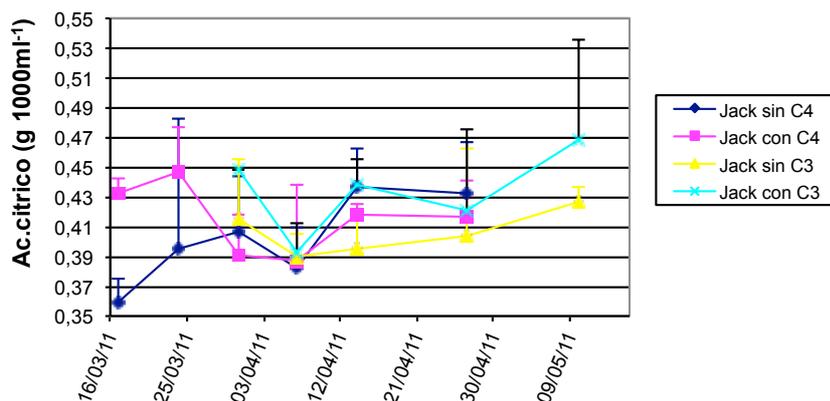
La acidez en los frutos es buena para la conservación de estos, por lo tanto los frutos que presenten buenos niveles de acidez tienen de normal más capacidad de frigo-conservación (Moreno-Álvarez et al. 2007).

Según Anza, Riga y Garbisu. (2005), los niveles de acidez expresados en g/kg peso fresco para la variedad Jack, oscilan entre los 2,25 y 3 g/kg PF. En nuestro caso estos niveles oscilan de media entre los 1,89 y 2,10 g/kg PF, por debajo de lo esperado. Gómez et al. (2001) indican que este parámetro es dependiente de la variedad; sin embargo Anza, Riga y Garbisu. (2005) indican lo contrario, demostrando que el ácido cítrico es dependiente de las condiciones climáticas. A continuación se recogen los resultados para los tres tipos de parámetro [(g/100ml, g/fruto y g/kg de peso fresco)].

#### 4.3.8.1 Acido cítrico g/100ml

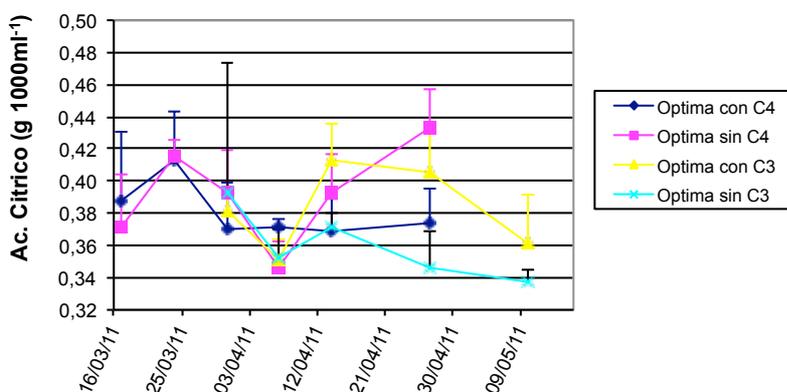
- Momento de cosecha

Los resultados obtenidos de la acidez expresado en g/100ml se recogen en las figuras 67 68 y 69. La alta variabilidad obtenida para este parámetro hace que no se obtengan diferencias en el momento de muestreo, aunque en los primeros momentos de muestreo se aprecien significaciones entre los tratamientos sin y con calefacción radicular en la variedad Jack (Figura 67).



**Figura 67** Evolución de los niveles de ácido cítrico (g/100ml) durante el cultivo en la variedad Jack. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

La variedad Óptima presenta más variabilidad al principio del ciclo (Figura 68) y sucede al revés en Jack (Figura 67).



**Figura 68** Evolución de los niveles de ácido cítrico (g/100ml) durante el cultivo en la variedad óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

- **Temperatura radicular**

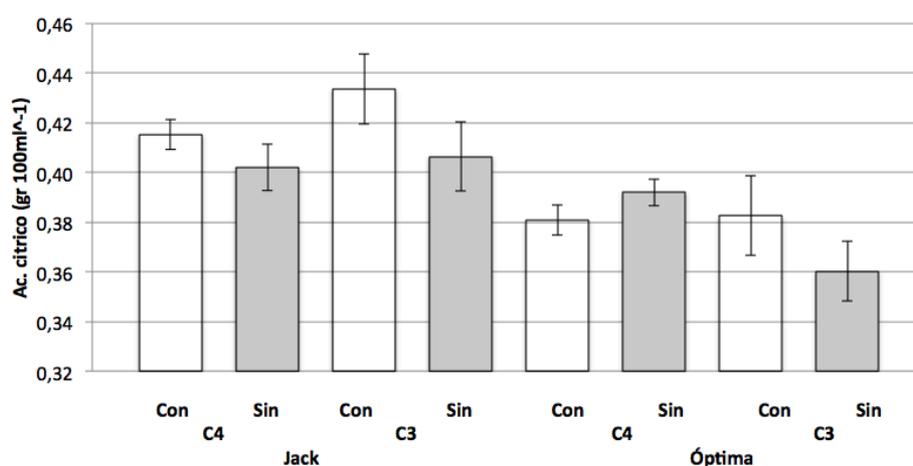
Analizando los datos recogidos en la figura 69, podemos decir que la calefacción radicular no afecta a la acidez expresado en g/100ml en ninguna de las variedades ni régimen de temperaturas ambientales.

- **Temperatura ambiental**

Las diferencias debidas a la temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche), afectan sólo a la variedad Óptima creciendo sin calefacción y obteniendo mejores resultados a temperaturas aéreas más elevadas (20/15°C). (Figura 69).

- **Variedad**

Se observa diferencia entre variedades (Figura 69). El factor genético de ambas variedades (Jack y Óptima) afecta al contenido de acidez la variedad Jack presenta un mayor contenido en acido cítrico que Óptima (Figura 69).

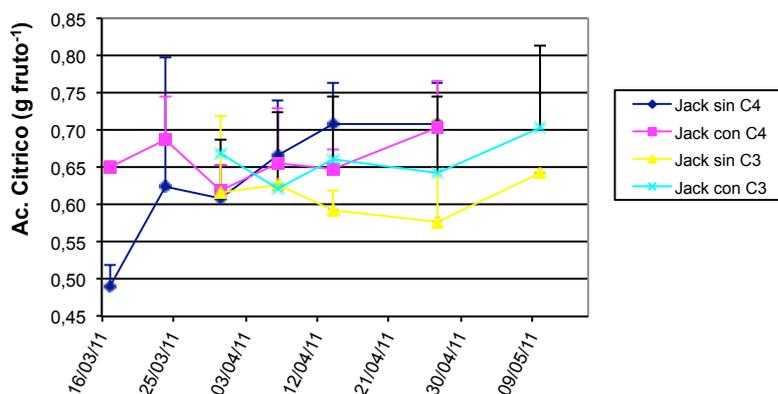


**Figura 69** Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en la acidez expresado en g/100ml de muestra independientemente del momento de cosecha.

#### 4.3.8.2 Acido cítrico g/fruto

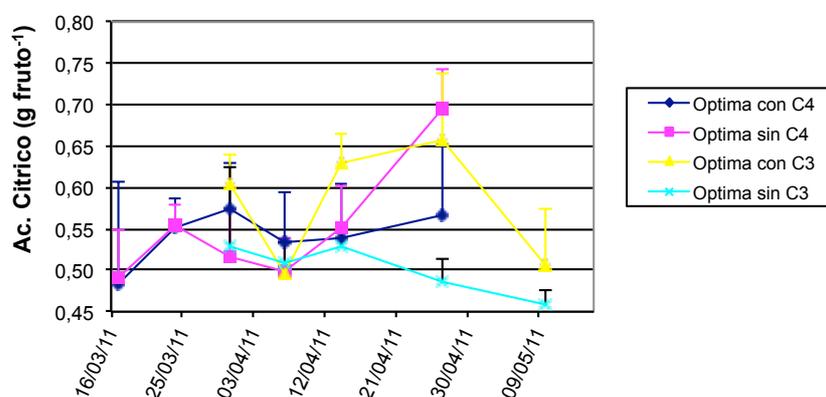
- **Momento de cosecha**

Los datos para la acidez expresados en g/fruto, se recogen en la figuras 70, 71 y 72.



**Figura 70** Evolución de los niveles de ácido cítrico (g/fruto) durante el cultivo en la variedad óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

No se observan diferencias ni pautas claras dadas en el contenido de ácido cítrico expresado en g/fruto, a lo largo del cultivo. Sólo existe un momento en la variedad Jack y otro en Óptima, que no coinciden y que afecta al contenido de ácido cítrico (g/fruto) (Figuras 70 y 71).



**Figura 71** Evolución de los niveles de ácido cítrico (g/fruto) durante el cultivo en la variedad óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

- **Temperatura radicular**

El análisis estadístico de los resultados obtenidos en el estudio del efecto de la calefacción radicular (con<sub>20°C</sub> y sin) en el ácido cítrico expresado en g/fruto, muestra que el tratamiento con<sub>20°C</sub> calefacción radicular

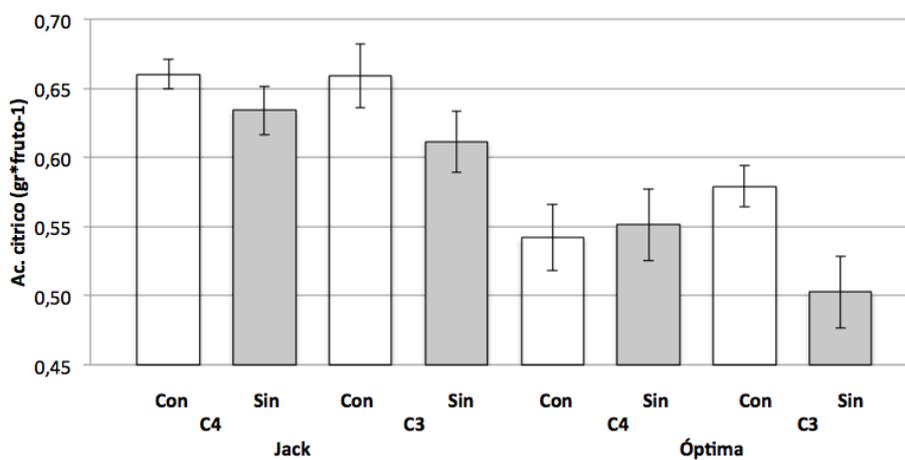
difiere significativamente del tratamiento sin calefacción de suelo en la variedad Óptima, a temperaturas ambientales de 18/12°C día/noche (Figura 72). En el resto de los casos la calefacción no influye en los niveles de acidez.

- **Temperatura ambiental**

Los datos recogidos en la figura 72, muestran que la temperatura ambiental no afecta a los niveles de acidez expresado en gr/fruto en ninguna de las variedades ni régimen de temperaturas radiculares.

- **Variedad**

La genética parece ser el factor que afecta al contenido en ácido cítrico, ya que existe diferencia varietal. Así, la variedad Jack tiene una mayor concentración de ácido cítrico expresado en g/fruto que la variedad Óptima. Por lo tanto, en este caso, la variedad Jack es mejor para obtener niveles buenos de acidez (Figura 72).

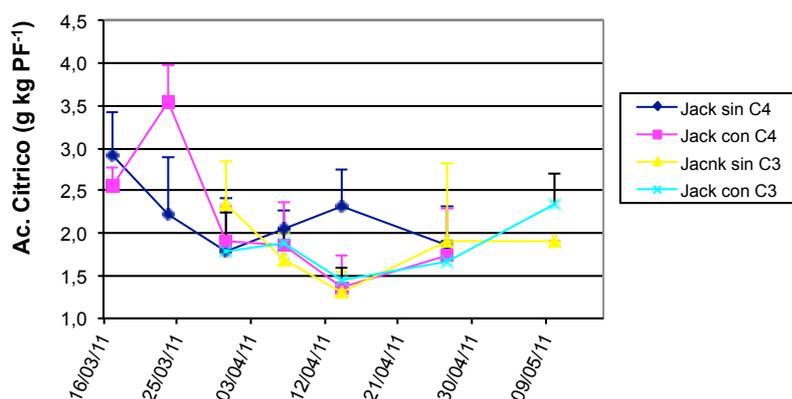


**Figura 72** Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en la acidez expresado en g/fruto independientemente del momento de cosecha.

### 4.3.8.3 Acido cítrico g/kg de peso fresco

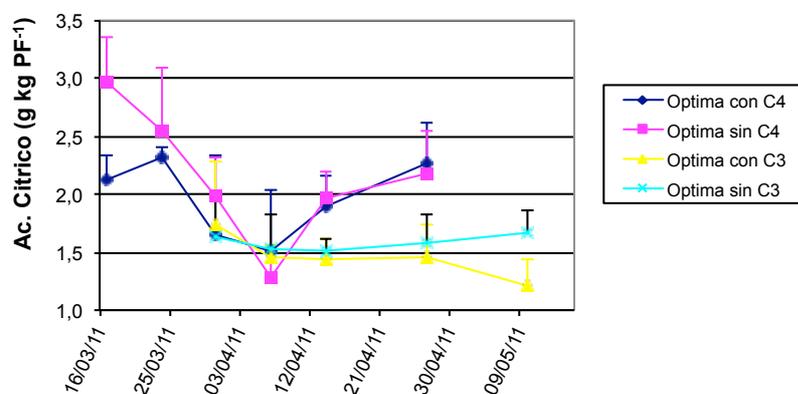
- **Momento de cosecha**

Los datos para la acidez expresados en g/kg de peso fresco se recogen a continuación en la figuras 73 74 y 75.



**Figura 73** Evolución de los niveles de ácido cítrico (g/kg de peso fresco) durante el cultivo en la variedad óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

El momento de cosecha no afecta a la acidez expresado en g/kg de peso fresco, aunque hay algunos momentos puntuales en los que si, sobre todo al principio y al final del ciclo en la variedad Óptima (Figura 74) creciendo en ambos regímenes aéreos (20/15°C y 18/12°C).



**Figura 74** Evolución de los niveles de ácido cítrico (g/kg de peso fresco) durante el cultivo en la variedad óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

- **Temperatura radicular**

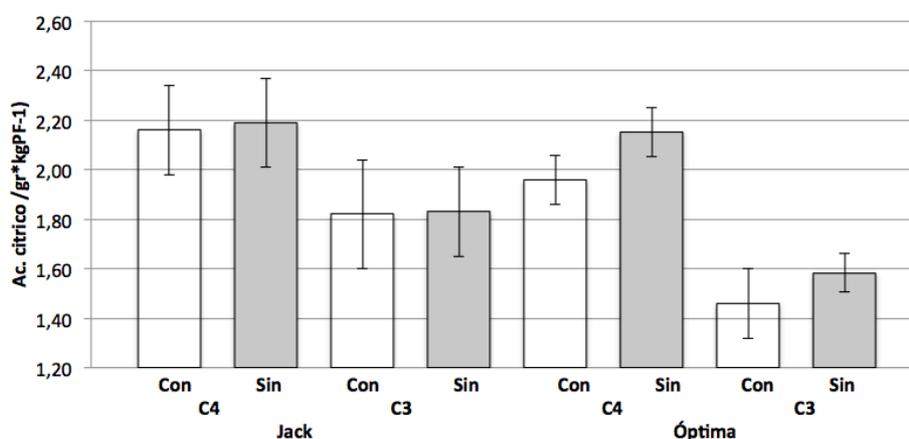
Los datos recogidos en la figura 75, demuestran que no hay un efecto en la acidez (g/kg PF) debido a la calefacción radicular.

- **Temperatura ambiental**

La temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche) afecta al nivel de ácido cítrico (g/kg de peso fresco) en las dos variedades estudiadas. Así, los tomates creciendo en el compartimento C4<sub>20/15°C</sub> poseen mayor contenido en acidez (g/kg PF) que los que crecen en el compartimento C3<sub>18/12°C</sub> (Figura 75). Sin embargo, estas diferencias son significativas en el caso de la variedad Óptima creciendo en el compartimento C4<sub>20/15°C</sub>.

- **Variedad**

Analizando los resultados obtenidos en la figura 75, podemos decir que la variedad no influye en la acidez expresado en gr/kg de peso fresco.



**Figura 75** Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en la acidez expresado en g/kg peso fresco independientemente del momento de cosecha.

### 4.3.9 Relación °Brix/ácido cítrico

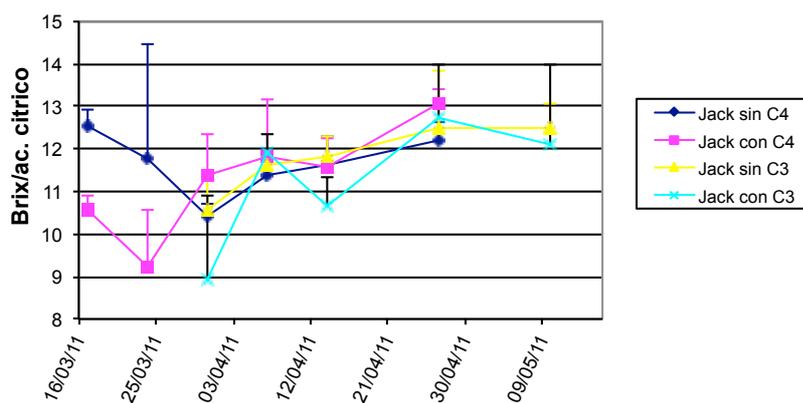
Durante la maduración de los frutos de tomate el contenido en azúcares aumenta mientras que el contenido de ácido cítrico se mantiene, así pues, este índice muestra el nivel de maduración de los frutos de tomate (Moreno-Álvarez et al. 2007). La relación azúcares y ácidos se correlaciona mejor con el buen sabor del fruto. Así mismo hay que tener en cuenta que deben existir distintos mecanismos de control, que actúen simultáneamente, sobre estos dos parámetros para determinar el sabor de los tomates (Stommel et al. 2005).

Según Anza y Riga. (2010) la relación °Brix/acidez para la variedad Jack oscila entre 14,6 y 19,4 °Brix/acidez. Sin embargo, para Stommel et al. (2005), los niveles entre el contenido en sólidos solubles y la acidez para las variedades "Mountain Belle" y "Castlete" osciló entre 4,9 y 9,9 °Brix/ácido cítrico. En nuestro caso oscilan, en ambas variedades, entre los 11,5 y 13 °Brix/ácido cítrico (Figura 78), por encima de lo esperado

por Stommel et al. (2005), pero por debajo de Anza y Riga. (2010). No debemos olvidar que nosotros trabajamos con distintas variedades, y que los niveles de azúcares en nuestro caso son más altos. Así mismo hay que tener en cuenta los distintos mecanismos de control sobre estos dos parámetros que actúan simultáneamente.

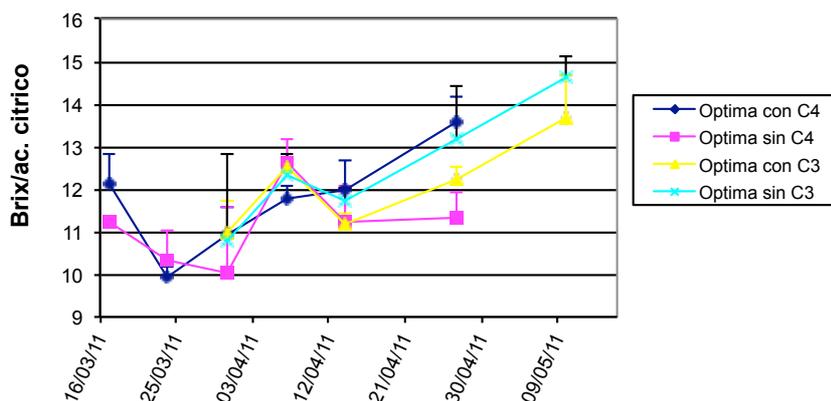
- **Momento de cosecha**

Los datos observados en este ensayo se recogen en las figuras 76, 77 y 78.



**Figura 76** Evolución de los niveles de °Brix/acido cítrico durante el cultivo en la variedad óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

El momento de cosecha no influye en los tratamientos en general para ninguna de las variedades en estudio (Figuras 76 y 77), aunque hay momentos puntuales en los que al inicio de los muestreos la variedad Jack presente significación con los dos regímenes térmicos de suelo (Figura 76). Así, la variedad Óptima presenta diferencias al final del ciclo en ambos tratamientos térmicos, ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche) y radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) (Figura 77).



**Figura 77** Evolución de los niveles de °Brix/acido cítrico durante el cultivo en la variedad óptima. En los compartimentos C4 (20/15°C D/N) y C3 (18/12°C D/N) a distintos regímenes de temperatura radicular con (20°C) y sin (temperatura ambiental), los datos representan la media y la desviación estándar.

- **Temperatura radicular**

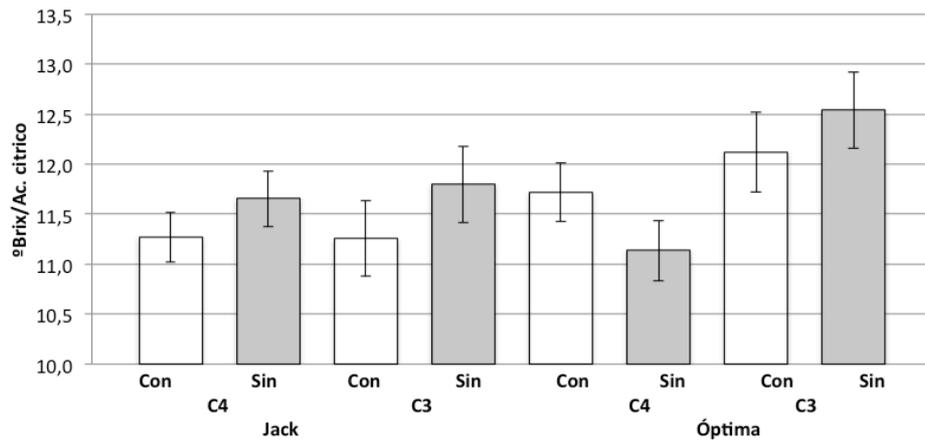
Los resultados obtenidos en la figura 78, demuestran que no hay efecto de la calefacción radicular en los °Brix/acido cítrico, en ninguna de las variedades ni régimen de temperaturas ambientales.

- **Temperatura ambiental**

La diferencia de temperatura ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche) influye únicamente en el compartimento C3<sub>18/12°C</sub> de la variedad Óptima (Figura 78). En el resto de los casos no se muestran diferencias significativas. Esto podría deberse a un aumento en los °Brix en esas situaciones, dado que no hemos observado efecto de la temperatura sobre el contenido en acido cítrico.

- **Variedad**

Analizando los resultados recogidos en la figura 78, podemos decir que no hay efecto producido por la variedad en la relación de °Brix/acido cítrico en ninguno de los tratamientos térmicos.

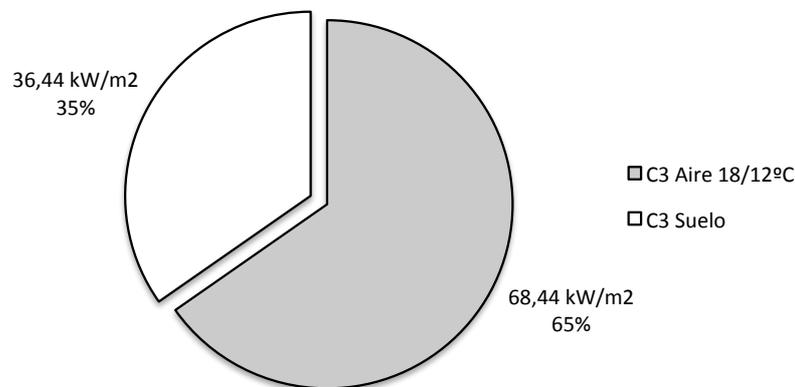


**Figura 78** Efecto de la calefacción de raíces [con (20°C) y sin (temperatura ambiental)], la compartimentación del C4 (20/15°C D/N) y del C3 (18/12°C D/N) y la variedad (Óptima y Jack) en la relación °Brix/acido cítrico independientemente del momento de cosecha.

#### 4.4 CONSUMO TÉRMICO

El consumo térmico expresado en kilovatios por metro cuadrado ( $\text{kW/m}^2$ ) depende del consumo a dos niveles: aire y suelo. Aire, se refiere a los monorraíles de calefacción que circulan en paralelo a las líneas de cultivo y que calientan el aire del invernadero mediante agua caliente circulando a  $80^\circ\text{C}$ . Suelo, se refiere a tubos corrugados de agua caliente circulando a  $45^\circ\text{C}$  e insertados debajo del sustrato de lana de roca y de las líneas de cultivo para el calentamiento de las raíces.

En este trabajo se ha analizado el consumo térmico desde diciembre de 2010 hasta abril de 2011 para una superficie de  $320\text{m}^2$  en el compartimento  $\text{C3}_{18/12^\circ\text{C}}$  y una superficie de  $352\text{m}^2$  en el compartimento  $\text{C4}_{20/15^\circ\text{C}}$ .

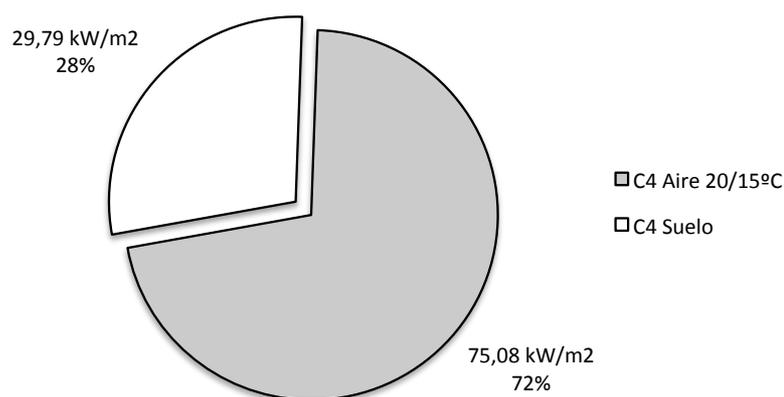


**Figura 79** Consumo térmico de la calefacción radicular (con calefacción a  $20^\circ\text{C}$  y sin calefacción) y ambiental ( $20/15^\circ\text{C}$  y  $18/12^\circ\text{C}$  día/noche) expresado en  $\text{kW/m}^2$  en el compartimento C3 a  $18/12^\circ\text{C}$  día/noche.

La figura 79, representa el consumo térmico en el compartimento  $\text{C3}_{18/12^\circ\text{C}}$ . El mayor porcentaje de energía consumida en el compartimento  $\text{C3}_{18/12^\circ\text{C}}$  se debe al calentamiento ambiental (Figura 79), el restante, aproximadamente un 35% se consume para calentar el suelo de las plantas.

La figura 80 representa el consumo térmico en el compartimento  $\text{C4}_{20/15^\circ\text{C}}$ , este consume un 72% del total, en la calefacción aérea y un 28% va destinado a calentar las raíces.

Como cabía esperar calentar el compartimento  $\text{C4}_{20/15^\circ\text{C}}$  requiere más energía que calentar el compartimento  $\text{C3}_{18/12^\circ\text{C}}$ . Así mismo, conlleva menos gasto calentar las raíces en el compartimento  $\text{C4}_{20/15^\circ\text{C}}$ , aproximadamente un 7% menos, que el compartimento  $\text{C3}_{18/12^\circ\text{C}}$ , ya que la temperatura ambiental está más próxima a la radicular (Figuras 79 y 80).



**Figura 80** Consumo térmico de la calefacción radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) y ambiental (20/15°C y 18/12°C día/noche ) expresado en kW/m<sup>2</sup> en el compartimento C4 a 20/15°C día/noche.

#### 4.4.1 Consumos de combustible y costes monetarios.

Las tablas 13 y 14, recogen los datos de consumo energético de los dos compartimentos utilizados en el ensayo (C3 a 18/12°C y C4 a 20/15°C día/noche). Dado que la variedad Jack en el compartimento C4<sub>20/15°C</sub> (Tabla 13) produce más kg/m<sup>2</sup> de tomates comerciales que la variedad Óptima, pero el consumo es igual en kWh/m<sup>2</sup>, se traduce en un menor coste (kW/kg) de producción de la variedad Jack que de Óptima (Tabla 13). El coste de producción, en euros/kg correlaciona con el coste de la biomasa, resultando 0,065 euros/kg de media más barato producir 1 kg de tomates de la variedad Jack que de la variedad Óptima (Tabla 13).

**Tabla 13** Consumo energético del compartimento C4 a 20/15°C día/noche: producción comercial (kg/m<sup>2</sup>), consumo (kWh/m<sup>2</sup>), coste por producción (kW/kg) y coste monetario (kg de pellets/kg), (euros/kg) en función de la calefacción radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) y la variedad (Jack y Óptima).

Compartimento C4		Producción Comercial	Consumo	Coste	Coste Biomasa	
		kg m-2	kWh m-2	kW kg-1	kg pellet/kg	Euros kg-1
Jack	Sin	15,25	75,08	4,92	0,98	0,18
	Con	16,01	104,87	6,55	1,31	0,24
Óptima	Sin	10,94	75,08	6,86	1,37	0,25
	Con	12,77	104,87	8,21	1,64	0,30

En el compartimento C3<sub>18/12°C</sub> (Tabla 14), sucede lo mismo que en el compartimento C4<sub>20/15°C</sub>. La variedad Jack es más productiva comercialmente (kg/m<sup>2</sup>) que la variedad Óptima, por lo tanto a igual consumo, implica menor coste productivo, resultando económicamente mejor producir tomates de la variedad Jack (Tabla 14).

**Tabla 14** Consumo energético del compartimento C3 a 18/12°C día/noche: producción comercial (kg/m<sup>2</sup>), consumo (kWh/m<sup>2</sup>), coste por producción (kW/kg) y coste monetario (kg de pellets/kg), (euros/kg) en función de la calefacción radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción) y la variedad (Jack y Óptima).

Compartimento C3		Producción Comercial	Consumo	Coste	Coste Biomasa	
		kg m-2	kWh m-2	kW kg-1	kg pellet/kg	Euros kg-1
Jack	Sin	16,30	62,22	3,82	0,76	0,14
	Con	15,06	95,34	6,33	1,27	0,23
Óptima	Sin	10,87	62,22	5,73	1,15	0,21
	Con	11,73	95,34	8,13	1,63	0,30

Si comparamos el consumo térmico entre ambos compartimentos (Tablas 13 y 14), observamos como cabía esperar un incremento de consumo por kWh/m<sup>2</sup> en el compartimento C4 (20/15°C día/noche). Sin embargo la producción comercial en kg/m<sup>2</sup> es muy parecida. Por ello, dado que el compartimento C4<sub>20/15°C</sub>, debido a su régimen térmico, consume más kWh/m<sup>2</sup> que el compartimento C3<sub>18/12°C</sub>. El coste de producción en kW por kg producido va a ser mayor en el compartimento C4<sub>20/15°C</sub>. Esta diferencia es más acentuada, en la ausencia de calefacción radicular. Así, el compartimento C4<sub>20/15°C</sub> sin calefacción de suelo aumenta los costes de producción una media de 1 kW/kg producido en ambas variedades (Tablas 13 y 14).

Riga y Anza. (2010) concluyeron que la utilización de biomasa como combustible para el calentamiento de los invernaderos, produjo una disminución del 65% en el coste del kilogramo de tomate comercial producido con respecto al gasoil.

## 5 Conclusiones

- El momento de cosecha influye en algunos parámetros de calidad: color ("a", "b" y "L"), dureza, contenido en sólidos solubles (°Brix), conductividad (CE) y pH.
- Los parámetros de calidad están influidos mayoritariamente por la variedad, así la variedad Jack presenta mejores niveles de jugosidad, contenido en sólidos solubles y acidez. Sin embargo Óptima es mejor en el color "a", "b" y dureza.
- La temperatura ambiental afecta al color "a", "b", "L" y a la dureza. A temperaturas ambientales más altas (20/15°C día/noche) mejora la calidad.
- La calefacción radicular afecta a la dureza. La aplicación de calor a las raíces (a 20°C) mejora la dureza de los frutos de tomate.
- El acúmulo de biomasa obtenido en la variedad Jack, se refleja en el rendimiento. Así, se ha visto que a mayor biomasa se ha obtenido mejor rendimiento.
- El rendimiento de la variedad Óptima ha sido menor que Jack en cualquier régimen térmico ambiental (a 20/15°C y 18/12°C día/noche) y radicular (con calefacción a 20°C y sin calefacción).
- La producción comercial en la variedad Jack ha sido mejor, presentado mejor rendimiento (kg/m<sup>2</sup>) y mejores calibres comerciales, los cuales [82-101 mm (grande) y >101 mm (muy grande)] son los más apreciados comercialmente.
- La variedad Óptima produce más frutos destrío que Jack.
- Calentar el compartimento C4 (a 20/15°C día/noche) requiere más energía, aunque esto conlleva un menor gasto calentando las raíces, debido a que la temperatura ambiental está más próxima a la radicular.
- El coste de producción en euros/kg se correlaciona con la biomasa, resultando 0,065 euros/kg de media más barato, producir 1 kg de tomates de la variedad Jack que de Óptima.

## 6. Bibliografía

Aguayo, E. y Artés, F. (2001). Evolución de los azúcares en la comercialización del tomate procesado en fresco. *I Cong. Nal. Tecnología Alimentos. Granada*.

Anza, M., Riga, P. y Garbisu, C. (2005). Effects of variety and growth season on the organoleptic and nutritional quality of hydroponically grown tomato. *Journal of Food Quality*, 26: 16-37.

Anza, M., Riga, P. y Ecay, E. (2007). Efecto de las radiaciones PAR y de la temperatura en la calidad del tomate. *Actas de Horticultura* 48: 294-297.

Anza, M., Riga, P. y Garbisu, C. (2008). Tomato quality is more dependent on temperature than on photosynthetically active radiation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88: 158-166.

Anza M. y Riga P. (2010). Reducción del gasto energético y de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la producción de tomates en invernadero. Congreso virtual iberoamericano de producción integrada en horticultura. [http://www.cvpi.es/index.php?modulo=comunicaciones&op=ver\\_ponencia&id=48](http://www.cvpi.es/index.php?modulo=comunicaciones&op=ver_ponencia&id=48)

AOAC. (1999). Titratable acidity of fruit products. In: Cunniff, P. (eds.), Official methods of analysis of AOAC international. Gaithersburg, Maryland, pp. 10-11.

Borghesi, E., Gonzales-Miret, M. L., Escudero-Gilet, M. L., Malorgio, F. Heredia, J. F. y Meléndez-Martínez, A., (2011). Effects of salinity stress on carotenoids, anthocyanins, and color of diverse tomato genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59: 11676-11682.

Bugarín-Montoya, R., Galvis-Spinola, A., Sánchez-García, P. Y Gracia-Paredes, D., (2002). Acumulación de biomasa aérea total de tomate. *Terra*, 20: 401-409.

Fuyishige, N.T., Sugiyama, T. y Ogata, R., (1991). Effect of root temperature on flower formation and fruit yield of tomatoes. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 60: 97-103.

Gent, M. P. N., y Ma. Y. Z., (1998). Diurnal Temperature Variation of Root and Shoot Affects Yield of Greenhouse Tomato. *HortScience*, 33: 47-51.

Gómez, R., Costa, J., Amo, M., Alvarruiz, A., Picazo, M. Y Pardo, J., (2001). Physicochemical and colorimetric evaluation of local varieties of tomato grown in SE Spain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81: 1101-1105.

Grosselin, A. y Trudel, M.J., (1983). Interactions between air and root temperatures on greenhouse tomato: I. Growth, development, and yield. *Journal of the American Society for Horticultural Sciences*, 108: 901-905.

Hurd, R.G. y Graves, C.J., (1985). Some effects of air and root temperatures on the yield and quality of glasshouse tomatoes. *Journal of Horticultural Science*, 60: 359-371.

- Moreno-Álvarez, M.J., Pinto, M.G., García Pantaleón, D. y Belén-Camacho, D.R. (2007). Effect of citric acid on tree tomato maturity. *Revista Facultad de Agronomía LUZ*, 24: 321-342.
- Peil, R. M. y Gálvez, J. L., (2005). Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *R. Bras. Agrociência*, 1: 5-11.
- Stommel, J., Abbot, Judith, Saftner, A., Robert, A. Y Camp, M. J., (2005). Sensory and objective quality attributes of beta-carotene and lycopene-rich tomato fruit. *American Society of Horticultural Science*, 130: 240-251.
- Tesi, R. (2001). Medios de protección para la hortofruticultura y el viverismo. *Mundi-Prensa*, 288 pp.
- Urban, L., (1997). Introduction à la production sous serre : La gestion du climat. *Tec&Doc Lavoisier*, 1: 319 pp.
- Von Mollendorf, L., Jacobs, G., y De Villiers, O. (1992). Cold storage influences internal characteristics of nectarines during ripening. *Horticultural Science*, 27: 1295-1297.
- Zapata, L., Gerard, L., Davies, C., Oliva, L. y Schwab, M., (2007). Correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 34: 207-226.

DIRECCIONES DE INTERNET:

Normas de certificación de los productos Eusko Label, Kalitatea Fundazioa

<http://www.euskolabel.net/verdocumento.asp?iddoc=4331>

Memoria empresarial 2009, Kalitatea Fundazioa.

<http://www.euskolabel.net/verdocumento.asp?iddoc=3948>

Precios Mercabilbao 2011

<http://www.mercabilbao.com/estadisticas/estadisticas.asp>

FAOSTAT (FAO)

<http://faostat.fao.org/default.aspx?lang=es>

MAGRAMA (Ministerio de agricultura)

<http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/anuario-de-estadistica/default.aspx>

IDAE (Instituto para la diversificación y ahorro de energía)

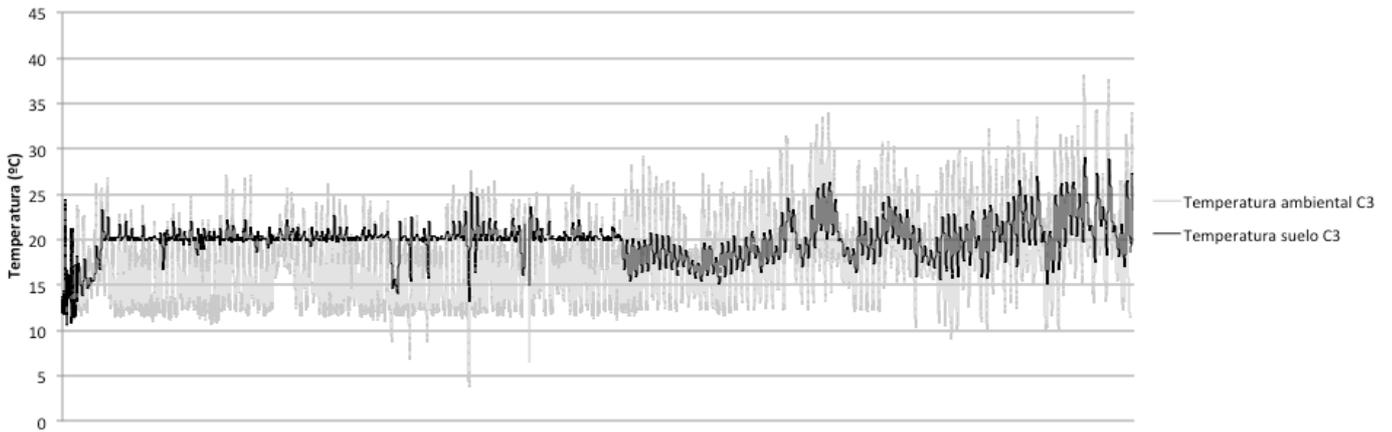
<http://www.idae.es/index.php/mod.pags/mem.detalle/relcategoria.1034/id.93/relmenu.55>

Konica Minolta (20/06/09)

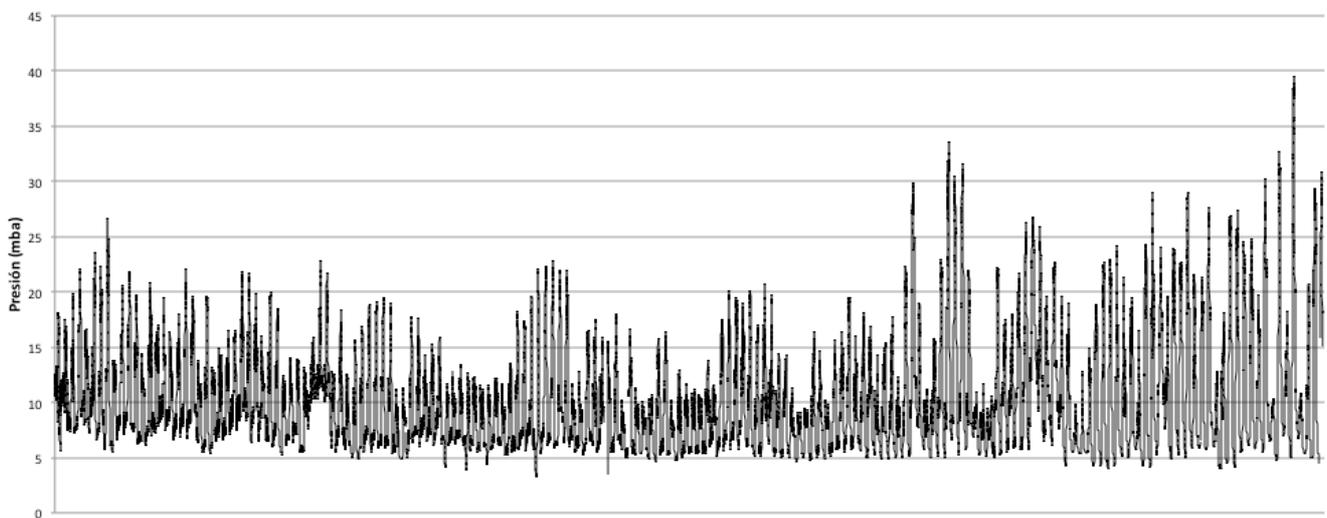
<http://www5.konicaminolta.eu/measuring-instruments/products/colour-measurement/chroma-meters/cr-400-410/introduction.html>

## 7. ANEXOS

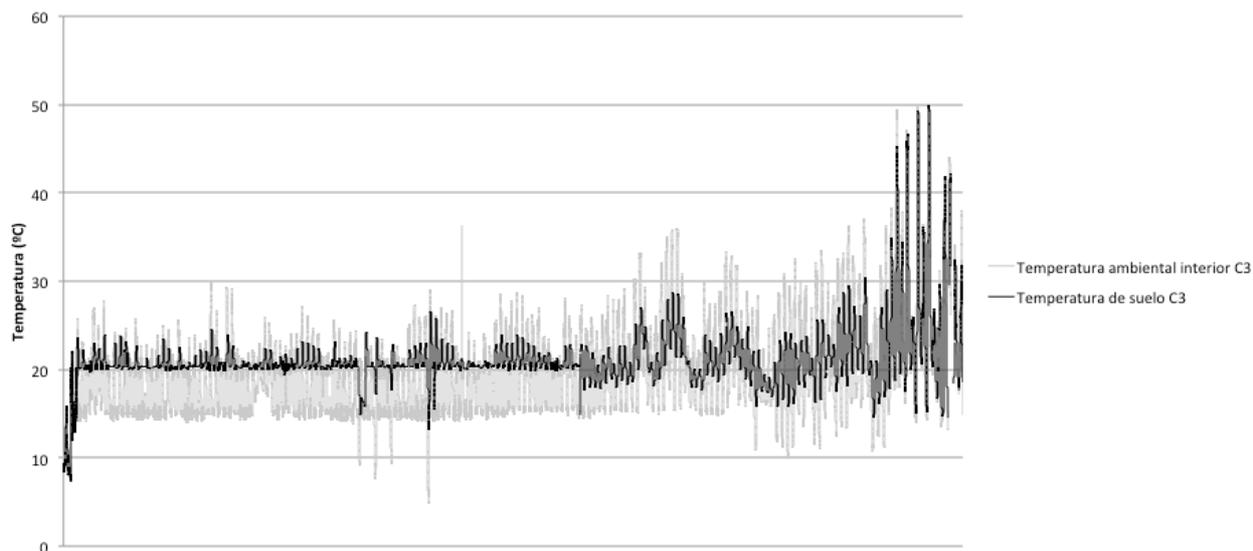
### 7.1 Temperatura aérea, radicular y déficit de saturación



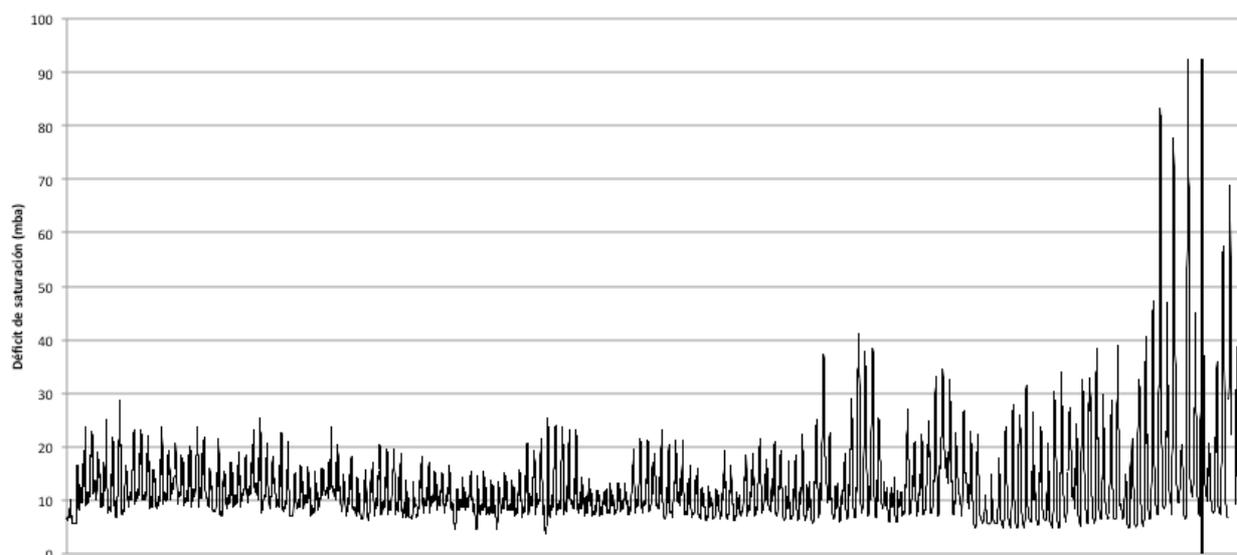
**Figura** Temperatura ambiental interior y temperatura de suelo registrados en el período de cultivo desde diciembre de 2010 hasta mayo de 2011 en el compartimento C3 a 18/12°C día/noche.



**Figura** Déficit de saturación registrado en el período de cultivo desde diciembre de 2010 hasta mayo de 2011 en el compartimento C3 a 18/12°C día/noche.



**Figura** Temperatura ambiental interior y temperatura de suelo registrados en el período de cultivo desde diciembre de 2010 hasta mayo de 2011 en el compartimento C4 a 20/15°C día/noche.



**Figura** Déficit se saturación registrado en el período de cultivo desde diciembre de 2010 hasta mayo de 2011 en el compartimento C4 a 20/15°C día/noche.