



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Departamento de Producción Vegetal

Programa de doctorado de Producción Vegetal y Ecosistemas

Agroforestales

**Tesis Doctoral**

**Evolución de los parámetros de calidad en frutos de  
pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait.) durante las fases  
de crecimiento, maduración y post-cosecha**

Doctorando:

**M<sup>a</sup> Guadalupe Solís Mateos**

Directores:

**Dr. Bernardo Pascual España**

**Dra. Núria Pascual Seva**

Valencia, noviembre de 2015



## Resumen

El pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait.) es una planta originaria de la región andina, donde ya era un cultivo importante antes de la llegada de los conquistadores. Se cultiva por su fruto, comestible y jugoso, de aspecto atractivo. Aunque hasta ahora comercialmente se cultivaba de forma casi exclusiva en su área de origen, en la actualidad se ha incrementado el interés por su cultivo fuera de las zonas de cultivo tradicional. En España, y particularmente en Valencia, se han realizado distintos estudios con el objetivo de introducir este cultivo en la horticultura local, como una de las posibilidades de diversificación de la horticultura valenciana. En estudios anteriores se obtuvieron varios clones que se comportaron adecuadamente desde el punto de vista productivo, constatándose que existían diferencias importantes en el sabor de los frutos, y que cabría profundizar en el conocimiento de la evolución de los carbohidratos en los procesos de crecimiento, maduración y post-cosecha de los frutos. Con esta finalidad la presente tesis doctoral aborda tres estudios, utilizando material vegetal previamente obtenido por el equipo de investigación en el que se realiza la misma: i) Evolución de los parámetros morfológicos, físico-químicos y bioquímicos de los frutos durante su crecimiento y maduración. ii) Influencia de la conservación post-cosecha, en cámara frigorífica, sobre los parámetros morfológicos, físico-químicos y bioquímicos de los frutos. iii) Estudio de la respiración y producción de etileno de los frutos, mediante cromatografía de gases, en respuesta al tratamiento con etefón. Se han determinado las curvas que representan las evoluciones del peso, tamaño y forma de los frutos, así como las relaciones entre los mismos. Se han determinado los valores de las funciones de color *Croma*, *Hue* e *Índice de color* de los frutos en los estados de madurez “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”. Se ha determinado el contenido en sólidos solubles, la acidez, la firmeza de los frutos y el índice de madurez, en los tres estados anteriormente citados. Se ha analizado la evolución de los contenidos en fructosa, glucosa y sacarosa, observándose que en la última fase de la maduración aumenta el contenido en sacarosa y la relación entre azúcares monosacáridos y disacáridos. Se han determinado los coeficientes de correlación entre los valores de los parámetros analizados, entre los que destacan por su elevado valor, los correspondientes a las funciones de color, entre ellas y con el contenido en sacarosa. Todos los parámetros indicados se han obtenido durante dos años con el clon *CH-VIII*, durante cuatro años con los clones *806-PV* y *821-PV*, y durante un año con las accesiones *M1*, *M2* y *M3*. Aunque todos los clones y accesiones estudiados tienen un adecuado valor agronómico, por las características de sus frutos merecen ser destacados el clon *821-PV* y la accesión *M3*. Del estudio post-cosecha se deduce que los frutos de pepino dulce pueden conservarse a 10°C manteniendo todas sus propiedades, como consecuencia de la reducida evolución que presentan los azúcares. El tratamiento de los frutos con etefón en post-cosecha aumentó ligeramente la tasa respiratoria y la producción de etileno, pero la ausencia de picos en las citadas evoluciones indica que los frutos de pepino dulce presentan un comportamiento no climatérico.

## Resum

El “pepino” dolç (*Solanum muricatum* Ait.) és una planta originària de la regió andina, on era ja un cultiu important abans de l’arribada dels conqueridors. Es cultiva pel seu fruit, comestible i sucós, d’aspecte atractiu. Encara que fins ara comercialment es cultiva de forma quasi exclusiva a la seua àrea d’origen, a l’actualitat s’ha incrementat l’interès pel seu cultiu fora de les zones de cultiu tradicional. A Espanya, i particularment a València, s’han realitzat distints estudis amb l’objectiu d’introduir aquest cultiu a l’horticultura local, com a una de les possibilitats de diversificació de l’horticultura valenciana. A estudis anteriors s’obtingueren diversos clons que es comportaren adequadament des del punt de vista productiu, constatant-se que existien diferències importants al sabor dels fruits, i que s’hauria de aprofundir al coneixement de l’evolució dels carbohidrats als processos de creixement, maduració i post-collita dels fruits. Amb aquesta finalitat la present tesi doctoral aborda tres estudis, utilitzant material vegetal prèviament obtingut per l’equip d’investigació al qual es realitza aquesta tesi: i) Evolució dels paràmetres morfològics, físico-químics i bioquímics dels fruits durant el seu creixement i maduració. ii) Influència de la conservació post-collita a càmera frigorífica, sobre els paràmetres morfològics, físico-químics i bioquímics dels fruits. iii) Estudi de la respiració i producció d’etilè dels fruits, mitjançant cromatografia de gasos, com a resposta al tractament amb etefó. S’han determinat les corbes que representen les evolucions del pes, dimensions i forma dels fruits, així como les relacions entre ells. S’han determinat els valors de les funcions de color *Croma*, *Hue* i *Índex de color* dels fruits als estats de maduresa “Verd pàl·lid”, “Premadur” i “Madur”. S’ha determinat el contingut en sòlids solubles, l’acidesa, la fermesa dels fruits i l’índex de maduresa, als tres estats anteriorment citats. S’ha analitzat l’evolució dels continguts en fructosa, glucosa i sacarosa, observant-se que a la última fase de la maduració augmenta el contingut en sacarosa i la relació entre sucres monosacàrids i disacàrids. S’han determinat els coeficients de correlació entre els valors dels paràmetres analitzats, entre els que destaquen pel seu elevat valor, els corresponents a les funcions de color, entre elles i amb el contingut en sacarosa. Tots els paràmetres indicats s’han obtingut durant dos anys amb el clon *CH-VIII*, durant quatre anys amb els clons *806-PV* i *821-PV*, i durant un any amb les accessions *M1*, *M2* i *M3*. Encara que tots els clons i accessions estudiats tenen un adequat valor agronòmic, per les característiques dels seus fruits mereixen ser destacats el clon *821-PV* i l’accessió *M3*. De l’estudi post-collita es dedueix que els fruits del “pepino” dolç poden conservar-se a 10°C mantenint totes les seues propietats, com a conseqüència de la reduïda evolució que presenten els sucres. El tractament dels fruits amb etefó en post-collita augmentà lleugerament la taxa respiratòria i la producció d’etilè, però l’absència de pics a les citades evolucions indiquen que els fruits de “pepino” dolç presenten un comportament no climatèric.

## Abstract

Pepino (*Solanum muricatum* Ait.) is a native plant of the Andean region, where it was an important crop before the arrival of the conquistadors. It is grown for its fruits, which are edible, juicy and with an attractive appearance. Although until now commercially it has been almost exclusively grown in its area of origin, currently there is an increasing interest in its cultivation beyond these areas of traditional cultivation. In Spain, and particularly in Valencia, different studies have been conducted with the aim of introducing this crop in local horticulture, as one of the potential crops to diversify the Valencian horticulture. In previous studies, several clones behaved properly from the point of view of production, stating that there were significant differences in the taste of the fruit, therefore it would be advisable to explore in depth the evolution of carbohydrates with the growth, maturation and post-harvest stage of the fruits. With this purpose the herein presented thesis discusses three studies using plant material previously obtained by the research team, in which this thesis is developed: i) Evolution of morphological, physico-chemical and biochemical parameters of the fruits during their growth and maturation. ii) Influence of post-harvest preservation, stored in cold conditions, on the morphological, physico-chemical and biochemical parameters of the fruits. iii) Study of respiration and ethylene production of the fruit, by gas chromatography, in response to the treatment with ethephon. It has been determined the curves representing the evolution of the weight, size and shape of the fruits, and the relationships between them. The values of the colour features *Chroma*, *Hue* and *colour index* of fruits have been determined in three different maturity stages: "pale green", "pre-ripe" and "mature". It has been determined the soluble solids content, acidity, fruit firmness and maturity index in the three stages mentioned above. The evolution of the contents of fructose, glucose and sucrose have been determined, noting that in the last phase of maturation the sucrose content increases, and the relationship between monosaccharides and disaccharides sugars. Being determined the correlation coefficients between the analysed parameters, the colour features stand out for their high values, among themselves and with the sucrose content. All indicated parameters were obtained for two years with clone *CH-VIII*, for four years with the clones *806-PV* and *821-PV*, and for one year with the M1, M2 and M3 accessions. Although all studied accessions and clones have adequate agronomic value, clone *821-PV* and M3 accession are worth highlighting because of the properties of their fruits given. Postharvest study shows that fresh pepino fruits can be stored at 10 ° C keeping all its properties, due to the low evolution of their sugars. Treatment of the fruits with ethephon in post-harvest increased respiratory rate and ethylene production, but the absence of peaks in these developments indicates that the fruits of pepino do not have a climacteric behaviour.



## ÍNDICE GENERAL

<b>1.- INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.01.- GENERALIDADES .....	1
1.02.- ETIMOLOGÍA .....	1
1.03.- VALOR NUTRITIVO.....	2
1.04.- USOS E IMPORTANCIA ECONÓMICA .....	4
1.05.- MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA .....	6
1.05.1.- Morfología .....	6
1.05.2.- Procesos fenológicos.....	9
1.05.2.1.- <u>Floración</u> .....	9
1.05.2.2.- <u>Polinización</u> .....	10
1.05.2.3.- <u>Fructificación</u> .....	10
1.05.2.4.- <u>Partenocarpia</u> .....	12
1.06.- CULTIVO.....	12
1.06.1.- Exigencias en clima y suelo .....	12
1.06.2.- Propagación y plantación .....	13
1.06.3.- Riego .....	17
1.06.4.- Transpiración y consumo de agua .....	18
1.06.5.- Control de la vegetación arvense .....	18
1.06.6.- Cultivo hidropónico .....	19
1.06.7.- Rendimientos .....	19
1.06.8.- Plagas, enfermedades y problemas fisiológicos .....	20
1.06.9.- Recolección.....	20
1.06.9.1.- <u>Aspectos generales</u> .....	20
1.06.9.2.- <u>Momento adecuado de recolección</u> .....	21
1.06.9.3.- <u>Índices de madurez</u> .....	21
1.06.9.4.- <u>Tratamientos para adelantar y agrupar la maduración</u> .....	22
1.07.- ACUMULACIÓN Y MOVILIZACIÓN DE RESERVAS .....	22
1.07.1.- Carbohidratos de reserva .....	22
1.07.1.1.- <u>Sacarosa</u> .....	22
1.07.1.2.- <u>Almidón</u> .....	24

1.08.- DESARROLLO DEL FRUTO .....	25
1.08.1.- Crecimiento inicial de los frutos .....	25
1.08.2.- Expansión celular.....	27
1.09.- MADURACIÓN DEL FRUTO.....	28
1.09.1.- Transformaciones químicas durante la maduración .....	30
1.09.2.- Madurez fisiológica y madurez comercial.....	31
1.09.3.- Parámetros de calidad en el fruto de pepino dulce .....	34
1.09.3.1.- <u>Parámetros morfológicos</u> .....	34
1.09.3.2.- <u>Parámetros físico-químicos</u> .....	34
1.09.3.3.- <u>Parámetros bioquímicos</u> .....	39
1.09.3.4.- <u>Parámetros fisiológicos</u> .....	39
1.10.- LA RESPIRACIÓN.....	40
1.10.1.- Tasa Respiratoria .....	42
1.10.2.- Métodos de determinación de la Tasa Respiratoria .....	43
1.10.2.1.- <u>Método Dinámico</u> .....	43
1.10.2.2.- <u>Método Estático</u> .....	44
1.10.2.3.- <u>Método Estacionario</u> .....	44
1.11.- ETILENO .....	45
1.12.- CLIMATERIO .....	48
1.12.1.- Controversia sobre la clasificación del fruto de pepino dulce como climatérico o no climatérico .....	50
1.12.2.- Aplicación exógena de etefón.....	51
1.13.- POST-COSECHA .....	52
1.13.1.- Conservación y almacenamiento .....	55
1.13.2.- Enfermedades y problemas fisiológicos en post-cosecha.....	56
1.13.2.1.- <u>Enfermedades fúngicas</u> .....	56
1.13.2.2.- <u>Desórdenes fisiológicos</u> .....	56
1.13.2.2.1.- <i>Daños por bajas temperaturas</i> .....	56
1.13.2.2.2.- <i>Descomposición interna</i> .....	57
<b>2.- OBJETIVOS.....</b>	<b>59</b>

<b>3.- MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>61</b>
3.1.- LOCALIZACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS .....	61
3.2.- MANEJO DEL CULTIVO.....	62
3.3.- PARTICULARIDADES DE LOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EN LAS DIFERENTES CAMPAÑAS.....	64
3.4.- EVOLUCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO EN LA FASE CRECIMIENTO Y MADURACIÓN. ....	68
3.4.1.- Parámetros morfológicos. Peso, tamaño y forma. ....	68
3.4.2.- Parámetros físico-químicos.....	68
3.4.2.1.- <u>Color de la piel</u> .....	68
3.4.2.2.- <u>Firmeza</u> .....	70
3.4.2.3.- <u>Contenido en sólidos solubles totales</u> .....	70
3.4.2.4.- <u>Acidez titulable</u> .....	71
3.4.2.5.- <u>Índice de madurez</u> .....	71
3.4.3.- Parámetros bioquímicos .....	72
3.4.3.1.- <u>Contenido en carbohidratos</u> .....	72
3.5.- EVOLUCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO EN LA FASE DE POST-COSECHA .....	74
3.6.- EVOLUCIÓN DE LA RESPIRACIÓN Y PRODUCCIÓN DE ETILENO EN RESPUESTA AL TRATAMIENTO CON ETEFÓN EN POST-COSECHA .....	75
3.6.1.- Determinación de la tasa respiratoria.....	76
3.6.2.- Determinación de la producción de etileno. ....	77
3.7.- ANÁLISIS SENSORIAL .....	78
3.8.- ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	79
<b>4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>81</b>
4.1.- Evolución de las características del fruto en la fase crecimiento y maduración	81
4.1.01.- Experimentos realizados en las campañas de 2000-01 a 2003-04.....	81
4.1.01.1- <u>Parámetros morfológicos</u> .....	81
4.1.01.1.1- <i>Clones 806-PV y 821-PV</i> .....	81
4.1.01.1.2.- <i>El clon CH-VIII</i> .....	93
4.1.01.2.- <u>Parámetros físico-químicos</u> .....	95
4.1.01.2.1- <i>Clones 806-PV y 821-PV</i> .....	95

4.1.01.2.2.- <i>El clon CH-VIII</i> .....	106
4.1.01.3.- <u>Parámetros bioquímicos</u> .....	109
4.1.01.3.1- <i>Clones PV-806 y PV-821</i> .....	109
4.1.01.3.2- <i>El clon CH-VIII</i> .....	115
4.1.01.4.- <u>Correlación entre parámetros físico-químicos y bioquímicos</u> .....	117
4.1.02.- Experimento realizado en el año 2006 .....	125
4.1.02.1.- <u>Parámetros morfológicos</u> .....	125
4.1.02.2.- <u>Parámetros físico-químicos</u> .....	128
4.1.02.2.1.- <i>Color</i> .....	128
4.1.02.2.2. - <i>Sólidos Solubles Totales</i> .....	130
4.1.02.2.3. - <i>Firmeza</i> .....	132
4.1.02.2.4.- <i>Acidez titulable</i> .....	132
4.1.02.3.- <u>Parámetros bioquímicos</u> .....	132
4.1.03. Análisis sensorial .....	134
4.1.04.- Consideraciones generales de los clones .....	137
4.2.- EVOLUCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO EN LA FASE DE POST-RECOLECCIÓN.....	139
4.2.01.- Clones 806-PV y 821-PV .....	139
4.2.01.1.- <u>Parámetros morfológicos</u> .....	139
4.2.01.2.- <u>Parámetros físico-químicos</u> .....	140
4.2.01.2.1.- <i>Color de la piel</i> .....	140
4.2.01.2.2.- <i>Contenidos en Sólidos Solubles Totales</i> .....	142
4.2.01.2.3.- <i>Firmeza</i> .....	143
4.2.01.2.4.- <i>Acidez titulable</i> .....	143
4.2.01.3.- <u>Parámetros bioquímicos</u> .....	144
4.2.02.- Acciones M1, M2 y M3 .....	147
4.2.02.1.- <u>Parámetros morfológicos</u> .....	147
4.2.02.2.- <u>Parámetros físico-químicos</u> .....	147
4.2.02.2.1.- <i>Color</i> .....	147
4.2.02.2.2.- <i>Contenidos en Sólidos Solubles Totales</i> .....	148
4.2.02.2.3.- <i>Firmeza</i> .....	149

4.2.02.2.4.- <i>Acidez titulable</i> .....	149
4.2.02.3.- <u>Parámetros bioquímicos</u> .....	149
4.3.- EVOLUCIÓN DE LA RESPIRACIÓN Y PRODUCCIÓN DE ETILENO EN RESPUESTA AL TRATAMIENTO CON ETEFÓN EN POST-RECOLECCIÓN .....	151
<b>5.- CONCLUSIONES</b> .....	<b>155</b>
<b>6.- BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>157</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.01.- Escala de color CIE L*a*b* .....	36
Figura 1.02.- Tonos aproximados correspondientes a distintos valores del ángulo <i>Hue</i> . .....	37
Figura 1.03.- Escala de color CIE L*a*b* .....	37
Figura 4.1.01.- Evolución de las temperaturas máxima, media y mínima registradas durante 2001, 2002, 2003, 2004 y 2006. ....	82
Figura 4.1.02.- Evolución de los frutos durante las fases de crecimiento y maduración correspondiente a la campaña 2000-01, expresadas en peso fresco, tamaño [longitud (L), anchura (A, diámetro máximo)] y forma (expresada como relación L/A) de los frutos correspondientes al primer ramillete, en relación a los días transcurridos desde la antesis (DDA) .....	84
Figura 4.1.03.- Evolución de los frutos durante las fases de crecimiento y maduración correspondiente a la campaña 2001-02, expresadas en peso fresco, tamaño [longitud (L), anchura (A, diámetro máximo)] y forma (expresada como relación L/A) de los frutos correspondientes al primer ramillete, en relación a los días transcurridos desde la antesis (DDA). ....	85
Figura 4.1.04.- Evolución de los frutos durante las fases de crecimiento y maduración correspondiente a la campaña 2002-03, expresadas en peso fresco, tamaño [longitud (L), anchura (A, diámetro máximo)] y forma (expresada como relación L/A) de los frutos correspondientes al primer ramillete, en relación a los días transcurridos desde la antesis (DDA). ....	85
Figura 4.1.05.- Evolución de los frutos durante las fases de crecimiento y maduración correspondiente a la campaña 2003-04, expresadas en peso fresco, tamaño [longitud (L), anchura (A, diámetro máximo)] y forma (expresada como relación L/A) de los frutos correspondientes al primer ramillete, en relación a los días transcurridos desde la antesis (DDA). ....	86
Figura 4.1.06.- Evolución del contenido en materia seca (%) de los frutos de los clones <i>CH-VIII</i> , <i>806-PV</i> y <i>821-PV</i> durante las fases de crecimiento y maduración. Años 2001 y 2002. ....	87
Figura 4.1.07.- Relación entre peso unitario y longitud y entre peso unitario y diámetro de los frutos de los clones <i>806-PV</i> y <i>821-PV</i> obtenidos en los años 2001, 2002, 2003 y 2004 .....	90
Figura 4.1.08.- Coordenadas de color <i>a</i> , <i>b</i> y <i>L</i> (CIE L*a*b*), y funciones de color <i>Croma</i> , <i>Hue</i> e <i>IC</i> correspondientes a los clones <i>CH-VIII</i> , <i>806-PV</i> y <i>821-PV</i> , en el año 2001. ....	96

Figura 4.1.09.- Coordenadas de color $a$ , $b$ y $L$ (CIE $L^*a^*b^*$ ), e índices de color <i>Croma</i> , <i>Hue</i> e <i>IC</i> correspondientes a los clones <i>CH-VIII</i> , <i>806-PV</i> y <i>821-PV</i> , en el año 2002.98	
Figura 4.1.10.- Coordenadas de color $a$ , $b$ y $L$ (CIE $L^*a^*b^*$ ), e índices de color <i>Croma</i> , <i>Hue</i> e <i>IC</i> correspondientes a los clones <i>CH-VIII</i> , <i>806-PV</i> y <i>821-PV</i> , en el año 2003.98	
Figura 4.1.11.- Coordenadas de color $a$ , $b$ y $L$ (CIE $L^*a^*b^*$ ), e índices de color <i>Croma</i> , <i>Hue</i> e <i>IC</i> correspondientes a los clones <i>CH-VIII</i> , <i>806-PV</i> y <i>821-PV</i> , en el año 2004 99	
Figura 4.1.12.- Evolución de los contenidos en SST (° Brix) de los frutos de los clones <i>CH-VIII</i> , <i>806-PV</i> y <i>821-PV</i> , en relación a los días después de la antesis correspondientes a los años 2001-2004 ..... 102	102
Figura 4.1.13.- Evolución de los valores de acidez titulable de los frutos de los clones <i>CH-VIII</i> , <i>806-PV</i> y <i>821-PV</i> , en relación a los días después de la antesis correspondientes a los años 2001-2004 ..... 104	104
Figura 4.1.14.- Evolución de los valores de firmeza de los frutos de los clones <i>CH-VIII</i> , <i>806-PV</i> y <i>821-PV</i> , en relación a los DDA, correspondientes a los años 2001-2004. 106	106
Figura 4.1.15.- Evolución de los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares totales, almidón, y en la relación azúcares disacáridos/monosacáridos (Dis/Mon) de los frutos producidos en 2001. .... 111	111
Figura 4.1.16.- Evolución de los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares totales, almidón, y en la relación azúcares disacáridos/monosacáridos (Dis/Mon) de los frutos producidos en 2002. .... 112	112
Figura 4.1.17.- Evolución de los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares totales, almidón, y en la relación azúcares disacáridos/monosacáridos (Dis/Mon) de los frutos producidos en 2003. .... 113	113
Figura 4.1.18.- Evolución de los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares totales, almidón, y en la relación azúcares disacáridos/monosacáridos (Dis/Mon) de los frutos producidos en 2004. .... 114	114
Figura 4.1.19.- Evolución de los frutos durante las fases de crecimiento y maduración correspondiente a la campaña 2005-06, expresadas en peso fresco, tamaño [longitud (L), anchura (A, diámetro máximo)] y forma (expresada como relación L/A) de los frutos correspondientes al primer ramillete en relación a los días transcurridos desde la antesis (DDA). .... 126	126
Figura 4.1.20.- Coordenadas de color $a$ , $b$ y $L$ (CIE $L^*a^*b^*$ ), y funciones de color <i>Croma</i> , <i>Hue</i> e <i>IC</i> correspondientes a las accesiones M1, M2 y M3. Año 2006. .... 129	129
Figura 4.1.21.- Evolución de los contenidos en SST (° Brix), de la acidez titulable (AT) y firmeza de los frutos de la accesión (M1, M2 y M3) en relación a los DDA. Año 2006. .... 131	131

Figura 4.1.22.- Evolución de los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares solubles totales y almidón, y en la relación azúcares disacáridos/monosacáridos, de los frutos de las accesiones M1, M2 y M3 producidos en 2006 y cosechados en los estados "Verde pálido", "Premaduro" y "Maduro". .....	133
Figura 4.1.23.- Representación gráfica radial del valor medio de las calificaciones obtenidas por los frutos de los clones <i>CH-VIII</i> , <i>806-PV</i> y <i>821-PV</i> , muestreados en 2001 .....	135
Figura 4.1.24.- Representación gráfica radial del valor medio de las calificaciones obtenidas por los frutos de los clones <i>CH-VIII</i> , <i>806-PV</i> y <i>821-PV</i> , muestreados en 2002 .....	136
Figura 4.1.25.- Representación gráfica radial del valor medio de las calificaciones obtenidas por los frutos de los clones <i>CH-VIII</i> , <i>806-PV</i> y <i>821-PV</i> , muestreados en 2003 .....	136
Figura 4.1.26.- Representación gráfica radial del valor medio de las calificaciones obtenidas por los frutos de los clones <i>CH-VIII</i> , <i>806-PV</i> y <i>821-PV</i> , muestreados en 2004. ....	137
Figura 4.1.27.- Representación gráfica radial del valor medio de las calificaciones obtenidas por los frutos de las accesiones M1, M2 y M3, muestreados en 2006. ...	137
Figura 4.2.01.- Evolución de las funciones de color (Croma, Hue e Índice de color), contenidos en sólidos solubles totales (°Brix), firmeza y acidez titulable (AT), de los frutos de los clones <i>806-PV</i> y <i>821-PV</i> producidos en 2003, cosechados en los estados "Verde pálido", "Premaduro" y "Maduro", almacenados durante 15 días a la temperatura de 10 °C.....	141
Figura 4.2.02.- Evolución de las funciones de color (Croma, Hue e Índice de color), contenidos en sólidos solubles totales (°Brix), firmeza y acidez titulable (AT), de los frutos de los clones <i>806-PV</i> y <i>821-PV</i> producidos en 2004, cosechados en los estados "Verde pálido", "Premaduro" y "Maduro", almacenados durante 15 días a la temperatura de 10 °C.....	142
Figura 4.2.03.- Evolución de los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares solubles totales y almidón, y de la relación azúcares disacáridos/monosacáridos, de los frutos de los clones <i>806-PV</i> y <i>821-PV</i> producidos en 2003, cosechados en los estados "Verde pálido", "Premaduro" y "Maduro", almacenados durante 15 días a la temperatura de 10 °C.....	145
Figura 4.2.04.- Evolución de los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares solubles totales y almidón, y de la relación azúcares disacáridos/monosacáridos, de los frutos de los clones <i>806-PV</i> y <i>821-PV</i> producidos en 2004, cosechados en los estados "Verde pálido", "Premaduro" y "Maduro", almacenados durante 15 días a la temperatura de 10 °C.....	146

Figura 4.2.05.- Evolución de las funciones de color (Croma, Hue e Índice de color), contenidos en sólidos solubles totales (°Brix), firmeza y acidez titulable (AT), de los frutos de las accesiones M1, M2 y M3 producidos en 2006, cosechados en los estados “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”, almacenados durante 15 y 30 días a la temperatura de 10 °C.....	148
Figura 4.2.06.- Evolución de los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares solubles totales y almidón, y de la relación azúcares disacáridos/monosacáridos, de los frutos de las accesiones M1, M2 y M3, producidos en 2006, cosechados en los estados “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”, almacenados durante 15 y 30 días a la temperatura de 10 °C .....	150
Figura 4.3.01.- Evolución de la tasa respiratoria de frutos de pepino dulce de la accesión M3 en estado verde oscuro durante diferentes tiempos de medida [60 min (a) y 150 min (b)]. .....	151
Figura 4.3.02.- Evolución de la producción de etileno de frutos de pepino dulce de la accesión M3 en estado verde oscuro durante diferentes tiempos de medida [150 min (a) y durante 13 días (b)].....	151
Figura 4.3.03.- Evolución de las producciones de etileno y tasas respiratorias correspondientes a los frutos de la accesión M3, en los estados “Verde oscuro”, “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”, tratados con etefón a 1000 mg L <sup>-1</sup> (líneas discontinuas) y sin tratar (línea continua), en la recolección y a los 4 y 8 días después de la recolección (DDR). .....	152

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.01.- Ramillete de flores abiertas .....	7
Fotografía 1.02.- Fruto recién cuajado .....	7
Fotografía 1.03.- Vista del interior del fruto .....	8
Fotografía 1.04.- Ramillete de frutos .....	11
Fotografía 1.05.- Plantas de pepino dulce preparadas para el trasplante.....	14
Fotografía 1.06.- Cultivo en contenedor con entutorado.....	17
Fotografía 1.07.- Frutos maduros .....	29
Fotografía 1.08.- Daños provocados en frutos de pepino dulce por enfermedades fúngicas.....	56
Fotografía 1.09.- Daños provocados en frutos de pepino dulce por bajas temperaturas.	57
Fotografía 3.01.- Esquejes de tallo .....	62
Fotografía 3.02.- Plantas preparadas para el trasplante .....	62
Fotografía 3.03.- Plantas guiadas a tres brazos .....	64
Fotografía 3.04.- Contenedores contruidos artesanalmente en el Centro de Experiencias de Cajamar .....	64
Fotografía 3.05.- Vista de la plantación en la UPV y detalle de los contenedores de poliestireno.....	64
Fotografía 3.06.- Daños producidos por la helada ocurrida el 29.01.05 en el Centro de Experiencias de Cajamar (Paiporta.....	65
Fotografía 3.07.- Vista exterior del invernadero (a y b); detalle de la segunda plantación de la campaña 2004-05 (c); detalle de la planta (d). .....	66
Fotografía 3.08.- Plantas con síntomas de virosis de la campaña 2004-05 (a y b).....	66
Fotografía 3.09.- Detalle de la siembra (a), de las plantas antes de ser repicadas (b) y repicado (c), en la campaña 2005-06. ....	66
Fotografía 3.10.- Plantas ya repicadas en la campaña 2005-06.....	67
Fotografía 3.11.- Medidas realizadas para caracterizar la forma de los frutos de la campaña 2005-06.....	67
Fotografía 3.12.- Forma de los distintos tipos de frutos: M1 (a), M2 (b), M3 (c).....	68
Fotografía 3.13.- Centrífuga de tubos de ensayo y baño termostatzado (a); cartuchos C- 18 y filtro de membrana de 45 µm de poro (b) y filtrado (c).....	73

Fotografía 3.14.- Equipo HPLC formado por bomba isocrática, columna y detector, unidos a equipo con software procesador de datos.....	74
Fotografía 3.15.- Equipo GC formado por cromatógrafo de gases, columna y detectores, unidos a equipo con software procesador de datos (a y b); recipiente en el que se introducían los frutos para ser analizadas la tasa respiratoria y la producción de etileno (c). .....	78
Fotografía 4.01.- Coloración de los frutos en los estados (de izquierda a derecha) “Verde oscuro”(Clon <i>CH-VIII</i> ), “Verde pálido” (Clon <i>806-PV</i> ), “Premaduro”(Clon <i>806-PV</i> ) y “Maduro” (Clon <i>821-PV</i> ) .....	95

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.01.- Componentes de los frutos de pepino dulce.....	2
Tabla 1.02.- Concentración de componentes en el tejido del pericarpio de los frutos de pepino dulce maduro.....	3
Tabla 1.03.- Contenidos en azúcares y ácidos orgánicos de dos zonas de tejido del fruto maduro del pepino dulce (Redgwell y Turner, 1986).....	4
Tabla 3.01.- Fechas de trasplante de las plantas procedentes de esquejes en las diferentes campañas.....	62
Tabla 3.02.- Propiedades del sustrato Cocopeat®.....	63
Tabla 3.03.- Solución nutritiva. Concentración de macronutrientes y micronutrientes	63
Tabla 3.04.- Fechas de antesis en las diferentes campañas .....	64
Tabla 4.1.01.- Parámetros de las ecuaciones con ajuste sigmoideal ( <i>A</i> , <i>B</i> , y <i>C</i> )* y coeficientes de determinación ( $R^2$ ) para los clones 806- <i>PV</i> y 821- <i>PV</i> . Años 2001, 2002, 2003 y 2004. ....	88
Tabla 4.1.02.- Parámetros de las ecuaciones con ajuste cuadrático y coeficientes de determinación para los clones 806- <i>PV</i> y 821- <i>PV</i> . Años 2001, 2002, 2003 y 2004 ...	89
Tabla 4.1.03.- Influencia del año de experimentación (2001, 2002, 2003 y 2004), del estado de maduración [“Verde pálido.....	91
Tabla 4.1.04.- Parámetros de las ecuaciones con ajuste sigmoideal ( <i>A</i> , <i>B</i> y <i>C</i> )* y coeficientes de determinación ( $R^2$ ) el clon <i>CH-VIII</i> . Años 2001 y 2002 .....	93
Tabla 4.1.05.- Parámetros de las ecuaciones con ajuste cuadrático y coeficientes de determinación para el clon <i>CH-VIII</i> . Años 2001 y 2002.....	93
Tabla 4.1.06.- Influencia del año de experimentación (2001 y 2002), del estado de maduración [“Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”] y del clon ( <i>CH-VIII</i> , 806- <i>PV</i> y 821- <i>PV</i> ) en el peso unitario, longitud ( <i>L</i> ), anchura ( <i>A</i> ) y relación <i>L/A</i> de los frutos .....	94
Tabla 4.1.07.- Influencia del año de experimentación (2001, 2002, 2003 y 2004), del estado de maduración [“Verde pálido.....	100
Tabla 4.1.08.- Influencia del año de experimentación (2001, 2002, 2003 y 2004), del estado de maduración [“Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”] y del clon (806- <i>PV</i> y 821- <i>PV</i> ) en el valor de los parámetros de las características físico-químicas [SST (°Brix), acidez titulable (AT) y firmeza] de los frutos.....	103

Tabla 4.1.09.- Influencia del año de experimentación (2001 y 2002), del estado de maduración [“Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”] y del clon ( <i>CH-VIII</i> , 806- <i>PV</i> y 821- <i>PV</i> ) en el valor de las funciones de color <i>a/b</i> , <i>Croma</i> , <i>Hue</i> e <i>IC</i> .....	107
Tabla 4.1.10- Influencia del año de experimentación (2001 y 2002), del estado de maduración [“Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”] y del clon ( <i>CH-VIII</i> , 806- <i>PV</i> y 821- <i>PV</i> ) en el valor de los parámetros de las características físico-químicas [SST (°Brix), acidez titulable (AT) y firmeza] de los frutos.....	108
Tabla 4.1.11- Influencia del año de experimentación (2001, 2002, 2003 y 2004 ), del estado de maduración [“Verde pálido” (1), “Premaduro” (2) y “Maduro” (3)] y del clon (806- <i>PV</i> y 821- <i>PV</i> ) en los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares solubles totales (AST), almidón, y en la relación azúcares disacáridos/monosacáridos (Dis/Mon) de los frutos.....	115
Tabla 4.1.12- Influencia del año de experimentación (2001 y 2002), del estado de maduración [“Verde pálido” (1), “Premaduro” (2) y “Maduro” (3)] y del clon ( <i>CH-VIII</i> , 806- <i>PV</i> y 821- <i>PV</i> ) en los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares totales, almidón, y en la relación azúcares disacáridos/monosacáridos (Dis/Mon) de los frutos.....	116
Tabla 4.1.13.- Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 806- <i>PV</i> , obtenidos en los años 2001, 2002, 2003 y 2004. ....	117
Tabla 4.1.14.- Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 821- <i>PV</i> , obtenidos en los años 2001, 2002, 2003 y 2004. ....	118
Tabla 4.1.15.- Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon <i>CH-VIII</i> , obtenidos en los años 2001 y 2002...	119
Tabla 4.1.16.- Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos de los clones 806- <i>PV</i> , 821- <i>PV</i> y <i>CH-VIII</i> , obtenidos en los años 2001, 2002, 2003 y 2004 (2001, 2002 en el clon <i>CH-VIII</i> ), considerados conjuntamente.....	120
Tabla 4.1.17.- Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon <i>CH-VIII</i> , obtenidos en 2001.....	120
Tabla 4.1.18.- Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon <i>CH-VIII</i> , obtenidos en 2002.....	121
Tabla 4.1.19.- Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 806- <i>PV</i> , obtenidos en 2001.....	121
Tabla 4.1.20.- Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 806- <i>PV</i> , obtenidos en 2002.....	122

Tabla 4.1.21.- Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 806-PV, obtenidos en 2003.....	122
Tabla 4.1.22.- Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 806-PV, obtenidos en 2004.....	123
Tabla 4.1.23.- Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 821-PV, obtenidos en 2001.....	123
Tabla 4.1.24.- Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 821-PV, obtenidos en 2002.....	124
Tabla 4.1.25.- Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 821-PV, obtenidos en 2003.....	124
Tabla 4.1.26.- Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 821-PV, obtenidos en 2004.....	125
Tabla 4.1.27.- Parámetros de las ecuaciones con ajuste cuadrático y coeficientes de determinación para las accesiones M1, M2 y M3. Año 2006.....	127
Tabla 4.1.28.- Influencia del estado de maduración [“Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”] y de la accesión (M1, M2, M3) en el peso unitario, longitud (L), anchura (A) y relación L/A de los frutos.....	128
Tabla 4.1.29.- Influencia del estado de maduración [“Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”] y de la accesión (M1, M2 y M3) en el valor del índice a/b y de las funciones de color <i>Croma</i> , <i>Hue</i> e <i>IC</i> . ....	130
Tabla 4.1.30.- Influencia del estado de maduración [“Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”] y de la accesión (M1, M2 y M3) en el valor de los parámetros de las características físico-químicas [SST (°Brix), acidez titulable y firmeza] de los frutos producidos 2006.....	132
Tabla 4.1.31.- Influencia del estado de maduración [“Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”] y de la accesión (M1, M2 y M3) en los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares solubles totales (AST) y almidón, y en la relación azúcares disacáridos/monosacáridos (Dis/Mon).....	134





## 1.- INTRODUCCIÓN

### 1.01.- GENERALIDADES

El pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait.) es una planta originaria de la región andina, en la que ya era un cultivo importante antes de la llegada de los conquistadores. Se cultiva por dar un fruto comestible y jugoso de aspecto atractivo.

Pertenece a la familia *Solanaceae*, género *Solanum*, subgénero *Potatoe*, sección *Basarthrum* y serie *Muricata*, de la que es el único miembro.

### 1.02.- ETIMOLOGÍA

En lengua quechua estos frutos se denominan Cachum y en aymara Cachuma. Debido a la dificultad a la hora de pronunciar esta palabra, los españoles designaron este fruto con el nombre de pepino, ya que, en estados precoces de madurez, el sabor de los frutos del pepino dulce se asemeja a los frutos del pepino (*Cucumis sativus* L.). Además, solían denominar con nombres de cultivos del Viejo Mundo a los cultivos que encontraban en el Nuevo (Pizarro, 1572). Acosta (1590) añade que su denominación quizás también se debió a que algunos frutos del pepino dulce son alargados y de un ancho similar al del pepino.

Ya en el primer viaje de Francisco Pizarro, el primer oficial Pedro Mate escribió acerca de la existencia a lo largo de la costa peruana de una especie de pepino diferente a los de Castilla (Patiño, 1962). El cultivo del pepino dulce es extensamente descrito por los cronistas del virreinato del Perú, que además de Perú, incluía el actual Ecuador, el norte de Chile y la gran meseta de Bolivia (Prohens *et al.*, 1996).

Para diferenciarlo del *C. sativus* L., se hace seguir la palabra pepino de un modificador; el más común es dulce, que hace referencia a su sabor, aunque hay otros como morado, blanco, de agua, de tierra, etc. El nombre pepino, sin modificador todavía se emplea en zonas andinas para designar a *S. muricatum*.

En inglés, el nombre por el que se le conoce es el de *pepino*, adoptado directamente del español (Alvarado, 1996), aunque también se le conoce por *melon*

*pear, melon shrub, peruvian pepino, tree melon, sweet cucumber, sweet pepino, etc* (Sánchez-Monge, 1991).

Posteriormente, su elevada sensibilidad a las condiciones ambientales en el cuajado, especialmente la temperatura, así como el tiempo necesario para alcanzar la maduración de los frutos, no le permitió alcanzar la difusión de otras solanáceas como el tomate y la patata, que consiguieron extenderse por todo el mundo. Actualmente en Perú, Bolivia, Ecuador y Colombia, el pepino dulce se cultiva en pequeñas parcelas en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 3000 m de altitud. En todas estas zonas existe todavía una ingente variedad de cultivares. Su cultivo ha despertado un gran interés En otros países como Nueva Zelanda, Australia, Países Bajos, Alemania, Israel, España, Turquía.

### 1.03.- VALOR NUTRITIVO

El pepino dulce es un fruto de sabor fresco y agradable que recuerda al melón, siendo algunos cultivares particularmente aromáticos. La composición química de los mismos es la siguiente:

**Tabla 1.01.- Componentes de los frutos de pepino dulce (Bravo y Arias, 1983).**

Componente	Valores por 100 g de materia comestible
Agua	92.4 g
Proteínas	0.4 g
Lípidos	0.1 g
Fibra	0.5 g
Cenizas	0.3 g
Potasio	111 mg
Calcio	21 mg
Fósforo	3 mg
Sodio	2.6 mg
Hierro	1.0 mg
Ácido Ascórbico	26 mg
Niacina	0.6 mg
Tiamina	0.09 mg
Riboflavina	0.04 mg
Valor energético	25 cal

El pepino dulce tiene un elevado porcentaje de agua, y un contenido en calorías muy bajo. Las concentraciones de proteína, fibra y minerales no son nutricionalmente significativas, con la excepción del contenido en potasio, aunque se encuentra a niveles no demasiado altos (alrededor de los 110 mg 100g<sup>-1</sup>).

**Tabla 1.02.-** Concentración de componentes en el tejido del pericarpio de los frutos de pepino dulce maduro (Redgwell y Turner, 1986).

Componente	Cantidad (Valor 100 g <sup>-1</sup> materia fresca)
Peso Seco (g)	6.8-8.2
Proteínas (g)	0.10-0.13
Lípidos y pigmentos (mg)	24.6-44.4
Azúcares solubles (g)	4.9-6.4
Almidón (mg)	20.0-90.0
Celulosa (mg)	154-220
Hemicelulosa (mg)	40.1-53.6
Pectina (mg)	26.7-34.5
Vitamina C (mg)	46.0-68.8
Ácidos orgánicos no volátiles (mg)	119-153
Aminoácidos libres (mg)	52-70
N (mg)	23-30
P (mg)	10.7-12.3
K (mg)	115-123
S (mg)	3.0-4.0
Ca (mg)	2.3-3.0
Mg (mg)	5.3-6.1
Na (mg)	0.76-2.30
Fe (mg)	0.20-0.31
Mn (mg)	0.06-0.07
Zn (mg)	0.02-0.05
Cu (mg)	0.02-0.03
B (mg)	0.03-0.05

El contenido en nitrógeno total es excepcionalmente bajo comparado con la mayoría de las frutas. El contenido en vitamina C de los frutos es muy alto. En Israel algunos estudios realizados (Pluda *et al.*, 1993) citan valores para la vitamina C en torno a 40-50 mg 100g<sup>-1</sup>, mientras que en diversas experiencias realizadas en España se han observado valores muy variables, en un rango entre 20 y 75 mg 100g<sup>-1</sup>, que parece que

pueden depender más de la forma de cultivo y las condiciones ambientales que del genotipo.

**Tabla 1.03.-** Contenidos en azúcares y ácidos orgánicos de dos zonas de tejido del fruto maduro del pepino dulce (Redgwell y Turner, 1986).

Componente	Cantidad (Valor 100 g <sup>-1</sup> materia fresca)	
	Pericarpio	Núcleo
Fructosa (g)	1.4 ± 0.05	1.3 ± 0.1
Glucosa (g)	0.9 ± 0.02	0.8 ± 0.06
Sacarosa (g)	2.6 ± 0.32	4.9 ± 0.61
Inositol (g)	< 0.01	< 0.01
Ácido Málico (mg)	10.1 ± 0.23	14.8 ± 0.9
Ácido Cítrico (mg)	124.2 ± 7.5	180.0 ± 8.3
Ácido Quínico (mg)	1.4 ± 0.1	1.5 ± 0.1

#### 1.04.- USOS E IMPORTANCIA ECONÓMICA

El pepino dulce es una fruta ligera, jugosa y muy aromática. La forma de consumo depende del estado de maduración del fruto: como postre, en el caso de los cultivares que producen frutos más aromáticos, o como componente de ensaladas, en el caso de los cultivares que presentan frutos más ácidos y con menos azúcares (Nuez y Ruiz, 1996). También forma parte de platos y postres más elaborados (Torrent, 2014), además de utilizarse en confituras, en conservas (Matus, 1983; Vera, 1984) y para la preparación de zumos (Schwartz y Núñez, 1988).

Su uso como hortaliza se limita a las regiones donde se cultiva de forma tradicional, tales como Colombia, Perú y Ecuador. En otros países, como Chile, Nueva Zelanda, Australia o España, se ha tratado de expandir su consumo como fruta de postre o en macedonias (Nuez y Ruiz, 1996). Es un fruto muy versátil (Morley-Bunker, 1983), aunque su consumo fundamental es como fruta fresca. En algunas regiones, cuando el fruto presenta un estado muy inmaduro, se puede consumir en hervidos y cocidos (Esquivel y Hammer, 1991). Otra de sus posibles formas de consumo en estado maduro es como acompañante de carnes o pescados (National Research Council, 1989) o en rodajas espolvoreadas con azúcar (Cossio, 1988). Además, se ha descrito su procesado en almíbar, mermeladas o helados (Fouqué, 1973; Matus, 1983; Mejía, 1984).

La amplia variabilidad de cultivares del pepino dulce está fuertemente diferenciada por el sabor, ya que las variedades “colombianas” son escasamente dulces y aromáticas, y en cambio, las variedades “peruvianas” tienen un espléndido sabor (Nuez y Ruiz, 1996).

También se han destacado sus propiedades medicinales hipotensivas y diuréticas (Sánchez-Vega, 1992), muy probablemente debido a su alto contenido en agua, e incluso se ha descrito actividad antitumoral de su extracto acuoso contra diferentes tipos de células cancerosas (Shathish y Guruvayoorappan, 2014). Su alto contenido en vitamina C es otra de sus propiedades beneficiosas.

Por otro lado, la morfología de la planta y sus atractivos frutos han hecho que el pepino dulce sea considerado en ocasiones como planta decorativa, apareciendo incluso como planta colgante en catálogos de plantas ornamentales (Bakker, 1995).

En la actualidad, el pepino dulce sólo se cultiva comercialmente en países de la zona andina, Colombia, Ecuador, Bolivia, Perú y Chile, en Nueva Zelanda (Dennis *et al.*, 1985) y en Australia (Goubran, 1985).

En los países de origen, su cultivo ha estado destinado únicamente al autoconsumo y al comercio local, motivo por el que no existen datos de producción o superficie cultivada a nivel internacional, y por ello resulta difícil determinar la importancia económica del pepino dulce (Nuez y Ruiz, 1996). En los años 1994-1995 se observó un sorprendente aumento de la superficie cultivada debido al incremento de las exportaciones a países como Argentina y Estados Unidos. En Nueva Zelanda, desde el principio fue concebido como un posible cultivo destinado a la exportación, usando para ello los mismos canales comerciales existentes para el kiwi. Una gran parte de las exportaciones se destinan a Japón.

El interés en el mercado externo por el producto se está incrementando progresivamente (Hidalgo, 2006). Se dispone de los datos de superficie y producción de pepino dulce en Ecuador, donde ambas cantidades han ido incrementándose progresivamente, llegando a quintuplicarse la producción en este país desde el año 1998 hasta el 2010. En el año 2010 se produjeron unas 3.200 toneladas de pepino dulce en Ecuador con un rendimiento medio de 6.000 kg ha<sup>-1</sup>.

En Perú, la mayoría de la producción se concentra en la provincia de Lima, donde se dedican a su cultivo unas 450 ha. En Chile, la superficie cultivada supone una 1.000 ha, distribuidas en las regiones costeras IV y V (Gambardella *et al.*, 1996).

En España, Italia, Israel, Estados Unidos, Turquía, Países Bajos, Francia y otros países de Europa y asiáticos como Corea, Japón y China, se han llevado a cabo experiencias destinadas a su introducción (Maynard, 1989; Cornejo *et al.*, 1990; Maroto y López Galarza, 1992; Ruiz *et al.*, 1992).

Algunos invernaderos experimentales en España, están cultivando pepino dulce, y solo ocasionalmente, algunos de los frutos derivados de estos cultivos, se venden en mercados locales (Van der Vlugt, 2010). Se sabe que extemporáneamente se ha intentado cultivar en diversas ocasiones desde finales de los 70 bajo invernadero en Andalucía Oriental, si bien las dificultades relacionadas con la larga duración de la fase de crecimiento y maduración del fruto, así como problemas fitosanitarios, obstaculizaron su expansión como cultivo alternativo (Maroto y López Galarza, 1992). También se han dado experiencias de cultivo en Canarias.

Desde 1989 el equipo del Departamento de Producción Vegetal de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural (ETSIAMN) de la Universitat Politècnica de València (UPV) y desde los primeros años 90, el Departamento de Biotecnología de la misma universidad, han venido desarrollando diversos estudios sobre numerosos aspectos relacionados con su comportamiento productivo y manejo agronómico, con el fin de conocer las posibilidades de expansión de este cultivo como nueva alternativa productiva de la Horticultura española (Maroto *et al.*, 1996a y b).

### **1.05.- MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA**

El pepino dulce es una especie con una enorme diversidad de cultivares, que presentan una enorme variación en caracteres morfológicos y agronómicos.

#### **1.05.1.- Morfología**

La planta de pepino dulce es de consistencia herbácea, semiarbusciva, con los tallos muy ramificados, desarrollándose de forma rastrera si se la deja crecer libremente. Cuando rastrea aparecen raíces adventicias en los nudos basales. Los tallos, que al

principio tienen una consistencia herbácea, van lignificándose hasta alcanzar un aspecto leñoso, sobre todo en la base de la planta. Normalmente la forma del tallo es redondeada, pero existen cultivares con tallos de sección casi cuadrangular. Suelen ser de color verde y con vellosidades, con pigmentaciones oscuras en las zonas próximas a los nudos, aunque algunas variedades presentan tonalidades moradas, sobre todo en la zona de los entrenudos.



**Fotografía 1.01.-** Ramillete de flores abiertas **Fotografía 1.02.-** Fruto recién cuajado

Las hojas suelen ser simples y lanceoladas, apuntadas en el extremo, parecidas a las del pimiento, pero con una ramificación lateral mucho mayor; también pueden ser compuestas, con un número de folíolos entre 3 y 7. Suelen medir entre 10 y 12 cm, aunque dependiendo de su posición en la planta, y de las condiciones del suelo y clima en las que crece la planta, puede llegar hasta los 40 cm en clones muy vigorosos. Cuando se obtienen plantas a partir de semillas, estas plantas pueden tener tanto hojas simples como compuestas, lo que ofrece una idea de la enorme heterocigosis que es posible encontrar en los cultivares de esta especie (Nuez y Ruiz, 1996). Una misma planta puede presentar también ambos tipos de hoja, siendo lo más frecuente que al principio de su desarrollo las hojas sean compuestas y posteriormente sean únicamente simples.

La planta de pepino dulce posee un sistema radical abundante y muy ramificado, aunque bastante superficial. Puede alcanzar 60 cm de profundidad, situándose el 75% de las raíces en los primeros 45 cm. En condiciones de humedad elevada produce abundantes raíces adventicias, lo que hace que resulte fácil propagar vegetativamente la planta a través de esquejes o estacas herbáceas (Maroto y López Galarza, 1997).

Morfológicamente, las flores son parecidas a las de otras solanáceas. Son hermafroditas y aparecen en grupos de 5 a 15 flores por racimo. Sus pétalos son blanquecinos, con vetas de color lila-morado que en función del cultivar pueden cubrir todo el pétalo o ser inexistentes. Las condiciones ambientales también influyen en el color y tamaño de las flores, dándose mayores tamaños y colores más brillantes a bajas temperaturas. Los estambres están soldados y a través de sus grandes anteras de color amarillo, forman una especie de tubo que rodea al estilo (Alvarado, 1996). La dehiscencia de las anteras, como es propio en el género *Solanum*, se produce por poros apicales.

La capacidad de cuajado es también muy variable. Existen clones con una capacidad de cuajado muy baja (0-1 fruto por planta), mientras que en otros es muy alta (30-40 frutos por planta; Prohens, 1997).

El fruto del pepino dulce es una baya, normalmente bicarpelar, con una cavidad central donde se alojan las semillas, cuando éstas están presentes, ya que es bastante frecuente en algunos cultivares la presencia de un número variable de frutos partenocárpicos, sin semillas. La forma que presenta el fruto depende fundamentalmente del tipo de cultivar, existiendo frutos de forma ovoide (la más corriente), hasta acorazonados, ovoide-cónicos, cónicos elongados, alargados, casi cilíndricos o incluso esféricos.



**Fotografía 1.03.-** Vista del interior del fruto

En la madurez, el fruto presenta un color de fondo amarillo, amarillo claro (casi crema) o amarillo dorado y está surcado por vetas de color casi púrpura. La extensión de estas vetas es muy variable y mientras en algunos cultivares es casi inexistente, en otros llegan a cubrir la superficie del fruto en su totalidad. Es un carácter en el que también influyen mucho las condiciones ambientales, fundamentalmente la iluminación y la temperatura. El veteado en algunos cultivares es verde en vez de púrpura. El color de la

carne va del amarillo pálido al anaranjado intenso y es de un sabor ácido y ligeramente dulce. Las semillas son pequeñas; un gramo puede contener de 600 a 900 semillas.

### **1.05.2.- Procesos fenológicos**

El factor ambiental que más repercusión tiene sobre las distintas fases del desarrollo reproductivo del pepino dulce es la temperatura. Las altas temperaturas inciden sobre el desarrollo de la yema floral, ejerción estigmática, calidad del polen, y otros procesos relacionados con el cuajado de los frutos.

#### 1.05.2.1.- Floración

La apertura de las flores comienza en la base de las inflorescencias y continúa secuencialmente hacia el extremo, al ritmo de unas 2-3 flores al día. Por tanto, en un mismo racimo se pueden encontrar minúsculos frutos, flores en antesis y botones florales.

Considerando las zonas del mundo en que se cultiva principalmente el pepino dulce (en el hemisferio Sur, a una latitud de 35°) podría deducirse que se trata de una planta de día neutro (Alonso y Arias, 1983). En algunos estudios (Murray *et al.*, 1992) se consiguió una floración continuada aplicando artificialmente un fotoperiodo largo (16h día / 8h noche), en contra de lo observado por Maroto *et al.* (1997) con el clon *SE-22*. Evidentemente, puede existir variabilidad a nivel de material vegetal.

La temperatura afecta al inicio de la floración de una forma similar a lo que ocurre con el tomate. Con temperaturas elevadas, el número de hojas que produce la planta hasta la aparición del primer racimo floral es mayor que con temperaturas moderadas o bajas. Además, las altas temperaturas pueden llegar a provocar la abscisión de la flor independientemente de que el proceso de polinización se haya llevado a cabo (Ruiz y Nuez, 1991).

El efecto negativo de las altas temperaturas sobre el cuajado de frutos de pepino dulce podría explicarse como el resultado de un conjunto de factores: una mayor ejerción del estigma, una menor calidad del polen producido (menor fertilidad y menor facilidad de liberación), y a temperaturas muy elevadas, o combinaciones de temperaturas elevadas con humedades relativas bajas, una posible caída de yemas florales o incluso de flores fecundadas.

Las temperaturas óptimas para el cuajado estarían por debajo de los 25°C. Una vez que el fruto ha logrado cuajar (pequeños frutos de 2-3 cm), las temperaturas ya pueden ser elevadas sin que ello suponga la caída de los frutos. Aunque no está bien estudiado el efecto de las bajas temperaturas sobre el proceso de fecundación de la flor y del cuajado de frutos, se puede suponer unos 8-10°C la temperatura mínima nocturna necesaria para un adecuado cuajado de frutos.

### 1.05.2.2.- Polinización

El pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait.) es una especie autocompatible y autógena (Anderson, 1975; Mione y Anderson, 1992).

La transferencia del polen desde las anteras hasta el estigma puede ser un factor limitante del cuajado de frutos en cultivo bajo invernadero. Para conseguir un buen cuajado de frutos bajo invernadero puede ser conveniente llevar a cabo un vibrado mecánico de las inflorescencias (Ruiz y Nuez, 1993), si bien las floraciones producidas bajo condiciones de escasa luminosidad dan tálamos florales más débiles, que no resisten la agitación mecánica del vibrador (Maroto y López Galarza, 1997). Se ha intentado utilizar colmenas de abejas (Martínez *et al.*, 1995) para mejorar el cuajado, pero los insectos sólo acuden a la flor del pepino dulce cuando no tienen otras alternativas. La flor tiene características tanto de polinización entomófila como anemófila. La corola coloreada y olorosa, y un estigma pequeño y compacto sugieren polinización mediante insectos; sin embargo, el polen no es pegajoso y en condiciones óptimas de temperatura y humedad, ligeros golpes de viento provocan una fácil liberación y dispersión del mismo.

### 1.05.2.3.- Fructificación

En el área mediterránea y en función del material vegetal y del ciclo productivo, el pepino dulce puede florecer abundantemente, pero suele presentar muchos problemas de cuajado y desarrollo de los frutos, sobre todo en períodos en los que las temperaturas pueden descender de 10 a 12 °C, lo que sin duda se produce en el área geográfica mediterránea, incluso bajo invernaderos ligeros para producciones de invierno-primavera. De acuerdo con Burge (1989) y Maroto *et al.* (1997), comprobaron la eficacia de los tratamientos con auxinas de síntesis en el cuajado.

Los pedúnculos de las flores no fecundadas permanecen finos y curvados al mismo tiempo que se marchitan los pétalos, mientras que los pedúnculos de las flores

fecundadas se enderezan y engruesan durante la senescencia de la corola (Heyes *et al.*, 1994).

A los diez días de producirse la polinización el fruto alcanza un tamaño entre 2 y 4 cm de longitud. El crecimiento sigue un patrón sigmoideal y alcanza su tamaño definitivo 40-70 días después de la polinización (Schaffer *et al.*, 1989; Heyes *et al.*, 1994). El tiempo que transcurre desde la polinización hasta que el fruto está totalmente maduro varía entre 70 y 100 días. Este factor, no obstante, puede variar en función del cultivar, de las técnicas de cultivo, de la posición del fruto en la planta y sobre todo, de la temperatura. En cultivo de invierno el periodo de crecimiento y maduración del fruto puede alargarse hasta 4 meses.



**Fotografía 1.04.-** Ramillete de frutos

En aquellas plantas sobre las que no se realiza ningún tipo de poda, el potencial de producción de frutos es enorme (Lizana y Levano, 1977), pudiendo producir más de 80 frutos. Sin embargo, cuando se podan los brotes laterales (Murray *et al.*, 1992) puede producirse competencia entre los racimos de una misma guía, de manera que el cuajado de los racimos inferiores reduce el de los superiores. En experimentos realizados en España (Ruiz y Nuez, 1993) con plantas conducidas a tres guías y tres racimos por guía se ha observado que, aunque no hay retraso del cuajado, el primer racimo es el que da una mayor producción (40–70 % de la producción total).

Las inflorescencias de pepino dulce pueden tener más de 15 flores. Si las condiciones son óptimas, pueden llegar a cuajar todas, llegando a ser pequeños frutos. Más adelante se produce una regulación de la carga productiva del racimo mediante el aborto de frutos, incluso cuando ya miden 2 o 3 cm. Este fenómeno fisiológico se debe a la competencia entre los frutos dentro de un mismo racimo, más que a la competencia entre racimos de una misma guía o a la competencia a nivel de planta (Ruiz y Nuez, 1993).

### 1.05.2.4.- Partenocarpia

Es bastante frecuente en el caso del pepino dulce la producción de frutos sin semillas, sin embargo, existe una gran variabilidad tanto genética como ambiental, para el carácter partenocárpico de los frutos. Hay cultivares que prácticamente siempre producen frutos con semillas, pero en condiciones ambientales particulares pueden presentar frutos sin semillas, que no ven afectadas ninguna de sus características.

El porcentaje de frutos sin semillas es muy variable, en función de las condiciones ambientales, ya que la presencia o no de semillas, con independencia de la capacidad de cuajado partenocárpico de los frutos, depende de que se produzca una polinización adecuada.

El cuajado partenocárpico se evidencia en ocasiones por un hinchamiento del ovario, previo a la antesis de la flor.

La capacidad de cuajado y el desarrollo del fruto sin semillas pueden ser incompletos. En condiciones de alta productividad por planta (5 kg planta<sup>-1</sup>, equivalentes a 15 kg m<sup>-2</sup>), los frutos sin semillas fueron menos competitivos que los frutos con semillas, siendo más pequeños y en ocasiones sufriendo deformaciones características. Sin embargo, en los clones partenocárpicos, la presencia o ausencia de semillas no afectó al tamaño ni a la forma de los frutos.

## **1.06.- CULTIVO**

### **1.06.1.- Exigencias en clima y suelo**

Los vientos cálidos y secos pueden dañar el desarrollo vegetativo de esta planta, mientras que con higrometrías moderadamente elevadas (60-80 %) parecen obtenerse los mejores resultados productivos.

En función de las condiciones en que se cultiva en América del Sur, el intervalo térmico más adecuado para su crecimiento parece situarse entre 15 y 30 °C. Las bajas temperaturas (como media por debajo de 10-12 °C) pueden afectar, como en otras solanáceas hortícolas (tomate, pimiento, berenjena), el desarrollo de los frutos. Las altas temperaturas inhiben la producción de flores, y los frutos son menos dulces (Maroto *et al.*, 1997).

La planta de pepino dulce es muy sensible a las heladas. Los daños producidos dependerán de la magnitud de las bajas temperaturas y de la duración de éstas. Las heladas dañan ostensiblemente la parte aérea, pero si no son muy intensas la planta puede rebrotar.

El pepino dulce es un cultivo sin grandes restricciones en relación con el tipo de suelo; los de textura arenosa, fertilidades medias y bien drenados son los más adecuados. Sus requerimientos son similares a los del pepino (Maroto, 1995a).

### **1.06.2.- Propagación y plantación**

El pepino dulce es una planta que se propaga de forma vegetativa, mediante esquejes herbáceos o semi-herbáceos de 10-25 cm de longitud, dada la elevada facilidad que posee esta especie para emitir raíces al poner las estaquillas en contacto con el suelo/sustrato húmedo. Las estaquillas pueden plantarse directamente en el terreno o bien enraizarse previamente en un sustrato poroso y húmedo como la vermiculita (Ruiz, 1997), la turba y la fibra de coco. En el primer caso se corre el riesgo de falta de enraizado por humedad deficiente o de podredumbres debidas a un exceso de humedad y falta de aireación en suelos pesados. Esto hace que en este tipo de propagación se sitúen de 2 a 5 esquejes por hoyo, lo que aumenta la probabilidad de que al menos uno logre enraizar y dar lugar a una planta adulta. Este tipo de plantación es usual en las explotaciones andinas, destinadas al autoconsumo o al comercio local, estando poco tecnificadas. El trasplante de plantas ya enraizadas es más apropiado en explotaciones de sistemas forzados, ya que se disminuye la longitud del ciclo de cultivo y se asegura una mayor supervivencia (Prohens, 1997). La duración de la fase vegetativa varía según las condiciones ambientales (luz y temperatura) y el propio tamaño del esqueje. Las estaquillas se deben tomar de plantas sanas, ya que, en caso de estar infectadas por virus, éstos pasarán a las nuevas plántulas, lo cual puede producir mermas importantes de producción. Este aspecto es fundamental, ya que la acumulación de virosis puede provocar disminuciones en la producción y en la calidad de los frutos. La propagación por semilla no se suele emplear a nivel comercial debido al carácter altamente heterocigótico del pepino dulce.

La propagación por semillas presenta a priori un inconveniente: al existir una gran heterocigosis, se obtienen plantas muy diferentes entre sí; otro inconveniente es la propia dificultad de este método. En otros estudios realizados en la Comunidad

Valenciana no se ha constatado grandes dificultades para su propagación por vía sexual e incluso se ha visto que las semillas pueden germinar en el interior de los frutos (Maroto *et al.*, 1997). A este respecto, Cornejo *et al.* (1990) vieron, en cultivo *in vitro*, que la temperatura óptima de germinación estaba por debajo de 25 °C, puesto que a temperaturas mayores disminuía el porcentaje de germinación.



**Fotografía 1.05.-** Plantas de pepino dulce preparadas para el trasplante.

En el caso de la plantación directa los esquejes se entierran entre uno y dos tercios de su longitud. Es conveniente, si las temperaturas son elevadas, sumergir los esquejes en una solución de un fungicida de amplio espectro (TMTD al 2 por mil). La plantación se realizará en suelo húmedo. A los 15 días se pueden reponer los fallos. En este sistema, la viabilidad depende del tipo de suelo con el que se esté trabajando; suelos sueltos con buena porosidad, de textura más o menos arenosa, favorecen el enraizamiento de los esquejes.

En cuanto a la idoneidad de los substratos empleados para el enraizamiento, una mezcla de turba *Sphagnum* y perlita, se mostró más eficaz que la arena o una mezcla de arena más turba. Entre estas dos últimas mezclas, la segunda ofreció mejores resultados (Maroto y López-Galarza, 1997).

En climatologías sin frío invernal, pueden hacerse plantaciones a lo largo de todo el año. En zonas templadas se toman esquejes o estacas a principios del invierno, que se mantienen en viveros protegidos, hasta que, pasado el riesgo de heladas, en primavera, se realiza la plantación. En este último ciclo, la recolección se escalona desde principio de verano hasta mediados de otoño en que las plantas quedan paralizadas y/o destruidas por acción de las bajas temperaturas. En experimentos

previos realizados en el Departamento de Producción Vegetal de la UPV, se consiguieron producciones de primavera-verano con enraizamientos y trasplantes bajo invernadero a mediados de otoño. Con enraizamientos y trasplantes realizados en verano (asimismo bajo invernadero) se han conseguido producciones invernales-primaverales que oscilaban, según años, ciclos productivos y clones, entre 2 y 5 kg planta<sup>-1</sup> (Maroto *et al.*, 1997). En climatologías tropicales o subtropicales puede haber producciones a lo largo de todo el año. El exceso de temperatura que suele manifestarse en el estío mediterráneo, suele incidir negativamente en la floración y cuajado de frutos. Aunque la época de enraizado y el trasplante en el terreno definitivo puede influir en el ciclo productivo, la respuesta genotípica y las técnicas de cultivo son factores de gran importancia en el mismo. El cultivo bajo invernadero ligero, tras un primer ciclo productivo, con una poda intensa, las plantas rebrotan y son capaces de dar una nueva fase de producción, posiblemente, sin merma aparente del rendimiento y/o calidad comercial de los frutos.

En experimentos realizados en el Departamento de Producción Vegetal de la Universidad Politécnica de Valencia, se estudió durante tres años la influencia de las fechas de enraizamiento-trasplante sobre distintos parámetros productivos en los clones *CH-III* y *CH-VIII*. Los ciclos más precoces, que se inician en pleno verano y principios de otoño, son claramente favorables en producción, precocidad, número de frutos y contenido en sólidos solubles de los mismos, sobre los ciclos que se inician en invierno. También se observó que el adelanto de los ciclos, en trasplantes de finales de primavera principios de verano, mejoraba la precocidad. Asimismo, la recolección en los meses más cálidos reducía el contenido en sólidos solubles y la firmeza de los frutos (Fresquet, 1999).

En términos generales, para producciones de invierno-primavera-verano, bajo invernaderos ligeros en el área mediterránea española, se aconsejan enraizamientos de finales de primavera-principios del verano y trasplantes entre principios y mediados del verano, que propiciarán una floración más vigorosa a principios de otoño, capaz de cuajar sin demasiados problemas tras la aplicación de auxinas de síntesis (Maroto *et al.*, 1995). De cualquier manera, la variabilidad en el comportamiento productivo del material vegetal utilizado es amplísima (Maroto *et al.*, 1996).

En general los marcos de plantación más usuales se asemejan a los practicados para el tomate o la berenjena, dejando entre líneas 0.8–1.4 m y 0.3–0.5 m entre plantas.

Como ocurre con el tomate, hay una interacción entre el marco de plantación y el tipo de poda practicada (Maroto, 1995b), observándose un buen comportamiento productivo con marcos estrechos, dejando dos o tres brazos por planta.

Una técnica utilizada en América para evitar la pudrición de los frutos es implantar algún sistema de entutorado que mantenga la planta y los frutos alejados del suelo. De esta manera los frutos reciben una mayor iluminación y mejora también la coloración de la epidermis, lo cual constituye un factor de calidad muy valorado. Por otra parte, la adopción de estos sistemas conduce a la obtención de mayores rendimientos por unidad de superficie. Otra ventaja adicional es la mayor aireación de la planta y la mayor facilidad que presenta en estas condiciones para la aplicación de tratamientos fitosanitarios. El principal inconveniente es la mano de obra necesaria para llevar a cabo la conducción de la planta, ya que además necesita algún tipo de poda periódica.

En los experimentos llevados a cabo en el pasado en el Departamento de Producción Vegetal, se utilizaron entutorados de cañas (al aire libre y en invernadero) y posteriormente, conducciones con cuerdas plásticas (en invernadero) con buenos resultados productivos.

En cultivo hidropónico la poda a dos brazos, (conducidos verticalmente con cuerdas) de los clones *SE-22* y *QR-16*, proporcionó mayores rendimientos y mayor tamaño de frutos que en conducción sin podar, pero entutorada (Maroto *et al.*, 1997).

En cultivo hidropónico la poda a dos brazos, (conducidos verticalmente con cuerdas) de los clones *SE-22* y *QR-16*, proporcionó mayores rendimientos y mayor tamaño de frutos que en conducción sin podar, pero entutorada (Maroto *et al.*, 1997).

En estudios realizados por el Departamento de Biotecnología de la U.P.V., se han podido ver diferencias en precocidad y productividad con distintos sistemas de conducción (con y sin poda) y diversos clones (Prohens *et al.*, 1998).

En Nueva Zelanda, el sistema empleado cuando el cultivo se desarrolla bajo invernadero, consiste en podar las plantas a tres guías, eliminando todos los brotes laterales. Se pueden dejar de tres a cinco racimos por guía, despuntando éstas unas pocas hojas por encima del último racimo floral. Un inconveniente de este sistema es la competencia entre racimos de la misma guía (Morley-Bunker, 1983; Burge, 1989; Murray *et al.*, 1992).



**Fotografía 1.06.-** Cultivo en contenedor con entutorado

Ya se ha comentado que uno de los principales inconvenientes del entutorado, es que en las axilas de las hojas de la planta de pepino dulce, como en las del tomate o las del tabaco, las yemas brotan y dan lugar a nuevos tallos, que es necesario eliminar, haciéndose necesario un desbrote manual que lleva asociado un elevado coste.

### **1.06.3.- Riego**

La planta de pepino dulce es exigente en agua y su sistema radical poco profundo hace necesario un buen manejo de los riegos.

La planta responde muy bien al riego localizado de alta frecuencia, y hay referencias que aconsejan mantener el suelo siempre húmedo. La planta de pepino dulce es tolerante al déficit hídrico, ya que recupera muy rápidamente su crecimiento vegetativo una vez pasadas las condiciones de estrés.

Aunque algunos trabajos señalan que el exceso de agua durante la brotación puede inducir aborto floral, en experimentos propios no se han observado problemas debido al exceso de humedad o al encharcamiento del suelo. En algunos ensayos, las plantas de pepino dulce han soportado condiciones de encharcamiento que no han soportado plantas de tomate que estaban al lado.

La dosis y la frecuencia de los riegos estarán condicionadas por las propias características del suelo (capacidad de almacenamiento de agua, que dependen de su textura y estructura). Así los riegos serán más frecuentes y las dosis más bajas cuanto más ligero sea el suelo.

El riego por surcos es el sistema más utilizado en Chile (Bravo y Arias, 1983). Para una mejor conducción se suelen hacer unos pequeños surcos entre las filas. Requiere abundante mano de obra y favorece la proliferación de vegetación arvense. Los terrenos deben ser llanos o con inclinaciones suaves. En experimentos realizados en el Departamento de Producción Vegetal se ha visto buena respuesta al riego localizado (como ya se ha comentado) y a la conducción hidropónica con distintos sustratos.

### **1.06.4.- Transpiración y consumo de agua**

No se han encontrado referencias en la literatura científica que indiquen la cantidad de agua que se necesita para el desarrollo de una unidad de peso de cosecha para el pepino dulce, pero como cifra orientadora se señalan 60-100 L agua kg<sup>-1</sup> fruto fresco.

En las experiencias realizadas en los invernaderos de la U.P.V. los valores medios alcanzados han sido de 70.75 L agua kg<sup>-1</sup> fruto fresco, para rendimientos de 20.000 kg ha<sup>-1</sup>.

### **1.06.5.- Control de la vegetación arvense**

Si el cultivo del pepino dulce se realiza sin llevar a cabo poda ni entutorado, el propio ramaje de la planta evita la aparición de vegetación arvense. El problema se presenta cuando las plantas son jóvenes, ya que en ese momento no pueden competir, haciéndose necesario el control manual de las malas hierbas durante las primeras etapas del cultivo.

En cuanto a la aplicación de herbicidas en el cultivo del pepino dulce para el control de la vegetación arvense, estudios realizados en Nueva Zelanda sugieren el empleo de herbicidas tanto en pre como en post-trasplante. En estudios realizados en el Departamento de Producción Vegetal, se ha visto que, en términos generales y con precauciones, pueden utilizarse los mismos herbicidas recomendados para el cultivo del tomate (Maroto, 1995).

La utilización de acolchados de plástico negro o “mulching” con restos vegetales ayudan de manera muy eficaz al control de las malas hierbas, aunque pueden llegar entorpecer en otras labores de cultivo, como el riego, cuando no es localizado.

### **1.06.6.- Cultivo hidropónico**

El cultivo hidropónico se abrió paso en la agricultura intensiva por permitir un mejor control del aporte de nutrientes a la planta, al tiempo que evita los principales problemas que el cultivo en suelo conlleva (salinidad, patógenos, etc.). Por este motivo se quiso comprobar la adaptación de diferentes cultivos a esta forma de manejo. El pepino dulce ha sido uno de ellos.

El primer cambio conceptual de esta forma de cultivo fue trasladar el manejo de las plantas del suelo convencional a contenedores, a la estela de los cuales han ido apareciendo los distintos sustratos que se emplean en la actualidad. Una característica afín de los cultivos producidos en contenedor, es el volumen limitado del sustrato, que obliga a modificar el manejo del riego y del abonado.

Un sustrato empleado en cultivo hidropónico debe reunir las siguientes características (Maroto, 2000): ser química y biológicamente inerte, poseer una capacidad de cambio iónico escasa o nula, y no contener elementos tóxicos o microorganismos patógenos para las plantas; poseer una granulometría lo más uniforme posible; estar dotado de una adecuada estabilidad estructural, que le permita no degradarse con el paso del tiempo; poseer una elevada capacidad de retención de agua permitiendo una adecuada aireación; ser de fácil desinfección.

La mayor parte de los experimentos realizados por el equipo del Departamento de Producción Vegetal con pepino dulce en cultivo hidropónico, se desarrollaron en lana de roca o fibra de coco.

### **1.06.7.- Rendimientos**

Teniendo en cuenta que la cosecha no se realiza de forma agrupada, la producción depende de la duración del periodo de recolección, que a su vez viene determinado por los ciclos de cultivo y las condiciones climáticas. Los rendimientos también varían en función de las técnicas agronómicas empleadas y de los cultivares utilizados. Como hemos comentado anteriormente, en las experiencias realizadas en los invernaderos de la U.P.V. se obtuvieron unos rendimientos de 20.000 kg ha<sup>-1</sup>. El rendimiento medio de esta especie puede cifrarse en 10-20 t ha<sup>-1</sup>, situándose el peso medio de los frutos entre 150 y 200 g (Fresquet, 1999).

### **1.06.8.- Plagas, enfermedades y problemas fisiológicos**

Entre las plagas que se ha podido comprobar que atacan a ésta especie en la Comunidad Valenciana, pueden citarse (Maroto *et al.*, 1997) los gusanos grises (*Agrotis* sp.), que pueden roer la base de las plantas provocando el marchitamiento de las mismas; la mosca blanca de los invernaderos (*Trialeurodes vaporarum*), que afecta principalmente a las hojas; diversos pulgones, que producen un daño directo como succionadores y pueden ser vectores de virosis; el escarabajo de la patata (*Leptinotarsa decemlineata*), que ataca con frucción la parte aérea de la planta; ácaros, tanto tetraníquidos como eriófidos, que hacen amarillear las hojas y provocar fuertes defoliaciones, lo que reduce su potencial de rendimiento y la calidad de los frutos, al haber una menor acumulación de azúcares. Bajo invernadero se han comprobado fitotoxicidades con el uso de insecticidas como el dimetoato.

Entre las enfermedades criptogámicas que pueden afectar a ésta planta se han constatado las siguientes: *Alternaria solani*, produciendo manchas desecadas en las hojas; negrilla, sobre el ramaje, como consecuencia de ataques fuertes de pulgones y aleuródidos; *Botrytis cinerea*, sobre frutos, en condiciones de alta humedad; también se señalan como agentes patógenos *Phytophthora infestans*, *Fusarium oxysporum*, etc.

Se han visto plantas de pepino dulce con síntomas evidentes de algunas virosis usuales en otras solanáceas, como el *TMV* (Tomato Mosaic Virus), *CMV* (Cucumis Mosaic Virus) y el *TSWV* (Tomato Spotted Wilt Virus), habiendo sido comprobado en experimentos propios, diferente susceptibilidad varietal.

### **1.06.9.- Recolección**

#### **1.06.9.1.- Aspectos generales**

La maduración de los frutos de pepino dulce es escalonada, por lo que la cosecha se extiende a lo largo de un periodo de tiempo considerable, que puede abarcar varios meses.

En España, el pepino dulce puede ser cultivado al aire libre en zonas del norte (Ruiz *et al.*, 1992), de climas con veranos frescos y temperaturas máximas no demasiado elevadas, lo que permite un mejor cuajado de los frutos. El inconveniente es que la época de recolección no puede ser demasiado larga, porque está limitada por la época de heladas. En climas más templados como la zona mediterránea, interesada, desde el punto de vista de la rentabilidad, en conseguir una producción de otoño-

invierno-primavera, es necesario llevar a cabo el cultivo en invernadero o bajo otro tipo de protección climática y previsiblemente favorecer el cuajado con aplicaciones de auxinas de síntesis, para que la planta florezca y cuajen los frutos antes de la llegada de las altas temperaturas (Maroto *et al.*, 1992; 1997).

#### 1.06.9.2.- Momento adecuado de recolección

A pesar de las diferentes opiniones existentes respecto a si el fruto de pepino dulce es o no climatérico, éste es un factor importantísimo a la hora de decidir el momento en que se han de cosechar los frutos. Así, Bravo y Arias (1983), hacen referencia a una práctica seguida por muchos productores chilenos, que consiste en poner los frutos cosechados sobre una capa de paja o arena, y cubrirlos con una capa plástica. Así, se podría conseguir un aumento de la temperatura y de la concentración de etileno, para una maduración más uniforme. En otros países sudamericanos como Colombia, Perú y Ecuador los frutos se suelen recoger bastante inmaduros, si bien el estado de madurez depende del tipo de uso al que se destinen. En Australia (El-Zeftawi *et al.*, 1988), Nueva Zelanda y España, los frutos se destinan al consumo como fruta fresca y por este motivo se recolectan en un estado muy cercano a la madurez, que es el que permite alcanzar la máxima calidad organoléptica.

#### 1.06.9.3.- Índices de madurez

Una cuestión fundamental para lograr alcanzar la máxima calidad del fruto sería elegir el momento óptimo de recolección de los mismos, con vistas a optimizar su valor de mercado. Este punto resulta difícil de definir ya que depende en gran medida de las exigencias de cada consumidor. Sin embargo, hay algunos parámetros que resultan coincidentes en distintos autores:

El-Zeftawi (1988) propuso como medidas para evaluar el estado de maduración de los frutos las siguientes: el color de la piel, la resistencia a la presión, el porcentaje de jugo y el contenido en sólidos solubles totales.

Arenas (1992) presentó como índices de madurez de los frutos: el cambio de color de fondo de la piel, el cambio de color de la pulpa y la resistencia de la pulpa a la presión, e indicó que no resultarían ser buenos índices de cosecha, por no aportar medidas de los cambios ocurridos durante el proceso de maduración los siguientes parámetros: el contenido en sólidos solubles, la acidez, el pH y el índice de madurez.

Prohens (1997) indicó que una mejora en los siguientes parámetros,

incrementaría la calidad de los frutos y facilitaría su entrada en los mercados europeos: el contenido en sólidos solubles, la acidez del fruto (e índice de madurez) y el contenido en ácido ascórbico (por su importancia bromatológica, ya que parece un potente antioxidante, superior al de los frutos cítricos (Redwell y Turner, 1986)).

Di Scala *et al.* (2011) propusieron como características de calidad en los frutos del pepino dulce: diversos análisis físico-químicos (pH, contenido en sólidos solubles, acidez titulable, etc.), el color de la piel, el contenido en vitamina C, la firmeza, el pardeamiento no enzimático, el contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante.

#### 1.06.9.4.- Tratamientos para adelantar y agrupar la maduración

Como se ha indicado anteriormente, la maduración de los frutos no es agrupada, y el periodo de recolección se dilata en el tiempo, por lo que se hace necesario realizar varios pases, produciéndose un gasto considerable en mano de obra. Por otra parte, desde el cuajado hasta la maduración transcurre un largo periodo (2 a 3 meses). Esto ha llevado a buscar tratamientos que permitan agrupar y adelantar la maduración. Si el cultivo está entutorado, es posible realizar tratamientos directos de etefón al fruto (Maroto *et al.*, 1995b).

### **1.07.- ACUMULACIÓN Y MOVILIZACIÓN DE RESERVAS**

La absorción de los nutrientes y la fijación del CO<sub>2</sub> no están estrictamente acopladas a las necesidades generadas por los procesos metabólicos y del desarrollo de las plantas. Durante algunas fases de la ontogenia, la disponibilidad de metabolitos en la planta supera a las necesidades; este exceso se acumula transitoriamente durante los procesos de fructificación. La mayor parte de las reservas energéticas de las plantas están constituidas por carbohidratos; solamente en algunos órganos se produce una acumulación mayoritaria de lípidos.

#### **1.07.1.- Carbohidratos de reserva**

##### 1.07.1.1.- Sacarosa

Es el oligosacárido más abundante en las plantas; la sacarosa es el principal producto de la fotosíntesis, y el principal carbohidrato translocado desde las hojas hasta los tejidos no fotosintéticos (debido a su gran solubilidad y a su naturaleza no reductora, lo que la convierte en menos reactiva que los azúcares reductores). Además de su

función de reserva, el metabolismo de la sacarosa presenta interés como fuente inmediata de carbono para la mayor parte de los procesos biosintéticos de la planta.

La acumulación de sacarosa tiene lugar en las vacuolas y también en los tejidos de muchos frutos, aunque esta acumulación en los frutos no representa una reserva para la planta ya que no es recuperable en cantidad significativa; el mecanismo de acumulación es similar al de los tejidos parenquimáticos de reserva. En el mesofilo se produce una acumulación transitoria de las hojas durante el día, cuando la fotosíntesis excede al transporte, disminuyendo el contenido durante la noche; se establece así un ciclo diario de concentración-dilución, con valores mínimos al final de la noche (Guardiola, 1990).

La síntesis de sacarosa tiene lugar en multitud de órganos y tejidos, tanto fotosintéticos como no fotosintéticos. Es particularmente intensa en las hojas, donde utiliza como sustrato los fosfatos de azúcar formados en los procesos fotosintéticos o por la degradación de almidón de asimilación, y en los órganos de reproducción de las plantas, bien a partir de los lípidos o de los polisacáridos de reserva. En muchos casos, la sacarosa acumulada es transportada desde otras partes de la planta. Con la excepción de algunos tejidos acumuladores de azúcares, este proceso tiene lugar en el citosol.

En la mayor parte de los tejidos coexisten dos enzimas capaces de catalizar esta síntesis: la sacarosa sintasa y la sacarosa fosfato sintasa. La enzima sacarosa fosfato sintasa presenta una elevada especificidad frente a la UDP-Glucosa. Esta propiedad del enzima se considera que es determinante para su actuación en la degradación de sacarosa.

El primer paso en la ruptura de la sacarosa es la escisión del enlace glucosídico, bien por invertasa o por sacarosa sintasa:



Los tejidos vegetales contienen dos tipos de invertasas que hidrolizan la sacarosa en glucosa y fructosa a través de una reacción esencialmente irreversible (tiene lugar con un gran cambio de energía libre negativa). Una de las formas de invertasa, la invertasa ácida, presenta una actividad óptima a pH 5 y se encuentra en la vacuola, aunque puede estar asociada a la pared celular. En algunos tejidos vegetales la entrada de sacarosa al interior de las células parece estar precedida por la hidrólisis, debida a una invertasa extracelular. Muchos tejidos vegetales contienen también una invertasa

alcalina o neutra, que presenta una actividad máxima a pH 7-7,5 y está localizada en el citosol. Las invertasas ácida y alcalina de las plantas son  $\beta$ -fructosidasas altamente específicas para sacarosa.

### 1.07.1.2.- Almidón

El almidón es una mezcla de amilasa, un glucano  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4) lineal, y amilopectina, un glucano  $\alpha$ (1 $\rightarrow$ 4) con ramificaciones originadas a través de uniones  $\alpha$ (1 $\rightarrow$ 6). El contenido en amilopectina está determinado genéticamente.

El almidón constituye la principal reserva de polisacáridos de tallos, raíces y frutos de la mayoría de las plantas. En las hojas, el almidón es un producto de la fotosíntesis y su depósito proporciona un medio para el almacenamiento de carbono fijado en exceso respecto a los requerimientos inmediatos. Gran parte del almidón que se acumula en las hojas durante el día se degrada durante la noche, después de que el exceso de sacarosa se haya reducido substancialmente. Sin embargo, dependiendo de las especies y las condiciones ambientales, entre un 25 y un 50% del almidón derivado de la fotosíntesis puede quedar retenido en los cloroplastos para un almacenamiento a más largo plazo.

El almidón se deposita en forma de gránulos en el interior de los plastos (cloroplastos en las hojas, amiloplastos en el caso de tejidos no fotosintéticos). En los cloroplastos, los gránulos tienden a ser pequeños debido al continuo ciclo de síntesis y degradación, mientras que, en semillas y tejidos de almacenamiento, los gránulos tienden a presentar un tamaño mayor, ya que la acumulación de almidón tiene lugar gradualmente, sin interrupciones por períodos de degradación (Gil Martínez, 1994).

El primer paso en la degradación del almidón es la conversión de gránulos insolubles a una forma soluble. En hojas y tejidos no fotosintéticos, el ataque inicial de los gránulos lo realiza la  $\alpha$ -amilasa, una enzima que parece ser la única que puede atacar a los gránulos intactos; presenta una actividad óptima en un intervalo de pH entre 4,5 y 6. La hidrólisis por  $\alpha$ -amilasa ocurre al azar en las uniones  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4) internas de la amilasa y la amilopectina y conduce a la formación de glucanos lineales solubles y  $\alpha$ -dextrinas ramificadas. Estos productos pueden ser degradados posteriormente por la acción de  $\alpha$ -amilasa o por otras enzimas.

## **1.08.- DESARROLLO DEL FRUTO**

Tras la fecundación o el estímulo partenocárpico del ovario, éste inicia su desarrollo hasta convertirse en fruto maduro. Este proceso tiene lugar en fases sucesivas, con características bien definidas, pero cuya duración varía según las condiciones ambientales, especies y variedades.

El crecimiento acumulado de un fruto sigue una curva sigmoide, y en el caso de los frutos que poseen endocarpo duro (hueso), doble sigmoide. En dicha curva se distinguen 3 fases: un periodo inicial caracterizado por la división celular (fase I), seguido de un periodo de alargamiento celular (fase II) y un periodo final en el que el fruto prácticamente cesa en su crecimiento, y madura (fase III).

Las diferentes partes de un fruto crecen de modo distinto. En los frutos de crecimiento sigmoide como presuntamente es el caso del pepino dulce, los carpelos, la nucela y el embrión adquieren su tamaño casi definitivo durante la fase I. El desarrollo de la pulpa, o tejidos comestibles, determina mayoritariamente las fases II y III del desarrollo.

### **1.08.1.- Crecimiento inicial de los frutos**

El proceso que marca la transición del ovario de la flor al fruto en desarrollo, se denomina cuajado. Este paso supone la iniciación de un crecimiento rápido de los tejidos del ovario; si dicho crecimiento no se inicia, o una vez iniciado cesa, el ovario se desprende, y, por tanto, no cuaja. El desarrollo posterior del ovario es consecuencia de la división celular del pericarpio.

Para que el cuajado se produzca, son necesarios tres prerequisites: i) la existencia de yemas florales maduras, bien formadas y nutridas; ii) un régimen de temperaturas durante e inmediatamente después de la antesis, que asegure una buena polinización, el desarrollo del tubo polínico y la fecundación, o que sea compatible con la partenocarpia; iii) un aporte adecuado de fotoasimilados cuando el ovario inicie el desarrollo. Aquellos frutos en los que alguno de estos factores no sea satisfecho, presentan un cuajado deficiente, lo que significa que, a los pocos días de la antesis, caerán. En los que se cumplen los tres requisitos, se inicia el periodo activo de división celular o fase I del crecimiento del fruto, cuya duración puede variar desde unos días a varios meses.

La mitosis es un proceso que requiere mucha energía. Durante esta fase de crecimiento exponencial de los frutos, son todos sus tejidos los que aumentan su número de células, y la acción conjunta de todos ellos es la que hace exigente al fruto en energía. El aporte de carbohidratos a éste durante su desarrollo resulta, por tanto, crucial. Si la planta no es capaz de satisfacer dicha necesidad, el fruto pierde su ritmo de crecimiento y se desprende de ella (caída o abscisión de los frutos).

Al igual que otros órganos vegetales, los frutos en desarrollo reciben parte de sus nutrientes a través del xilema y parte a través del floema. Los nutrientes minerales se transportan vía xilema, y los carbohidratos solubles a través del floema. Pero también hay nutrientes que llegan al fruto de manera indirecta, como es el caso de nutrientes minerales que fueron destinados a hojas a través del xilema, y desde allí, retransportados al fruto en desarrollo, por translocación, a través del floema (Barceló, 2000); es decir, por transporte de fotoasimilados a larga distancia desde las fuentes, regiones de síntesis, y exportación de carbohidratos (y otras sustancias) a los sumideros, zonas de importación, acumulación o consumo de carbohidratos (Ortolá, 2000).

Se ha comprobado en numerosas especies la relación directa entre el número de frutos caídos y el número de frutos en desarrollo. A pesar de que las semillas confieren al fruto un poder sumidero capaz de reclamar metabolitos en cuantía suficiente para asegurar su desarrollo, si el número de frutos es muy elevado, la planta es incapaz de atender la demanda de carbohidratos de la mayor parte de ellos, que acaban por caer. A este respecto, la situación del fruto en la planta respecto a las hojas, desempeña un papel esencial.

El papel de las hojas en el proceso del cuajado es consecuencia de su capacidad para sintetizar y exportar metabolitos al fruto en desarrollo; este papel no es uniforme en el tiempo. Mientras se desarrolla el brote, sus hojas actúan como sumidero, reclamando metabolitos de otras partes de la planta. Pero a medida que maduran, las hojas se convierten en órganos de exportación, y ello coincide con la intensificación progresiva de la capacidad de sumidero del fruto, que acaba dominando sobre la de las hojas. La eliminación de las hojas al inicio de la fase I de división celular del fruto, provoca la abscisión de frutos en intensidad equivalente a la defoliación. Como consecuencia de la defoliación, el contenido en sacarosa de los frutos se reduce marcadamente, hallándose una correlación positiva entre su concentración en el fruto y el crecimiento de éste, y negativa respecto a su abscisión. El aporte de este azúcar desde las hojas al fruto resulta

crucial para el cuajado. Esta influencia de las hojas sobre el cuajado está regulada hormonalmente por el propio fruto (Azcón-Bieto, 2000).

Por otra parte, las condiciones climáticas pueden afectar notablemente al proceso de cuajado. Se ha demostrado que las bajas temperaturas interfieren en el cuajado de plantas hortícolas, como solanáceas, cucurbitáceas, leguminosas, etc.

### **1.08.2.- Expansión celular**

Superada la fase de división celular, el fruto inicia un crecimiento lineal caracterizado por el engrosamiento celular.

El crecimiento de los frutos durante esta fase no es uniforme. De hecho, solamente crecen durante la noche. Durante el día, el diámetro del fruto sufre una pequeña depresión, que se ve recompensada con creces por el crecimiento nocturno, que es del orden de 3 veces superior. Este tipo de crecimiento es prácticamente general para todos los frutos, de modo que el crecimiento en apariencia lineal, sigue una curva quebrada de tendencia ascendente. Durante el día, la transpiración reduce el potencial hídrico del xilema, que alcanza sus valores más bajos, lo que afecta a ramas y frutos que aportan agua al torrente xilemático y, con ello, se reduce su expansión; cuando el potencial hídrico se recupera, durante la tarde y noche, el crecimiento se reinicia y los tallos y frutos recuperan su tamaño o aumentan de volumen (Azcón-Bieto, 2000).

En condiciones óptimas, las plantas tienden a producir un elevado número de frutos. Cuando ello ocurre, aquéllas son incapaces de satisfacer simultáneamente todos los procesos del desarrollo por completo; como consecuencia, todos ellos se ven alterados, aunque con diferente intensidad. En el caso de los frutos, su tamaño se reduce. Esta relación inversa entre número de frutos y su tamaño se atribuye a la competencia, sobre todo por carbohidratos, existente entre frutos. El desarrollo de los frutos es consecuencia de la acumulación de metabolitos, que puede estar limitada por la incapacidad del propio fruto para acumularlos o por falta de disponibilidad en la planta. Esto último es especialmente acusado cuando el número de frutos es muy elevado, pero puede modificarse favorablemente si se reduce la competencia entre frutos en desarrollo mediante el aclareo químico de una parte de ellos. Sin embargo, las relaciones de competencia son mucho más complejas y no sólo afectan a las relaciones mutuas entre frutos.

Las variaciones en tamaño detectadas entre los frutos de una misma planta deben ser consecuencia de las relaciones hídricas que la planta establece con cada fruto, más que de las relaciones fuente-sumidero existentes en la planta. Esta dependencia entre la absorción de agua y el crecimiento del fruto, queda patente al comparar la evolución de sus pesos fresco y seco. El fruto es sumidero de materia seca, pero las variaciones en peso fresco son más rápidas que las de acumulación de materia seca, en cualquiera de las dos fases de su desarrollo. Por tanto, aunque un aporte limitado de fotosintatos pueda limitar también el desarrollo del fruto, el tamaño final de éste no depende sólo de su disponibilidad.

En los frutos en desarrollo, dependiendo de la especie, aparecen cantidades variables de azúcares reductores, sacarosa, ácidos orgánicos, fenoles, etc. Los azúcares y los derivados de los monosacáridos (polialcoholes como sorbitol, manitol, etc), representan más del 90% de la materia seca total (Ortolá, 2000).

El hecho constatado de que en los exudados del floema no aparecen azúcares reductores, indica claramente que estos compuestos se forman directamente en los tejidos de los frutos. El hecho de que muchos frutos en desarrollo contengan clorofila, se interpreta en el sentido de que estos órganos son capaces de asimilar el CO<sub>2</sub> atmosférico. Sin embargo, la intensidad fotosintética es muy baja, y su contribución al peso seco de los frutos es muy pequeña (Barceló, 2000)

Hay constancia de que las temperaturas bajas, en general, inferiores a 10 °C, reducen el tamaño del fruto. En algunos frutos, las temperaturas elevadas aceleran el desarrollo del fruto y una adecuada disponibilidad de agua por parte de la planta aumenta el tamaño, al mismo tiempo que provoca la dilución de los sólidos solubles acumulados, azúcares y ácidos.

La salinidad se ha mostrado como un factor negativo en el tamaño de los frutos en solanáceas, cucurbitáceas y cítricos.

### **1.09.- MADURACIÓN DEL FRUTO**

La maduración es la fase final del crecimiento y desarrollo del fruto, en la que se producen una serie de cambios y características que hacen que el fruto sea óptimo para su consumo. Es un proceso controlado genéticamente, donde se producen cambios tanto en los procesos de síntesis como en los de degradación. Incluye procesos como el viraje

de color, el descenso en el contenido en almidón y el incremento en la concentración de azúcares solubles, la reducción de la concentración de ácidos, la pérdida de firmeza, junto a otros cambios físicos, químicos y enzimáticos (Alexander y Grielson, 2002). El fruto pierde turgencia, aumenta su sensibilidad a las condiciones del medio, pierde el control metabólico e inicia su senescencia, que puede ser pospuesta tanto antes como después de la recolección.



**Fotografía 1.07.-** Frutos maduros

El valor comercial de los frutos depende fundamentalmente de su sabor, apariencia y textura. En estos tres aspectos intervienen los carbohidratos presentes en los frutos. Por debajo de estos cambios externos, se encuentran como responsables los cambios en la composición química y del metabolismo de los mismos. La maduración suele ir acompañada por un aumento en el contenido del ácido ribonucleico. También se altera el contenido de proteínas, especialmente el de enzimas hidrolíticas. Estas enzimas incrementan enormemente su actividad durante el proceso de maduración y determinan los cambios de textura, sabor y color característicos de los frutos maduros (Pérez García, 1994).

El sabor depende fundamentalmente del equilibrio de azúcares y ácidos. La producción de una mezcla compleja de compuestos volátiles (alcoholes, cetonas, ésteres, aceites esenciales, etc.) que interaccionan con la producción de otros constituyentes mayoritarios, especialmente carbohidratos, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos, da lugar al aroma, característico de cada especie y variedad. Los cambios en sabor son debidos, en parte, a la separación de los taninos, que son los responsables del sabor característico de los frutos verdes (inmaduros). La degradación hidrolítica del almidón y las pectinas hace a los frutos más dulces.

En cuanto a la apariencia, la maduración suele coincidir con un cambio de color en la piel o en las capas parenquimáticas. La degradación de unos pigmentos y la síntesis y acumulación de otros es, sin embargo, variable cuantitativa y

cualitativamente. Los antocianos, los carotenoides, o ambos, reemplazan en su mayor parte a las clorofilas. La sustitución de clorofilas por carotenoides parece estar inducida por la forma activa del fitocromo y mediada por hormonas vegetales, como el etileno y el ácido abscísico.

### **1.09.1.- Transformaciones químicas durante la maduración**

Las principales reacciones químicas que suceden durante la maduración de los frutos son:

#### Hidratos de carbono:

Cuantitativamente, el cambio más importante asociado a la maduración de las frutas es la degradación de los carbohidratos poliméricos, especialmente la casi total conversión del almidón en azúcares solubles. Estas transformaciones tienen el doble efecto de alterar tanto el sabor como la textura del fruto. El aumento del contenido en azúcares los hace más dulces aumentando así su aceptabilidad. El desarrollo de una calidad óptima lleva asociado la acumulación de azúcares solubles. La degradación de los hidratos de carbono poliméricos, especialmente la de las sustancias pépticas y hemicelulosas, debilita las paredes celulares y las fuerzas cohesivas que mantienen unidas unas células a otras. En las etapas iniciales mejora la textura, pero finalmente las estructuras vegetales se desintegran (Wills, 1984). Las sustancias pépticas provienen de un precursor insoluble, la protopectina, que además de ser un macropolímero, se halla ligado por enlaces cruzados a otras cadenas poliméricas a través de puentes de calcio, y está unido a otros azúcares y derivados fosforilados de los mismos, dando así origen a polímeros de enorme tamaño. Durante la maduración, la protopectina va gradualmente degradándose a fracciones de peso molecular más bajo que son más solubles en agua (ácido galacturónico; Primo-Yúfera, 1997). La velocidad de degradación de las sustancias pépticas está directamente correlacionada con la de ablandamiento de la fruta.

#### Ácidos orgánicos:

Durante la maduración, los ácidos orgánicos son respirados o convertidos en azúcares (Wills, 1984). Los ácidos pueden ser considerados una reserva energética más de la fruta, por lo que, en general, su contenido disminuye en el periodo de actividad metabólica máxima, la maduración. Esto provoca la desaparición del sabor agrio y de la

astringencia, para dar lugar al sabor suave y al equilibrio dulzor-acidez de los frutos maduros (Primo-Yúfera, 1997).

#### Colorantes:

A medida que avanza la maduración se va degradando la clorofila, pero los carotenoides subsisten, y algunos de ellos son sintetizados. La desaparición de la clorofila desenmascara el color de xantofilas y carotenos. Dependiendo de la cantidad relativa de uno u otro pigmento, el color del fruto maduro varía de rojo a amarillo. Algunos compuestos volátiles como el etileno aceleran la degradación de la clorofila, mientras que otros como es el dióxido de carbono, la retrasan.

#### Aroma:

En el desarrollo de la calidad comestible óptima, el aroma tiene un papel importante. Se debe a la síntesis de numerosos compuestos orgánicos volátiles durante la fase de maduración; esta síntesis se acelera durante el climaterio, y al final de este periodo aparece la plenitud del aroma (Primo-Yúfera, 1997). La cantidad total de carbono utilizada para la síntesis de volátiles es inferior al 1% de la expulsada como CO<sub>2</sub>. Cuantitativamente, el volátil formado más importante es el etileno, que supone entre el 50 y el 75% del carbono total de los volátiles (Wills, 1984). El etileno no contribuye al aroma típico de la fruta. Por tanto, la importancia cuantitativa de los compuestos responsables del aroma es muy pequeña.

#### Compuestos nitrogenados:

Tanto las proteínas como los aminoácidos libres, son componentes minoritarios de las frutas que no parecen jugar ningún papel en la determinación de la calidad comestible. Sin embargo, se producen modificaciones en los constituyentes nitrogenados, que presentan cambios de la actividad metabólica, en las distintas fases del crecimiento (Cheftel y Cheftel, 1976).

### **1.09.2.- Madurez fisiológica y madurez comercial**

Existe una clara distinción entre la madurez fisiológica y la comercial; la primera se refiere a un momento en el desarrollo de la fruta en el que se ha logrado el crecimiento y la maduración máximos. En un fruto, generalmente está asociado con la comestibilidad óptima. El estadio de madurez fisiológica va seguido del envejecimiento o senescencia. No siempre es fácil una clara distinción entre los tres estadios de desarrollo de un fruto, ya que la transición entre ellos suele ser lenta y no muy marcada.

Sin embargo, el grado de madurez puede apreciarse fidedignamente en determinados productos mediante la determinación de la actividad respiratoria, la producción de etileno y varias determinaciones químicas, tales como el cociente azúcares solubles totales/ácidos (índice de madurez).

La madurez comercial es el estado del fruto en que el mercado exige que se encuentre. Generalmente guarda escasa relación con la madurez fisiológica y puede coincidir con cualquier estadio del proceso de desarrollo o envejecimiento. Está relacionado con el momento de llevar a cabo la recolección, con objetivo de destinarlo a un determinado fin y por tanto puede traducirse con exigencias comerciales concretas.

La maduración organoléptica es el proceso por el que una fruta alcanza su calidad comestible óptima. La calidad potencial viene determinada por numerosos factores, entre los que alcanza máxima relevancia el estado del desarrollo en el que se procedió a su recolección. Antes de que la fruta haya alcanzado su comestibilidad óptima se encuentra inmadura (o premadura) y después sobremadura. Estas etapas no pueden definirse claramente en términos fisiológicos, sino que son resultado de juicios subjetivos que varían con el consumidor que los emite.

Se han sugerido numerosos criterios para evaluar la madurez, entre los que cabe citar: el color de la piel, la firmeza, la composición química, el tamaño y la forma, la actividad respiratoria, y el tiempo que le falta para alcanzar la comestibilidad óptima; el tiempo transcurrido desde la floración, y las unidades calóricas (Wills, 1984). Para que las pruebas de madurez sean prácticas deben ser simples, rápidas y aptas para su utilización en el campo y, en la medida de lo posible, no destructivas.

### Forma y tamaño

En algunos casos, puede utilizarse la forma como índice de madurez de la fruta. El tamaño normalmente tiene un valor muy limitado como índice de madurez en las frutas.

### Color

En numerosas frutas, la desaparición del color verde (frecuentemente designado como color de fondo) constituye una buena guía con respecto a su grado de madurez. Inicialmente, se produce una pérdida gradual de la intensidad del color verde oscuro, hasta alcanzar una tonalidad más clara y en algunos frutos, una desaparición total del verde acompañada de la aparición de pigmentos amarillos rojos o púrpura. Sin embargo, el sistema no es enteramente fidedigno, ya que el color de fondo está influido por otros

factores. La intensidad del color puede medirse objetivamente mediante el empleo de alguno de los numerosos tipos de espectrofotómetros de transmitancia o de reflectancia.

### Firmeza

A medida que va alcanzando su madurez fisiológica y ganando en comestibilidad, la fruta se va ablandando como hemos dicho, debido a la disolución de la lámina media de sus paredes celulares. Este ablandamiento puede medirse objetivamente obteniendo una expresión numérica de su firmeza mediante un penetrómetro, en el que se determina la resistencia a la penetración de un émbolo de dimensiones determinadas.

### Acidez titulable

La acidez titulable también resulta fácil de determinar en el zumo extraído del fruto. Durante la maduración fisiológica y organoléptica decae con frecuencia de un modo muy rápido. La comestibilidad de la fruta suele estar mejor correlacionada con el cociente azúcares solubles totales/ ácido (índice de madurez), que con los contenidos en azúcares o ácidos solamente.

### pH

El pH y la acidez titulable no están directamente relacionados, dado que el pH depende de la concentración de hidrogeniones libres y de la capacidad tampón del zumo extraído; sin embargo, constituye una medida útil, de obtención fácil, por lo que es ampliamente utilizado.

### Determinaciones químicas

Una de las formas de valorar el estado de madurez puede ser la determinación de ciertas características químicas del producto, sistema que ofrece la ventaja de que en numerosas ocasiones tales características están relacionadas con la comestibilidad del producto en cuestión. Un modo sencillo de determinar el grado de madurez de algunas frutas es el basado en la transformación del almidón en azúcar durante el curso de la maduración. El contenido en azúcar se puede medir directamente por procedimientos químicos, pero, como este es el componente mayoritario de los sólidos solubles, resulta más fácil e igualmente útil, determinar los sólidos solubles totales en el zumo extraído, con ayuda del refractómetro.

### Actividad respiratoria

La madurez comercial puede relacionarse con el incremento de la actividad respiratoria en los frutos climatéricos. En la práctica, es necesario correlacionar el punto apropiado de la gráfica que representa la actividad respiratoria a lo largo del ciclo vital con alguna característica que pueda ser fácilmente apreciada en el campo.

### **1.09.3.- Parámetros de calidad en el fruto de pepino dulce**

#### 1.09.3.1.- Parámetros morfológicos

Dada la enorme variabilidad que presentan los frutos del pepino dulce, se puede definir morfológicamente a los frutos midiendo su longitud y diámetro (siempre el más ancho de los posibles), lo que cual da una mínima idea de la forma del fruto. También se puede considerar el peso fresco del fruto, para conocer el estado de crecimiento en el que se encuentra cada fruto. Además, se puede determinar el cociente longitud/anchura (para disponer de una idea más aproximada de la morfología real de los frutos).

#### 1.09.3.2.- Parámetros físico-químicos

##### *Evolución del color*

El cambio de color es una característica externa apreciable durante la maduración de la mayoría de los frutos, aunque según las especies, varía cualitativa y cuantitativamente respecto a la degradación de unos pigmentos y la acumulación de otros. El color verde del fruto se debe a la clorofila, mientras que otros colores como el naranja o el amarillo se deben a antocianinas, carotenoides y flavonoides. Durante la maduración, los cambios en el color se hallan controlados por enzimas que son altamente dependientes del etileno, que regula la síntesis de licopeno y  $\beta$ -caroteno, y la degradación de la clorofila (Hobson y Grierson, 1993).

El color externo de los frutos del pepino dulce y su tamaño, junto a otras características como firmeza y sabor, ocupan un lugar preferente entre los atributos que definen la calidad comercial del pepino dulce, hasta el punto de que pueden ser rechazados si la impresión visual no coincide con el estándar propio del consumidor.

Pueden utilizarse distintos parámetros como índice para determinar el momento óptimo de la recolección de los frutos, tales como el color externo del fruto, el contenido en sólidos solubles, la acidez valorable y el índice de madurez. El color como

parámetro de calidad ha sido utilizado en otras especies frutales como melocotón, pera, cereza, nectarina, manzana, melón, etc. (Manera *et al.*, 2010).

A medida que el pepino dulce se acerca a su madurez, el color de fondo de la piel cambia de verde oscuro a verde pálido y posteriormente se produce un amarilleamiento gradual. Simultáneamente al viraje de color se manifiestan unas vetas moradas cuando está expuesto a la luz, ya sea directa o indirectamente. Cuando hay luz indirecta, la pigmentación y madurez es más pareja y de mejor presentación con vetas de mayor dimensión (Arenas, 1992).

Se ha observado que el color de fondo está influenciado por el vigor de las plantas, el nivel de fertilización nitrogenada y en especial, las condiciones climáticas (Arenas, 1992). En los frutos provenientes de plantas vigorosas y sometidas a una alta fertilización nitrogenada es más lento el desarrollo de la coloración amarilla y de la pigmentación; en el mismo estado, son de un color más verde que los frutos de vigor moderado a bajo (Nuez y Ruiz, 1996).

El color es una respuesta mental al estímulo producido en la retina por una radiación luminosa visible, pero la medida de este estímulo depende de las condiciones que lo rodean. Para lograr unificar dichas medidas se han definido unas condiciones estándar que permiten obtener resultados comparables, como son: el observador, el iluminante, la geometría de iluminación-observación y el intervalo de medida (Montes *et al.*, 2004).

El estímulo cromático está caracterizado por una colorimetría con un carácter tridimensional, que permite obtener una medida objetiva del color por medio de tres atributos psicométricos. Estos son: el tono, la saturación y la luminosidad (Hutchings, 1994).

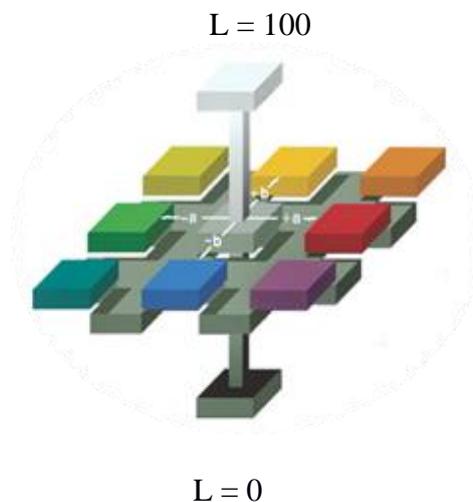
El tono se refiere a la característica que permite clasificar un color como rojo, amarillo, verde o azul, y está relacionado con las diferencias de absorbancia/transmitancia de la energía radiante a diferentes longitudes de onda; es decir, es el atributo cualitativo del color.

La saturación describe la intensidad con la que un color se separa del gris neutro y se acerca a un color puro del espectro, y describe la reflexión a una determinada longitud de onda; es considerado el atributo cuantitativo de la cromaticidad.

La luminosidad permite clasificar el color como claro u oscuro, y se define como la característica de una sensación de color que la hace equivalente a la producida por algún elemento de la escala de grises que va desde el blanco (máxima luminosidad:  $L=100$ ) hasta el negro (mínima luminosidad:  $L=0$ ). Esta característica es una medida relativa de la luz reflejada frente a la absorbida (C.I.E., 2004).

La Comisión Internacional de Iluminación (C.I.E.: “*Commision Internacionale de l’Eclairage*”) propone diversos sistemas para definir el color, siendo el más reciente el espacio CIE  $L^*a^*b^*$ , que se representa en coordenadas rectangulares como luminosidad ( $L$ ), y cromaticidad ( $a$  y  $b$ ), como observamos en la figura 1.01. Los componentes de cromaticidad presentan valores desde  $-a$ , verde, a  $+a$ , rojo ( $-100$  a  $+100$ ), y desde  $-b$ , azul, a  $+b$ , amarillo ( $-100$  a  $+100$ )

Las medidas del color en los frutos se suelen realizar con un colorímetro, midiendo la reflexión de la luz y efectuando las medidas sobre un área circular de la superficie del fruto de diámetro conocido. Dichas medidas se cuantifican a través de las coordenadas:  $L$ ,  $a$  y  $b$ . A partir de estas coordenadas rectangulares, se estiman las coordenadas cilíndricas Tono *Hue*, *Croma* e *Índice de color*.



**Figura 1.01.-** Escala de color CIE  $L^*a^*b^*$  (Hunter Associates Laboratory, Inc., 2012)

Tono *Hue*:

Es una medida angular; numéricamente corresponde al ángulo de matiz que varía entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$ , brindando una idea aproximada del color al que se parece el estímulo percibido por el objeto iluminado, donde  $0^\circ$  (o  $360^\circ$ ) indica coloraciones rojo-púrpura,  $90^\circ$  amarillas,  $180^\circ$  verdes y  $270^\circ$  azules (Francis, 1980). Los tonos correspondientes a los distintos ángulos de matiz se presentan en la figura 1.02.



**Figura 1.02.-** Tonos aproximados correspondientes a distintos valores del ángulo *Hue*.

Su valor se calcula a partir de las siguientes fórmulas:

$$\text{Hue} = \text{arc tg} \left\{ \frac{b}{a} \right\} \text{ cuando } a > 0 \text{ y } b > 0$$

$$\text{Hue} = 180 + \text{arc tg} \left\{ \frac{b}{a} \right\} \text{ cuando } a \leq 0$$

Si  $a$  y  $b$  son distintos de 0, el valor arco tangente ( $a/b$ ) proporciona el valor de Hue en radianes, en el intervalo que va de  $-\pi$  a  $\pi$ , y posteriormente se convierte en grados. Para llevarlo al intervalo de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , hay que sumar 360 si el resultado es negativo.

Croma:

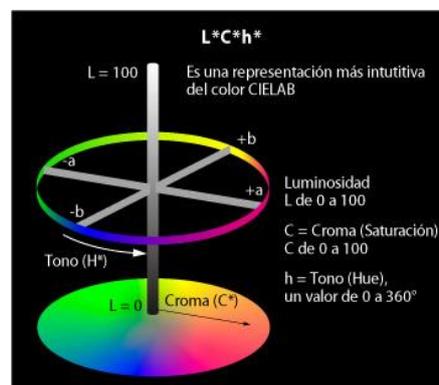
Indica la intensidad o saturación del color, atributo que permite estimar la proporción de color cromático puro contenido en la sensación total (Figura 1.03). Numéricamente corresponde a la distancia desde el centro de la esfera de color al punto en cuestión (Stern, 2005). Su valor se obtiene mediante la fórmula:

$$\text{Croma} = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Índice de color: IC

Permite reflejar la evolución del fruto en el intervalo de valores comprendido entre el verde oscuro y el naranja intenso, y proporciona una excelente correlación entre la apreciación visual y la instrumental (Jiménez-Cuesta *et al.*, 1981; Martínez-Jávega *et al.*, 2004). Se mide empleando la fórmula:

$$\text{IC} = \frac{1000 a}{b L}$$



**Figura 1.03.-** Escala de color CIE  $L^*a^*b^*$  (Hunter Associates Laboratory, Inc., 2012)

### *Sólidos Solubles Totales (°Brix)*

Los azúcares son los principales sólidos solubles en el zumo de las frutas y, por tanto, los sólidos solubles pueden emplearse como una estimación del contenido de azúcares, aunque también contribuyen a los sólidos solubles totales los ácidos orgánicos, los aminoácidos, los compuestos fenólicos y las pectinas solubles (Mitcham *et al.*, 1996). En las frutas no climatéricas, los azúcares tienden a acumularse durante la maduración. Así, la medición de azúcares en el fruto puede proporcionar un índice de la madurez de la fruta y en la mayoría de los casos, este valor refleja la dulzura de la misma (Thompson, 1998). Generalmente, cuanto mayor sea el contenido en sólidos solubles totales, más madura y más dulce será el fruto.

Los sólidos solubles totales se miden mediante un refractómetro, en donde los valores del índice de refracción son convertidos a la escala de °Brix. El grado Brix se define como el índice de refracción de una solución acuosa de sacarosa con una concentración de un gramo por litro. Para productos que no contienen una gran cantidad de sólidos suspendidos los resultados son muy precisos y muy significativos.

### *Firmeza*

Es un atributo de calidad muy importante para cualquier fruto y tiene el mismo peso que la apariencia y el sabor. Es la percepción humana de las propiedades mecánicas de un alimento y corresponde a un grupo de características físicas que son percibidas por el sentido del tacto. La textura viene dada por los polisacáridos estructurales (sustancias pécticas). La pérdida de la firmeza durante la maduración es un factor que determina la calidad del fruto y la vida útil post-cosecha. La compleja relación entre la composición de carbohidratos, la estructura celular y las propiedades físicas del tejido es muy complicada, debido al incremento celular, que continúa durante todo el proceso de la maduración.

La firmeza proporciona un índice para la determinación del periodo más oportuno para llevar a cabo la cosecha y para su control durante la conservación en frío. Existen diversos medios para cuantificar la firmeza o la textura, pero el más empleado es el penetrómetro, que mide la fuerza en kilos para penetrar el tejido. Para frutas o vegetales duros el rango de fuerza necesaria oscila entre 0-13 kg y para blandos, como es el caso del pepino dulce, de 0-5 kg.

### *Acidez titulable*

La acidez titulable es una aproximación de la acidez total en frutas, y representa el contenido en ácidos. En la mayoría de las frutas ésta evoluciona durante la maduración. Una medida general de la acidez de las frutas se obtiene titulando el zumo de las mismas con una solución estándar alcalina, generalmente hidróxido de sodio. Es importante medir la acidez por titulación y no por el pH de la fruta, debido a la considerable capacidad reguladora de los zumos de las frutas.

Se determina neutralizando los ácidos presentes con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N e indicador de fenolftaleína, hasta alcanzar un pH de 8.1. La acidez puede ser expresada de varias maneras dependiendo del ácido predominante en el fruto. En el caso del pepino dulce el ácido mayoritario es el ácido cítrico, por lo que se asume que 1 mL de NaOH (0,1 N) neutraliza 0.064 g de ácido cítrico. La acidez titulable suele medirse usando una bureta volumétrica o digital, y un medidor de pH.

#### 1.09.3.3.- Parámetros bioquímicos

##### *Contenido en carbohidratos*

Una de las formas de valorar el estado de madurez óptimo es la cuantificación de los carbohidratos presentes. En general, un modo sencillo de determinar el grado de madurez de algunas frutas es el basado en la transformación del almidón en azúcares solubles durante el curso de la maduración. Los principales monosacáridos de las frutas son la fructosa y la glucosa; otros monosacáridos sólo se encuentran en cantidades traza. El disacárido más importante es la sacarosa (Primo-Yúfera, 1997). La cuantificación de los carbohidratos puede realizarse mediante distintas técnicas, aunque una de las más empleadas es la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

#### 1.09.3.4.- Parámetros fisiológicos

##### *Tasa respiratoria y etileno producido*

La intensidad respiratoria de un fruto nos da una medida del estado fisiológico del mismo, que se puede complementar con la cuantificación del etileno producido. En los frutos climatéricos tiene especial relevancia el hecho de determinar el incremento de la tasa respiratoria que se produce antes del climaterio, así como el pico en la producción de etileno. En la práctica, es necesario correlacionar el punto apropiado de la gráfica que representa la actividad respiratoria a lo largo del ciclo vital con alguna característica que pueda ser fácilmente apreciada en el campo.

### 1.10.- LA RESPIRACIÓN

La respiración es la central energética que dirige las fuerzas celulares necesarias para la biosíntesis, el mantenimiento celular y el transporte activo en plantas, está acoplada a la producción de ATP, poder reductor, esqueletos de carbono y es el proceso que provee numerosos sustratos para las reacciones de biosíntesis en el citoplasma. La demanda y oferta de estos metabolitos producidos a partir del proceso respiratorio varía dependiendo del tejido particular, el estado de desarrollo de la planta y de factores medio ambientales (Douce y Neuburger, 1989).

Es un proceso metabólico fundamental en los tejidos vivos, y puede describirse como la degradación oxidativa de los productos más complejos normalmente presentes en las células, como el almidón, los azúcares solubles y los ácidos orgánicos, a moléculas más simples, como el dióxido de carbono y el agua, con la consiguiente liberación de energía y otras moléculas, que pueden ser utilizadas para las reacciones de síntesis celular. La respiración puede tener lugar en presencia de oxígeno (respiración aeróbica), o en su ausencia (respiración anaeróbica; Wills, 1984). El metabolismo respiratorio consume reservas celulares que deben estar presentes en cantidades suficientes para que el fruto pueda sobrevivir después de la recolección. El almidón, los fructanos, la sacarosa y otros azúcares, grasas, ácidos orgánicos, e incluso las proteínas bajo determinadas condiciones, pueden servir como sustratos respiratorios (Salisbury y Ross, 2000).

La glucosa puede ser utilizada como fuente de energía, tanto en condiciones aerobias como anaerobias. El máximo de energía producida a partir de compuestos orgánicos oxidados se logra en general, sólo bajo condiciones aerobias. La respiración de la glucosa, por ejemplo, puede expresarse de la siguiente forma:



Esta reacción corresponde al proceso denominado respiración celular aeróbica, que implica tres fases: glucólisis, ciclo de Krebs y cadena de transporte electrónico. La glucólisis sucede en el citosol; el ciclo de Krebs, en la matriz de la mitocondria, y la cadena de transporte de electrones en la membrana interna del mismo orgánulo (Atkin y Tjoelker, 2003).

En términos generales, la glucólisis es un proceso en el que la sacarosa es dividida en dos azúcares de seis carbonos, que entran en la cadena de reacciones y son

convertidos en piruvatos, que al perder un átomo de carbono, se incorporan al ciclo de ácidos tricarboxílicos como Acetil-CoA, en la mitocondria; adicionalmente se obtiene energía química en forma de ATP en pequeñas cantidades, poder reductor en forma de NADH y algunos ácidos inorgánicos como el malato (Rocha *et al.*, 2010).

Dentro de la mitocondria se desarrollan las dos fases siguientes de la respiración; en la matriz de este orgánulo se encuentra la maquinaria enzimática necesaria para dirigir el conjunto de reacciones del Ciclo de Krebs, en las cuales se obtienen como productos, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y precursores de otras rutas metabólicas de importancia para la célula; adicionalmente se genera una gran cantidad de poder reductor y se sintetiza ATP (Van der Merwe *et al.*, 2010).

Finalmente, la última fase respiratoria, la fosforilación oxidativa, es un proceso que está acoplado a varios complejos, en su mayoría proteicos, que se encuentran inmersos en la membrana interna de la mitocondria y que consiste en una serie de reacciones de oxido-reducción que finalmente reducen la molécula de oxígeno, obteniendo como resultado agua. Mientras se produce esta cadena de transporte de electrones se utiliza la mayor parte de poder reductor generado en las fases anteriores y se genera un gradiente de concentración de protones hacia el espacio intermembranal con el cual se dirige la síntesis de ATP en una de las formas más eficientes y comunes en los organismos aeróbicos (Kadenbach *et al.*, 2010).

La medida de la respiración nos proporciona una ventana a través de la cual se puede determinar la actividad metabólica de los tejidos vegetales. La velocidad a la que transcurre la respiración de un fruto constituye un índice de la actividad metabólica de sus tejidos. Además, es un parámetro eficaz para la predicción de la vida útil.

La actividad respiratoria es más alta en las fases previas a la maduración y disminuye posteriormente. Pero hay un grupo significativo de frutas en que la actividad respiratoria aumenta de un modo muy acusado durante la maduración organoléptica. A este incremento de la actividad respiratoria se le denomina climaterio. La intensidad y duración de la respiración climatérica varía ampliamente de unas especies a otras (Wills, 1984).

Según la pauta respiratoria que siguen los frutos en las últimas fases de la maduración, pueden clasificarse como frutos climatéricos y no climatéricos (Biale, 1960; Biale y Young, 1981; Barceló, 1998; Côme y Corbineau, 2002a, 2002b; Kader,

2002,b). Los frutos climatéricos se definen como aquellos cuya intensidad respiratoria disminuye de forma continua durante todo el crecimiento hasta alcanzar un mínimo (mínimo climatérico) cuando el fruto alcanza su tamaño máximo. Cuando comienza a madurar aumenta de nuevo la producción de dióxido de carbono y la disminución de la concentración de oxígeno interno (crisis climatérica), hasta alcanzar el valor máximo al final de la maduración (pico climatérico). Este incremento de la respiración se debe a que el almidón que ha acumulado el fruto durante su crecimiento, se hidroliza a monosacáridos (Biale y Young, 1981). Finalmente, la respiración disminuye rápidamente durante la senescencia.

Mientras se produce la crisis climatérica, entre el mínimo y el máximo climatérico, es cuando se producen los principales cambios bioquímicos característicos de la maduración.

Los frutos climatéricos tienen la propiedad de poder madurar después de la recolección. A diferencia de ellos, los frutos no climatéricos, no pueden continuar madurando una vez recolectados, y no muestran cambios bruscos en la intensidad respiratoria; a medida que el fruto se va desarrollando, la intensidad respiratoria disminuye, no produciéndose en ningún momento el pico climatérico. Cuando cesa la actividad respiratoria se produce la senescencia (Ortolá, 2002).

### **1.10.1.- Tasa Respiratoria**

Para medir la tasa de respiración de las plantas se pueden utilizar tanto la emisión de CO<sub>2</sub> como el consumo de O<sub>2</sub> (Azcón-Bieto, 2000). La tasa respiratoria (TR) de un fruto se define como la cantidad de dióxido de carbono emitido (TR<sub>CO<sub>2</sub></sub>) o la cantidad de oxígeno consumido (TR<sub>O<sub>2</sub></sub>), por unidad de peso fresco del fruto (kg) y unidad de tiempo (h; Fonseca *et al.*, 2002). Las unidades de la TR pueden ser también en moles: mol\*kg<sup>-1</sup>\*h<sup>-1</sup>, en unidades de presión: atm\* kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> o de volumen: mL kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>.

La TR de las células está íntimamente ligada a su nivel de metabolismo, ya que la energía obtenida en la respiración conduce a otras reacciones dentro de la célula. Así, la medida de la respiración proporciona una medida fácil e inequívoca para seguir el estado metabólico y fisiológico de los tejidos vegetales. Por este motivo es clave conocer la fisiología post-cosecha de los frutos, donde los estado de maduración y senescencia se visualizan a menudo por cambios bruscos en el comportamiento respiratorio.

En los frutos climatéricos, el aumento de la respiración es debido más a la producción de CO<sub>2</sub> que al consumo de O<sub>2</sub>, lo que se debe a la existencia de descarboxilaciones no oxidativas ligadas al metabolismo de los ácidos tricarbónicos del ciclo de Krebs. Este aumento de la TR que caracteriza a los frutos climatéricos es irreversible, y viene promovido por un incremento de la concentración activa de etileno en los espacios intercelulares del mesocarpo. Su cinética se inicia con un descenso lento, hasta valores relativamente bajos, inmediatamente antes del comienzo de la maduración, y prosigue elevándose hasta alcanzar un máximo a medida que el fruto madura, para descender de nuevo durante la senescencia. En cambio, en los frutos no climatéricos este proceso es reversible.

En los productos vegetales, la TR es un buen indicador de la actividad metabólica y, además, un parámetro eficaz para la predicción de la vida útil. Numerosos factores externos determinan la TR. La recolección de los frutos, así como su manipulación, estimulan la TR de los frutos (Parker *et al.*, 1984). También la temperatura juega un importante papel (Vakis *et al.*, 1970). Como las posibilidades de conservación de un determinado fruto tras su recolección están en relación inversa con su actividad metabólica, la TR se considera con frecuencia un índice de su vida potencial de almacenamiento. Su regulación en frutas y hortalizas puede considerarse el resultado de la interacción de la vía glucolítica, de la vía fermentativa, del ciclo de los ácidos tricarbónicos y del sistema mitocondrial de transporte de electrones, presumiblemente a través de la influencia de la síntesis, degradación, inactivación y/o activación de las enzimas respectivas, también Y de efectos antagónicos de la acción del dióxido de carbono y del etileno, así como su influencia en el metabolismo secundario a través de una alteración del pH celular (Mathooko, 1996).

### **1.10.2.- Métodos de determinación de la Tasa Respiratoria**

Los métodos para la medida de la tasa respiratoria se pueden clasificar como:

#### **1.10.2.1.- Método Dinámico**

Consiste en hacer pasar una corriente de gas, con un flujo de aire de velocidad conocida, a través de un recipiente que contiene fruta. La tasa respiratoria se calcula conociendo el ritmo del flujo y determinando la diferencia de concentración de O<sub>2</sub> y/o CO<sub>2</sub> entre las corrientes de entrada y salida (Lee *et al.*, 1991).

En general, la concentración de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> a la salida se mide por cromatografía de gases (Sekse, 1988; Lee *et al.*, 1991; McLaughlin y O'Beirne, 1999). Como los cambios en la concentración de O<sub>2</sub> son muy pequeños con relación a la concentración en el aire, resulta más fácil medir la producción de CO<sub>2</sub> (Salveit, 2003). Por eso, este método es preferible para frutos con un índice respiratorio elevado, siendo necesarios tiempos de experimentación muy largos. Por otra parte, el flujo de aire en torno al producto puede llegar a remover etileno y otros volátiles que pueden influir en la tasa respiratoria. Esto es muy diferente de las condiciones reales durante el almacenamiento comercial, donde las tasas de ventilación utilizadas normalmente son bajas (Stern, 2005).

### 1.10.2.2.- Método Estático

Consiste en colocar el producto en un recipiente cerrado e impermeable, con una concentración de aire inicial cuantificada, midiéndose la acumulación de CO<sub>2</sub> o el agotamiento de O<sub>2</sub> en el espacio de cabeza, resultantes de la respiración después de un determinado periodo de tiempo (Salveit, 2003). Este método sólo es útil en períodos breves tiempo, ya que las variaciones que ocurran en la composición de la atmósfera como consecuencia de la actividad metabólica del fruto inducirán cambios en la velocidad de respiración y, por tanto, los resultados no reflejarían la actividad del fruto en condiciones normales. Por ello, el tiempo de medida debería ser tan corto como sea necesario para acumular suficiente gas para obtener una medida precisa (Salveit, 2003). Por este motivo, es un método de análisis más adecuado para productos con bajas tasas respiratorias, siendo menos exacto que el método dinámico (Stern, 2005).

### 1.10.2.3.- Método Estacionario

Este método es similar al método estático con la diferencia de que se utiliza un envase semipermeable en vez de un recipiente cerrado. Tiene la ventaja de que mantiene el entorno experimentado por los frutos cuando son envasados, es simple, barato, y el tiempo y trabajo para llevar a cabo los experimentos puede ser inferior al de los métodos anteriores (Lee, 1987).

El sistema permeable es un sistema dinámico en que las concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> cambian con el tiempo antes de alcanzarse el equilibrio. Ambas fases, no estacionaria y estacionaria, pueden ser utilizadas para estimar la tasa respiratoria de los

productos, mientras que el método estático apenas utiliza datos no estacionarios y el método dinámico datos estacionarios (Stern, 2005).

Este método tiene la desventaja de que se pueden introducir más errores en los cálculos debido a que cada envase tiene una permeabilidad, área y volumen diferente. Además, requiere más tiempo que el método dinámico (una semana aproximadamente) para alcanzar las condiciones de equilibrio. Y a veces puede ser difícil determinar con exactitud las concentraciones de gases en la fase de equilibrio, debido a grandes variaciones en los datos. En cualquier caso, si el material de envasado es elegido correctamente, este método parece ser más indicado que los anteriores (Lee *et al.*, 1996).

### **1.11.- ETILENO**

El etileno ( $C_2H_4$ ) es un gas incoloro; una molécula orgánica con actividad biológica producida por todas las plantas, algunos hongos, levaduras y bacterias (Srivastava, 2002).

La sencillez de su estructura química y su naturaleza gaseosa a temperatura y presión ambiente, le confieren ciertas ventajas especiales como regulador del desarrollo de las plantas. Su capacidad de difusión por los espacios intercelulares le permite, a diferencia de otras fitohormonas, alterar la concentración interna en los tejidos simplemente con cambios en la velocidad de síntesis. Esta característica le ofrecería la posibilidad de actuar como una señal ante una alteración externa impuesta en otros lugares de la planta, coordinando una respuesta rápida y uniforme en distintos tejidos, bien frente a un estímulo ambiental o a un determinado proceso de desarrollo (Zacarías *et al.*, 2002). El etileno tiene, entre otras, la propiedad de aumentar la actividad metabólica de los frutos, acelerando su maduración y senescencia. Su biosíntesis, por tanto, se incrementa en plantas sometidas a estrés y se asocia con procesos de senescencia y maduración. Dentro de sus funciones fisiológicas más investigadas se encuentran las relacionadas con la abscisión de hojas, marchitamiento de flores, maduración de frutos y otros procesos relacionados con el envejecimiento, y se plantea su participación en la degradación de clorofila y peroxidación de lípidos de las membranas celulares. Procesos como el reblandecimiento de la pulpa (Haji *et al.*, 2003; Hiwasa *et al.*, 2003), el cambio de color (Flores *et al.*, 2002), y la producción de compuestos volátiles, responsables del aroma, dependen en gran medida de la producción de etileno (Alexander y Grierson, 2002; Kader, 2002a). También favorece la

epinastia de hojas, la germinación de semillas, pone fin a la latencia de brotes y promueve la síntesis de enzimas relacionadas con defensa a patógenos, daños mecánicos o en situaciones de estrés, entre otros (Santner y Estelle, 2009).

La ruta de biosíntesis del etileno se produce mediante unas reacciones metabólicas a partir del aminoácido metionina. El primer paso de la ruta es la síntesis de la forma activa de la metionina, la S-adenosil-metionina (SAM), conversión catalizada por la enzima S-adenosil-metionina sintetasa. Esta sustancia no es específica de la síntesis de etileno, puesto que también es precursora de otras rutas metabólicas de las plantas. La segunda etapa de la ruta constituye la primera reacción específica de la síntesis de etileno, y consiste en la conversión de SAM en el ácido 1-amino-ciclopropano-1-carboxílico (ACC), catalizada por la enzima ACC-sintasa. Finalmente, el ACC se convierte en etileno por la acción de la enzima ACC-oxidasa, liberando al mismo tiempo  $\text{CO}_2$  y HCN (Azcón-Bieto y Talón, 1993). Esta reacción necesita la presencia de oxígeno para producirse.

Así, cuando durante la maduración se produce un aumento en la producción de etileno, éste viene precedido por un incremento en la ACC-oxidasa. La presencia de etileno estimula la actividad ACC-oxidasa, hecho que pone de manifiesto el mecanismo de autocatálisis de esta hormona (Matoo y Suttle, 1991).

Se ha propuesto la existencia de dos mecanismos regulatorios de la síntesis de etileno. El primero se iniciaría durante el desarrollo vegetativo y el crecimiento del fruto, y sería el responsable de los niveles basales de etileno que existen antes de la maduración. Este sistema desencadenaría el segundo, responsable de la producción de grandes cantidades de etileno en los frutos climatéricos, necesarias para completar la maduración organoléptica. En los frutos no climatéricos, este segundo sistema carecería de actividad (Wills, 1984).

El segundo sistema de síntesis de etileno, único en frutos climatéricos, es el responsable de la producción autocatalítica de etileno que acompaña la maduración de estos frutos. (Tucker, 1996). La aplicación exógena de este gas, incluso a concentraciones muy bajas, y siempre que el oxígeno esté presente (Arnal y Del Rio, 2003), puede inducir su autocatálisis y desencadenar el climaterio en frutos climatéricos inmaduros, disparando o acelerando su maduración (Brady, 1987).

En respuesta a la aplicación exógena de etileno a frutos preclimatéricos, se inicia el proceso de maduración y la intensidad respiratoria alcanza valores máximos, tanto más cuanto mayor es la concentración de etileno aplicada. En frutos no climatéricos, el etileno exógeno únicamente provoca un incremento de la tasa respiratoria y acelera la degradación de las clorofilas y la síntesis de carotenoides, pero el tratamiento no dispara la producción de etileno endógeno, sin que se acelere el auténtico proceso de maduración. Carecen del segundo sistema de producción autocatalítica de etileno. Ciertos procesos asociados a la maduración como la coloración de la pulpa, la acumulación de azúcares, la pérdida de acidez, parecen estar regulados por una vía independiente del etileno (Guis *et al.*, 1997).

El incremento de la actividad respiratoria en respuesta al etileno puede ocurrir más de una vez en los frutos no climatéricos, y sólo una en los climatéricos (Wills, 1984). La diferencia en este comportamiento reside en la diferente capacidad de los frutos climatéricos y no climatéricos para iniciar la síntesis endógena de etileno en respuesta a un tratamiento con etileno. Este aumento en la síntesis de etileno es lo que se denomina producción autocatalítica de etileno.

Como hemos dicho, el etileno tiene, entre otras, la característica de aumentar la actividad metabólica de los frutos, acelerando su maduración y senescencia. Procesos como el reblandecimiento de la pulpa (Haji *et al.*, 2003; Hiwasa *et al.*, 2003), el cambio de color (Flores *et al.*, 2002), y la producción de compuestos volátiles, responsables del aroma, dependen en gran medida de la producción de etileno (Alexander y Grierson, 2002; Kader, 2002a).

Para ejercer su acción fisiológica, el etileno se fija a receptores específicos de la membrana celular, produciéndose una respuesta que es el desencadenamiento de la maduración. La hormona se une al receptor y esta unión promueve la liberación de un segundo mensajero, que actúa a nivel del material genético, activando la expresión de determinados genes entre los que se encuentran los que codifican la síntesis de enzimas que llevan a cabo las acciones inducidas por el etileno. La acción del etileno puede estar regulada por cambios en la cantidad de receptores disponibles o por la interferencia en la fijación del etileno sobre estos receptores. En frutos climatéricos, al tratarlos con etileno exógeno se desencadena la síntesis de etileno endógeno, por lo que aumentará la cantidad de etileno alrededor del fruto y sus efectos se incrementarán. Sin embargo, en

frutos no climatéricos, al tratar los frutos con etileno exógeno, no se desencadena producción de etileno endógeno en el fruto.

Todos los frutos producen pequeñas cantidades de etileno a lo largo de su desarrollo (Wills, 1984). Sin embargo, la forma en que se realiza este proceso es diferente en frutos climatéricos y no climatéricos. Ambos tipos de frutos liberan etileno en concentraciones relativamente elevadas después de la antesis. La liberación del gas continua a intensidades muy bajas durante el crecimiento y la maduración en frutos no climatéricos, y la consecución de la madurez total no está asociada con un aumento en la liberación de la hormona. Por el contrario, en los frutos climatéricos, la liberación de etileno aumenta drásticamente durante la maduración, observándose un brusco aumento en su concentración interna durante la misma.

La producción de etileno es característica de cada proceso de desarrollo y de respuesta al estrés. Entre los factores que afectan a la producción de etileno podemos citar (Côme y Corbineau, 2002a): i) la especie: no todos los frutos producen la misma cantidad de etileno; ii) el estado de madurez: en los frutos climatéricos la máxima producción de etileno se observa en la última fase de maduración; iii) desórdenes producidos por estrés: la presencia de heridas, golpes, cortes o daños por frío inducen su producción; iv) composición de la atmósfera: la máxima producción de etileno se da con concentraciones de oxígeno similares a las contenidas en el aire (21%); si esta concentración disminuye, la síntesis de etileno es menor; si la concentración de CO<sub>2</sub> aumenta, la emisión de etileno también disminuirá; v) temperatura: las bajas temperaturas disminuyen la actividad enzimática. Con altas temperaturas también se ralentiza la producción de etileno.

### **1.12.- CLIMATERIO**

Se define climaterio como un periodo en el desarrollo de ciertos frutos, durante el cual tienen lugar una serie de cambios bioquímicos iniciados por la producción autocatalítica de etileno, que señala el cambio de crecimiento a envejecimiento, implica un aumento en la respiración y conduce de forma irreversible a la maduración del fruto (Barceló *et al.*, 2000).

De acuerdo entonces con el patrón respiratorio y la síntesis de etileno en una etapa inicial de la madurez, los frutos han sido clasificados en dos categorías: climatéricos y no climatéricos (Biale, 1960; Seymour *et al.*, 1993; Kuntz *et al.*, 1998).

Los frutos climatéricos tienen la propiedad de poder madurar después de la recolección; a diferencia de éstos, los frutos no climatéricos no pueden madurar una vez han sido recolectados. En estos últimos a medida que el fruto se va desarrollando la intensidad respiratoria disminuye, y cuando cesa la actividad respiratoria, se produce la senescencia. (Wills *et al.*, 1984).

Frutos climatéricos: Acumulan almidón durante su crecimiento y, en la maduración, lo hidrolizan a monosacáridos, glucosa y fructosa, sobre todo. Como ello exige una gran cantidad de energía, en estos frutos la maduración se caracteriza por un aumento de la respiración, que va precedido de otro incremento en la producción de etileno. Normalmente, la respiración desciende con lentitud a valores bajos inmediatamente antes del comienzo de la maduración, aumenta hasta alcanzar su máximo valor conforme el fruto madura y desciende de nuevo durante la post-maduración y senescencia. En general, los frutos que maduran relativamente rápido siguen un comportamiento climatérico.

Frutos no climatéricos: Se caracterizan porque durante su crecimiento acumulan directamente monosacáridos y, por tanto, durante la maduración no experimentan incrementos significativos de su tasa respiratoria. En estos frutos, la producción de etileno permanece en niveles relativamente bajos y la respiración no sufre cambios drásticos. Desciende lentamente a partir de la antesis, incrementándose un poco al final de la maduración o en la post-maduración. La velocidad de maduración varía considerablemente de unos frutos a otros; en unos casos se asemeja a la de los frutos climatéricos, y en otros se retrasa varios meses (Azcón-Bieto y Talón, 1993).

Al estudiar el incremento respiratorio de los frutos climatéricos tras su recolección, se observa un incremento notable en el desprendimiento de CO<sub>2</sub>; a continuación, se producen todos los cambios característicos de la maduración. Un proceso similar, aunque más lento, se produce cuando los frutos permanecen en el árbol.

Uno de los efectos más destacables del etileno en la maduración de los frutos es su implicación en el desarrollo de la coloración. El etileno es capaz de modular la expresión de ciertos genes de la ruta de biosíntesis de carotenoides, modificando así la

acumulación de estos pigmentos y, por tanto, la coloración del fruto. En algunos frutos, el etileno favorece la síntesis y acumulación de carotenoides (Alba *et al.*, 2005).

Durante la maduración de los frutos climatéricos se produce la acumulación masiva, entre el 30 y 50%, de azúcares (glucosa, fructosa y, en menor cuantía, sacarosa). Estos azúcares representan, finalmente, entre el 1.5 y el 5 % del peso total del fruto, denominándose sólidos solubles. En la práctica, se determinan por refractometría, y se expresan en °Brix. En contraposición, la concentración de ácidos acumulados durante el desarrollo desciende con el avance de la maduración. Ello es consecuencia de su dilución, provocada por la acumulación de agua, y de su metabolismo (respiración). Los ácidos más frecuentes de los frutos climatéricos son el ácido málico y el ácido cítrico.

En los frutos no climatéricos, los cambios que se producen son similares a los indicados en los climatéricos, pero más lentos. La diferencia más notable entre la maduración de los frutos no climatéricos y climatéricos radica en el reblandecimiento de los tejidos y su evolución. Los constituyentes más importantes de las paredes celulares son celulosa, hemicelulosa, proteínas y sustancias pécticas. Los compuestos pécticos insolubles de la lámina media son responsables de la cementación entre células y, por tanto, confieren consistencia al tejido. El reblandecimiento progresivo de los frutos durante la maduración es consecuencia de la solubilización gradual de estas pectinas, lo que reduce la cohesión del tejido. La enzima pectinmetilesterasa facilita la pérdida de los radicales metilo de las pectinas y, a continuación, la poligalacturonasa hidroliza los polímeros de ácido poligalacturónico. Esta última enzima no se encuentra en el fruto hasta la maduración, y al iniciarse ésta, es cuando se sintetiza. Debido a esto se piensa que su aparición constituye el punto de partida de la maduración de frutos climatéricos.

El desprendimiento de CO<sub>2</sub> sólo se produce cuando la producción de etileno supera un valor umbral, que varía con la especie y variedad, y la actividad de la poligalacturonasa comienza después de iniciarse la síntesis de etileno (Agustí, 2000).

### **1.12.1.- Controversia sobre la clasificación del fruto de pepino dulce como climatérico o no climatérico**

Existen diferentes opiniones respecto a si el fruto de pepino dulce es o no climatérico y éste es un factor fundamental a la hora de decidir el momento óptimo de la recolección. Para que el fruto llegue en óptimas condiciones al consumidor es necesario

conocer los mecanismos del comportamiento del fruto una vez ha sido recolectado, es decir, si se asemeja o no, a un comportamiento climatérico.

Bravo y Arias (1983), basándose en experimentos realizados en Chile, afirman que el fruto de pepino dulce puede continuar su proceso de maduración después de separarse de la planta, requiriendo temperaturas por encima de los 15 °C; la aplicación de etileno, según estos autores, estimula el proceso. Estudios realizados en Estados Unidos (Cantwell *et al.*, 1992) planteando distintas condiciones en ensayos post-cosecha en el cv. ‘Toma’, procedente de Chile, obtuvieron patrones de respiración y de producción de etileno no climatéricos. Ahumada y Cantwell. (1995) plantearon una recolección de frutos en tres estados, basándose en el color externo que presentaban los mismos, almacenándose durante periodos de dos o cuatro semanas, y a tres temperaturas diferentes. Los frutos de todos los estados de madurez presentaron bajos índices de respiración y de producción de etileno. Los frutos tratados con etileno provocaron un incremento en la respiración y un avance en el estado de maduración. Los estudios llevados a cabo por Kader (2005) en condiciones análogas, concluyeron que la exposición de frutos de pepino dulce a etileno estimula tanto la degradación de la clorofila como la tasa de respiración del fruto en estado verde-maduro, pero no tiene ningún efecto sobre frutos completamente maduros.

En Australia, El-Zeftawi *et al.* (1988) encontraron que los tratamientos en post-cosecha con etefón (*ethephon*; ácido-2-cloroetil-fosfónico), en el cv. ‘Golden Splendour’, dispararon la producción interna de etileno y la maduración del fruto, mejorando el color, el contenido en sólidos solubles y el aroma, siendo para ello necesarias dosis altas. Sin embargo, Heyes *et al.* (1994) trabajando en Nueva Zelanda con el cv. ‘El Camino’ (procedente de Chile), llegaron a la conclusión de que debe considerarse al fruto del pepino dulce como no climatérico, ya que el propileno no estimuló la síntesis endógena de etileno, aunque produjo un incremento transitorio de la respiración, aceleró el cambio de color y el ablandamiento del fruto. El contenido en sólidos solubles no sufrió ningún cambio.

### **1.12.2.- Aplicación exógena de etefón**

La aplicación de etileno exógeno a las plantas tiene un gran interés en agricultura por la cantidad de procesos en que este fitorregulador está involucrado; pero dada la dificultad de aplicación de un gas en condiciones de campo, se han desarrollado

sustancias liberadoras de etileno, de entre las que el etefón ha sido la más ampliamente difundida (Abeles, 1973). El uso más extendido que se ha dado al etileno y a los compuestos que liberan este gas, es probablemente, el estímulo de la maduración en los frutos.

El etefón es un regulador del desarrollo en plantas con propiedades sistémicas. Una vez aplicado, penetra fácilmente en el interior de los tejidos, siendo traslocado y metabolizado, produciendo etileno, ión fosfato y cloruro. El etefón libera lentamente etileno lo que permite a esta fitohormona actuar (Ordóñez, 2005). Esta propiedad del etefón se ha aprovechado en agricultura para alterar la maduración de los frutos, tanto en pre-cosecha como en post-cosecha. La aplicación en pre-cosecha se emplea para estimular y uniformar la maduración y mejorar la coloración de frutos climatéricos; su utilización en post-cosecha en frutos no climatéricos promueve la pérdida de clorofilas de la corteza del fruto, proceso que se conoce como desverdización (Salveit, 1993).

Para comprobar la acción del etefón sobre el proceso de maduración de los frutos de pepino dulce, en el equipo del Departamento de Producción Vegetal de la U.P.V. (Maroto *et al.*, 1995b) se plantearon distintos experimentos que provocaron un adelanto en el cambio de color de los frutos de pepino dulce de diversos clones originarios de Chile, cuando fue aplicado a frutos que habían alcanzado su tamaño final y había empezado a virar su color, pero sin modificar de forma importante los parámetros cualitativos.

En otros experimentos (López-Galarza *et al.*, 2000) el etefón aplicado directamente sobre frutos de pepino dulce del clon CH-VIII, adelantó el cambio de color, induciendo precocidad en el cultivo. Los cambios de color ocurrieron más rápido en los frutos tratados con etefón, en los cuales el cociente a/b (coordenadas CIE L\*a\*b\* de color) alcanzó en la primera fase del proceso de maduración valores más elevados que el testigo. No se encontraron pérdidas de sabor ni diferencias en el resto de parámetros analizados en los frutos cosechados precozmente.

### **1.13.- POST-COSECHA**

Las frutas son cosechadas cuando alcanzan el estado de desarrollo apropiado para el mercado y el consumidor final. No existen índices objetivos que puedan fijar el momento óptimo para el comienzo de la recolección. El índice de maduración utilizado es, casi exclusivamente, el cambio del color del fruto. Este cambio es consecuencia de

la degradación de clorofilas y la síntesis y acumulación de carotenoides que tiene lugar en las últimas fases del desarrollo del fruto (Hobson y Grierson, 1993).

Después de la recolección, los frutos continúan activos fisiológicamente. Mediante la respiración se genera la energía necesaria para que transcurran las reacciones metabólicas, lo que supone que se van consumiendo los nutrientes. Cuando el fruto es separado de la planta, no recibe más suministro de agua, la actividad fotosintética cesa y no hay aporte de nutrientes; los ya existentes se van consumiendo, y esto conlleva a una pérdida de calidad durante el periodo postcosecha (Arnal y Del Rio, 2003).

Existen dos estados fisiológicos muy importantes en los frutos: la última fase de maduración (“*ripening*”) y la senescencia. En la última fase de maduración se producen cambios en la respiración, en la producción de etileno, en la permeabilidad de los tejidos, pérdida de textura debido a cambios en la composición de las sustancias pécticas y producción de compuestos volátiles. Muchos de estos cambios se deben a la actuación de enzimas sintetizadas en esta última fase de maduración. Esta fase da lugar a la siguiente fase en la evolución de los frutos, la senescencia. En la senescencia, la síntesis de enzimas provoca efectos irreversibles que provocarán la muerte celular del tejido (Wills *et al.*, 1984; Romojarro *et al.*, 1996). Para prolongar la vida post-cosecha del fruto, se debe actuar retrasando los efectos de la fase de “*ripening*”.

La respiración y por tanto, la vida útil de los frutos depende de numerosos factores, tanto biológicos: procesos naturales de respiración, producción de etileno y transpiración; como ambientales, principalmente, la temperatura, la humedad y las concentraciones de gases en el ambiente, así como mecánicos: golpes y daños que se producen durante el proceso de recolección, almacenamiento y transporte (Wills *et al.*, 1984).

El equilibrio entre el consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono puede también variar en función de los procesos de oxidación y descarboxilación de otros sustratos (ácidos grasos, aminoácidos y ácidos orgánicos; Fennema, 2000). De esta forma, las frutas que en su respiración producen una gran cantidad de dióxido de carbono y consumen mucho oxígeno son las más perecederas, mientras que las que tienen una baja actividad respiratoria, pueden almacenarse durante períodos de tiempo relativamente largos. Además, manteniendo las frutas y hortalizas en condiciones de

conservación que disminuyan su tasa respiratoria (refrigeración, atmósferas modificadas), es posible controlar considerablemente su vida útil (Stern, 2005).

Cuanto mayor es la intensidad respiratoria, más corta es la vida útil post-cosecha del fruto. Hay factores intrínsecos que influyen sobre la respiración de la fruta, y extrínsecos sobre los que se puede actuar para prolongar su almacenamiento. Entre los intrínsecos destacan la variedad almacenada y el estado de la fruta al inicio o durante el almacenamiento, ya que hay factores como los daños por frío y otros tipos de estrés como el causado por patógenos, que aumentan la intensidad respiratoria. Entre los factores extrínsecos que pueden afectar a la respiración destacan la temperatura y la composición de la atmósfera que rodea al fruto, como CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y etileno. Disminuyendo la temperatura sin llegar a provocar daños, reduciendo la concentración de oxígeno y/o aumentando la de dióxido de carbono, se pueden ralentizar los efectos de la maduración. El etileno, en los frutos climatéricos, es un claro estimulador de la respiración, siempre que el oxígeno esté presente (Arnal y Del Río, 2003).

Si los frutos de pepino dulce se recogen bastante maduros, son sensibles a la manipulación, y ligeros golpes o rozamientos propios del manejo o amontonamiento de los frutos producen frecuentemente manchas por debajo de la piel que afean el aspecto del fruto. Este defecto ha sido identificado como un factor limitante del desarrollo del pepino dulce como un cultivo comercial, sobre todo pensando en el comercio internacional. La aparición de este manchado está muy influida por las temperaturas a las cuales tiene lugar la maduración de los frutos. Cuando éstos se desarrollan a temperaturas muy altas, manifiestan de forma mucho más intensa este problema, que cuando lo hacen a temperaturas moderadas o frescas. Sin embargo, el pepino dulce también presenta variabilidad genética para este carácter. Se ha observado que algunos cultivares son muy sensibles a este manchado, mientras en otros no llega a constituir un problema importante (Nuez y Ruiz, 1996).

Durante el almacenamiento pueden producirse alteraciones fisiológicas, como por ejemplo la aparición de infecciones fúngicas (Kays, 1991). La calidad de los frutos viene dada por el color, firmeza, tamaño, forma, ausencia de pudriciones y de defectos, incluyendo el daño físico (abrasión y magulladuras) y daños por frío. En cuanto al sabor, la calidad está relacionada con la relación de sólidos solubles totales/acidez y la ausencia de compuestos que producen sabores indeseables. Las bajas temperaturas reducen la transpiración y el crecimiento de patógenos por lo que retrasan la desecación

y la evolución de las podredumbres. También reducen la velocidad de ablandamiento y las pérdidas de acidez, vitamina C y características organolépticas (Cuquerella, 1999).

### **1.13.1.- Conservación y almacenamiento**

Los frutos de pepino dulce, si están limpios y libres de golpes y daños en la piel, pueden conservarse en buenas condiciones durante bastante tiempo. Aunque siempre hay que tener en cuenta la gran variabilidad que puede haber entre cultivares, los frutos maduros del pepino dulce pueden conservarse a temperatura ambiente (20-25°C) durante más de 15 días sin pérdidas de calidad (Goubran, 1985; El-Zeftawi *et al.*, 1988; Pluda *et al.*, 1993; Ruiz y Nuez, 1994b).

Mediante almacenamiento refrigerado es posible alargar su periodo de conservación. En un estudio realizado en Chile, Lizana y Levano, (1977) concluyeron que el periodo de almacenamiento podía alcanzar hasta 75 días, siendo las condiciones óptimas de conservación una temperatura de 5 °C y una humedad relativa entre el 85 y 95%. Los frutos cosechados con un color de fondo verde amarillento (premaduro) se conservaron mejor que los de color de fondo amarillo (maduro) y que los de color verde pálido. Asimismo, estos autores determinaron que la temperatura de congelación de los frutos de pepino dulce es de -3.1 °C cuando su contenido en sólidos solubles es de 9.6 °Brix, y de -1.8 °C cuando el contenido en sólidos solubles es de 6.2 °Brix. En otro estudio realizado en Australia, Goubran (1985) determinó que el fruto se conserva bien durante 60 días a temperaturas entre 5 y 10 °C. En Nueva Zelanda, Morley-Bunker (1983) concluyó que, manteniendo los frutos maduros, durante cuatro semanas a 10 °C mejoraban sus cualidades gustativas. En otro estudio realizado en Italia (Baccarini, 1988) se sugiere que los frutos de pepino dulce pueden durar de tres a cuatro semanas, bajo unas condiciones óptimas de conservación de 10 °C de temperatura y 90 % de HR (Nuez y Ruiz, 1996).

Aunque pueden darse comportamientos muy diferentes entre distintos cultivares, puede decirse que, en general, los cambios que experimenta el pepino dulce en el almacenamiento son poco importantes.

Durante 15 días a temperatura ambiente, los frutos maduros sufren una pérdida de peso por deshidratación, variable entre el 3 y el 5% (Pluda *et al.*, 1993; Ruiz y Nuez, 1994b), y una pérdida de firmeza de la pulpa que oscila entre un 10 y un 30% (El-Zeftawi *et al.*, 1988; Pluda *et al.*, 1993; Ruiz y Nuez, 1994b), mientras que no

experimentan cambios significativos en su contenido en sólidos solubles. Sin embargo, Pluda *et al.* (1993) señalaron un cambio significativo en el contenido en vitamina C de los frutos, que experimentó incrementos muy distintos al cabo de 15 días, pudiendo llegar en ocasiones a ser superiores al 100% (Nuez y Ruiz, 1996).

### **1.13.2.- Enfermedades y problemas fisiológicos en post-cosecha**

#### **1.13.2.1.- Enfermedades fúngicas**

Durante el almacenamiento de los frutos pueden aparecer podredumbres negras, probablemente causadas por el hongo *Alternaria*. Normalmente comienzan por la zona cercana al pedúnculo, extendiéndose en forma de mancha circular. En el almacenaje también pueden aparecer (Lizana y Levano, 1977) otras podredumbres causadas por *Botrytis cinerea* y por *Penicillium* (fotografía 1.08).

Para evitar estos problemas en el almacenamiento es fundamental llevar a cabo una buena limpieza y selección de los frutos, eliminando los que presenten cualquier daño o magulladura. En estas condiciones, frutos limpios y sin heridas, no sería necesaria la realización de tratamientos fungicidas post-cosecha.

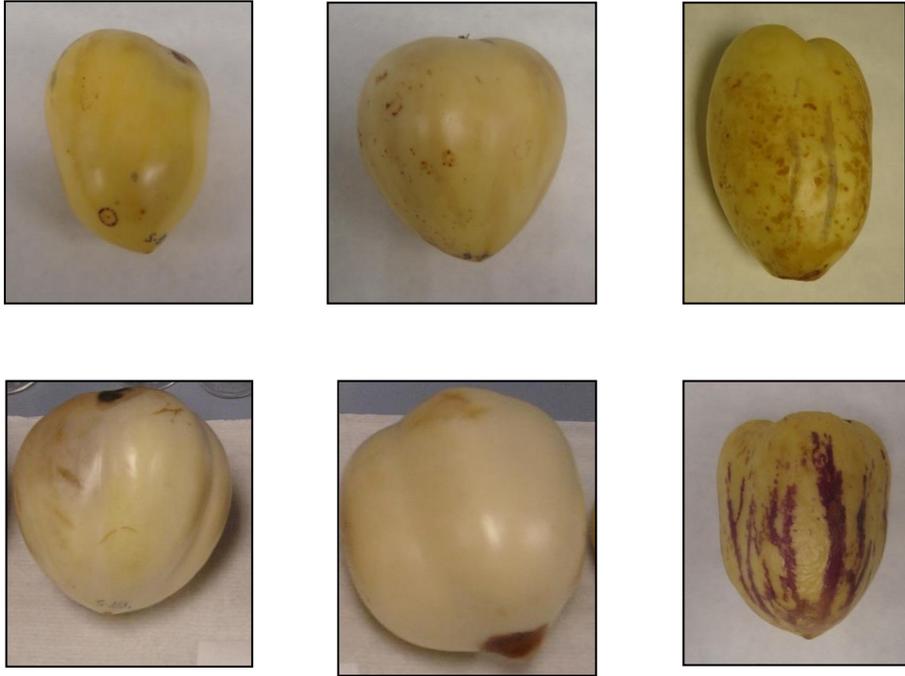


**Fotografía 1.08.-** Daños provocados en frutos de pepino dulce por enfermedades fúngicas.

#### **1.13.2.2.- Desórdenes fisiológicos**

##### **1.13.2.2.1.- *Daños por bajas temperaturas***

Temperaturas por debajo de 0 °C, sin llegar a la congelación, pueden producir un pardeamiento y ablandamiento de la pulpa, que afecta rápidamente a todo el fruto (fotografía 1.09). Por otra parte, las temperaturas entre +1 y +3 °C pueden favorecer la incidencia de manchas pardas en la superficie del fruto. Bajo la epidermis, la pulpa adquiere un color pardo claro y un aspecto acorchado (Lizana y Levano, 1977).



**Fotografía 1.09.-** Daños provocados en frutos de pepino dulce por bajas temperaturas.

*1.13.2.2.2.- Descomposición interna*

Cuando se almacenan frutos sobremaduros durante largos periodos en cámara frigorífica, la pulpa se seca y adquiere una textura harinosa y una coloración parda clara (Lizana y Levano, 1977).



## 2.- OBJETIVOS

En estudios realizados previamente por el equipo de investigación en el que se integra esta tesis doctoral se había obtenido un número elevado de clones de pepino dulce, cuya adaptación al cultivo en las condiciones mediterráneas quedó demostrada en algunos clones. Existen diferencias importantes en el sabor de los frutos de distintos cultivares, así como entre frutos del mismo cultivar producidos en condiciones ambientales diferentes, y también entre frutos de la misma planta recolectados en diferentes estados de madurez. Cuando estos frutos están maduros tienen un sabor y un aroma que recuerdan a los del melón, siendo apreciados como postre, pero cuando no están suficientemente maduros, su sabor y olor recuerdan a los del pepino, siendo apreciados como componentes de ensaladas. El conocimiento de los cambios que se producen durante la maduración de los frutos en las condiciones de cultivo mediterráneas, puede contribuir a conseguir un producto de calidad, que, tras ser apreciado por el consumidor, contribuya a la diversificación de la horticultura valenciana. La calidad de los frutos de pepino dulce abarca parámetros morfológicos, físico-químicos y bioquímicos.

Los objetivos concretos de esta tesis doctoral, son:

1.- Estudiar la evolución de los parámetros morfológicos (peso unitario, tamaño y forma del fruto), físico-químicos (color de la piel, contenido en sólidos solubles, firmeza y acidez titulable) y bioquímicos (contenido en carbohidratos) de los frutos de pepino dulce durante su crecimiento y maduración.

2.- Estudiar en post-recolección, el efecto de la conservación en cámara frigorífica en los parámetros citados anteriormente.

3.- Estudiar la evolución de la respiración y la producción de etileno en respuesta al tratamiento con etileno (etefón) en post-recolección, para analizar el posible comportamiento climatérico de los frutos.



### **3.- MATERIAL Y MÉTODOS**

Para conseguir estos objetivos se han realizado los siguientes estudios:

- Evolución de las características del fruto en la fase crecimiento y maduración (apartado 3.4).
- Evolución de las características del fruto en la fase de post-recolección (apartado 3.5).
- Evolución de la respiración y producción de etileno en respuesta al tratamiento con etefón en post-cosecha (apartado 3.6).

A continuación, se presentan los trabajos de campo y de laboratorio.

#### **3.1.- LOCALIZACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS**

Los cultivos se realizaron durante seis campañas: 2000-01, 2001-02, 2002-03, 2003-04, 2004-05 y 2005-06. Los experimentos correspondientes a las campañas 2000-01, 2001-02, 2004-05 y 2005-06 se realizaron en la finca “El Fadri” (39°41' N, 0° 25' W, 23 m de altitud), Centro de Experiencias de Cajamar, en Paiporta (Valencia). Los experimentos de las campañas 2002-03 y 2003-04 se realizaron en el Campus de la Universitat Politècnica de València (UPV; 39°38'N, 0°22'W, 11 m de altitud).

Los análisis morfológicos, físico-químicos y bioquímicos de los frutos se realizaron en los laboratorios de las unidades docentes de Fitotecnia General y Cultivos Herbáceos del departamento de Producción Vegetal, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural (ETSIAMN) de la UPV.

Los análisis fisiológicos se realizaron en las instalaciones del Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA) del Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), situadas en Paterna (Valencia). La puesta a punto de los métodos se realizó en un laboratorio del departamento de Tecnología de Alimentos y del Equipamiento Agrícola, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Cartagena.

### 3.2.- MANEJO DEL CULTIVO

El cultivo en los experimentos realizados en el Centro de Experiencias de Cajamar correspondientes a las campañas 2000-01 y 2001-02, se realizó bajo invernadero multitúnel de 1078 m<sup>2</sup>, de estructura ligera de acero galvanizado, con cobertura de polietileno térmico (0.2 mm de espesor) y sistema de ventilación cenital, mientras que en las campañas 2004-05 y 2005-06 se realizó bajo invernadero tipo Venlo, con cubierta de vidrio, calefacción con aerotermos, sistema de “cooling system” y ventilación cenital, con regulación de temperaturas entre 15 y 30 °C. El cultivo correspondiente a 2002-03 y 2003-04 se realizó en la UPV, en invernaderos de características similares y con regulación térmica entre 10 y 30 °C, oscilando el fotoperiodo entre 9 y 13h.

En las dos primeras campañas se utilizaron los clones 806-PV, 821-PV y CH-VIII, obtenidos en el Departamento de Producción Vegetal de la UPV.

Cada campaña, en las fechas indicadas en la tabla 3.01 se realizó la plantación con esquejes de tallo (fotografía 3.01), enraizados durante un mes en contenedores de 0.8 L, con un sustrato enraizante a base de turba *Sphagnum* (pH 5.5-6; Prohumin 50-50). El sustrato utilizado en el cultivo fue fibra de coco (CE<1.2 dS m<sup>-1</sup>, pH 5.5- 6.5; Cocopeat®, tabla 3.02). Antes de realizar el trasplante la fibra de coco se regó para lavar las sales de manera que la conductividad eléctrica del drenaje, antes de aportar la solución fertilizante, fuera inferior a 1 dS m<sup>-1</sup>. El marco de plantación fue de 1.40 m entre filas y 0.35 m entre plantas dentro de cada fila, correspondiente a una densidad de plantación de 20,400 plantas ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 3.01.-** Fechas de trasplante de las plantas procedentes de esquejes en las diferentes campañas.

2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2005-06
24 / 08 / 2000	03 / 08 / 2001	12 / 09 / 2002	02 / 09 / 2003	21 / 12 / 2005



**Fotografía 3.01.-** Esquejes de tallo



**Fotografía 3.02.-** Plantas preparadas para el trasplante

El riego fue localizado. Los emisores ( $q = 2 \text{ L h}^{-1}$ ) estaban integrados, distanciados a 0.35 m (un emisor por planta), con un ramal por fila de plantas. Las dosis de riego fueron establecidas según Fresquet *et al.* (2001), en base a la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ), modulada para la obtención de un drenaje del orden de 20-25% con el objeto de mantener controlada la salinidad. La  $ET_c$  diaria se calculó a partir de la evaporación registrada en un tanque evaporímetro clase A (Doorenbos and Pruitt, 1977), con valores del coeficiente de cultivo ( $k_c$ ) citados por Doorenbos y Pruitt (1977) para el cultivo del tomate. La solución nutritiva utilizada estaba basada en la recomendada por Sonnevel y Straverd (1992;  $CE = 2.3 \text{ dS m}^{-1}$ , pH ajustado a 5.5) conteniendo las concentraciones de macronutrientes y de micronutrientes presentados en la tabla 3.03.

**Tabla 3.02.-** Propiedades del sustrato Cocopeat®.

Propiedades físico-químicas		Propiedades físicas	
pH	5.7-6.0	Densidades aparente g/cc	0.055
EC (ms/cm)	<1.20	Densidad real g/cc	1.55
N-NO <sub>3</sub> (ppm)	<0.10	Espacio poroso total (% en vol.)	96.7
N-NH <sub>4</sub>	13	Retención de agua (% en vol.) a:	
P	10	10 cm	70
K	230	50 cm	45
Ca	3.58	100 cm	39
Mg	2	Capacidad de aireación (% en vol.)	31
Na	90	Agua fácilmente disponible (% en vol.)	22.4
Mn	0.03	Agua de reserva (% en vol.)	5
Fe	0.4		
Mat. orgánica (%)	95.30		
Cenizas	4.70		

**Tabla 3.03.-** Solución nutritiva. Concentración de macronutrientes (mM) y micronutrientes ( $\mu\text{M}$ ).

Macronutrientes							Micronutrientes					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	B <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Mo <sup>6+</sup>
13.75	1.25	3.75	1.25	8.75	4.25	2.00	15.00	10.00	5.00	30.00	0.75	0.50

Las plantas fueron podadas y conducidas a tres brazos, con hilos verticales (fotografía 3.03), siendo eliminados todos los brotes laterales inmediatamente después de su aparición. En todos los experimentos se marcaron de manera individualizada, diez días después de la antesis (tabla 3.04), de entre todos los frutos representativos, los frutos que poseían un tamaño igual a 20 mm y que se encontraban en el primer racimo de la planta. Para analizar la evolución en la maduración de los frutos, se realizaron muestreos con una periodicidad no superior a la quincenal (Ahumada y Cantwell, 1996; Galletti *et al.*, 2005). De cada repetición se cosecharon 9 frutos, dividiéndose en tres

lotes. Los frutos de dos lotes se analizaron el mismo día de la recolección (D0) y después de almacenarlos durante 15 (D15), y en su caso 30 días (D30) en cámara frigorífica a una temperatura de 10 °C para estudiar la evolución en post-recolección.

En todos los experimentos el diseño experimental fue en bloques al azar con 3 repeticiones. Cada unidad de repetición constaba de 18 plantas.

**Tabla 3.04.-** Fechas de antesis en las diferentes campañas.

2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2005-06
26 / 02 / 2001	18 / 02 / 2002	17 / 02 / 2003	05 / 03 / 2004	03 / 03 / 2006

### 3.3.- PARTICULARIDADES DE LOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EN LAS DIFERENTES CAMPAÑAS.

En el Centro de Experiencias de Cajamar se utilizaron contenedores construidos artesanalmente con film de polietileno de color negro (fotografía 3.04), con unas dimensiones de 10.8 m x 0.20 m x 0.18 m, de 390 L de capacidad, que albergaban 36 plantas distanciadas a 0.3 m. Los contenedores utilizados en la UPV fueron de poliestireno expandido de 20 L de capacidad (0.35 m x 0.35 m x 0.20 m). Cada contenedor albergaba una planta, estando éstas distanciadas a 0.3 m en cada fila (fotografías 3.05).



**Fotografía 3.03.-** Plantas guiadas a tres brazos



**Fotografía 3.04.-** Contenedores construidos artesanalmente en el Centro de Experiencias de Cajamar.



**Fotografía 3.05.-** Vista de la plantación en la UPV (a) y detalle de los contenedores de poliestireno (b).

Tras el enraizamiento de los esquejes realizado en agosto de 2002, al ir a realizar el trasplante se observó que las plantas del clon *CH-VIII* manifestaban un mosaico amarillento en hojas, síntoma de virosis, por lo que definitivamente no se trasplantaron, ensayándose a partir de entonces únicamente dos clones, 806-*PV* y 821-*PV*.

El 29 de enero de 2005 (experimento de 2004-05), se produjo una intensa helada en la zona de Valencia, registrándose en el Centro de Experiencias de Cajamar una temperatura de  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , que dañó al cultivo en su totalidad (fotografía 3.06a, b y c), por lo que se realizó una segunda plantación el 14 de febrero de 2005, con plantas de los mismos clones, provenientes igualmente de esquejes de tallo enraizados (fotografías 3.07a, b, c y d). El 24 de febrero de 2005 se detectaron importantes daños en las plantas causados por ratones (hasta la fecha no detectados en el Centro de Experiencias). A pesar de intentar “salvar” el experimento reduciendo el número de plantas, se observó que éstas manifestaban síntomas de virosis [probablemente del Virus del mosaico del tomate (ToMV): además del mosaico amarillento en las hojas, un escaso crecimiento de la planta y necrosis en la pulpa de los frutos; fotografías 3.08a y b], produciendo pocos frutos y de muy baja calidad, lo que obligó a abandonar el experimento, ya que los frutos ni eran representativos de los clones, ni eran comparables a los obtenidos en los experimentos anteriores.

La virosis afectó a las plantas madre, por lo que no se dispuso de material adecuado para realizar un nuevo estaquillado; no obstante, a principios de septiembre de 2005 pudo conseguirse unos frutos producidos en Guayaquil (Ecuador), que sirvieron para obtener plantas a partir de sus semillas.



**Fotografía 3.06.-** Daños producidos por la helada ocurrida el 29.01.05 en el Centro de Experiencias de Cajamar (Paiporta; a, b y c)

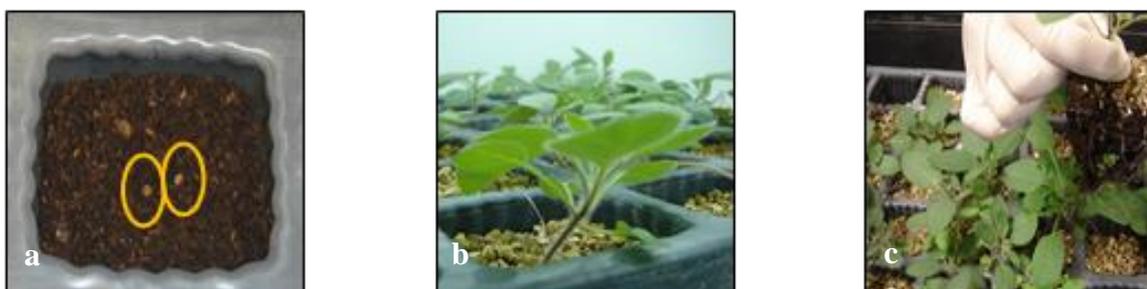


**Fotografía 3.07.-** Vista exterior del invernadero (a y b); detalle de la segunda plantación de la campaña 2004-05 (c); detalle de la planta (d).



**Fotografía 3.08.-** Plantas con síntomas de virosis de la campaña 2004-05 (a y b).

El 5 de octubre de 2005 se trataron las semillas con una disolución de NaOH 0.1 N durante 5 min, para evitar posibles problemas de hongos, y a continuación se dejaron secar en papel de filtro Whatman número 1. Seguidamente se realizó la siembra en bandejas de poliestireno (“speedling”) de 48 alvéolos, utilizando sustrato enraizante a base de turba *Sphagnum* (pH 5.5-6; Prohumín 50-50). La germinación de las semillas tuvo lugar en una cámara de cultivo (marca Climatronic) con temperatura y humedad relativa (HR) controladas, 25 °C en el ciclo de día y 18 °C en el ciclo nocturno, con fotoperiodo de 12 horas y HR del 85 % (fotografías 3.09 a, b y c).



**Fotografía 3.09.-** Detalle de la siembra (a), de las plantas antes de ser repicadas (b) y repicado (c), en la campaña 2005-06.

El 18 de octubre se repicaron las plantas a contenedores de 9 cm de diámetro, (fotografías 3.10), manteniéndose en la misma cámara hasta el trasplante definitivo en el Centro de Experimentación de Cajamar el 21 de diciembre de 2005.

Tal y como era de esperar se observaron diferencias entre las características morfológicas de las diferentes plantas obtenidas, seleccionándose las plantas de morfología similar a las de los clones ensayados en las campañas anteriores, concretamente con hojas de color verde claro y tallos de coloración verde y con vellosidades.



**Fotografía 3.10.-** Plantas ya repicadas en la campaña 2005-06.

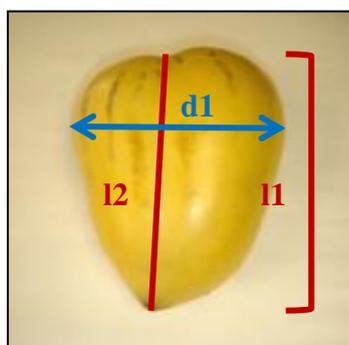
A pesar de la aparente uniformidad de las plantas, se observaron frutos de diferente forma y coloración, presentando todos los frutos de cada planta idénticas características.

Para caracterizar externamente los frutos se tomaron las siguientes medidas (Stern, 2005; fotografía 3.11):

*l1*: Longitud máxima entre la zona peduncular y la zona apical del fruto, (dirección 1).

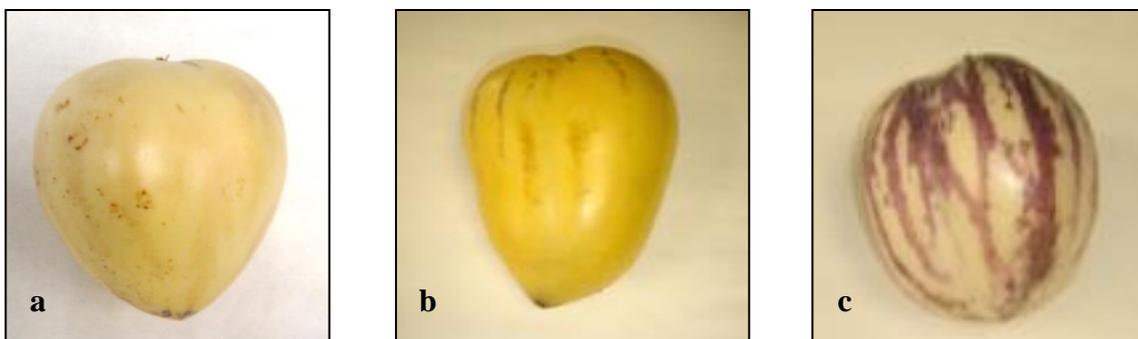
*l2*: Longitud medida en la dirección 2 (a 90° de la dirección 1).

*d1*: Diámetro medido perpendicularmente a la dirección 1, el mayor de los posibles.



**Fotografía 3.11.-** Medidas realizadas para caracterizar la forma de los frutos de la campaña 2005-06.

En base a esta caracterización se distinguieron tres formas: acorazonada, ovoide-cónica y esférica-achatada, denominándose estas accesiones M1, M2 y M3, respectivamente (fotografía 3.12 a, b y c).



**Fotografía 3.12.-** Forma de los distintos tipos de frutos: M1 (a), M2 (b), M3 (c).

### **3.4.- EVOLUCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO EN LAS FASES CRECIMIENTO Y MADURACIÓN.**

#### **3.4.1.- Parámetros morfológicos. Peso, tamaño y forma.**

Después de limpiar con papel cada uno de los frutos en el laboratorio, se pesaron en una balanza analítica de precisión modelo Mettler Toledo AG204, de 0,1 mg de legibilidad. A continuación, se midió la longitud y la anchura con un calibre digital modelo Hommel,  $d=0,01$  mm, tal como se ha indicado en el apartado anterior. A partir de ambos valores se determinó la relación longitud/anchura.

#### **3.4.2.- Parámetros físico-químicos**

##### **3.4.2.1.- Color de la piel**

La determinación del color de la piel de los frutos se realizó mediante un colorímetro portátil Minolta, modelo CR-300, que mide la reflexión de la luz y efectúa las medidas sobre un área circular de la superficie del fruto de 8 mm de diámetro.

Las medidas se cuantificaron a través de las coordenadas CIE  $L^*a^*b^*$ . La coordenada  $a$  mide la diferencia de luz reflejada entre las zonas verde y roja del espectro (-100 a +100). La coordenada  $b$  corresponde a las diferencias de reflexión entre las zonas del azul y amarillo (-100 a +100). La coordenada  $L$  mide la luminosidad del color de la superficie medida, que puede tomar valores desde 0 (negro ideal) hasta 100 (blanco ideal). Una vez obtenidos los valores de las coordenadas CIE  $L^*a^*b^*$ , se

calcularon los índices *Croma* ( $\sqrt{a^2 + b^2}$ ; Prono-Widayat et al., 2003), el ángulo *Hue* [ $\arctan(b/a)$ ; Martínez-Romero et al., 2003] y el *Índice de Color (IC; IC =  $\frac{a * 10^8}{L * b}$ ; Thompson, 1998)* como parámetros de color.

**Croma:** Existe una escala de 10 tonos fundamentales (5 principales y 5 intermedios). La notación de colores y sus valores de escala (en grados) son:

- 5: rojo
- 15: amarillo-rojizo
- 25: amarillo
- 35: amarillo-verdoso
- 45: verde
- 55: verde-azulado
- 65: azul
- 75: violeta
- 85: púrpura
- 95: rojo-púrpura

**Hue:** Tono de muestras. Corresponde al ángulo de matiz, que varía entre 0 y 360°, donde 0° (360°) indica coloraciones púrpuras, 90° amarillas, 180 verdes y 270 azules.

**IC:** Índice de Color. Permite reflejar la evolución del fruto en el intervalo de valores comprendido entre el verde oscuro y el naranja intenso, y proporciona una excelente correlación entre la apreciación visual y la instrumental (Jiménez-Cuesta et al., 1981; Martínez-Jávega et al., 2004). Su escala de valores es:

- *IC* negativo (-40 a -20): su valor relaciona los colores que van desde el azul-violeta al verde profundo.
- *IC* negativo (-20 a -2): su valor relaciona los colores que van del verde profundo al verde amarillento.
- *IC* entre -2 y +2: representa el amarillo verdoso.
- *IC* positivo (+2 a +20): se valor relaciona con los colores que van desde el amarillo pálido al naranja intenso.
- *IC* positivo (+20 a +40): se relaciona con los colores que van desde el naranja intenso al rojo profundo.

El colorímetro se programó con tres disparos por medida (promediada para cada lectura), habiendo sido calibrado previamente al inicio de cada análisis. Se realizaron cinco medidas a lo largo de una circunferencia imaginaria en la zona ecuatorial de los frutos, equidistantes entre sí, recorriéndola por completo para considerar posibles diferencias de estado de madurez dentro de un mismo fruto, y evitando las vetas moradas que son características en los frutos de pepino dulce (en los primeros estados de crecimiento son de un verde más oscuro al del resto de la piel, Maroto *et al.*, 1996 a). La media de estas medidas se consideró como el valor del color de cada fruto.

En el estudio de evolución de las características del fruto en la fase de post-cosecha, la determinación del color se realizó el día de la recolección y 15 (y en su caso 30 días) después de la misma, lo que pudo realizarse ya que la determinación del color es un método no destructivo.

#### 3.4.2.2.- Firmeza

La medida de la firmeza (o resistencia a la presión) de la piel y la pulpa se evaluó mediante un penetrómetro manual, marca Effegi, modelo FT-011, con un émbolo de 2 mm de diámetro, resultando ser un método destructivo. Se efectuaron seis medidas por fruto, alrededor de la zona ecuatorial del mismo. Los resultados se expresaron como la fuerza necesaria para atravesar la piel y la pulpa de los frutos, expresada en gramos (g), con una precisión  $\pm 1\%$ , presentándose como el promedio de los seis valores obtenidos en cada fruto.

#### 3.4.2.3.- Contenido en sólidos solubles totales

Tras haber realizado las medidas de la firmeza en la pulpa de los frutos, y haber eliminado la zona circular en la que ésta se había medido, para evitar la posible influencia de pardeamientos enzimáticos, los frutos se pelaron, trocearon y licuaron, obteniendo un zumo a partir de la pulpa de los mismos. A partir de este zumo, se determinó el contenido en sólidos solubles totales (SST) con un refractómetro digital ATAGO Palette PR-32 (con control de temperatura; sensibilidad 0,01 °Brix), previamente calibrado con agua destilada. Se realizaron tres medidas por fruto. El resultado se expresó como el valor medio de las tres lecturas en °Brix.

#### 3.4.2.4.- Acidez titulable

La acidez titulable (AT) se calculó en 1 mL de zumo diluido hasta 40 mL con agua destilada, considerando que el ácido cítrico es el ácido mayoritario de los presentes en los frutos de pepino dulce (Redwell y Turner, 1986). Se evaluó según el Método Oficial 942.15 (AOAC, 1995) para la determinación de la acidez en derivados de frutas, que se basa en la valoración del zumo con una disolución de NaOH 0,1 N y fenolftaleína como indicador. Se asume que 1 mL de NaOH (0,1 N) neutraliza 0,064 gramos de ácido cítrico. El pH de la disolución del zumo diluido, previamente homogeneizado con la ayuda de un agitador electromagnético, se midió con un medidor de pH modelo Mettler Toledo Seven Easy. A continuación, se añadió, gota a gota, una disolución de NaOH (0,1 N), midiendo el pH hasta alcanzar el valor de 8.1. Los resultados se expresan en gramos de ácido cítrico anhidro contenidos en un litro de zumo.

Las determinaciones se efectuaron por duplicado, expresando como resultado final la media de los dos valores obtenidos en cada fruto. Previamente a las medidas, el pH-metro se calibró mediante dos soluciones tampón de pH=4 y pH=7 respectivamente.

La fórmula para su cálculo es:

$$AT = \frac{V * N * M * 1000}{v * n}$$

dónde:

$AT$  = acidez titulable

$V$  = volumen (mL de NaOH empleados)

$N$  = normalidad de la solución de NaOH (0,1 N)

$M$  = masa molecular del ácido (cítrico) en el cual se expresa la acidez (Mm=192)

$v$  = volumen (mL de la disolución muestra, 40 mL)

$n$  = número de H reemplazables del ácido en el cual se expresa la acidez (3).

#### 3.4.2.5.- Índice de madurez

Se calculó como el cociente entre el contenido en SST (°Brix) y la AT (expresada en gramos de ácido cítrico anhidro contenidos en un litro de zumo).

### 3.4.3.- Parámetros bioquímicos

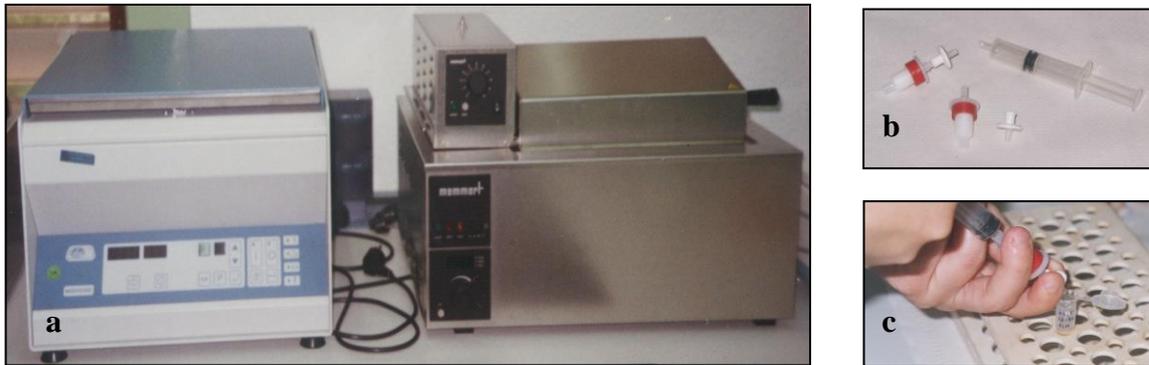
#### 3.4.3.1.- Contenido en carbohidratos

Para la determinación de los azúcares solubles totales (AST; fructosa, glucosa y sacarosa) y almidón se partió del zumo licuado. Se tomó 1 mL de muestra al que se añadieron 5 mL de agua ultra pura (mQ) que se mantenía a una temperatura de 55 °C, pasando esta disolución a tubos de ensayo con tapa. A cada muestra se añadieron 0,2 mL de una disolución de lactosa (Sigma-Aldrich), de concentración 30 g L<sup>-1</sup>. La lactosa es un azúcar que no se encuentra en las plantas, por lo que se empleó como estándar interno para cuantificar posibles pérdidas en el proceso de extracción de los mismos.

A continuación, las muestras se introdujeron durante 10 min en un baño termostatzado (fotografía 3.13 a) donde se mantuvo constante la temperatura (55 °C) con el fin de solubilizar los azúcares presentes en la muestra. Las disoluciones obtenidas se centrifugaron durante 30 minutos a una velocidad de 4500 rpm, utilizando una centrífuga modelo P-Selecta MEDITRONIC. Se decantó el sobrenadante, que contenía los azúcares solubles a analizar: sacarosa, glucosa y fructosa. A continuación se purificaron las muestras haciéndolas pasar a través de un cartucho C-18 (Waters) y de un filtro de membrana de diámetro de poro 45 µm (Millipore) (fotografía 3.13b y c). El precipitado, que contenía el almidón, se congeló para su posterior tratamiento (Mehouachi *et al.* 1995). El sobrenadante se secó al vacío en un evaporador tipo “Speed-Vac”, modelo JOUAN RCT-90, con centrífuga evaporadora RC 10-10, a una temperatura aproximada de 45 °C hasta evaporar a gota; una vez conseguido, se añadió 1 mL de agua ultrapura tibia a cada tubo de ensayo. Se traspasó cada muestra a un microtubo y se centrifugó en una centrífuga modelo Hettich MIKRO 20, durante 30 minutos a 12,000 rpm. Se filtraron los sobrenadantes con un cartucho C-18 (Waters) y un filtro de diámetro 45 µm (Millipore).

Por otra parte, se añadieron 6 mL de agua ultrapura al precipitado que se mantenía congelado, se tapó con papel de aluminio y fue autoclavado durante 2 horas (presión entre 1.2 y 1.5 atm, para conseguir mantener una temperatura aproximada de 130 °C). A continuación, se centrifugaron los tubos extraídos del autoclave y se eliminó el sobrenadante de cada uno hasta aforar a 2 mL. Se añadió 0.2 mL de lactosa, de concentración 30 g L<sup>-1</sup> (igual que en azúcares), y 0.5 mL de tampón Acetato sódico (Ácido acético 0,2 M/ Acetato sódico 0.2M, 40/60, para lograr un ph≈4.5); también se

incorporó, a cada tubo, 1 mL de una solución de enzima amyloglucosidasa, enzima que disgrega el almidón liberando moléculas de glucosa, con una concentración de 60 mg/mL agua ultrapura. Se mantuvo durante 2 horas en baño termostatzado a 55 °C, agitando a menudo. A continuación, se centrifugó a 4500 rpm durante 25 minutos.



**Fotografía 3.13.-** Centrifuga de tubos de ensayo y baño termostatzado (a); cartuchos C-18 y filtro de membrana de 45 µm de poro (b) y filtrado (c).

Posteriormente se recogió el sobrenadante, que fue igualmente evaporado al vacío hasta evaporar a gota; una vez conseguido, se añadió a cada muestra 1 mL de agua ultrapura tibia. Cada muestra se traspasó a un microtubo y se centrifugó durante 30 minutos a 12.000 rpm. Los sobrenadantes se filtraron en un cartucho C-18 (Waters) y un filtro de diámetro 45 µm (Millipore).

Para el análisis de los carbohidratos se utilizó la técnica HPLC (High Performance Liquid Chromatography), con un equipo de SpectraSYSTEM, compuesto por (fotografía 3.14) una bomba isocrática P100, refractómetro diferencial RI-150 y columna Hypersil APS-2, ligada a una precolumna (cuya función es evitar la entrada de impurezas provenientes del solvente y especialmente, de la muestra, que puedan contaminar la columna analítica). Se realizaron tres inyecciones por muestra, y en cada una de ellas el volumen inyectado era de 20 µL. El solvente empleado fue una mezcla de Acetonitrilo y agua ultrapura, 80/20. El flujo utilizado fue 1 mL min<sup>-1</sup>.

Los resultados obtenidos en los análisis de los distintos azúcares con el programa informático Chrom-Card 32, se identificaron por su tiempo de retención, equivalentes al tiempo obtenido en los análisis de patrones puros de los mismos azúcares. Se cuantificaron comparando su integración con el área de los picos obtenida por curvas patrón de fructosa, glucosa, sacarosa y lactosa elaboradas a partir de

concentraciones conocidas de cada azúcar. La lactosa, ausente en los extractos, midió la eficacia de la extracción, calculando un factor de corrección en función de la lactosa recuperada en cada muestra.



**Fotografía 3.14.-** Equipo HPLC formado por bomba isocrática, columna y detector, unidos a equipo con software procesador de datos.

En el caso de la determinación del almidón, además se aplicó un factor de corrección de 0.9 para compensar la molécula adicional de agua que contiene la glucosa. Los resultados se expresaron como g de azúcar  $100\text{ g}^{-1}$  de materia fresca (Redwell y Turner, 1986). Los AST de cada muestra se calcularon como la suma de los contenidos en azúcares solubles presentes en dicha muestra, es decir, fructosa, glucosa y sacarosa.

### **3.5.- EVOLUCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO EN LA FASE DE POST-COSECHA**

Como se ha indicado en el ítem 3.2, los frutos recolectados en cada fecha de muestreo se dividieron en tres lotes. Un lote (D0) fue utilizado para determinar las características de los frutos, y su evolución, en las fases de crecimiento y maduración; los otros dos lotes fueron utilizados para analizar la evolución de esas características en la fase de post-cosecha, para lo cual se mantuvieron a la temperatura (constante) de  $10^{\circ}\text{C}$  y 90% de HR, en cámara frigorífica, durante 15 (D15) [y 30 (D30) en 2006] días después de la recolección, fechas en las que se realizaron todos los análisis indicados en el ítem 3.4. La temperatura de conservación en post-cosecha elegida se basó en los estudios realizados por Morley-Bunker (1983), en los que se concluyó que manteniendo los frutos a  $10^{\circ}\text{C}$  incluso mejoraban sus cualidades gustativas, así como Nuez y Ruiz,

(1996) que concluyeron que los frutos de pepino dulce se mantenían de tres a cuatro semanas, bajo unas condiciones óptimas de conservación a 10 °C de temperatura.

Para determinar la pérdida de peso de los frutos en el almacenamiento, cada fruto de los lotes D15, y D30 en su caso, se pesó el día de muestreo y en el momento en que se realizaron los análisis del mismo. Las pérdidas de peso se determinaron en frutos sin daños externos, expresándose el resultado como la media del porcentaje de pérdida de peso respecto al peso inicial, registrado antes del almacenamiento (Ahumada y Cantwell, 1996; Prono-Widayat, 2003). Las medidas se realizaron sobre 3 frutos de cada clon por repetición, día de recolección y periodo de almacenamiento.

Los resultados obtenidos se agruparon en torno a los tres estados de maduración que presenta el pepino dulce, que pueden identificarse claramente mediante el color de la piel del fruto, que son:

- “Verde pálido”: momento en que el fruto aún sigue creciendo.
- “Premaduro”: el fruto cambia de color, empezando a perder las tonalidades verdosas, adquiriendo tonos cremosos e incluso amarillentos.
- “Maduro”: el fruto ha alcanzado su madurez fisiológica; irá unido a un color de piel cercano al amarillo.

### **3.6.- EVOLUCIÓN DE LA RESPIRACIÓN Y PRODUCCIÓN DE ETILENO EN RESPUESTA AL TRATAMIENTO CON ETEFÓN EN POST-COSECHA**

En abril de 2006 cuatro frutos de la accesión M3, producidos en la campaña 2005-06, fueron utilizados para poner a punto el método para estudiar la tasa respiratoria y otros cuatro frutos para determinar la producción de etileno de los frutos en post-cosecha. La evolución de la TR se estudió durante cuatro horas y la producción de etileno se estudió durante tres horas, en ambos casos en días alternos, dos semanas consecutivas.

También, en mayo de 2006, con los frutos muestreados paralelamente a los utilizados en el estudio de la evolución de las características del fruto en las fases de crecimiento y maduración, se estudió la evolución de la TR y de la producción de etileno en respuesta al tratamiento con etefón en post-cosecha, para lo cual se sumergieron tres frutos durante 10 s en una solución acuosa de etefón a la concentración de 1000 mg L<sup>-1</sup>, y otros tres frutos en agua destilada durante el mismo tiempo, para ser

utilizados como testigo. Para estudiar la evolución de ambos parámetros se midió la tasa respiratoria y la producción de etileno inmediatamente después del secado superficial y tras el almacenamiento durante 4 y 8 días en una cámara de cultivo (Climatronic) a la temperatura de 18°C para simular las condiciones de un clima tropical durante la comercialización (Priono-Widayat *et al.*, 2003; Galletti *et al.*, 2005).

Cada día, los frutos se introducían en un recipiente de vidrio de 2 L de volumen, donde permanecían por un tiempo de 3 horas. A partir de ese momento, se tomaron 4 muestras del gas mediante jeringuillas, a través del septum, cada 20 minutos, durante un periodo aproximado de 4 horas, siempre asegurándose que se cumplía el hecho de que la concentración de CO<sub>2</sub> producido por los frutos se mantenía entre el 0.25 y el 0.50% del espacio de cabeza. Dos de las muestras se analizaron para conocer la concentración de etileno y otras dos, la de dióxido de carbono.

### **3.6.1.- Determinación de la tasa respiratoria.**

La TR se evaluó como la cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) producido por los frutos por unidad de tiempo, mediante un sistema estático (Kader, 2002b; Stern *et al.*, 2000), consistente en medir la acumulación de dicho gas en el espacio de cabeza del envase. Aunque es un método de análisis menos exacto que el método dinámico, es más adecuado para frutos con tasas respiratorias bajas (Stern, 2005).

Los frutos se pesaron e introdujeron en un recipiente de cristal (fotografía 3.15c) herméticamente cerrado, registrando la hora de sellado. El volumen de los recipientes empleados fue de 0.75 L, 2 L y 3 L respectivamente, acorde con el tamaño creciente de los frutos, que fue previamente medido y comprobado con agua destilada. Dentro de cada envase se introdujo un pequeño vaso de precipitado, conteniendo 30 mL de una disolución de KOH al 10 % para absorber el exceso de CO<sub>2</sub> producido por los frutos, de modo que la concentración de dicho gas se mantuviese siempre entre el 0.25 y 0.50% del espacio de cabeza (Lafuente *et al.*, 2001; Salveit, 2003; Fernández-Trujillo *et al.*, 2005).

La concentración de CO<sub>2</sub> se analizó en un cromatógrafo de gases (fotografía 3.15a y b) modelo Perkin Elmer Autosample Analyzer, equipado con una columna de alúmina activada de 2 m de longitud y 2 mm de diámetro interno, marca Supelco, conectado a un detector de conductividad térmica, que se encontraba a 180 °C de temperatura.

Las condiciones cromatográficas fueron:

- Temperatura del inyector: 160 °C
- Temperatura de la columna: 60 °C
- Gas portador: Helio
- Flujo del gas portador: 45 mL/min

Antes de comenzar a realizar los análisis, el cromatógrafo (fotografía 3.15a y b) se estabilizó durante al menos una hora, calibrándose a continuación el equipo con varias muestras de gas patrón que contenía una concentración en CO<sub>2</sub> de 0.5 mL 100 mL<sup>-1</sup>.

Los frutos permanecieron dentro de los contenedores durante 4 horas (Holland *et al.*, 1999), a temperatura ambiente, antes del primer muestreo de gases. La concentración de CO<sub>2</sub> de cada muestra se cuantificó empleando la altura de los picos obtenidos en el registrador, modelo HP 3396 Series II Integrator, a un tiempo de retención de 1.02 minutos, tal y como se habían identificado en los análisis del patrón, y aplicando la siguiente fórmula:

$$[\text{CO}_2] = \frac{\text{Altura del pico de la muestra} * [\text{gas patrón}] * \text{Volumen del recipiente}}{\text{Altura de pico del gas patrón} * \text{Tiempo incubación} * \text{Peso del fruto}}$$

Se realizaron cuatro medidas por fruto, dos de ellas a las 4 horas de incubación y otras dos, media hora más tarde. El valor considerado como medida de cada tipo fue la media ponderada de todas las medidas de dicho tipo. La intensidad respiratoria se expresó en mL CO<sub>2</sub> Kg (mf)<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

### 3.6.2.- Determinación de la producción de etileno.

Para determinar la cantidad de etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) emitido por los frutos se tomaron muestras de la atmósfera del interior de los recipientes herméticamente cerrados (los mismos que se emplearon para medir la cantidad de CO<sub>2</sub> producido). Transcurrido un tiempo de 3 horas tras el cierre (Martínez Téllez, 1993; Lafuente *et al.*, 2001), se tomaron cuatro muestras por fruto, dos de ellas a las 3 horas de incubación y otras dos, media hora más tarde, mediante jeringuillas que se insertaron en placas de goma para evitar pérdidas del gas que contenían. El valor considerado como medida de cada tipo fue la media ponderada de todas las medidas de dicho tipo.

La concentración de etileno se analizó en el mismo cromatógrafo de gases (GC) que se utilizó en la determinación de la tasa respiratoria (modelo Perkin Elmer

Autosample Analyzer), conectado para determinar este gas a un detector de ionización de llama (FID), que se encontraba a 180 °C de temperatura. Las condiciones cromatográficas fueron:

- Temperatura del inyector: 160 °C
- Temperatura de la columna: 140 °C
- Gas portador: Nitrógeno
- Flujo del gas portador: 45 mL min<sup>-1</sup>

La concentración de etileno de cada muestra se calculó por comparación con los valores obtenidos del análisis del gas patrón, que contenía una concentración en C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> de 1 µL L<sup>-1</sup>. El tiempo de retención aproximado de los picos fue de 0.84 minutos. Los resultados se expresaron en µL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> Kg (mf)<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.



**Fotografía 3.15.-** Equipo GC formado por cromatógrafo de gases, columna y detectores, unidos a equipo con software procesador de datos (a y b); recipiente en el que se introducían los frutos para ser analizadas la tasa respiratoria y la producción de etileno (c).

### 3.7.- ANÁLISIS SENSORIAL

Con el objetivo de conocer la aceptación de los frutos de los diferentes clones y accesiones se realizaron cinco paneles de cata, con cinco catadores pertenecientes al equipo de investigación, evaluando tanto los 3 clones: CH-VIII, 806-PV y 821-PV, como las accesiones M1, M2 y M3.

Las muestras fueron presentadas individualmente, en platos de plástico, codificados con números aleatorios de tres dígitos y en orden aleatorio. Cada catador no entrenado, evaluó los siguientes parámetros: color, apariencia, sabor, textura en boca y apreciación global, en base a una escala de 1 a 5, correspondiente a:

- *Color y apariencia:* de 1 (poco atractivo) a 5 (muy atractivo)
- *Sabor:* de 1 (muy desagradable) a 5 (muy agradable)
- *Textura:* de 1 (muy duro) a 5 (nada duro)

- *Apreciación global*: de 1 (totalmente rechazable) a 5 (totalmente aceptable)

### **3.8.- ANÁLISIS DE LOS DATOS**

Los resultados obtenidos en cada experimento se han analizado mediante análisis factorial de la varianza, utilizando el paquete estadístico STATGRAPHIC 5.1. plus (Statistical Graphics Corporation, 2005). La separación de medias se ha realizado con el test LSD, considerando significativas las diferencias con  $P \leq 0,05$ . Previo al análisis de la varianza los valores porcentuales se han transformado mediante la función  $\arcsen\sqrt{\cdot}$ .

Con vistas a facilitar la interpretación de los resultados del estudio 3.1, en primer lugar, se han analizado por separado los datos correspondientes a cada campaña por separado, y después (en su caso) de forma conjunta.



## 4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las campañas 2000-01 y 2001-02 se ensayaron tres clones, *CH-VIII*, *806-PV* y *821-PV*, y los dos últimos también en las campañas 2002-03 y 2003-04, mientras las accesiones M1, M2 y M3 se ensayaron en la campaña 2005-06, por lo que con vista a no hacer demasiado farragosa la presentación y discusión de los resultados, en cada apartado se analizan los resultados de los clones *806-PV* y *821-PV* en las cuatro campañas y posteriormente se comentan las diferencias o similitudes de los frutos del clon *CH-VIII* obtenidos en las dos primeras campañas; los resultados obtenidos en la campaña 2005-06 se analizan aparte.

### 4.1.- EVOLUCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO EN LA FASE CRECIMIENTO Y MADURACIÓN

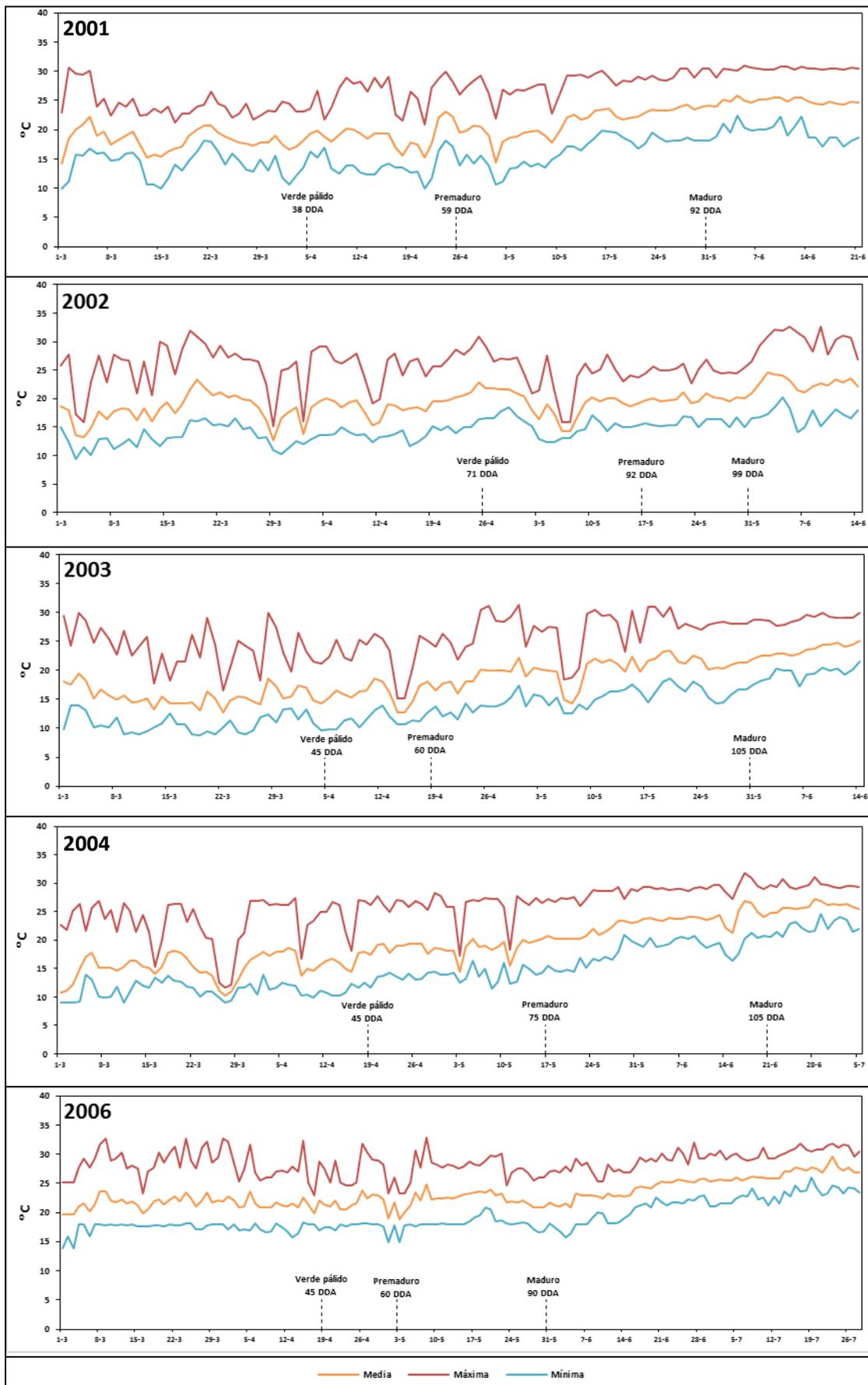
En la figura 4.1.01 se presenta la evolución de las temperaturas máxima, mínima y media registradas durante los cuatro ciclos de cultivo. Se observa que en las campañas 2000-01 y 2001-02, sin control climático, y 2002-03 y 2003-04, con regulación de temperatura entre 10 y 30 °C, las temperaturas mínimas registradas durante los meses de marzo y abril fueron inferiores a las de 2005-06, con regulación térmica entre 10 y 30 °C. Durante la última fase de cultivo de las campañas 2003-04 y 2005-06 las temperaturas registradas fueron superiores a las de las campañas anteriores, debido a que el período de recolección se alargó hasta el 30 de junio en 2004 y el 28 de julio en 2006.

#### 4.1.01.- Experimentos realizados en las campañas de 2000-01 a 2003-04

##### 4.1.01.1- Parámetros morfológicos

##### 4.1.01.1.1- *Clones 806-PV y 821-PV*

En las figuras 4.1.02, 4.1.03, 4.1.04 y 4.1.05 se presentan las evoluciones que experimentan los frutos durante las fases de crecimiento y maduración correspondiente a las campañas 2000-01, 2001-02, 2002-03 y 2003-04, expresadas en peso fresco, tamaño [longitud (L), anchura (A, diámetro máximo)] y forma (expresada como relación L/A) de los frutos correspondientes al primer ramillete (cuajados en enero) en relación a los días transcurridos desde la antesis (DDA).



**Figura 4.1.01.-** Evolución de las temperaturas máxima, media y mínima registradas durante 2001, 2002, 2003, 2004 y 2006.

Como es lógico, el peso y el tamaño del fruto aumentaron con el paso de los días después de la anthesis (fecha de muestreo) hasta alcanzar su tamaño definitivo, que en estos experimentos se produjeron en el rango 60 - 85 DDA, coincidiendo con los valores reportados en la bibliografía [ $\approx$  60 DDA, Schaffer *et al.* 1989; de 38 a 72 días, Heyes *et al.* 1994; de 40 a 70 DDA, Nuez y Prohens, 1996].

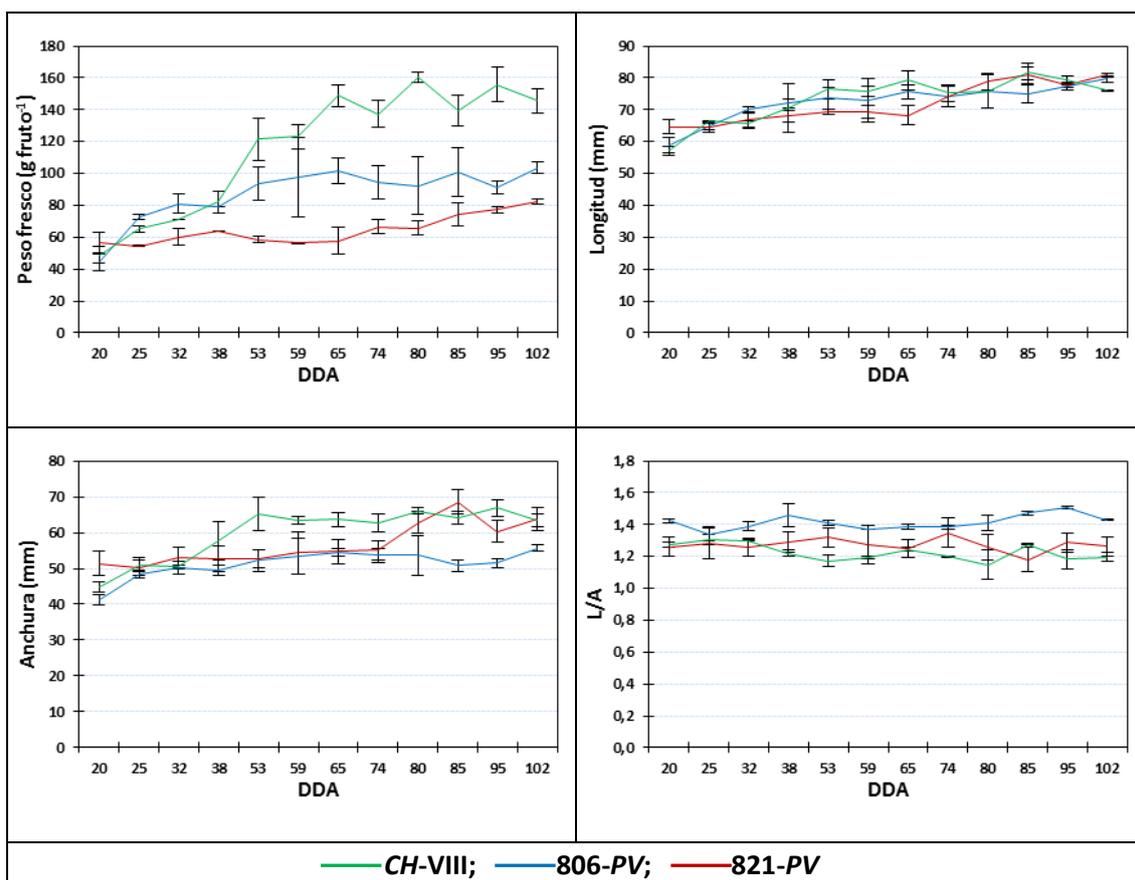
Durante la fase de maduración de la campaña 2000-01, el incremento en peso y tamaño de los frutos fue pequeño (figura 4.1.02), lo que es acorde con los resultados obtenidos por Kola *et al* (2015) en Turquía con frutos del cv. 'Miski'. El tiempo transcurrido hasta que el fruto estuvo maduro fue de 102 días, coincidiendo con los 70-100 días indicado por Nuez y Prohens (1996). La evolución del peso unitario tuvo una tendencia similar a la de la producción acumulada de frutos obtenida por Fresquet *et al.* (2001) con el clon *CH-III* en Paiporta (Valencia), en los años 1998 y 1999. Los frutos maduros producidos en la campaña 2000-01 (los correspondientes al muestreo realizado 102 DDA) tuvieron un peso comprendido entre 82 g (frutos del clon 806-*PV*) y 146 g (frutos del clon 821-*PV*) y una longitud comprendida entre 76 mm (frutos del clon 821-*PV*) y 81 mm (frutos del clon 806-*PV*).

En la campaña de 2001-02 (figura 4.1.03) se obtuvieron frutos más grandes. Los frutos maduros (muestreados 99 DDA) del clon 806-*PV* fueron más alargados ( $L/A \approx 1.25$ ) que los del clon 821-*PV* ( $L/A \approx 1.18$ ). Los frutos necesitaron unos 85 días para alcanzar el tamaño definitivo (unos diez días más que en la campaña anterior) y alcanzaron la madurez aproximadamente a los 100 días, igual que en la campaña anterior.

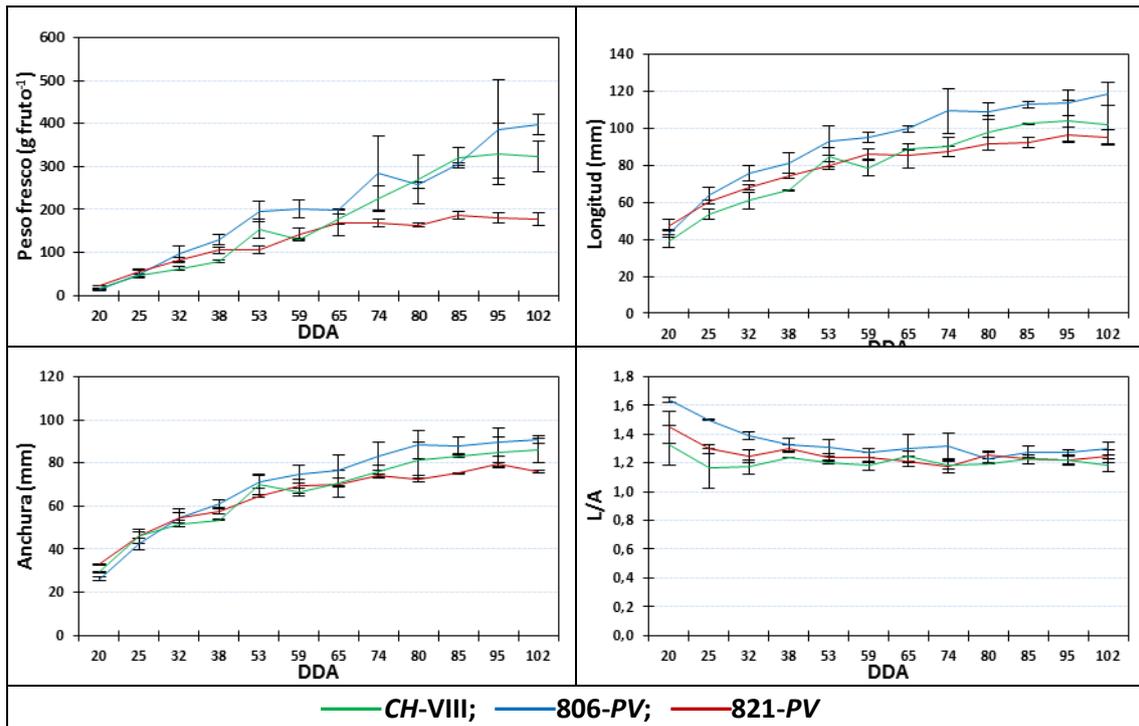
En las evoluciones del peso y forma de los frutos durante las fases de crecimiento y maduración correspondiente a la campaña 2002-03 (figura 4.1.04) se observó una tendencia similar a la de los años anteriores, destacando el clon 821-*PV* respecto al 806-*PV* sobre todo por el mayor incremento del peso unitario (hasta de 250 g), y también, aunque en menor medida, de la anchura (83 mm) y de la longitud (93 mm) de los frutos. Mientras los frutos del clon 806-*PV* alcanzaron el tamaño definitivo aproximadamente a los 75 DDA, los frutos del clon 821-*PV* continuaron creciendo hasta los 100 días que necesitaron para alcanzar la madurez.

Las evoluciones de los pesos y tamaños de los frutos de la campaña 2003-04 fueron ligeramente distintas a las de los años anteriores (figura 4.1.05). Al igual que en la campaña anterior, los frutos del clon 821-*PV* (peso unitario  $\approx$ 150 g,  $L=82$  mm) fueron

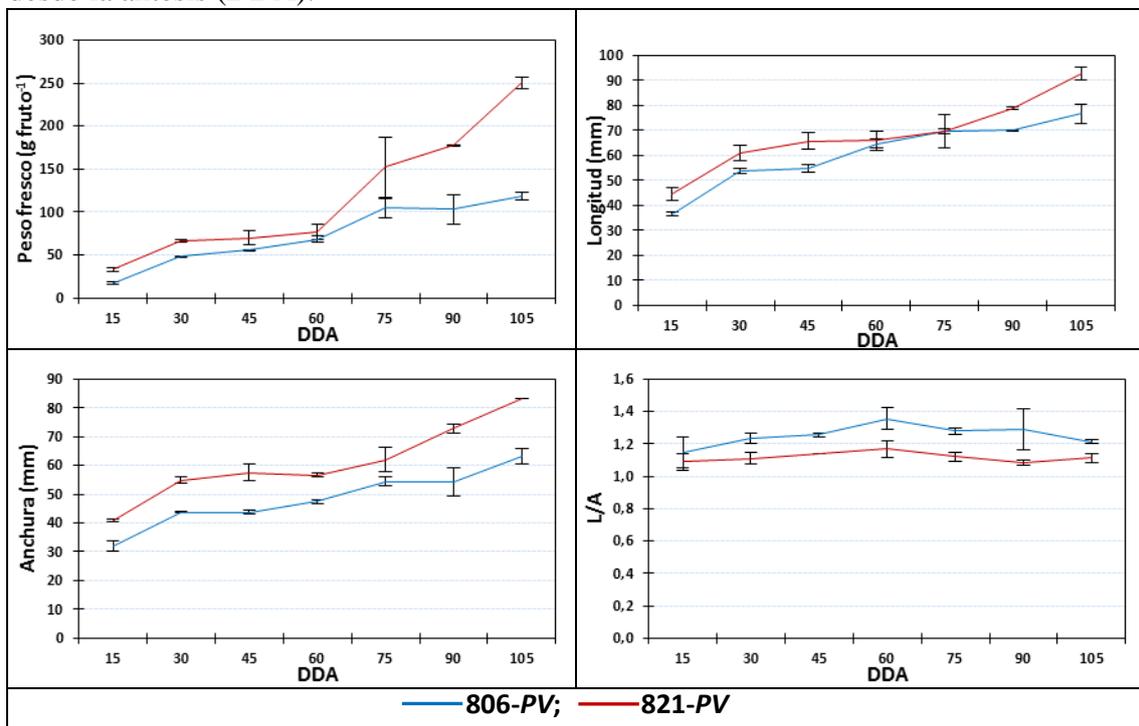
más grandes que los del clon 806-PV (peso unitario  $\approx 91$ g,  $L=74$  mm), pero ni el peso ni el tamaño aumentaron a partir de los 60 DDA (primeros de junio), que aunque está dentro del período indicado en la bibliografía anteriormente citada, está probablemente relacionado con las temperaturas registradas en la última fase del período de muestreo, que fueron superiores a las del año anterior, debido a que la fructificación se produjo más tarde (concretamente el cuajado se produjo 17 días más tarde). El pepino dulce probablemente pertenece al grupo de plantas con metabolismo fotosintético C3 (Nuez y Ruiz, 1996) en las que elevadas intensidades luminosas (y las correspondientes temperaturas elevadas) incrementan la fotorrespiración y disminuyen la eficiencia fotosintética, y consecuentemente limitan el crecimiento de los frutos. La menor eficiencia fotosintética, junto a la competencia entre frutos (del mismo y distinto ramillete) y que comenzó a detectarse un inicio de la senescencia de la planta, fueron probablemente las causas del menor tamaño de los frutos.



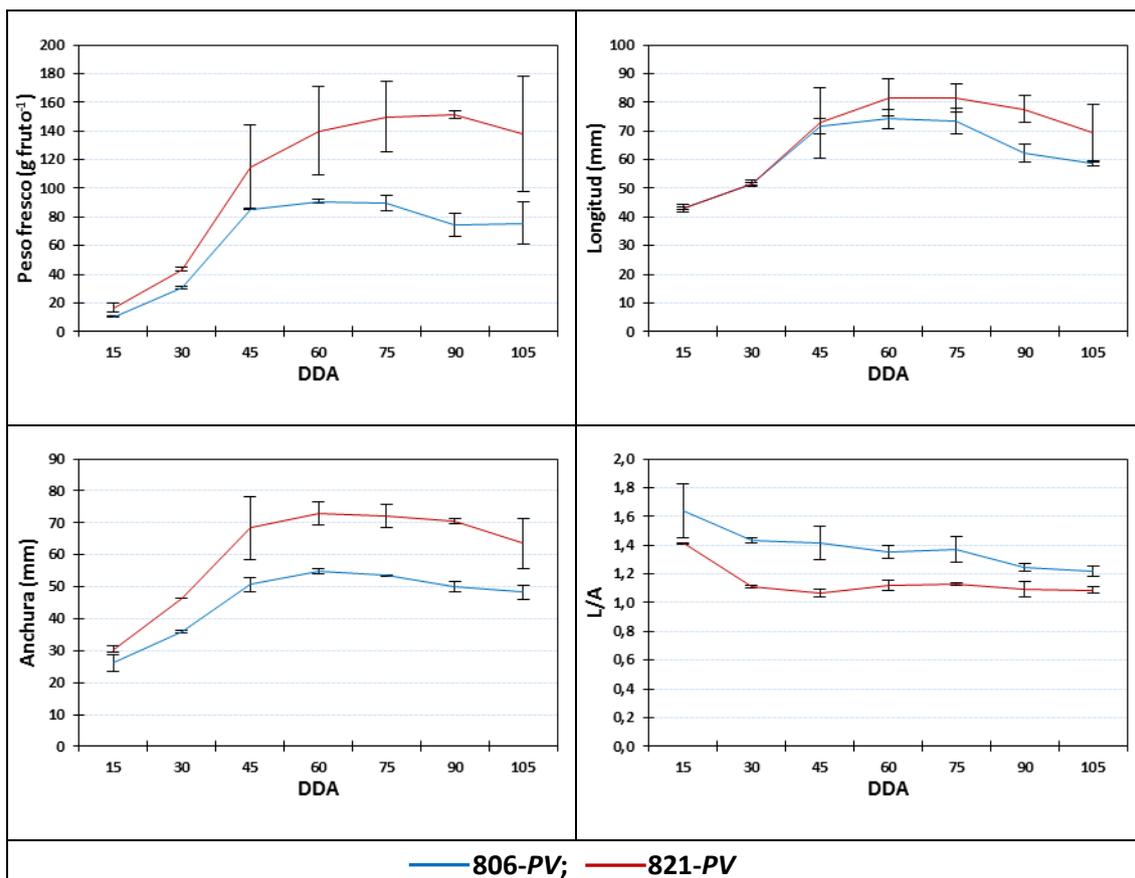
**Figura 4.1.02.-** Evolución de los frutos durante las fases de crecimiento y maduración correspondiente a la campaña 2000-01, expresadas en peso fresco (g), tamaño [longitud (L; mm), anchura (A, diámetro máximo; mm)] y forma (expresada como relación L/A) de los frutos correspondientes al primer ramillete, en relación a los días transcurridos desde la antesis (DDA).



**Figura 4.1.03.-** Evolución de los frutos durante las fases de crecimiento y maduración correspondiente a la campaña 2001-02, expresadas en peso fresco (g), tamaño [longitud (L; mm), anchura (A, diámetro máximo; mm)] y forma (expresada como relación L/A) de los frutos correspondientes al primer ramillete, en relación a los días transcurridos desde la antesis (DDA).

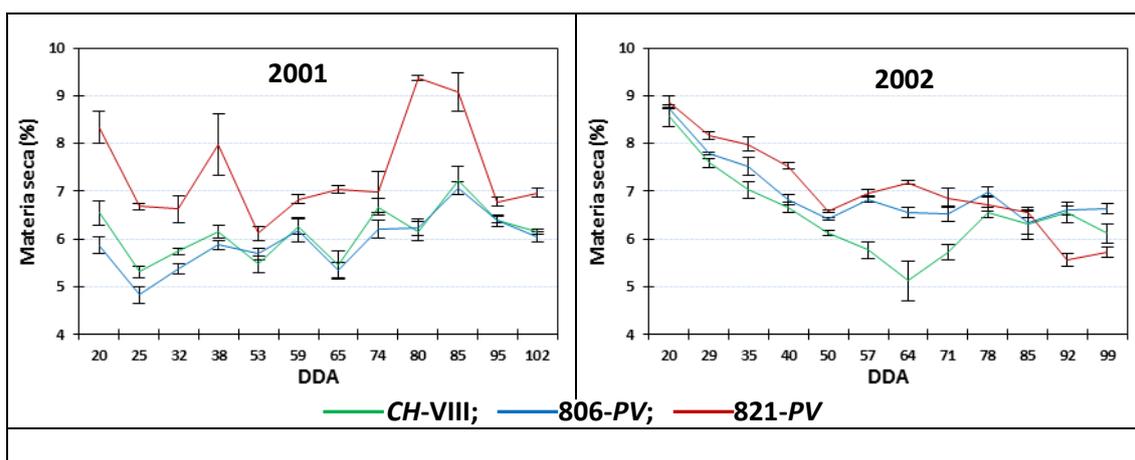


**Figura 4.1.04.-** Evolución de los frutos durante las fases de crecimiento y maduración correspondiente a la campaña 2002-03, expresadas en peso fresco (g), tamaño [longitud (L; mm), anchura (A, diámetro máximo; mm)] y forma (expresada como relación L/A) de los frutos correspondientes al primer ramillete, en relación a los días transcurridos desde la antesis (DDA).



**Figura 4.1.05.-** Evolución de los frutos durante las fases de crecimiento y maduración correspondiente a la campaña 2003-04, expresadas en peso fresco (g), tamaño [longitud (L; mm), anchura (A, diámetro máximo; mm)] y forma (expresada como relación L/A) de los frutos correspondientes al primer ramillete, en relación a los días transcurridos desde la antesis (DDA).

El rendimiento acumulado de frutos (expresado en materia fresca) obtenido en 2001 (1.13 y 1.30 kg frutos  $m^{-2}$  con los clones 806-PV y 821-PV, respectivamente) fue inferior al obtenido en la campaña 2002-03 (1.50 y 1.620 kg frutos  $m^{-2}$  con los clones 806-PV y 821-PV, respectivamente). El porcentaje de materia seca de los frutos evolucionó durante su crecimiento y maduración (figura 4.1.06), descendiendo inicialmente y aumentando después, teniendo los frutos en estado de “Verde pálido” a “Maduro” valores comprendidos entre 5.5 y 8%, coincidiendo estos valores con los valores obtenidos por Sánchez *et al.* (2000) en los cvs ‘Sweet Round’ y ‘Sweet Long’, y ligeramente inferiores a los obtenidos por Redgwell y Turner (1986, 6.8-8.2%) en el cv. ‘El Camino’ y por Prono-Widayat *et al.* (2003; 7.5 - 9.0%) en el cv. ‘Golden Globe’. Los frutos del clon 821-PV presentaron un contenido en materia seca ligeramente mayor que los del clon 806-PV.



**Figura 4.1.06.-** Evolución del contenido en materia seca (%) de los frutos de los clones *CH-VIII*, *806-PV* y *821-PV* durante las fases de crecimiento y maduración. Años 2001 y 2002.

En cuanto a la forma se observa una clara diferencia entre clones, de manera que los frutos del clon *806-PV* fueron más alargados (valores medios para los cuatro años de experiencias  $L/A=1.28$ ) que los del clon *821-PV* ( $L/A=1.18$ ).

Respecto a la evolución de los parámetros de crecimiento analizados, de entre los diferentes modelos de regresión estudiados (lineal, cuadrática, potencial, exponencial, logarítmica y sigmoideal), el modelo de regresión cuadrática es el que ha obtenido mejor ajuste (mayor nivel de significación y coeficiente de determinación). En la tabla 4.1.01 se presenta el modelo sigmoideal ajustado a las distintas combinaciones Año (2001, 2002, 2003 y 2004) x Clon (*PV-806* y *PV-821*), con los correspondientes valores de los parámetros de la ecuación y coeficientes de determinación. Se constata que con los valores del segundo año se ha obtenido un mejor ajuste que con los del primer año ( $R^2 > 0.96$  en 2002 y  $R^2 > 0.59$  en 2001). Los niveles de significación obtenidos en todos los casos fueron  $P \leq 0.10$ . No obstante, a pesar de los elevados valores de los coeficientes de determinación obtenidos en 2002 y en 2003, se considera que el ajuste no es correcto debido al elevado valor de la asíntota ( $A$ ), consecuencia de que los frutos habían continuado creciendo hasta el último muestreo (105 DDA).

Al igual que en 2001 y 2002, se ha obtenido un mejor ajuste con el modelo de regresión cuadrática (en todos los casos  $P \leq 0.01$ ;  $R^2 > 0.90$ ). Aunque Schaffer *et al.* (1989) obtuvieron un crecimiento de los frutos del pepino dulce acorde con el típico patrón sigmoideal, este modelo no es el que mejor se ha ajustado al crecimiento de los frutos, probablemente debido a varias causas. Por una parte, el muestro comenzó 20 DDA porque los frutos iban a ser analizados y era necesario que tuvieran un tamaño y peso mínimo para ser representativos; por otra parte, el análisis químico era un método

destrutivo por lo que los frutos considerados en los sucesivos muestreos fueron distintos.

**Tabla 4.1.01.-** Parámetros de las ecuaciones con ajuste sigmoïdal (*A*, *B*, y *C*)\* y coeficientes de determinación ( $R^2$ ) para los clones 806-PV y 821-PV. Años 2001, 2002, 2003 y 2004. \*  $y = \frac{A}{[1+\exp^{(B-Ct)}]}$

	806-PV			821-PV			
	Peso	Longitud	Anchura	Peso	Longitud	Anchura	
2001	A	97.76	140.01	109.23	199.68	78.36	65.38
	B	0.00	0.31	0.32	1.11	0.24	0.56
	C	0.01	0.01	0.01	0.01	0.07	0.07
	$R^2$	0.60	0.87	0.70	0.64	0.90	0.93
2002	A	184.50	94.93	76.51	371.79	107.93	87.64
	B	2.34	0.83	1.26	3.56	1.21	1.30
	C	0.07	0.05	0.06	0.06	0.04	0.05
	$R^2$	0.95	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96
2003	A	130.09	77.80	85.09	953.05	185.33	147.45
	B	2.10	0.52	0.59	3.62	1.17	1.03
	C	0.04	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01
	$R^2$	0.96	0.95	0.93	0.97	0.91	0.91
2004	A	85.09	67.82	52.09	147.02	147.05	70.66
	B	0.59	0.92	1.38	4.57	4.55	1.77
	C	0.02	0.09	0.09	0.13	0.13	0.09
	$R^2$	0.93	0.66	0.91	0.99	0.99	0.93

La existencia de competencia tanto entre frutos del mismo ramillete como entre los distintos ramilletes (Nuez y Ruiz, 1996) pudo influir también en la tasa de crecimiento del peso unitario de los frutos en los muestreos sucesivos. Se presenta el modelo de regresión cuadrática (tabla 4.1.02), en el que en todos los casos  $P \leq 0.05$  y  $R^2 > 0.78$ .

A partir de los valores del peso unitario y de las dimensiones de los frutos de los clones 806-PV y 821-PV, en las cuatro campañas en que se ensayaron, se ha obtenido una función matemática que permite relacionar lineal y positivamente, en cada clon, el peso unitario de los frutos con la longitud y la anchura de los mismos, lo que indica una dependencia directa entre los mismos. Se constata una mayor correlación en los frutos del clon 821-PV que en los del clon 806-PV.

#### Clon 806-PV

$$y = 2.800 x - 111.043 \quad (r = 0.83; P \leq 0.01)$$

$$y = 3.084 z - 84.221 \quad (r = 0.84; P \leq 0.01)$$

Clon 821-PV

$$y = 4.626 x - 200.638 \quad (r = 0.90; P \leq 0.01)$$

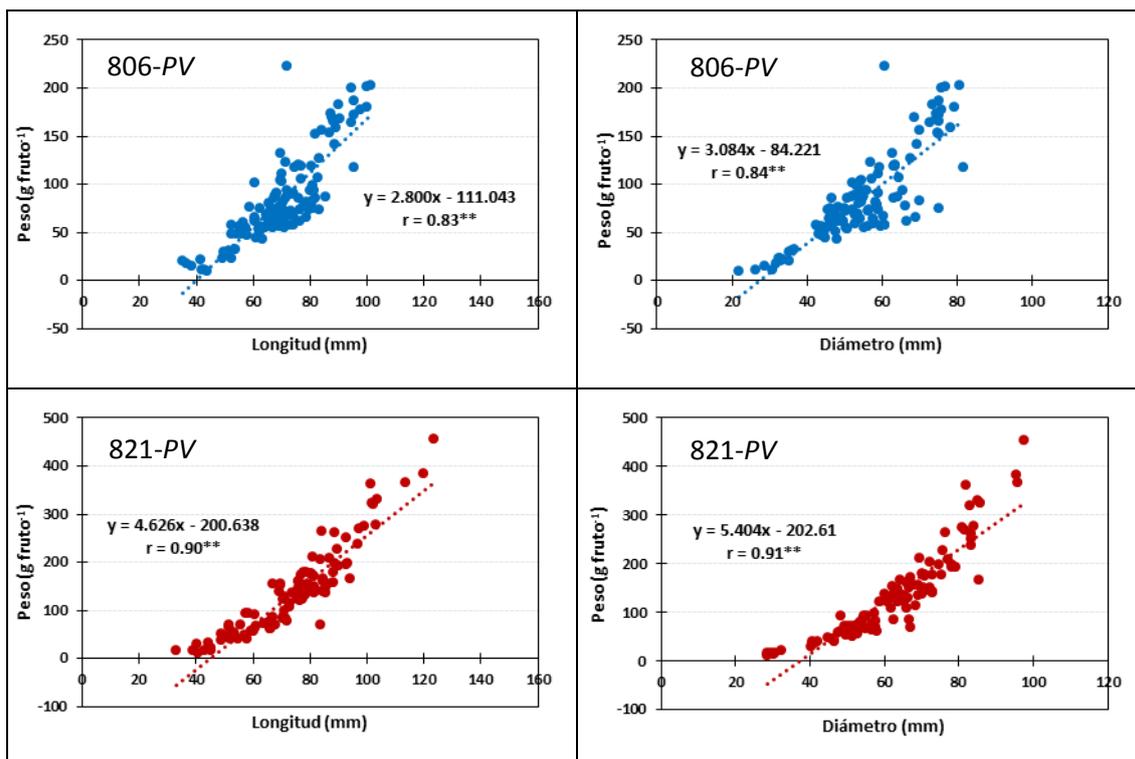
$$y = 5.404 z - 202.616 \quad (r = 0.91; P \leq 0.01)$$

siendo:

y = peso unitario del fruto (g), x = longitud del fruto (mm), w = anchura del fruto (mm)

**Tabla 4.1.02.-** Parámetros de las ecuaciones con ajuste cuadrático ( $y = Ax^2 + Bx + C$ ) y coeficientes de determinación para los clones 806-PV y 821-PV. Años 2001, 2002, 2003 y 2004.

	806-PV			806-PV			
	Peso	Longitud	Anchura	Peso	Longitud	Anchura	
2001	A	0.058	0.001	0.001	-0.020	-0.005	-0.005
	B	-0.424	0.071	-0.007	3.700	0.834	0.862
	C	65.476	62.545	50.019	-20.562	45.366	31.030
	R <sup>2</sup>	0.78	0.88	0.72	0.96	0.89	0.93
2002	A	-0.030	-0.008	-0.009	-0.004	-0.009	-0.009
	B	5.550	1.549	1.580	4.864	1.882	1.691
	C	-77.621	22.655	7.631	-93.468	6.106	1.688
	R <sup>2</sup>	0.92	0.98	0.98	0.97	0.98	0.98
2003	A	-0.004	-0.003	-0.001	0.023	0.001	-0.001
	B	1.565	0.810	0.354	-0.541	0.347	0.354
	C	-2.623	27.751	29.267	45.246	44.136	29.267
	R <sup>2</sup>	0.96	0.96	0.93	0.97	0.91	0.93
2004	A	-0.024	-0.012	-0.008	-0.031	-0.012	-0.013
	B	3.596	1.581	1.239	5.145	1.781	1.904
	C	-41.039	20.299	9.101	-62.740	15.609	4.274
	R <sup>2</sup>	0.90	0.91	0.96	0.97	0.95	0.97



**Figura 4.1.07.-** Relación entre peso unitario (g) y longitud (mm) y entre peso unitario y diámetro (mm) de los frutos de los clones 806-PV y 821-PV obtenidos en los años 2001, 2002, 2003 y 2004.

Al considerar los valores del peso unitario, L, A y L/A de los frutos de los estados, “Verde pálido”, “Virando” y “Maduro” de las cuatro campañas analizadas, 2000-01, 2001-02, 2002-03 y 2003-04 (años 2001, 2002, 2003 y 2004), se observa (tabla 4.1.03) que el año, el estado de maduración y el clon influyeron significativamente ( $P \leq 0.01$ ) en el peso unitario, en L y A de los frutos, de manera que en 2002 se obtuvieron los frutos de mayor longitud ( $P \leq 0.05$ ; 96 mm), anchura (79 mm) y peso unitario ( $P \leq 0.05$ ; 234 g). En cuanto al estado de maduración, los frutos de estado “Maduro” tuvieron un mayor peso unitario ( $P \leq 0.05$ ; 164 g) que los del estado “Premaduro” (133) y “Verde pálido” (108 g), siendo los más anchos ( $P \leq 0.05$ ; 69 mm) y más largos ( $P \leq 0.05$ ; 81 mm) que los del estado “Verde pálido” (73 mm). Los frutos del clon 821-PV tuvieron un mayor peso unitario ( $P \leq 0.05$ , 170 g), una mayor anchura ( $P \leq 0.05$ , 81 mm) y una menor relación L/A ( $P \leq 0.05$ , 1.15) que los del clon 806 (101 g, A=75 mm, L/A=1.28). Las interacciones significativas ( $P \leq 0.01$ ,  $P \leq 0.05$ ), se deben a que las diferencias entre los valores de los parámetros fueron mayores en 2003 que en los otros años, en el estado “Maduro” que en los otros estados, y que las diferencias entre los valores de los dos clones fueron distintas en los diferentes años (mayores

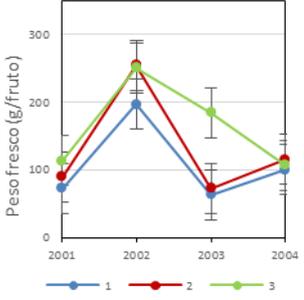
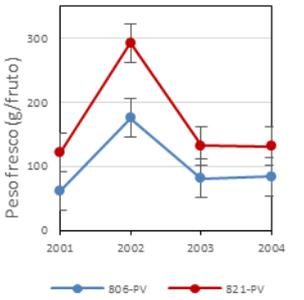
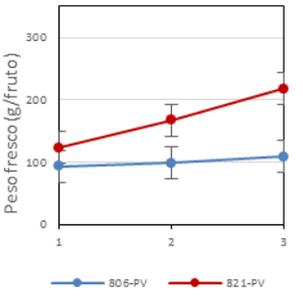
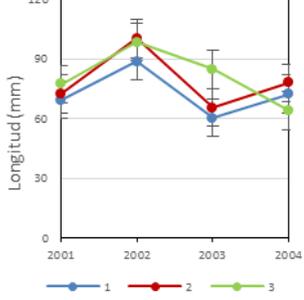
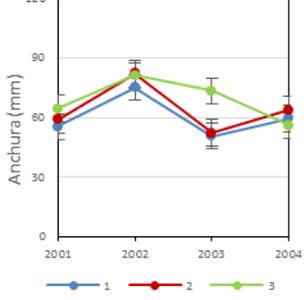
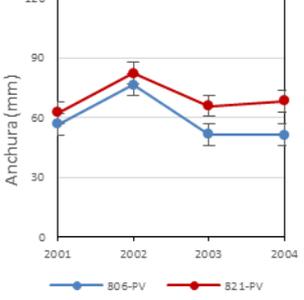
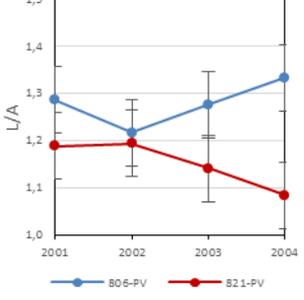
valores en 2004 o en 2002). A título de ejemplo se presentan las interacciones significativas correspondientes a la tabla 4.1.03.

**Tabla 4.1.03.-** Influencia del año de experimentación (2001, 2002, 2003 y 2004), del estado de maduración [“Verde pálido” (1), “Premaduro” (2) y “Maduro” (3)] y del clon (806-PV y 821-PV) en el peso unitario (g), longitud (L, mm), anchura (A, mm) y relación L/A de los frutos.

	Peso	Longitud	Anchura	L/A
<b>Año (A)</b>				
2001	91.96 b	73.043 b	59.538 b	1.237
2002	234.20 a	95.729 a	79.378 a	1.204
2003	106.69 b	70.148 b	58.687 b	1.208
2004	107.59 b	71.346 b	59.745 b	1.208
<b>Estado maduración (M)</b>				
1	108.31 c	72.616 b	60.123 c	1.219
2	133.27 b	78.978 a	64.252 b	1.240
3	163.75 a	81.106 a	68.636 a	1.183
<b>Clon (C)</b>				
806-PV	100.56 b	74.624 b	58.964	1.277 a
821-PV	169.66 a	80.509 a	69.710	1.151 b
<b>ANOVA</b>				
<b>Parámetros (gl)</b>	<b>% Suma de cuadrados</b>			
A (3)	46.81 **	47.27 **	41.97 **	1.26 ns
M (2)	7.26 **	5.54 **	6.71 **	4.03 ns
C (1)	16.88 **	3.69 *	16.03 **	29.26 **
A*M (6)	6.99 **	13.62 *	12.77 **	3.70 ns
A*C (3)	2.89 *	0.75 ns	3.60 *	12.31 **
M*C (2)	3.64 **	0.21 ns	0.16 ns	0.48 ns
A*M*C (6)	1.79 ns	1.63 ns	1.20 ns	5.01 ns
Residual (48)	13.74	27.30	17.56	43.96
DE	38.18	9.81	6.89	0.09

DE: Desviación estándar

Interpretación de las interacciones significativas (\*\* $P \leq 0.01$ , \* $P \leq 0.05$ ) de la tabla 4.1.03.

Año * Estado maduración	Año * Clon	Estado maduración * Clon
		
	<p style="text-align: center;">ns</p>	<p style="text-align: center;">ns</p>
		<p style="text-align: center;">ns</p>
<p style="text-align: center;">ns</p>		<p style="text-align: center;">ns</p>

## 4.1.01.1.2.- El clon CH-VIII

En la figura 4.1.02 se han presentado las evoluciones de los frutos del clon CH-VIII (conjuntamente con los de los clones 806-PV y 821-PV). Durante el crecimiento y la maduración de los frutos, en 2001, los frutos de CH-VIII tuvieron un peso unitario intermedio entre los otros dos clones, teniendo una forma más alargada ( $L/A=1.36$ ). En 2002 (figura 4.1.03) se obtuvieron frutos más grandes, siendo los del clon CH-VIII los más grandes (peso unitario de 397 g; 118 mm de longitud y 91 mm de anchura). Los frutos maduros (muestreados 99 DDA) del clon CH-VIII, a pesar de ser los más anchos también fueron los más alargados ( $L/A \approx 1.30$  frente a valores de 1.25 y 1.18 de los frutos de los clones 806-PV y 821-PV, respectivamente).

En la tabla 4.1.04 se presenta el modelo sigmoideal ajustado a la evolución de los parámetros de crecimiento analizados, con los correspondientes valores de los parámetros de la ecuación y coeficientes de determinación. Se constata que con los valores del segundo año se ha obtenido un mejor ajuste que con los del primer año. Al igual que en los clones 806-PV y 821-PV se presenta el modelo de regresión cuadrática (tabla 4.1.05), en el que se constata un mejor ajuste en 2002.

**Tabla 4.1.04.-** Parámetros de las ecuaciones con ajuste sigmoideal ( $A$ ,  $B$  y  $C$ )\* y coeficientes de determinación ( $R^2$ ) el clon CH-VIII. Años 2001 y 2002.

$$* y = \frac{A}{[1 + \exp(B - Ct)]}$$

	2001			2002		
	Peso	Longitud	Anchura	Peso	Longitud	Anchura
$A$	96.19	75.25	52.60	371.78	117.44	90.34
$B$	3.59	3.83	40.13	3.56	1.20	1.70
$C$	0.18	0.26	2.07	0.06	0.05	0.06
$R^2$	0.79	0.86	0.76	0.97	0.96	0.97

**Tabla 4.1.05.-** Parámetros de las ecuaciones con ajuste cuadrático ( $y = Ax^2 + Bx + C$ ) y coeficientes de determinación para el clon CH-VIII. Años 2001 y 2002.

	2001			2002		
	Peso	Longitud	Anchura	Peso	Longitud	Anchura
$A$	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01
$B$	1.92	0.50	0.42	0.86	2.24	2.15
$C$	24.17	53.89	37.55	-75.73	7.48	9.28
$R^2$	0.82	0.85	0.71	0.97	0.98	0.99

A partir de los valores del peso unitario y de las dimensiones de los frutos de clon CH-VIII, en las dos campañas en que se ensayó, se ha obtenido una función

matemática que permite relacionar lineal y positivamente el peso unitario de los frutos con la longitud y la anchura de los mismos, lo que indica una dependencia directa entre los mismos.

$$y = 5.269z - 286.867 \quad (r = 0.94; P \leq 0.01)$$

$$y = 5.773w - 202.895 \quad (r = 0.92; P \leq 0.01)$$

siendo:

$y$  = peso unitario del fruto (g),  $z$  = longitud del fruto (mm),  $w$  = anchura del fruto (mm)

En la tabla 4.1.06 se presentan los resultados de los ANOVA correspondientes al peso, L, A y relación L/A de los de los estados “Verde pálido”, “Virando” y “Maduro” de las dos primeras campañas (años 2001 y 2002), analizados conjuntamente.

**Tabla 4.1.06.-** Influencia del año de experimentación (2001 y 2002), del estado de maduración [“Verde pálido” (1), “Premaduro” (2) y “Maduro” (3)] y del clon (*CH-VIII*, *806-PV* y *821-PV*) en el peso unitario (g), longitud (L, mm), anchura (A, mm) y relación L/A de los frutos.

	Peso	Longitud	Anchura	L/A
<b>Año (A)</b>				
2001	91.20 b	73.23 b	57.08 b	1.30 a
2002	274.82 a	101.78 a	82.19 a	1.24 b
<b>Estado maduración (M)</b>				
1	150.53	82.89	65.52 b	1.28 a
2	195.65	88.68	70.80 a	1.26 b
3	202.85	90.94	72.59 a	1.26 b
<b>Clon (C)</b>				
<i>CH-VIII</i>	222.86 a	93.74 a	69.99	1.36
<i>806-PV</i>	118.63 b	82.48 b	66.58	1.25
<i>821-PV</i>	207.53 a	86.29 b	72.33	1.19
<b>ANOVA</b>				
Parámetros (gl)	% Suma de cuadrados			
Año (1)	53.05 **	59.96 **	69.92 **	6.97 *
Maduración (2)	ns	3.38 ns	3.99 *	0.39 ns
Clon (2)	**	6.43 *	2.47 ns	34.46 **
A*M (2)	0.89 ns	0.55 ns	0.33 ns	1.38 ns
A*C (2)	6.27 **	5.21 *	6.16 **	4.95 ns
M*C (4)	1.49 ns	0.46 ns	0.27 ns	2.27 ns
A*M*C (4)	ns	0.49 ns	0.77 ns	0.52 ns
Residual (36)		23.51	16.09	49.05
DE	61.43	9.48	6.39	0.09

DE: Desviación estándar

Existieron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre el peso unitario, la longitud y anchura de los frutos correspondientes a las dos campañas, correspondiendo el mayor

valor de estos parámetros a la campaña 2001-02. Los frutos del clon 806-PV tuvieron el menor peso unitario (119 g) y los del clon CH-VIII la forma más alargada ( $L/A=1.36$ ). La interacción Año x Clon resultó significativa en cuanto al peso unitario ( $P\leq 0.01$ ), a la longitud ( $P\leq 0.05$ ) y al diámetro ( $P\leq 0.01$ ) de los frutos, debido a que las diferencias obtenidas entre algunos de los clones fueron significativas ( $P\leq 0.05$ ) en el año 2002, pero no en 2001.

#### 4.1.01.2.- Parámetros físico-químicos

##### 4.1.01.2.1- Clones 806-PV y 821-PV

##### 4.1.01.2.1.1.- Color de la piel

El color externo de los frutos es el cambio más evidente que se produce durante la maduración de muchos frutos, siendo el principal criterio utilizado por los consumidores para determinar si estos frutos están maduros o no (Kays, 1999; Kola, 2010); en un estudio realizado por Huyskens-Keil *et al.* (2000) en el área de Brandeburgo de Berlín, los criterios calificados como más importantes por los consumidores en la elección de los frutos de pepino dulce fueron el sabor, el precio y el valor nutritivo (que son desconocidos y/o sobre los que no se puede actuar), seguidos del tamaño (ya analizado) y del color de la piel.

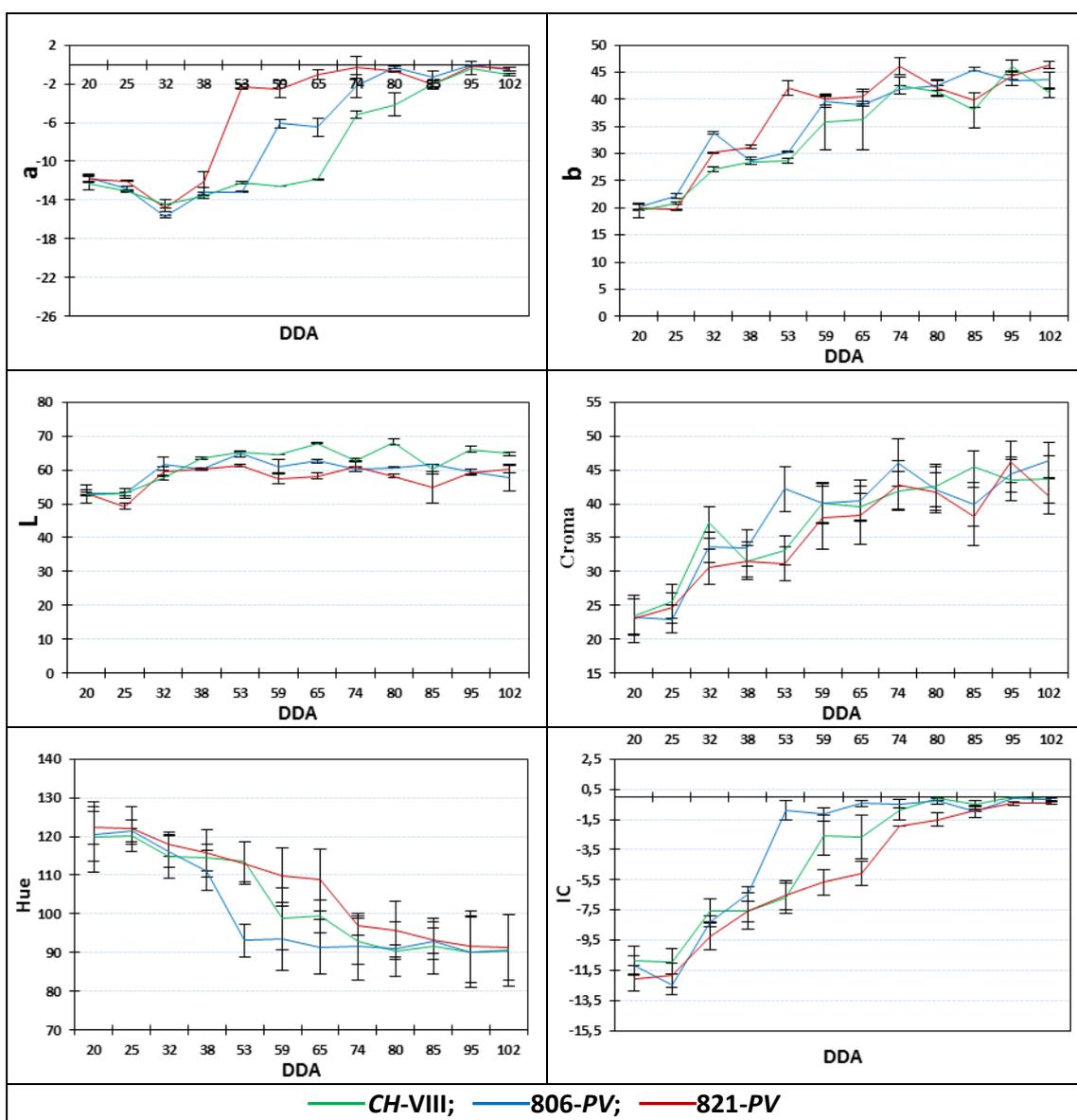
La coloración inicial del fruto en formación es verde oscuro, que con el crecimiento pasa a verde pálido, y con la maduración a amarillento, inicialmente verdoso y después más anaranjado (fotografía 4.01).



**Fotografía 4.01.-** Coloración de los frutos en los estados (de izquierda a derecha) “Verde oscuro”(Clon CH-VIII), “Verde pálido” (Clon 806-PV), “Premaduro”(Clon 806-PV) y “Maduro” (Clon 821-PV).

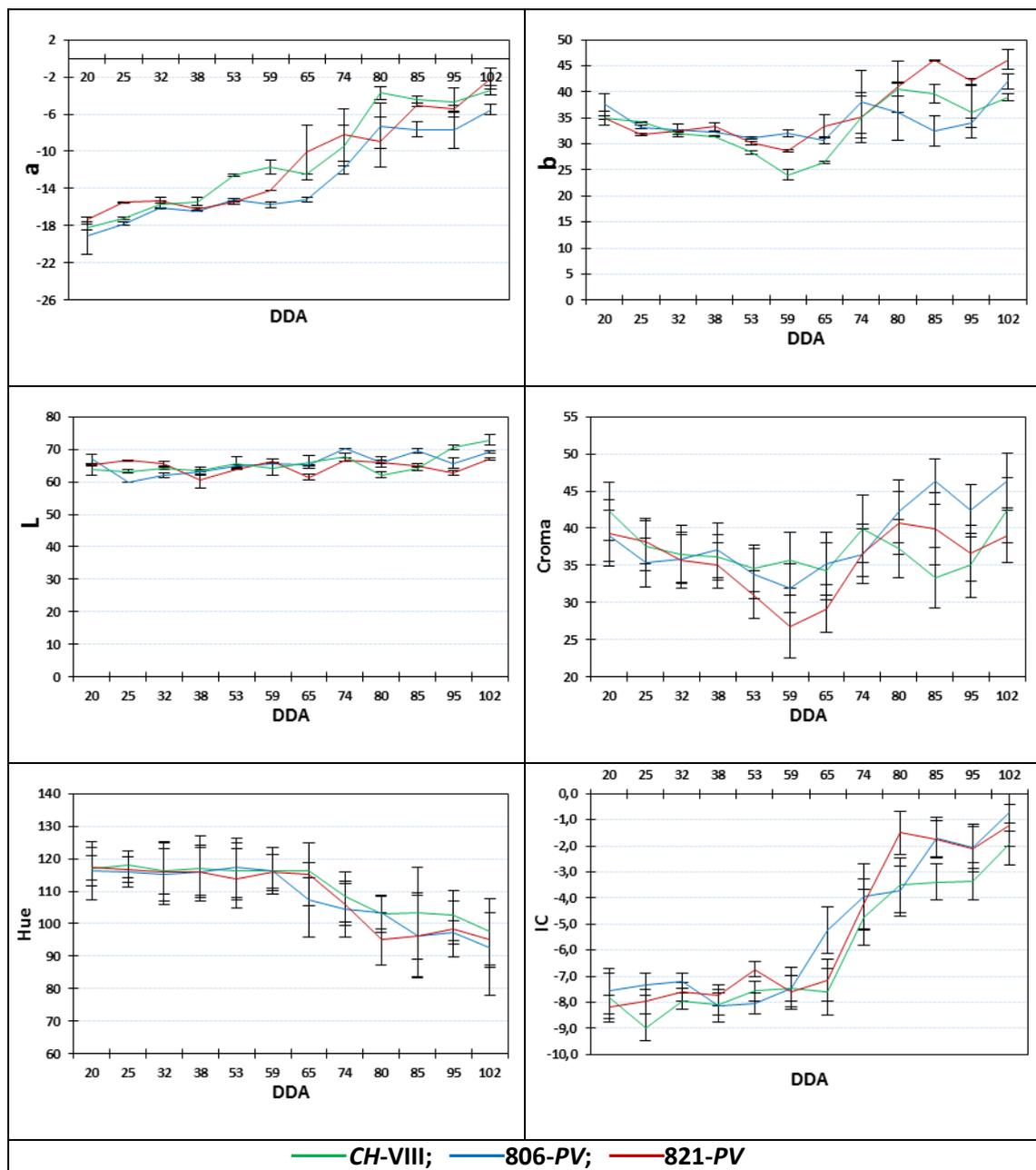
En las figuras 4.1.08-09-10-11 se presenta la evolución de los valores de las funciones de color *Croma*, *Hue* e *IC* (obtenidas a partir de las coordenadas CIE  $L^*a^*b^*$ , correspondientes a los frutos de los clones 806-PV y 821-PV obtenidos durante los años 2001 a 2004, y al clon CH-VIII durante los años 2001 y 2002. El valor de *a* (que es negativo) aumentó de forma marcada [(disminuyó en valor absoluto), es decir los frutos eran menos verdes] con el crecimiento y la maduración, mientras que el valor de *b*

aumentó con la maduración (los frutos eran más amarillos), de forma diferente en las distintas campañas y en los dos clones; el valor de  $L$  aumentó ligeramente en 2001 y 2002, se mantuvo prácticamente constante en 2004, y los clones se comportaron de manera diferente en 2003 (en cada caso tuvieron una luminosidad ligeramente superior o similar). El valor del  $Croma$  aumentó (mayor saturación del color de la piel) durante las fases de crecimiento y maduración en 2001, mientras que en los otros años disminuyó inicialmente y volvió a incrementarse posteriormente, mientras que el  $Hue$  disminuyó (a valores ligeramente inferiores a 100, que están comprendidos entre 120, correspondiente al color verde, y 90, correspondiente al color naranja).

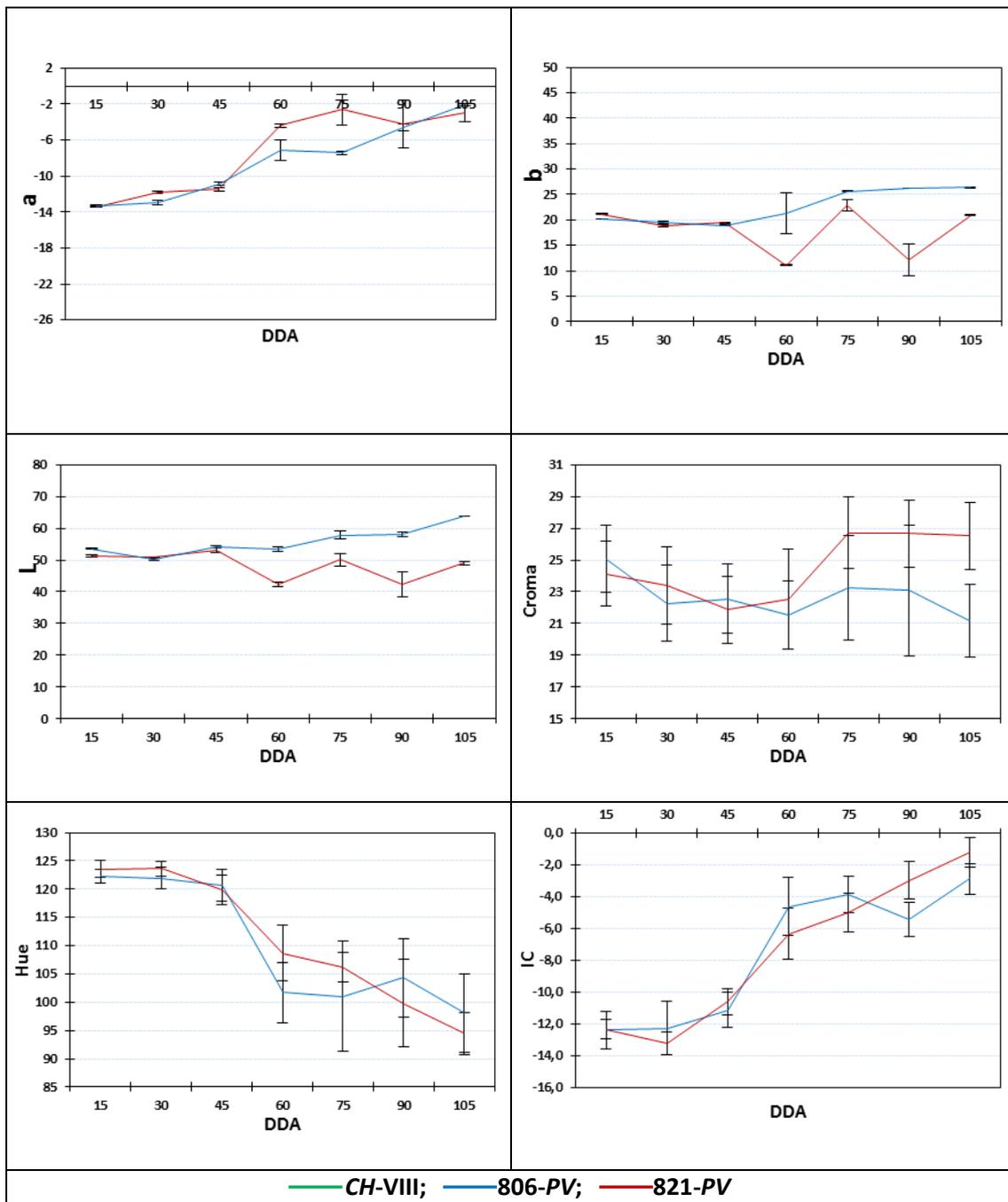


**Figura 4.1.08.-** Coordenadas de color  $a$ ,  $b$  y  $L$  (CIE  $L^*a^*b^*$ ), y funciones de color  $Croma$ ,  $Hue$  e  $IC$  correspondientes a los clones  $CH-VIII$ ,  $806-PV$  y  $821-PV$ , en el año 2001.

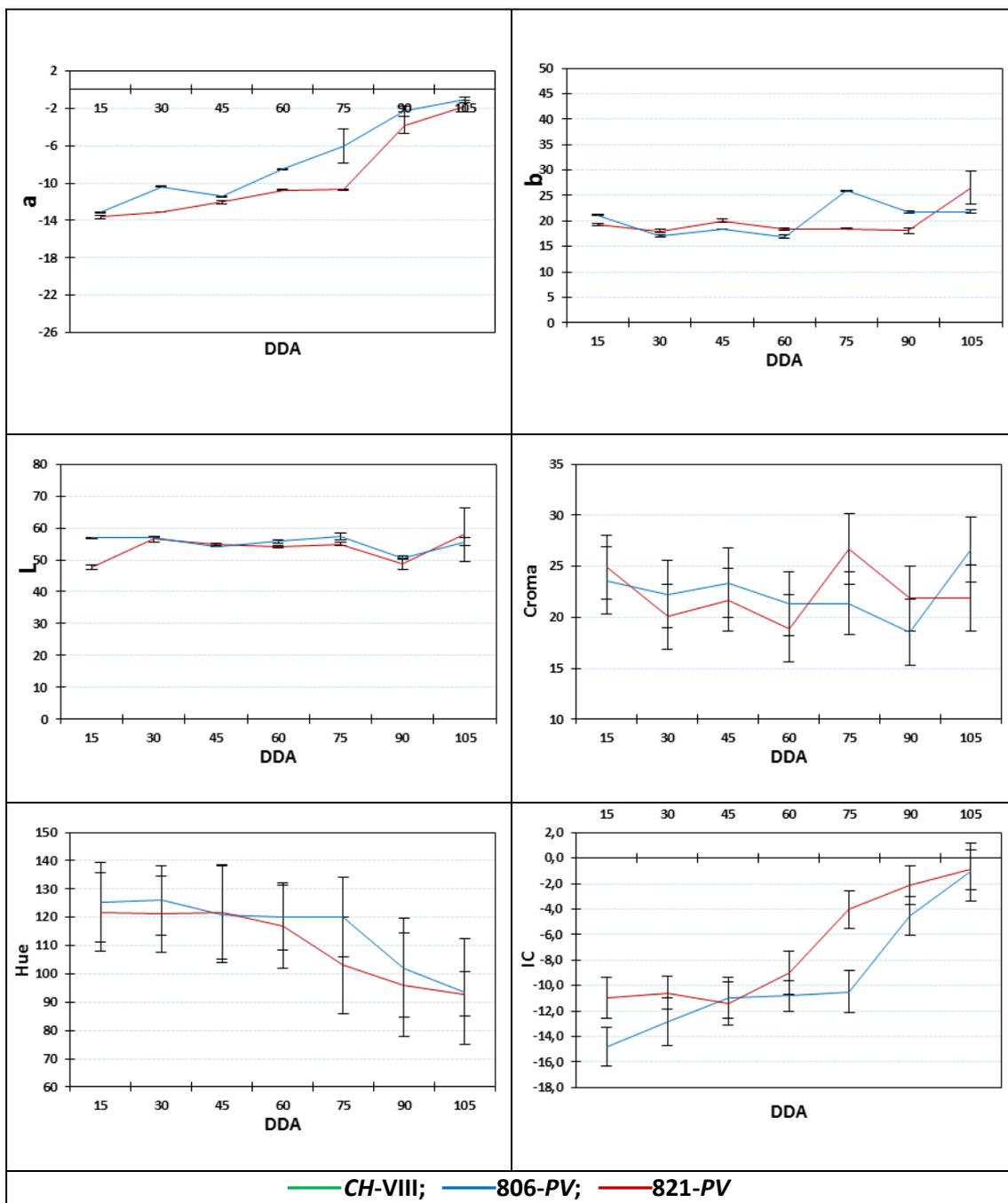
El valor del *IC* (figuras 4.1.08. y 4.1.09) de los frutos de los tres clones aumentó (disminuyó en valor absoluto) con el crecimiento y maduración de los mismos (aunque siguiendo patrones algo diferentes según las distintas campañas, desde los valores iniciales, correspondientes al estado “Verde oscuro” (-14/-7) a los correspondientes a los frutos “Maduros” ( $\approx$ -3/-0.5), característico del paso de color verde a verde amarillento–amarillo verdoso de la piel). En 2003, a diferencia de los otros años, el *IC* de los frutos del clon 821-PV fue mayor (es decir fueron más amarillos) que el de los frutos del clon 806-PV.



**Figura 4.1.09.-** Coordenadas de color *a*, *b* y *L* (CIE  $L^*a^*b^*$ ), e índices de color *Chroma*, *Hue* e *IC* correspondientes a los clones CH-VIII, 806-PV y 821-PV, en el año 2002.



**Figura 4.1.10.-** Coordenadas de color  $a$ ,  $b$  y  $L$  (CIE  $L^*a^*b^*$ ), e índices de color  $Croma$ ,  $Hue$  e  $IC$  correspondientes a los clones  $CH-VIII$ ,  $806-PV$  y  $821-PV$ , en el año 2003.



**Figura 4.1.11.-** Coordenadas de color *a*, *b* y *L* (CIE  $L^*a^*b^*$ ), e índices de color *Chroma*, *Hue* e *IC* correspondientes a los clones *CH-VIII*, *806-PV* y *821-PV*, en el año 2004.

Al considerar los parámetros y funciones de color de los frutos de los estados, “verde pálido”, “premaduro” y “maduro” se observa (tabla 4.1.07) que el estado de madurez fue el efecto que más influyó ( $P \leq 0.01$ ) en los valores de las funciones de color *a/b*, *Hue*, e *IC* [59 y 53% del porcentaje de la suma de cuadrados (PSC) en *Hue* e *IC*, respectivamente], existiendo diferencias ( $P \leq 0.05$ ) entre los tres estados, de manera que los mayores valores de *a/b*, *Chroma* e *IC* (menor en valor absoluto en los casos de *a/b* y de *IC*) y los menores de *Hue* correspondieron al estado “maduro” y los menores al

“verde pálido” (sin diferenciación estadística con el estado “premaduro” en el *Croma*. El clon no influyó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) en el *Croma* ni en el *IC*, pero sí ( $P \leq 0.05$ ) en la relación *a/b* y en el *Hue*, aunque explicando una reducida parte de su variabilidad ( $PSC=0.99$  en *a/b* y  $PSC= 1.18$  en *Hue*). El año influyó significativamente ( $P \leq 0.01$ ) en las tres funciones, destacando en el *Croma* ( $PSC=78\%$ ). En cuanto al *Croma*, en los años 2001 y 2002 se obtuvieron valores mayores ( $P \leq 0.05$ ) que en 2003 y 2004 ( $P \leq 0.05$ ); respecto al *Hue* (*IC*), los valores obtenidos, ordenados de mayor a menor (menor a mayor) correspondieron a 2004, 2003, 2001, 2002 ( $P \leq 0.05$  entre todos y cada uno de ellos). Las interacciones significativas ( $P \leq 0.01$ ) se deben al diferente comportamiento de los clones en las distintas campañas.

**Tabla 4.1.07.-** Influencia del año de experimentación (2001, 2002, 2003 y 2004), del estado de maduración [“Verde pálido” (1), “Premaduro” (2) y “Maduro” (3)] y del clon (806-PV y 821-PV) en el valor de las funciones de color *Croma*, *Hue* e *IC*.

		<i>a/b</i>	<i>Croma</i>	<i>Hue</i>	<i>IC</i>
Año (A)					
	2001	-0.24 b	37.82 a	102.87 c	-3.78 b
	2002	-0.16 a	39.57 a	98.97 d	-2.37 a
	2003	-0.32 c	22.70 b	107.23 b	-6.14 c
	2004	-0.40 d	22.30 b	111.03 a	-7.37 d
Estado maduración (M)					
	1	-0.48 c	28.46 b	115.03 a	-8.3 c
	2	-0.29 b	30.16 b	105.84 b	-5.22 b
	3	-0.07 a	33.17 a	94.20 c	-1.23 a
Clon (C)					
	806-PV	-0.26 a	31.45	103.81 b	-4.68
	821-PV	-0.30 b	29.75	106.24 a	-5.15
ANOVA					
Parámetros (gl)			%	Suma de cuadrados	
A(3)		17.67 **	78.17 **	18.58 **	24.42 **
M (2)		57.92 **	4.49 **	58.65 **	53.49 **
C (1)		0.99 *	0.86 ns	1.19 **	0.36 ns
A*M (6)		11.60 **	2.99 ns	11.15 **	13.15 **
A*C (3)		2.56 **	1.55 ns	2.68 **	1.88 **
M*C (2)		0.62 ns	0.08 ns	0.78 ns	0.37 ns
A*M*C (6)		1.87 ns	1.34 ns	1.90 ns	1.76 *
Residual (48)		6.77	10.52	7.03	4.58
DE		0.07	3.65	3.63	1.04

DE: Desviación estándar

Los valores citados en la bibliografía son dispares. En efecto, existen publicaciones en las que se indican cambios en los valores de *a* y *b*, pero no presentan

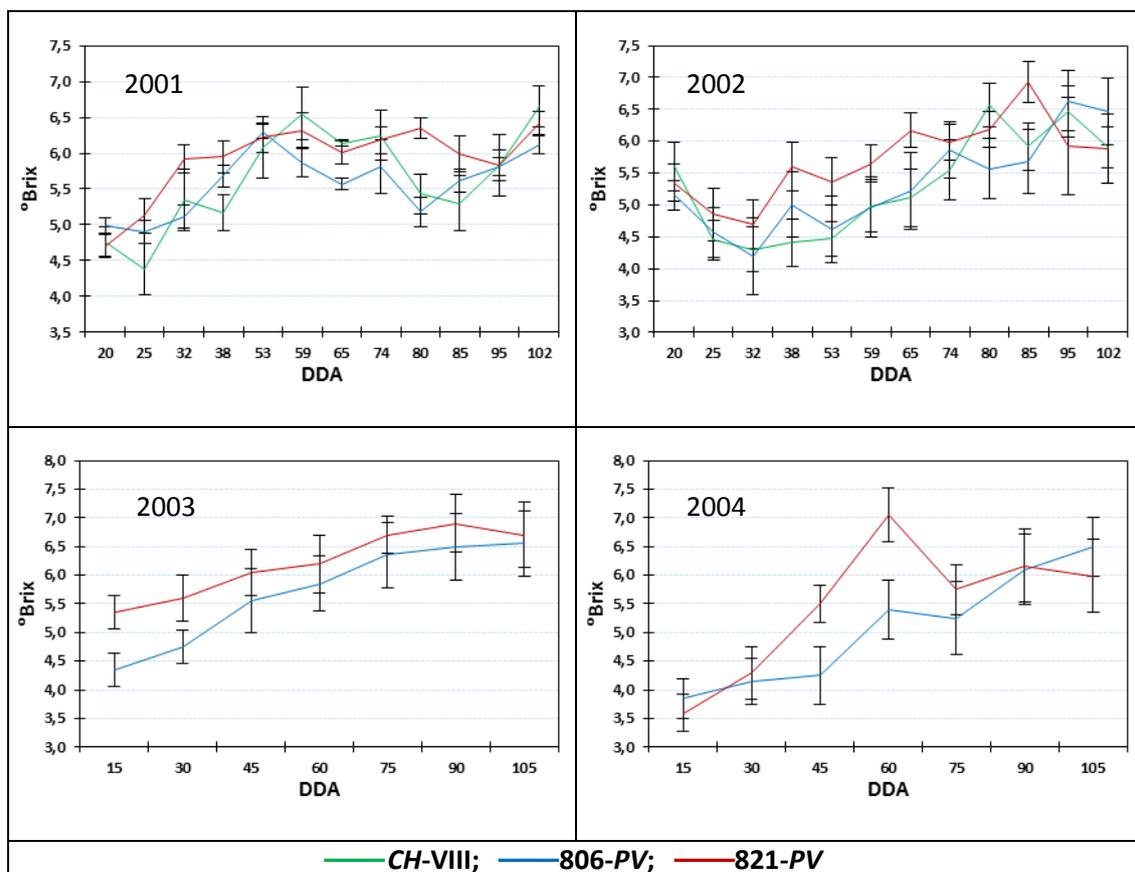
sus valores (Huyskens-Keil *et al.*, 2000); en el estudio realizado por Kola *et al.* (2015) en la campaña 2009-10, obtuvieron valores claramente diferentes en frutos del cv. ‘Miski’ producidos en dos ciudades distintas de Turquía, Akyazi (valores positivos de *a* y *Hue*) y Antalya (valores negativos de *a* y *Hue*); algunos de estos valores son coincidentes con los obtenidos en el presente estudio. Los valores de *Croma* obtenidos en este estudio aumentaron al progresar la maduración (28, 29, 33 en los estados “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro” respectivamente), y disminuyeron los valores de *Hue* (115 en los estados “Verde pálido”, 106 en “Premaduro”, 94 en “Maduro”). El amarilleamiento del color de la piel durante la maduración es indicada por la variación de los valores de las funciones de color, incremento de *Croma*, descenso de *Hue* y por el aumento de *IC* [disminución del valor absoluto en los valores negativos], que todos ellos aumentaron al pasar del estado “Premaduro” a “Maduro” (tabla 4.1.07). El cambio de color de la piel del fruto del pepino dulce se ha asociado con el cambio de clorofila y carotenoides en los frutos (Prono-Widayat *et al.*, 2003); durante la maduración se produce la degradación de la clorofila *a* (azul-verde) y el incremento de la clorofila *b* (amarillo-verde), incrementándose la relación clorofila *b*/clorofila *a*, promoviendo el cambio color de verde a amarillo. Después de la degradación de la clorofila se hacen visibles los carotenoides. Uno de los carotenoides más importantes y abundantes en la mayoría de frutos, incluido los de pepino dulce, es el  $\beta$ -caroteno. Prono-Widayat *et al.* (2003) obtuvieron que el contenido en  $\beta$ -caroteno aumentó a partir del estado *premature* (28-42 DDA). Los valores de *Hue* obtenidos coinciden totalmente con los obtenidos por Sánchez *et al.* (2000) en frutos del cv. ‘Sweet Long’ (121 en estado Verde, 115 en estado Premaduro, 95 en estado Maduro) producidos en Puzol (Valencia).

#### 4.1.01.2.1.2.- Sólidos Solubles Totales

En la figura 4.1.12 se presenta la evolución de los contenidos en SST ( $^{\circ}$  Brix) en relación a los DDA de los frutos correspondientes a los años 2001-2004 y cada clon. Se observa un aumento de los valores con la maduración de los frutos, habiéndose encontrado una relación entre el contenido en SST y los DDA.

En la tabla 4.1.08 se presentan los resultados de los ANOVA de los valores de los parámetros de las características físico-químicas [SST, acidez titulable (AT), índice de madurez (IM) y firmeza] de los frutos correspondientes a los clones 806-PV y 821-

PV, utilizados en las cuatro primeras campañas, en los tres estados, “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”.



**Figura 4.1.12.-** Evolución de los contenidos en SST (° Brix) de los frutos de los clones CH-VIII, 806-PV y 821-PV, en relación a los días después de la anthesis correspondientes a los años 2001-2004.

El efecto del clon no resultó significativo ( $P \leq 0.05$ ) respecto al contenido en SST, constatándose diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre años (mayores valores en 2002 y 2003 que en 2001 y 2004) y entre estados de madurez, resultando significativas ( $P \leq 0.01$ ) las interacciones en las que interviene el año. El contenido en SST aumentó ( $P \leq 0.01$ ) con el grado de madurez, lo que resulta lógico, y considerando globalmente los resultados, el rango de los valores de SST obtenidos (5.6-6.2%) coincide con los obtenidos por Redgwell y Turner (1986; 4.9%) en el cv. ‘El Camino’, por Sánchez *et al.* (2000; 5.2-7.4%) en los cvs ‘Sweet Round’ y ‘Sweet Long’ producidos en Puzol (Valencia) en similar fecha, y por Kola *et al.* (2015; 4.00 – 7.10) en Turquía con frutos del cv. ‘Miski’.

#### 4.1.01.2.1.3.-.- Acidez titulable

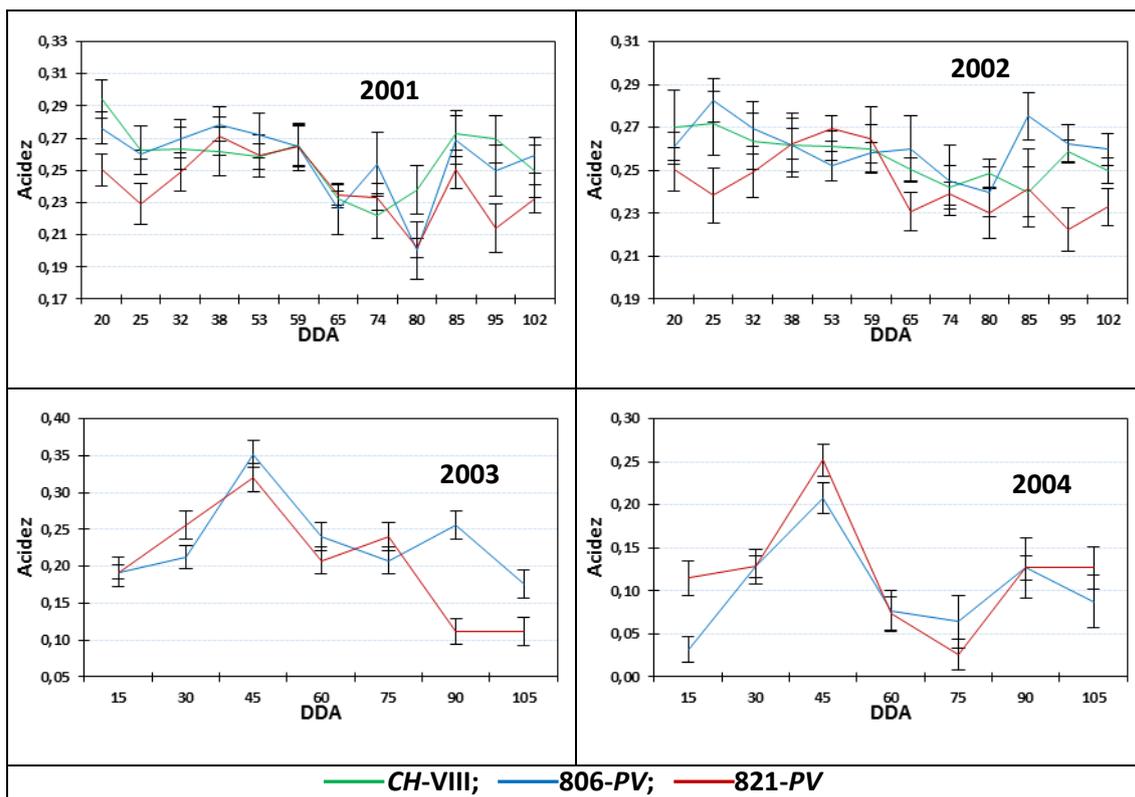
Aunque no es uniforme, la evolución de la acidez titulable de los frutos muestra una tendencia descendente en las fases de crecimiento y maduración (observándose diferencias entre los valores obtenidos en los diferentes años; figura 4.1.13), estando de acuerdo con la tendencia obtenida por Prono-Widayat, y por Kola *et al.* (2015) en la primera fase de maduración de los frutos.

Considerando los tres estados “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro” (tabla 4.1.08), los tres factores influyeron significativamente ( $P \leq 0.01$ ), destacando el Año y el Estado de madurez en cuanto al PSC (38 y 30% respectivamente). La acidez titulable de los frutos disminuyó ( $P \leq 0.05$ ) con la madurez (de 0.275 a 0.137 mg L<sup>-1</sup>), y fue mayor ( $P \leq 0.05$ ) en los años 2001 (0.246 mg L<sup>-1</sup>) y 2002 (0.246 mg L<sup>-1</sup>) que en 2003 (0.234 mg L<sup>-1</sup>), que a su vez fue mayor que en 2004 (0.137).

**Tabla 4.1.08.-** Influencia del año de experimentación (2001, 2002, 2003 y 2004), del estado de maduración [“Verde pálido” (1), “Premaduro” (2) y “Maduro” (3)] y del clon (806-PV y 821-PV) en el valor de los parámetros de las características físico-químicas [SST (°Brix), acidez titulable (AT, mg L<sup>-1</sup>) y firmeza (g)] de los frutos.

		SST	AT	IM	Firmeza
Año (A)					
	2001	5.892 ab	0.246 a	24.31 c	684.24 c
	2002	6.125 a	0.246 ab	25.20 c	578.26 d
	2003	6.161 a	0.234 b	31.29 b	952.17 b
	2004	5.783 b	0.137 c	56.39 a	1180.11 a
Estado maduración (M)					
	1	5.610 b	0.275 a	21.11 b	1072.86 a
	2	6.158 a	0.198 b	40.27 a	918.15 b
	3	6.202 a	0.175 c	41.51 a	555.07 c
Clon (C)					
	806-PV	5.822	0.224 a	32.42 b	834.57
	821-PV	6.185	0.207 b	36.17 a	862.82
ANOVA					
Parámetros (gl)			% Suma de cuadrados		
Año (3)	5.42 *	37.78 **	35.63 **	41.20 **	
Maduración (2)	15.73 **	30.09 **	18.27 **	35.16 **	
Clon (1)	6.13 ns	0.52 *	0.74 *	0.15 ns	
A*M (6)	15.01 **	23.69 **	28.03 **	17.15 **	
A*C (3)	11.19 **	3.08 **	0.87 ns	1.12 **	
M*C (2)	2.37 ns	0.26 ns	0.81 ns	0.15 ns	
A*M*C (6)	14.08 **	0.74 ns	7.47 **	2.42 **	
Residual (48)		3.84	8.18	2.66	
DE	0.46	0.02	7.65	73.09	

DE: Desviación estándar



**Figura 4.1.13.-** Evolución de los valores de acidez titulable de los frutos de los clones CH-VIII, 806-PV y 821-PV, en relación a los días después de la antesis correspondiente a los años 2001-2004.

La acidez titulable de los frutos del clon 821-PV ( $0.207 \text{ mg L}^{-1}$ ) fue menor ( $P \leq 0.05$ ) que la del clon 806-PV ( $0.224 \text{ mg L}^{-1}$ ). Las interacciones significativas ( $P \leq 0.01$ ) se debieron a las diferencias entre los valores correspondientes a los tres estados de madurez en los años 2003 y 2004, y a los diferentes valores de la acidez en las cuatro campañas. Los valores de acidez titulable obtenidos fueron ligeramente inferiores a los obtenidos por Prono-Widayat *et al.* (2003;  $0.5\text{-}1.0 \text{ mg L}^{-1}$ ), por Kola *et al.* (2015;  $0.06\text{-}0.08 \text{ mg L}^{-1}$ ) y por Moreno *et al.* (2013;  $0.04\text{-}0.05\%$ ).

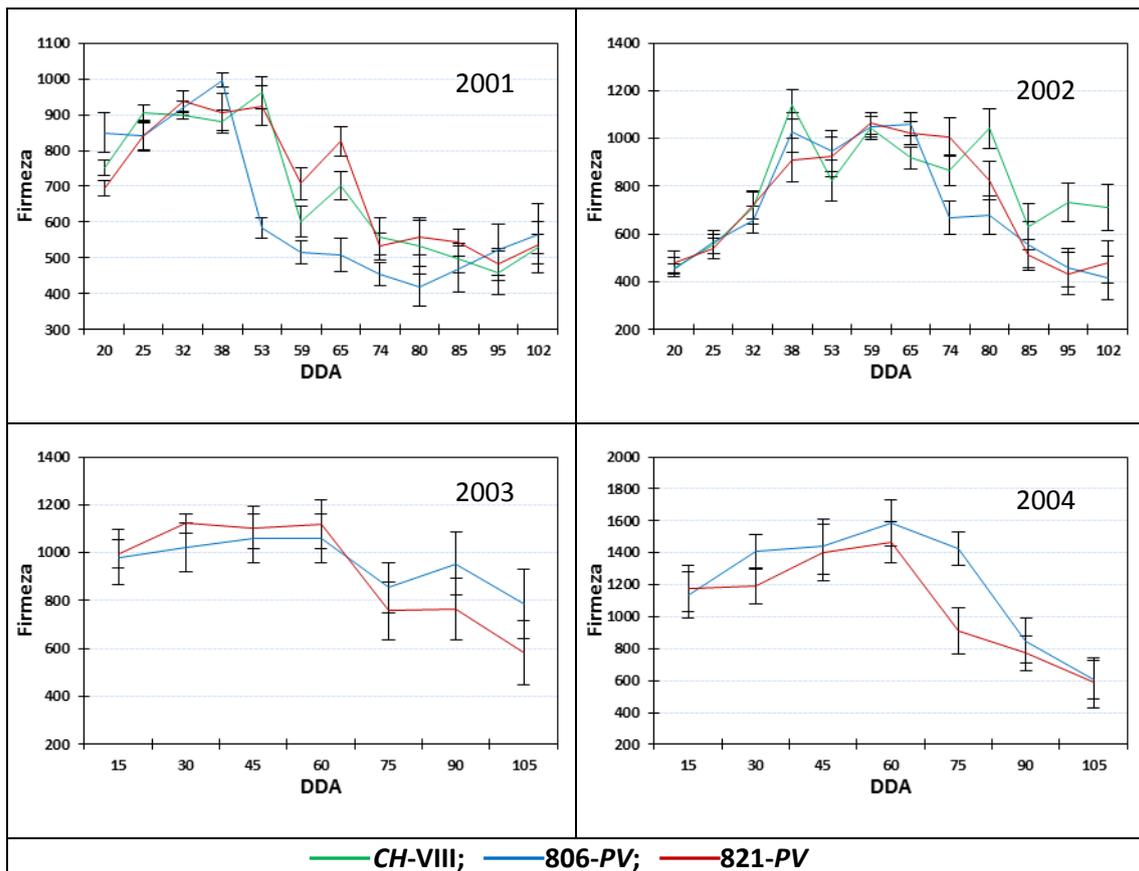
El índice de madurez de los frutos correspondientes a los tres estados, calculado tal y como se utiliza en cítricos (SST/Acidez titulable) fue afectado significativamente ( $P \leq 0.01$ ) por el año, por el estado de madurez, y por el clon ( $P \leq 0.05$ ) (con valores medios de 32.4 y 36.2 en los clones 806-PV y 821-PV respectivamente). Destaca el elevado valor medio obtenido en 2004 (56.4) que difiere significativamente ( $P \leq 0.05$ ) del valor del año 2003 (31.3) y de 2002 y 2001 (25.2 y 24.3, respectivamente), consecuencia del elevado valor alcanzado en 2004 en los frutos “Maduros” y “Premaduro”, y de los frutos “Maduros” en 2003, lo a que su vez explica la significación estadística ( $P \leq 0.01$ ) de la interacción Año x Estado de madurez. Estos

valores únicamente pueden compararse con los valores de la relación azúcares/ácidos, obtenidos por Huyskens-Klein *et al.* (2000) en un invernadero en Berlin-Dahlem, cuyos valores estuvieron en el intervalo 7 - 16 (correspondientes respectivamente a los frutos más verdes y a los frutos de madurez similar a la indicada como “Premaduro” en el presente estudio).

#### 4.1.01.2.1.4.- Firmeza

El patrón de la evolución de la firmeza de los frutos (figura 4.1.14) presenta una tendencia inversa a la del contenido en SST, descendiendo con el estado de madurez, habiéndose encontrado una relación lineal negativa ( $r = -0.33$ ) incluyendo todos los clones y todos los años analizados, entre el contenido en SST y la firmeza. Por otra parte, Prono-Widayat *et al.*, (2003) encontraron una elevada correlación entre la firmeza y la relación pectinas solubles en agua/pectinas insolubles en los frutos de pepino dulce, presentando disminución de la firmeza de los frutos asociada a la rotura de pectinas y hemicelulosas en la lámina media, lo que debilita las paredes celulares y reduce las fuerzas de cohesión entre células adyacentes (Wills *et al.*, 1988). Existen datos publicados en los que se constatan grandes diferencias en la relación entre SST y pectinas. En efecto, Sánchez *et al.* (2000) obtuvieron coeficientes de correlación entre SST y pectinas de 0.69 y -0.16 en frutos del cv. ‘Sweet Round’ y ‘Sweet Long’ respectivamente, recolectados en ciclo precoz, y de 0.82 y -0.80 en frutos del cv. ‘Sweet Round’ y ‘Sweet Long’ respectivamente, recolectados en ciclo tardío.

En el ANOVA correspondiente a los tres estados (tabla 4.1.08) se observa que influyeron significativamente tanto el Año ( $P \leq 0.01$ , PSC = 41.3%) como el Estado de madurez ( $P \leq 0.01$ , PSC = 3105%), existiendo diferencias ( $P \leq 0.05$ ) entre todos los años, correspondiendo el mayor valor a 2004, y entre los tres estados ( $P \leq 0.05$ ), descendiendo el valor de la firmeza con la maduración.



**Figura 4.1.14.-** Evolución de los valores de firmeza de los frutos de los clones *CH-VIII*, *806-PV* y *821-PV*, en relación a los DDA, correspondientes a los años 2001-2004.

#### 4.1.1.2.2.- El clon *CH-VIII*

##### 4.1.01.2.2.1- Color de la piel

A la vista de las figuras 4.1.08-09-10-11 se deduce que no hubo diferencias importantes entre las evoluciones de los parámetros y funciones de color de los frutos del clon *CH-VIII* con respecto a los de los clones *806-PV* y *821-PV*, y que en el año 2001 los valores fueron intermedios a los de los otros clones. Aparentemente los frutos tenían una coloración bastante similar a la de los frutos de *806-PV* y *821-PV*. Al considerar los tres estados de madurez, “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”, el clon *CH-VIII* (valores no mostrados en tabla) presentó un valor de  $L$  (64.5) intermedio ( $P \leq 0.05$ ) entre los de los clones *806-PV* y *821-PV*. En cuanto a las funciones de color (tabla 4.1.09) los clones influyeron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) en los valores de  $a/b$ ,  $Hue$  e  $IC$  (pero no de  $Croma$ ,  $P \leq 0.05$ ), resultando valores muy próximos a los del clon *821-PV*, difiriendo ambos ( $P \leq 0.05$ ) del clon *806-PV*, que obtuvo menor valor de  $Hue$  y mayor (menor en valor absoluto) de  $IC$ .

**Tabla 4.1.09.-** Influencia del año de experimentación (2001 y 2002), del estado de maduración [“Verde pálido” (1), “Premaduro” (2) y “Maduro” (3)] y del clon (*CH-VIII*, *806-PV* y *821-PV*) en el valor de las funciones de color *a/b*, *Croma*, *Hue* e *IC*.

		<i>a/b</i>		<i>Croma</i>		<i>HUE</i>		<i>IC</i>	
Año (A)	2001	-0.23		37.90		102.34		-3.66	b
	2002	-0.18		39.42		100.24		-2.70	a
Estado maduración (M)	1	-0.37	c	34.95	c	109.99	a	-5.76	c
	2	-0.18	b	38.68	b	100.13	b	-2.82	b
	3	-0.07	a	42.36	a	93.75	c	-0.96	a
Clon (C)	<i>CH-VIII</i>	-0.22	b	38.60		102.03	a	-3.39	b
	<i>806-PV</i>	-0.15	a	40.14		98.41	b	-2.44	a
	<i>821-PV</i>	-0.24	b	37.25		103.43	a	-3.71	b

## ANOVA

Parámetros (gl)	% Suma de cuadrados							
Año (1)	1.64	ns	2.02	ns	1.48	ns	3.57	*
Maduración (2)	59.72	**	32.01	**	59.81	**	59.97	**
Clon (2)	5.72	**	4.84	ns	6.00	**	4.49	*
A*M (2)	5.95	**	7.55	ns	6.05	**	8.30	**
A*C (2)	4.80	*	1.21	ns	4.87	**	4.10	*
M*C (4)	1.49	ns	2.33	ns	1.64	ns	1.45	ns
A*M*C (4)	2.28	ns	5.12	ns	2.33	ns	2.58	ns
Residual (36)	18.41		44.92		17.81		15.54	
DE	0.07		3.80		3.87		1.23	

DE: Desviación estándar

## 4.1.01.2.2.2- Sólidos Solubles Totales

La evolución del contenido en SST fue similar a la de los clones *806-PV* y *821-PV* (figura 4.1.12), no existiendo diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los valores correspondientes a los tres clones (tabla 4.1.10).

## 4.1.01.2.2.3- Acidez titulable

La evolución de la acidez titulable fue similar a la de los clones *806-PV* y *821-PV* (figura 4.1.13), existiendo diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los valores de la acidez de los tres clones correspondientes a los estados “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro” (tabla 4.1.10); la acidez titulable de los frutos del clon *CH-VIII* ( $0.25 \text{ mg L}^{-1}$ ) fue no diferente ( $P \leq 0.05$ ) a la de los frutos del clon *806-PV* ( $0.25 \text{ mg L}^{-1}$ ), siendo mayor ( $P \leq 0.05$ ) que la de los frutos de *821-PV* ( $0.24 \text{ mg L}^{-1}$ ); en conclusión, los frutos del clon *CH-VIII* no fueron más ácidos que los del clon *806-PV*. La interacción Año x Estado de madurez resultó significativa ( $P \leq 0.01$ ), explicando el 33% de la variabilidad total

(PSC), mientras que la interacción Año x Clon también resultó significativa ( $P \leq 0.05$ ); con PSC=3.7% explicando el 3.7% de la variabilidad total (PSC).

**Tabla 4.1.10-** Influencia del año de experimentación (2001 y 2002), del estado de maduración [“Verde pálido” (1), “Premaduro” (2) y “Maduro” (3)] y del clon (*CH-VIII*, *806-PV* y *821-PV*) en el valor de los parámetros de las características físico-químicas [SST (°Brix), acidez titulable (AT, mg L<sup>-1</sup>) y firmeza (g)] de los frutos.

		SST		Acidez		IM		Firmeza	
Año (A)									
	2001	5.83		0.25		23.68		680.14	
	2002	6.07		0.26		24.76		642.32	
Estado maduración (M)									
	1	5.70	b	0.26	a	22.37	b	887.43	a
	2	6.29	a	0.26	a	24.55	a	575.42	b
	3	5.87	b	0.23	b	25.74	a	520.83	b
Clon (C)									
	<i>CH-VIII</i>	5.84		0.25	a	23.15	b	721.18	a
	<i>806-PV</i>	5.95		0.25	a	23.77	b	579.58	b
	<i>821-PV</i>	6.07		0.24	b	25.73	a	682.92	a
ANOVA									
Parámetros (gl)						% Suma de cuadrados			
Año (1)		3.54	ns	0.66	ns	2.71	ns	0.78	ns
Maduración (2)		15.12	*	26.61	**	17.97	**	56.77	**
Clon (2)		2.01	ns	7.42	**	11.21	*	7.79	**
A*M (2)		1.18	ns	33.09	**	12.36	**	1.38	ns
A*C (2)		10.65	*	3.65	*	1.75	ns	5.25	**
M*C (4)		8.22	ns	5.63	*	7.01	ns	3.10	ns
A*M*C (4)		5.12	ns	7.28	**	5.89	ns	7.64	**
Residual (36)		54.15		15.68		41.11		17.29	
DE		0.50		0.01		2.58		109.17	

DE: Desviación estándar

#### 4.1.01.2.2.4- Firmeza

La evolución de la firmeza de los frutos del *CH-VIII* fue similar a la de los de *806-PV* y *821-PV* (figura 4.1.14), destacando por sus mayores valores al alcanzar la madurez. El diferente comportamiento en los dos años, es la causa de que la interacción Año x Clon resultara significativa ( $P \leq 0.01$ ; PSC=5.3%) en el análisis de la firmeza correspondiente a los estados “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro” (tabla 4.1.10), con un valor (721 g) superior ( $P \leq 0.05$ ) al del clon *806-PV* (580 g), sin diferir ( $P \leq 0.05$ ) del valor del *821-PV* (683 g).

#### 4.1.01.2.2.5- Índice de madurez

El estado de madurez fue el factor que más influyó en el IM ( $P \leq 0.01$ ; PSC=18%), teniendo los frutos del estado “Verde pálido” el menor valor, mientras que el clon (PSC=11%) 821-PV alcanzó el mayor IM ( $P \leq 0.05$ ). La interacción Año x Estado de madurez resultó significativa ( $P \leq 0.01$ ; PSC=12%) debido a los diferentes valores obtenidos en las distintas combinaciones Año-Estado de madurez.

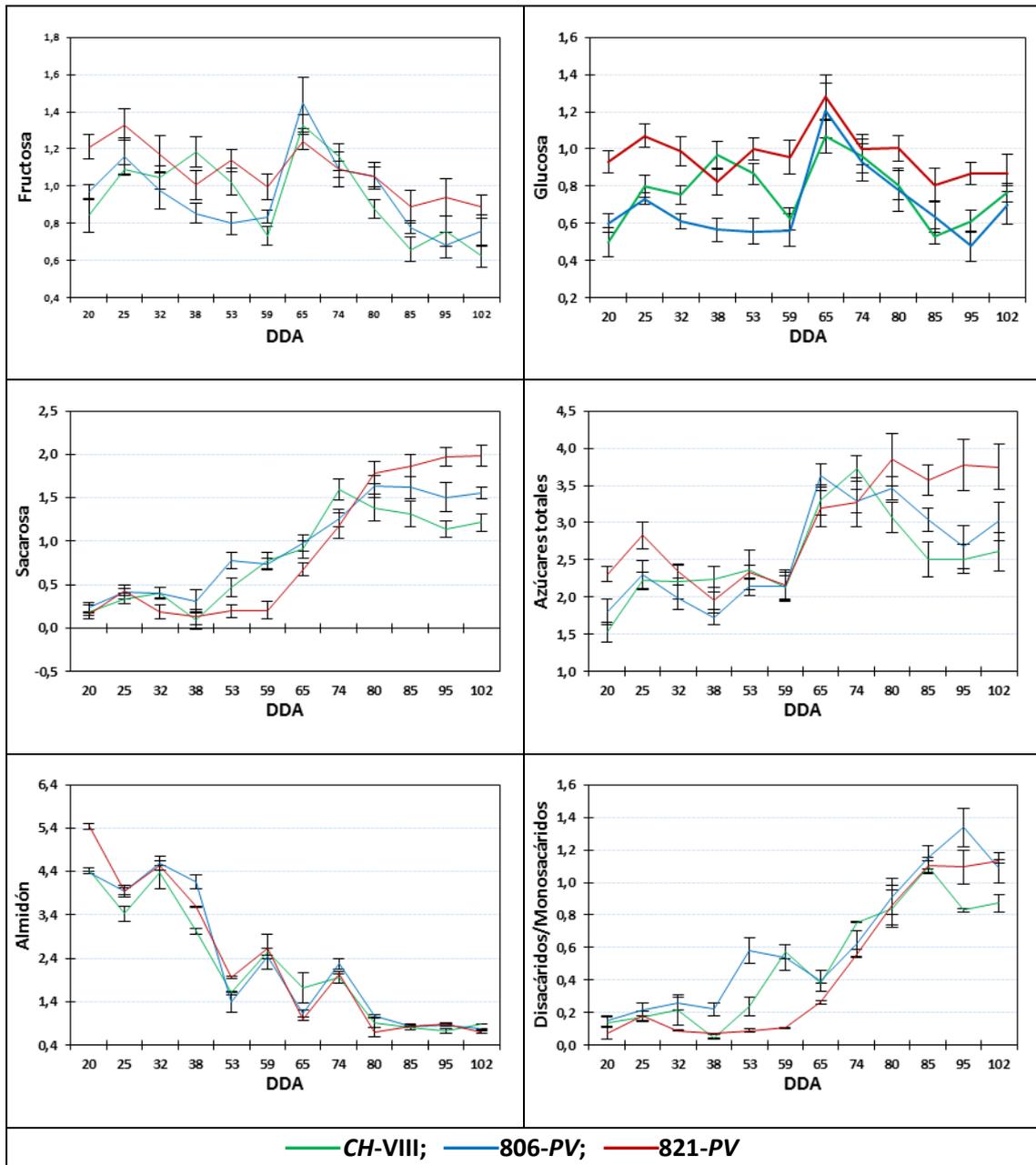
#### 4.1.01.3.- Parámetros bioquímicos.

##### 4.1.01.3.1- Clones PV-806 y PV-821

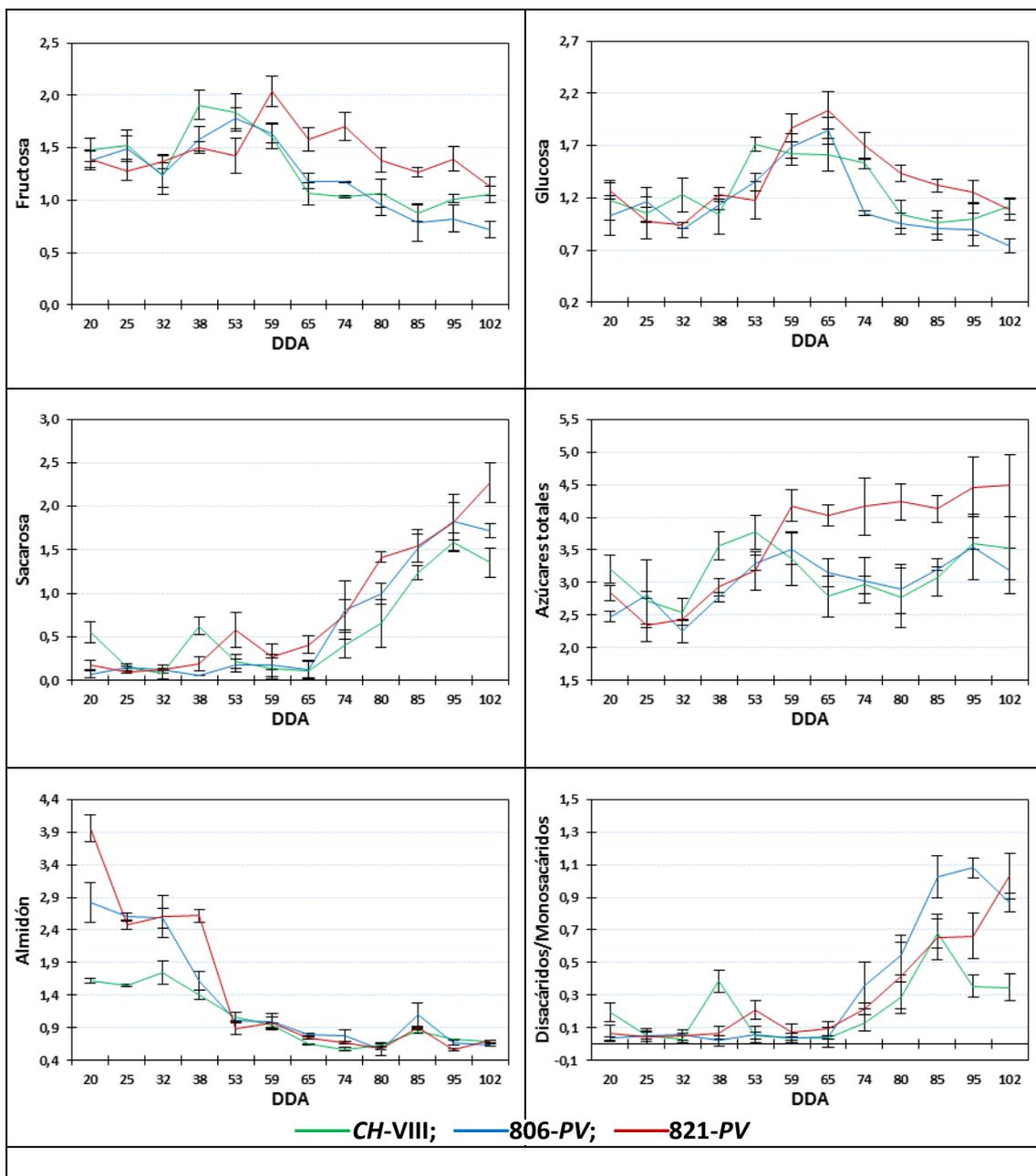
En las figuras 4.1.15-16-17-18 se presentan las evoluciones de las concentraciones en carbohidratos (fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares totales y almidón) en relación a los DDA de los frutos correspondientes a cada una de las cuatro primeras campañas y cada clon. Aunque en cada campaña y clon se presentan particularidades, de una manera general puede decirse que la fructosa y glucosa presentaron un comportamiento similar, de manera que sus mayores concentraciones se registraron (en la mayoría de las ocasiones), aproximadamente al final de la fase de crecimiento, descendiendo en la última fase considerada, de acuerdo con Schaffer *et al.*, (1989). Se asume que los monosacáridos y fundamentalmente la glucosa, se consumen como sustrato de respiración en los frutos de pepino dulce jóvenes (Priono-Widayat *et al.*, 2003). Se constata que los contenidos en fructosa fueron superiores a los de glucosa, de acuerdo con Redgwell y Turner (1986); Schaffer *et al.*, (1989); Sánchez *et al.* (2000); Kola *et al.* (2015).

La evolución del contenido de almidón fue la opuesta a la de los azúcares solubles, disminuyendo de forma marcada su valor a medida que aumentaba el tamaño y el peso del fruto, presentando valores muy bajos en la madurez de los frutos; simultáneamente a la disminución del contenido en almidón, tuvo lugar el incremento en sacarosa (figuras 4.1.15-16-17-18). Se ha asumido (Priono-Widayat *et al.*, 2003) que el incremento en el contenido de sacarosa se debe a una reducción de la actividad de la invertasa ácida, asociada a niveles normales de la sacarosa sintetasa. Los cambios en los contenidos de carbohidratos acumulados durante el desarrollo de los frutos de pepino dulce, han inducido a considerar que se trata de frutos acumuladores de sacarosa (Schaffer *et al.*, 1989; Sánchez *et al.*, 2000; Priono-Widayat *et al.*, 2003).

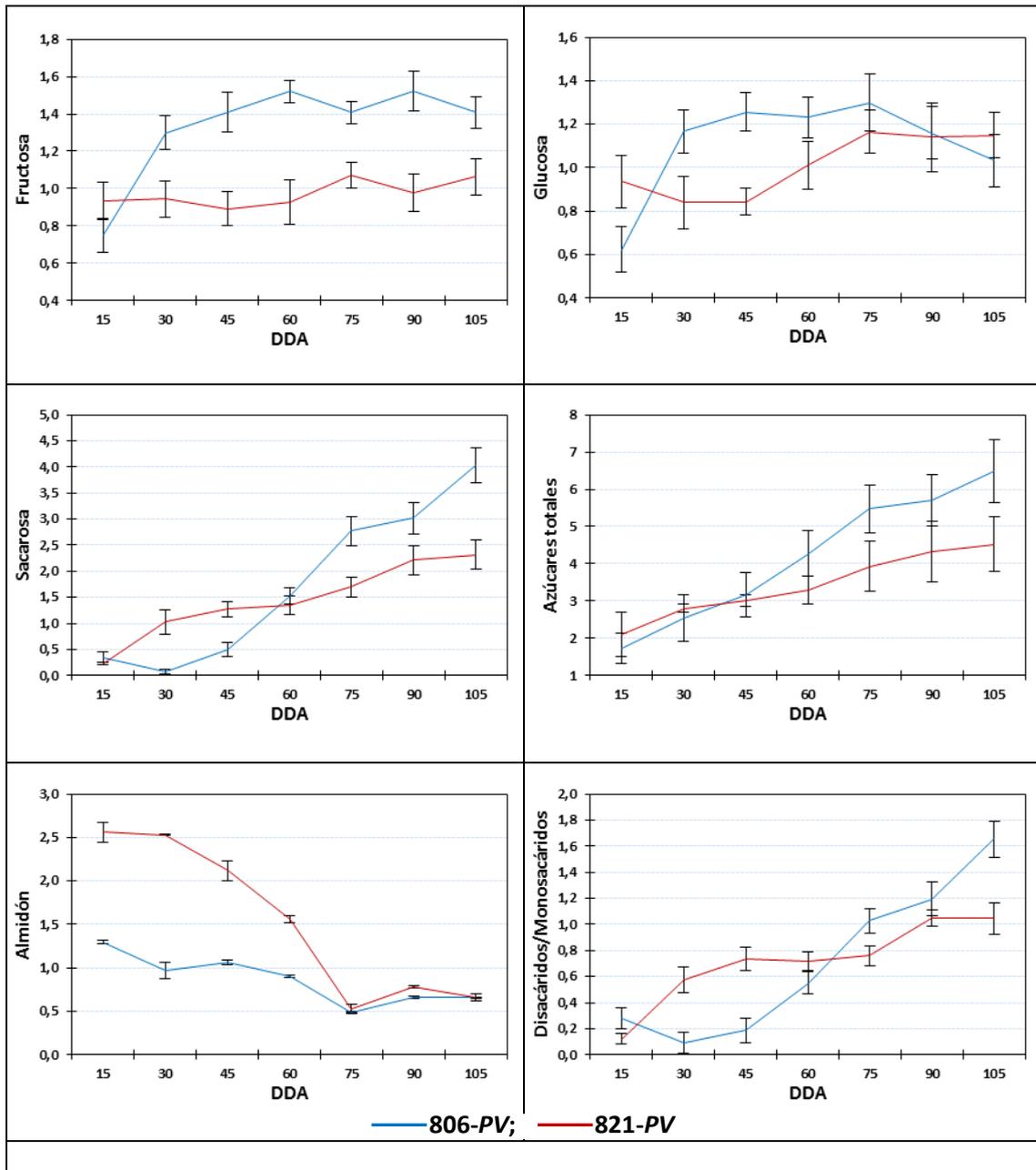
Del resultado del ANOVA del contenido en carbohidratos (tabla 4.1.11) se concluye que el Año y el Estado de madurez fueron los factores que más influyeron ( $P \leq 0.01$ ) en estos contenidos, concretamente el Año supuso el 55, 51, 39 y 39% del PSC de los contenidos en fructosa, glucosa, SST, y almidón, respectivamente, mientras que el Estado de madurez supuso el 51 y 53% del PSC del contenido en sacarosa y de la relación azúcares disacáridos/monosacáridos. El clon influyó significativamente en el contenido en fructosa ( $P \leq 0.05$ ) y glucosa ( $P \leq 0.01$ ), en ambos casos con mayor contenido en el clon 821-PV, así como en el contenido en almidón ( $P \leq 0.01$ ) y en la relación azúcares disacáridos/monosacáridos ( $P \leq 0.05$ ), en ambos casos con mayores valores en el clon 806-PV, pero no influyó ( $P \leq 0.05$ ) en el contenido en sacarosa. Los frutos en estado maduro presentaron menor contenido en fructosa (1.18%), glucosa (1.04%) y almidón (0.69%), y mayor contenido en sacarosa (2.23%) y, en SST (4.45%), así como un mayor valor de la relación azúcares disacáridos/monosacáridos (1.02). El efecto significativo ( $P \leq 0.01$ ) de las interacciones fue debido fundamentalmente a que las diferencias registradas entre los contenidos obtenidos en las distintas combinaciones Año x Clon, tuvieron diferente magnitud en las distintas campañas. Los contenidos obtenidos coinciden con los reportados por Kola *et al.* (2015) en Turquía con frutos del cv. 'Miski', y por Redgwell y Turner (1986) en el cv. 'El Camino', así como por Schaffer *et al.* (1989) en la 'línea no.3', en Israel, siendo mayores que los obtenidos por Sánchez *et al.* (2000) en los cvs 'Sweet Round' y 'Sweet Long' producidos en similar fecha.



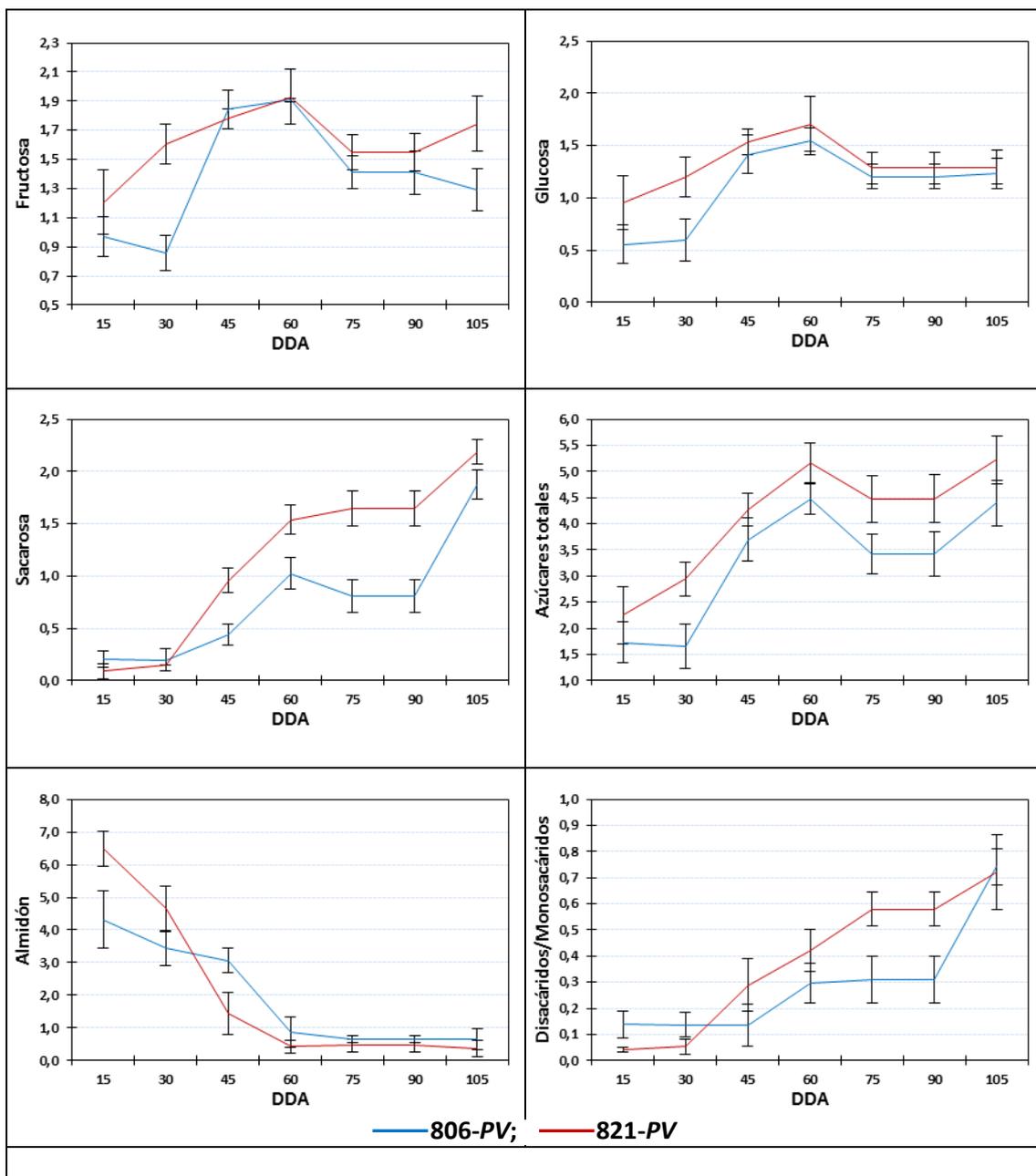
**Figura 4.1.15.-** Evolución de los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares totales, almidón, y en la relación azúcares disacáridos/monosacáridos (Dis/Mon) de los frutos producidos en 2001.



**Figura 4.1.16.-** Evolución de los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares totales, almidón, y en la relación azúcares disacáridos/monosacáridos (Dis/Mon) de los frutos producidos en 2002.



**Figura 4.1.17.-** Evolución de los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares totales, almidón, y en la relación azúcares disacáridos/monosacáridos (Dis/Mon) de los frutos producidos en 2003.



**Figura 4.1.18.-** Evolución de los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares totales, almidón, y en la relación azúcares disacáridos/monosacáridos (Dis/Mon) de los frutos producidos en 2004.

**Tabla 4.1.11-** Influencia del año de experimentación (2001, 2002, 2003 y 2004 ), del estado de maduración [“Verde pálido” (1), “Premaduro” (2) y “Maduro” (3)] y del clon (806-*PV* y 821-*PV*) en los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares solubles totales (AST), almidón, y en la relación azúcares disacáridos/monosacáridos (Dis/Mon) de los frutos.

	Fructosa	Glucosa	Sacarosa	AST	Almidón	Dis/Mon
<b>Año (A)</b>						
2001	0.968 c	0.782 c	0.802 c	2.551 c	2.436 a	0.452 b
2002	1.158 b	1.121 b	1.533 b	3.812 b	0.679 c	0.765 a
2003	1.204 b	1.088 b	1.835 a	4.126 b	1.161 b	0.817 a
2004	1.749 a	1.454 a	1.336 b	4.539 a	1.141 b	0.434 b
<b>Estado maduración (M)</b>						
1	1.333 a	1.148 a	0.647 c	3.128 c	2.113 a	0.278 c
2	1.293 a	1.145 a	1.255 b	3.691 b	1.265 b	0.547 b
3	1.183 b	1.041 b	2.227 a	4.451 a	0.685 c	1.019 a
<b>Clon (C)</b>						
806- <i>PV</i>	1.237 b	1.026 b	1.369	3.632	1.417 a	0.655 a
821- <i>PV</i>	1.302 a	1.197 a	1.384	3.882	1.292 b	0.574 b
<b>ANOVA</b>						
Parámetros (gl)	% Suma de cuadrados					
Año (3)	55.12 **	50.66 **	16.94 **	38.83 **	38.72 **	17.05 **
Maduración (2)	2.63 **	2.20 *	50.66 **	20.69 **	31.16 **	53.42 **
Clon (1)	0.67 *	6.51 **	0.01 ns	1.10 ns	0.36 **	0.94 *
A*M (6)	10.26 **	12.45 **	7.91 **	11.71 **	20.15 **	5.41 **
A*C (3)	20.45 **	11.94 **	2.98 *	11.41 **	5.27 **	2.95 **
M*C (2)	0.733 ns	0.05 ns	1.03 ns	0.34 ns	0.54 **	2.50 **
A*M*C (6)	2.59 *	4.04 *	8.10 **	2.29 ns	3.10 **	7.42 **
Residual (48)	7.94	12.16	12.38	13.63	0.71	10.32
DE	0.14	0.14	0.39	0.54	0.11	0.16

DE: Desviación estándar

#### 4.1.01.3.2- El clon *CH-VIII*

Los patrones de la evolución de las concentraciones en fructosa, glucosa, sacarosa y almidón de los frutos del clon *CH-VIII* en relación a los DDA, en cada campaña, son similares a los de los clones 806-*PV* y 821-*PV* (figuras 4.1.15 y 4.1.16).

De los resultados de los ANOVA del contenido en carbohidratos de los frutos en los estados “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro” (tabla 4.1.12) se concluye que los frutos del clon *CH-VIII* tuvieron un contenido en sacarosa (0.93%) que no difirió ( $P \leq 0.05$ ) del de los clones 806-*PV* y 821-*PV*, sus contenidos en fructosa (0.98%) y AST (2.92%) no difirieron ( $P \leq 0.05$ ) del clon 806-*PV*, su contenido en almidón (1.42%) y la relación disacáridos/monosacáridos (0.51) no difirieron ( $P \leq 0.05$ ) de los del clon 821-*PV*, y su contenido en glucosa (1.01%) resultó intermedio ( $P \leq 0.05$ ) entre el de los otros

dos clones. En la figura 4.1.15 se observa que en 2001 el contenido en fructosa entre los estados “Verde pálido” y “Premaduro”, disminuyó mucho más que en los frutos de los clones 806-PV y 821-PV, lo que explica que la interacción resultara significativa ( $P \leq 0.01$ ). Este comportamiento en el clon CH-VIII coincide con lo observado por Schaffer *et al.* (1989) y por Prono-Widayat (2003) en el sentido de que la fructosa es el azúcar almacenado en mayor cantidad en los estados “Verdes”, y que su contenido, al igual que el de la glucosa, disminuye con la maduración.

**Tabla 4.1.12-** Influencia del año de experimentación (2001 y 2002), del estado de maduración [“Verde pálido” (1), “Premaduro” (2) y “Maduro” (3)] y del clon (CH-VIII, 806-PV y 821-PV) en los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares totales, almidón, y en la relación azúcares disacáridos/monosacáridos (Dis/Mon) de los frutos.

		Fructosa	Glucosa	Sacarosa	AST	Almidón	Dis/Mon
Año (A)	2001	0.96b	0.79b	0.79b	2.53b	2.35 a	0.46 b
	2002	1.12a	1.15a	1.39a	3.66a	0.67 b	0.68 a
Estado maduración (M)	1	1.16a	1.11a	0.42c	2.69b	2.13 a	0.18 c
	2	0.97b	0.88b	1.16b	3.01b	1.60 b	0.63 b
	3	0.98a	0.92b	1.69a	3.60a	0.79 c	0.91 a
Clon (C)	CH-VIII	0.98b	1.01b	0.93	2.92b	1.42 b	0.51 b
	806-PV	0.91b	0.77c	1.17	2.85b	1.63 a	0.72 a
	821-PV	1.21a	1.14a	1.16	3.51a	1.49 b	0.49 b
ANOVA							
Parámetros (gl)		% Suma de cuadrados					
Año (A;1)		10.45**	33.64**	16.52 **	35.89**	50.69**	7.73 **
Maduración (2)		12.37**	9.62**	48.72 **	15.89**	22.10**	58.14 **
Clon (2)		27.14**	23.75**	2.18 ns	9.87**	0.57**	6.62 **
A*M (2)		7.55**	11.56**	7.65 **	10.87**	22.37**	4.26 **
A*C (2)		11.64**	1.43ns	2.25 ns	4.75*	0.38*	2.31 ns
M*C (4)		2.20ns	4.72**	3.85 ns	0.93ns	1.33**	5.28 *
A*M*C (4)		15.28**	2.85ns	0.35 ns	1.76ns	0.77*	1.07 ns
Residual (36)		13.37	12.43	18.48	20.03	1.79	14.59
DE		0.11	0.14	0.39	0.52	0.17	0.18

DE: Desviación estándar

En cuanto al contenido en almidón, únicamente cabe destacar el menor valor obtenido en la fase inicial de crecimiento en el año 2002 respecto al 2001, en los tres clones en general y en el clon CH-VIII en particular (figuras 4.1.15 y 4.1.16). En el ANOVA (tabla 4.1.12) se constata que, al considerar los tres estados finales de madurez, el contenido medio en almidón de los frutos del clon CH-VIII (1.42%) no difirió ( $P \leq 0.05$ )

del contenido del 821-PV (1.49%), resultando significativa ( $P \leq 0.05$ ; PSC = 0.38) la interacción Año x Clon [además de la interacción Año x Estado de madurez, que representó un valor del PSC muy superior (22%)]. Esta interacción tiene su explicación en que el contenido en almidón en 2001 fue muy superior al de 2002, existiendo diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre estados de madurez en 2001 y no en 2002.

#### 4.1.01.4.- Correlación entre parámetros físico-químicos y bioquímicos

En las tablas 4.1.13 y 4.1.14 se presentan, respectivamente, los coeficientes de correlación entre los caracteres físico-químicos (funciones de color, SST, firmeza, acidez e índice de madurez) y bioquímicos analizados (contenidos en fructosa, glucosa, sacarosa, AST, almidón y relación disacáridos/monosacáridos) de los frutos de los clones 806-PV y 821-PV. Se ha obtenido una correlación menos intensa entre el índice IM y la acidez titulable (-0.63 en el clon 806-PV y -0.68 en el clon 821-PV) que entre IM y contenido en SST (0.78 en el clon 806-PV y 0.83 en el clon 821-PV), siendo ambos valores, SST y acidez titulable, los que determinan el IM ( $IM = SST/acidez$ ). Se constata la existencia de una elevada correlación entre las funciones de color *IC* y *Hue* (-0.98 en los dos clones), entre *IC* y *a/b* (0.99 los dos clones) y entre *Hue* y *a/b* (-1.00 en los dos clones); mientras la elevada correlación entre *Hue* y *a/b* parece evidente ( $Hue = 180 + \arctan b/a$ ), la correlación con *IC* ya no es tan evidente, puesto que *IC* depende de la coordenada *L*, además de *a* y *b* ( $IC = 1000 a b^{-1} L^{-1}$ ).

**Tabla 4.1.13.-** Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 806-PV, obtenidos en los años 2001, 2002, 2003 y 2004.

	Fruc.	Gluc.	Sac.	AST	D/M	Alm.	SST	AT	IM	Firm.	a/b	Crom	Hue	IC
Fruc.	1.00													
Gluc.	0.73	1.00												
Sac.	-0.60	-0.36	1.00											
AST	0.36	0.61	0.46	1.00										
D/M	-0.74	-0.50	0.93	0.24	1.00									
Alm.	0.03	-0.34	-0.51	-0.68	-0.46	1.00								
SST	-0.62	-0.32	0.69	0.17	0.69	-0.36	1.00							
AT	-0.19	-0.20	-0.28	-0.49	-0.14	0.34	-0.01	1.00						
IM	-0.36	-0.13	0.71	0.44	0.62	-0.48	0.78	-0.63	1.00					
Firm.	0.41	0.38	-0.70	-0.25	-0.65	0.30	-0.49	0.23	-0.54	1.00				
a/b	-0.54	-0.27	0.83	0.38	0.79	-0.58	0.73	-0.29	0.75	-0.68	1.00			
Croma	-0.39	-0.16	0.69	0.39	0.67	-0.61	0.62	-0.15	0.58	-0.66	0.84	1.00		
Hue	0.54	0.28	-0.83	-0.38	-0.79	0.57	-0.73	0.29	-0.75	0.69	-1.00	-0.83	1.00	
IC	-0.48	-0.20	0.79	0.41	0.75	-0.63	0.70	-0.28	0.72	-0.67	0.99	0.88	-0.98	1.00

Existen intensas correlaciones entre los valores de *a/b*, *Hue* e *IC* con el contenido en sacarosa, así como en la relación monosacáridos/disacáridos, siendo menores los coeficientes de correlación obtenidos entre los contenidos de sacarosa y los SST (0.46 en el clon 806-PV y 0.74 en el clon 821-PV). Los coeficientes obtenidos entre los contenidos en SST y AST (0.17 en el clon 806-PV y 0.50 en el clon 821-PV) indican que la determinación de los SST en los frutos de pepino dulce, únicamente debería de utilizarse como una estimación aproximada del contenido en azúcares, de acuerdo con Sánchez *et al.* (2000), y además, como se ha constatado, la intensidad de la relación depende del clon, de lo que se deduce que el análisis de correlación debe realizarse para cada clon por separado. De igual manera cabría esperar diferencias si se determinaran para cada campaña, ya que las condiciones ambientales influyen en la fisiología de los carbohidratos.

**Tabla 4.1.14.-** Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 821-PV, obtenidos en los años 2001, 2002, 2003 y 2004.

	Fruc.	Gluc.	Sac.	AST	D/M	Alm.	SST	AT	IM	Firm.	a/b	Crom	Hue	IC
Fruc.	1.00													
Gluc.	0.79	1.00												
Sac.	-0.27	-0.08	1.00											
AST	0.40	0.58	0.74	1.00										
D/M	-0.44	-0.24	0.96	0.59	1.00									
Alm.	-0.08	-0.33	-0.62	-0.69	-0.56	1.00								
SST	-0.12	0.19	0.54	0.50	0.46	-0.45	1.00							
AT	0.22	-0.06	-0.56	-0.44	-0.53	0.33	-0.16	1.00						
IM	-0.20	0.18	0.72	0.62	0.64	-0.52	0.83	-0.68	1.00					
Firm.	0.48	0.42	-0.57	-0.17	-0.60	0.11	-0.11	0.44	-0.32	1.00				
a/b	-0.39	-0.14	0.84	0.54	0.85	-0.72	0.49	-0.49	0.63	-0.56	1.00			
Croma	-0.36	-0.21	0.47	0.21	0.51	-0.46	0.27	-0.40	0.41	-0.61	0.76	1.00		
Hue	0.40	0.15	-0.84	-0.54	-0.86	0.70	-0.48	0.50	-0.63	0.57	-1.00	-0.75	1.00	
IC	-0.33	-0.07	0.81	0.56	0.81	-0.78	0.52	-0.45	0.63	-0.53	0.99	0.78	-0.98	1.00

Del análisis de la tabla 4.1.15 se deduce que los valores de los coeficientes de correlación del clon *CH-VIII* fueron similares a los obtenidos en los clones 806-PV y 821-PV, destacando la elevada correlación entre los valores de *Hue*, *IC* y *a/b* con los del contenido en sacarosa, y con los de la relación monosacáridos/disacáridos.

**Tabla 4.1.15.-** Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon *CH-VIII*, obtenidos en los años 2001 y 2002.

	Fruc.	Gluc.	Sac.	AST	D/M	Alm.	SST	AT	IM	Firm.	a/b	Crom	Hue	IC
Fruc.	1.00													
Gluc.	0.63	1.00												
Sac.	-0.34	-0.31	1.00											
AST	0.62	0.64	0.42	1.00										
D/M	-0.54	-0.49	0.93	0.16	1.00									
Alm.	-0.02	-0.38	-0.35	-0.48	-0.32	1.00								
SST	-0.38	-0.24	0.61	0.14	0.55	-0.22	1.00							
AT	-0.07	-0.36	-0.48	-0.60	-0.26	0.32	-0.35	1.00						
IM	-0.28	-0.07	0.67	0.33	0.54	-0.28	0.93	-0.65	1.00					
Firm.	0.38	0.38	-0.45	0.06	-0.55	0.13	-0.17	0.03	-0.15	1.00				
a/b	-0.52	-0.35	0.80	0.14	0.85	-0.42	0.56	-0.39	0.58	-0.48	1.00			
Croma	-0.17	-0.06	0.44	0.22	0.49	-0.49	0.26	-0.20	0.26	-0.46	0.70	1.00		
Hue	0.53	0.36	-0.80	-0.13	-0.86	0.42	-0.55	0.38	-0.57	0.49	-1.00	-0.70	1.00	
IC	-0.47	-0.26	0.79	0.22	0.83	-0.50	0.58	-0.44	0.62	-0.45	0.99	0.74	-0.99	1.00

Del análisis conjunto de los valores de los caracteres de los frutos de los tres clones (tabla 4.1.16) se destaca la relativamente elevada correlación entre la firmeza y el *Croma* (-0.67); también se observa que mientras la relación entre algunos caracteres mantuvo elevados coeficientes de correlación al pasar de ser considerados individualmente (cada clon) a ser considerados conjuntamente los tres clones (0.98 entre *IC* y *a/b*), en la mayoría de las ocasiones la intensidad de la correlación disminuyó sensiblemente (de -1.00 en cada clon a -0.56 entre *Hue* y *a/b*; de -0.80/-0.84 en cada clon a -0.26 entre *Hue* y contenido en sacarosa), de lo que se deduce que, como se ha indicado anteriormente, el análisis de correlación debe de realizarse para cada clon, y año, por separado, por lo que se han calculado los coeficientes de correlación para cada clon y año, y que se presentan en la tablas 4.1.17 a 4.1.26. De su análisis se desprende que, efectivamente, se han obtenido elevadas correlaciones entre determinados parámetros que se considera que deberían estar correlacionados, aunque lo cierto es que no en todas las combinaciones posibles. A título de ejemplo se presentan los elevados coeficientes de correlación encontrados entre el contenido en SST y en AST (0.96 en los frutos del clon 806-*PV* y 0.94 en los del clon 821-*PV*) y entre el contenido en almidón y en AST (-0.89 en los frutos del clon 806-*PV* y -0.91 en los del clon 821-*PV*) de los frutos obtenidos en 2003.

**Tabla 4.1.16.-** Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos de los clones 806-PV, 821-PV y CH-VIII, obtenidos en los años 2001, 2002, 2003 y 2004 (2001, 2002 en el clon CH-VIII), considerados conjuntamente.

	Fruc.	Gluc.	Sac.	AST	D/M	Alm.	SST	AT	IM	Firm.	a/b	Crom	Hue	IC
Fruc.	1.00													
Gluc.	0.74	1.00												
Sac.	-0.08	-0.03	1.00											
AST	0.56	0.59	0.75	1.00										
D/M	-0.39	-0.30	0.90	0.47	1.00									
Alm.	-0.10	-0.35	-0.53	-0.58	-0.47	1.00								
SST	-0.14	0.06	0.64	0.48	0.59	-0.48	1.00							
AT	-0.22	-0.18	-0.25	-0.34	-0.09	0.08	-0.02	1.00						
IM	0.16	0.12	0.24	0.29	0.12	-0.15	0.15	-0.78	1.00					
Firm.	0.41	0.33	-0.31	0.02	-0.45	0.18	-0.28	-0.29	0.20	1.00				
a/b	-0.32	-0.16	0.68	0.37	0.75	-0.56	0.59	0.00	0.04	-0.65	1.00			
Croma	-0.37	-0.22	0.04	-0.17	0.25	-0.22	0.16	0.43	-0.29	-0.67	0.58	1.00		
Hue	0.28	0.13	-0.26	-0.06	-0.38	0.31	-0.31	0.02	-0.04	0.44	-0.56	-0.46	1.00	
IC	-0.27	-0.09	0.62	0.36	0.69	-0.57	0.58	0.05	0.00	-0.67	0.98	0.64	-0.55	1.00

**Tabla 4.1.17.-** Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon CH-VIII, obtenidos en 2001.

	Fruc.	Gluc.	Sac.	AST	D/M	Alm.	SST	AT	IM	Firm.	a/b	Crom	Hue	IC
Fruc.	1,00													
Gluc.	0,81	1,00												
Sac.	-0,24	0,03	1,00											
AST	0,42	0,63	0,77	1,00										
D/M	-0,56	-0,29	0,92	0,48	1,00									
Alm.	0,36	-0,04	-0,71	-0,48	-0,75	1,00								
SST	-0,07	0,20	0,54	0,49	0,43	-0,43	1,00							
AT	-0,49	-0,77	-0,59	-0,92	-0,28	0,36	-0,48	1,00						
IM	0,17	0,47	0,64	0,75	0,42	-0,44	0,93	-0,77	1,00					
Firm.	0,56	0,32	-0,81	-0,38	-0,88	0,68	-0,37	0,18	-0,35	1,00				
a/b	-0,40	-0,02	0,90	0,60	0,90	-0,82	0,55	-0,47	0,58	-0,90	1,00			
Croma	-0,32	0,04	0,83	0,59	0,84	-0,73	0,58	-0,47	0,60	-0,75	0,92	1,00		
Hue	0,41	0,03	-0,90	-0,60	-0,91	0,82	-0,54	0,46	-0,57	0,90	-1,00	-0,91	1,00	
IC	-0,37	0,03	0,88	0,62	0,88	-0,83	0,59	-0,49	0,62	-0,85	0,99	0,94	-0,99	1,00

**Tabla 4.1.18.-** Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon *CH-VIII*, obtenidos en 2002.

	Fruc.	Gluc.	Sac.	AST	D/M	Alm.	SST	AT	IM	Firm.	a/b	Crom	Hue	IC
Fruc.	1,00													
Gluc.	0,38	1,00												
Sac.	-0,32	-0,39	1,00											
AST	0,59	0,47	0,43	1,00										
D/M	-0,43	-0,47	0,97	0,29	1,00									
Alm.	0,51	-0,16	-0,35	-0,06	-0,38	1,00								
SST	-0,47	-0,30	0,64	0,08	0,64	-0,54	1,00							
AT	0,21	-0,32	-0,39	-0,37	-0,31	0,49	-0,25	1,00						
IM	-0,47	-0,16	0,68	0,18	0,65	-0,61	0,94	-0,55	1,00					
Firm.	0,20	0,29	-0,16	0,15	-0,20	-0,27	0,03	-0,08	0,06	1,00				
a/b	-0,55	-0,32	0,68	0,05	0,72	-0,60	0,55	-0,37	0,57	0,02	1,00			
Croma	-0,11	-0,16	-0,09	-0,24	-0,08	0,06	-0,16	0,32	-0,27	-0,24	0,32	1,00		
Hue	0,55	0,34	-0,68	-0,03	-0,72	0,60	-0,55	0,35	-0,57	-0,02	-1,00	-0,33	1,00	
IC	-0,55	-0,27	0,69	0,08	0,72	-0,64	0,58	-0,41	0,62	0,04	0,99	0,30	-0,99	1,00

**Tabla 4.1.19.-** Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon *806-PV*, obtenidos en 2001.

	Fruc.	Gluc.	Sac.	AST	D/M	Alm.	SST	AT	IM	Firm.	a/b	Crom	Hue	IC
Fruc.	1,00													
Gluc.	0,88	1,00												
Sac.	-0,11	0,18	1,00											
AST	0,56	0,77	0,75	1,00										
D/M	-0,52	-0,22	0,87	0,38	1,00									
Alm.	0,13	-0,18	-0,87	-0,66	-0,81	1,00								
SST	-0,39	-0,06	0,32	0,08	0,41	-0,53	1,00							
AT	-0,53	-0,55	-0,53	-0,76	-0,23	0,41	0,20	1,00						
IM	0,23	0,46	0,67	0,72	0,46	-0,70	0,48	-0,76	1,00					
Firm.	-0,03	-0,31	-0,81	-0,71	-0,66	0,87	-0,44	0,49	-0,71	1,00				
a/b	-0,15	0,18	0,81	0,61	0,73	-0,92	0,65	-0,38	0,76	-0,88	1,00			
Croma	-0,25	0,09	0,75	0,50	0,71	-0,79	0,69	-0,26	0,67	-0,75	0,93	1,00		
Hue	0,14	-0,18	-0,82	-0,62	-0,74	0,92	-0,64	0,39	-0,76	0,88	-1,00	-0,93	1,00	
IC	-0,17	0,16	0,79	0,58	0,71	-0,89	0,66	-0,36	0,75	-0,84	0,99	0,95	-0,99	1,00

**Tabla 4.1.20.-** Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 806-PV, obtenidos en 2002.

	Fruc.	Gluc.	Sac.	AST	D/M	Alm.	SST	AT	IM	Firm.	a/b	Crom	Hue	IC
Fruc.	1,00													
Gluc.	0,57	1,00												
Sac.	-0,80	-0,52	1,00											
AST	0,02	0,41	0,47	1,00										
D/M	-0,84	-0,58	0,96	0,34	1,00									
Alm.	0,37	-0,16	-0,53	-0,61	-0,46	1,00								
SST	-0,70	-0,35	0,85	0,45	0,82	-0,57	1,00							
AT	-0,01	-0,10	-0,01	-0,09	0,01	0,37	-0,16	1,00						
IM	-0,59	-0,26	0,71	0,40	0,69	-0,61	0,91	-0,55	1,00					
Firm.	0,60	0,74	-0,62	0,10	-0,62	-0,19	-0,50	-0,08	-0,40	1,00				
a/b	-0,79	-0,37	0,87	0,40	0,84	-0,56	0,86	-0,07	0,76	-0,51	1,00			
Croma	-0,73	-0,60	0,79	0,16	0,78	-0,24	0,73	0,06	0,60	-0,67	0,85	1,00		
Hue	0,79	0,38	-0,87	-0,40	-0,84	0,56	-0,86	0,07	-0,76	0,51	-1,00	-0,86	1,00	
IC	-0,79	-0,38	0,87	0,39	0,84	-0,53	0,86	-0,06	0,75	-0,52	1,00	0,84	-0,99	1,00

**Tabla 4.1.21.-** Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 806-PV, obtenidos en 2003.

	Fruc.	Gluc.	Sac.	AST	D/M	Alm.	SST	AT	IM	Firm.	a/b	Crom	Hue	IC
Fruc.	1,00													
Gluc.	0,79	1,00												
Sac.	0,49	0,18	1,00											
AST	0,71	0,43	0,96	1,00										
D/M	0,34	0,04	0,98	0,90	1,00									
Alm.	-0,68	-0,59	-0,80	-0,89	-0,72	1,00								
SST	0,77	0,55	0,88	0,96	0,79	-0,87	1,00							
AT	0,24	0,33	-0,32	-0,18	-0,38	0,23	-0,01	1,00						
IM	0,21	0,04	0,79	0,71	0,80	-0,68	0,62	-0,75	1,00					
Firm.	0,02	0,16	-0,76	-0,61	-0,82	0,60	-0,52	0,54	-0,82	1,00				
a/b	0,46	0,29	0,85	0,84	0,82	-0,78	0,82	-0,23	0,65	-0,63	1,00			
Croma	-0,47	-0,46	-0,24	-0,36	-0,20	0,36	-0,42	0,13	-0,41	0,17	-0,15	1,00		
Hue	0,04	-0,04	0,15	0,13	0,14	-0,19	0,12	0,10	-0,04	-0,29	0,31	0,27	1,00	
IC	0,45	0,30	0,85	0,84	0,82	-0,79	0,83	-0,21	0,64	-0,64	1,00	-0,13	0,33	1,00

**Tabla 4.1.22.-** Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 806-PV, obtenidos en 2004.

	Fruc.	Gluc.	Sac.	AST	D/M	Alm.	SST	AT	IM	Firm.	a/b	Crom	Hue	IC
Fruc.	1,00													
Gluc.	0,90	1,00												
Sac.	0,23	0,54	1,00											
AST	0,76	0,93	0,80	1,00										
D/M	0,02	0,34	0,97	0,65	1,00									
Alm.	-0,46	-0,70	-0,71	-0,77	-0,61	1,00								
SST	0,28	0,53	0,84	0,72	0,80	-0,90	1,00							
AT	0,35	0,33	-0,11	0,17	-0,17	0,10	-0,10	1,00						
IM	-0,27	-0,31	0,10	-0,14	0,16	0,00	0,09	-0,92	1,00					
Firm.	0,31	0,09	-0,52	-0,15	-0,63	0,28	-0,60	0,14	-0,28	1,00				
a/b	0,13	0,39	0,75	0,58	0,75	-0,68	0,88	0,03	0,03	-0,84	1,00			
Croma	-0,13	-0,19	0,34	0,08	0,43	0,20	0,06	-0,11	0,22	-0,25	0,11	1,00		
Hue	-0,09	-0,36	-0,74	-0,55	-0,75	0,66	-0,86	-0,01	-0,03	0,86	-1,00	-0,13	1,00	
IC	0,17	0,44	0,75	0,61	0,75	-0,72	0,89	0,09	-0,08	-0,78	0,99	0,12	-0,98	1,00

**Tabla 4.1.23.-** Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 821-PV, obtenidos en 2001.

	Fruc.	Gluc.	Sac.	AST	D/M	Alm.	SST	AT	IM	Firm.	a/b	Crom	Hue	IC
Fruc.	1,00													
Gluc.	0,70	1,00												
Sac.	-0,53	-0,20	1,00											
AST	-0,22	0,14	0,94	1,00										
D/M	-0,61	-0,31	0,99	0,88	1,00									
Alm.	0,53	-0,01	-0,77	-0,72	-0,75	1,00								
SST	-0,44	0,03	0,37	0,32	0,34	-0,65	1,00							
AT	-0,10	-0,31	-0,67	-0,82	-0,58	0,44	-0,08	1,00						
IM	-0,23	0,22	0,71	0,76	0,62	-0,73	0,73	-0,74	1,00					
Firm.	0,43	0,20	-0,77	-0,70	-0,76	0,50	-0,22	0,54	-0,51	1,00				
a/b	-0,66	-0,19	0,91	0,81	0,90	-0,87	0,62	-0,49	0,75	-0,77	1,00			
Croma	-0,50	0,02	0,68	0,64	0,65	-0,76	0,67	-0,45	0,75	-0,67	0,88	1,00		
Hue	0,65	0,21	-0,92	-0,82	-0,91	0,86	-0,60	0,51	-0,74	0,79	-1,00	-0,86	1,00	
IC	-0,66	-0,17	0,85	0,75	0,84	-0,90	0,69	-0,43	0,75	-0,72	0,99	0,89	-0,98	1,00

**Tabla 4.1.24.-** Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 821-PV, obtenidos en 2002.

	Fruc.	Gluc.	Sac.	AST	D/M	Alm.	SST	AT	IM	Firm.	a/b	Crom	Hue	IC
Fruc.	1,00													
Gluc.	0,68	1,00												
Sac.	-0,22	-0,01	1,00											
AST	0,41	0,61	0,76	1,00										
D/M	-0,34	-0,12	0,98	0,65	1,00									
Alm.	-0,09	-0,37	-0,57	-0,65	-0,52	1,00								
SST	0,11	0,43	0,66	0,75	0,57	-0,47	1,00							
AT	0,41	-0,07	-0,44	-0,27	-0,46	0,27	-0,20	1,00						
IM	-0,11	0,37	0,73	0,72	0,67	-0,50	0,88	-0,63	1,00					
Firm.	0,60	0,56	-0,42	0,07	-0,48	-0,25	-0,04	0,37	-0,19	1,00				
a/b	-0,37	-0,11	0,77	0,47	0,77	-0,62	0,41	-0,48	0,54	-0,38	1,00			
Croma	-0,56	-0,51	0,19	-0,23	0,26	0,17	-0,12	-0,33	0,04	-0,63	0,56	1,00		
Hue	0,37	0,12	-0,76	-0,47	-0,77	0,61	-0,40	0,48	-0,54	0,38	-1,00	-0,57	1,00	
IC	-0,33	-0,06	0,79	0,52	0,79	-0,65	0,42	-0,49	0,56	-0,37	1,00	0,54	-1,00	1,00

**Tabla 4.1.25.-** Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 821-PV, obtenidos en 2003

	Fruc.	Gluc.	Sac.	AST	D/M	Alm.	SST	AT	IM	Firm.	a/b	Crom	Hue	IC
Fruc.	1,00													
Gluc.	0,70	1,00												
Sac.	0,39	0,61	1,00											
AST	0,58	0,78	0,97	1,00										
D/M	0,14	0,37	0,95	0,85	1,00									
Alm.	-0,50	-0,75	-0,87	-0,91	-0,77	1,00								
SST	0,43	0,72	0,93	0,94	0,85	-0,94	1,00							
AT	-0,37	-0,64	-0,52	-0,59	-0,37	0,54	-0,50	1,00						
IM	0,33	0,67	0,75	0,77	0,63	-0,67	0,68	-0,91	1,00					
Firm.	-0,50	-0,71	-0,73	-0,79	-0,57	0,82	-0,74	0,71	-0,80	1,00				
a/b	0,43	0,71	0,91	0,92	0,82	-0,94	0,90	-0,70	0,81	-0,81	1,00			
Croma	0,86	0,79	0,44	0,63	0,20	-0,53	0,49	-0,50	0,50	-0,60	0,48	1,00		
Hue	-0,44	-0,71	-0,91	-0,92	-0,82	0,93	-0,89	0,72	-0,83	0,82	-1,00	-0,49	1,00	
IC	0,45	0,72	0,90	0,91	0,80	-0,95	0,90	-0,69	0,80	-0,81	1,00	0,49	-1,00	1,00

**Tabla 4.1.26.-** Coeficientes de correlación entre caracteres, físico-químicos y bioquímicos, de los frutos del clon 821-PV, obtenidos en 2004

	Fruc.	Gluc.	Sac.	AST	D/M	Alm.	SST	AT	IM	Firm.	a/b	Crom	Hue	IC
Fruc.	1,00													
Gluc.	0,80	1,00												
Sac.	0,49	0,48	1,00											
AST	0,76	0,74	0,93	1,00										
D/M	0,37	0,35	0,98	0,86	1,00									
Alm.	-0,64	-0,67	-0,92	-0,95	-0,89	1,00								
SST	0,69	0,78	0,84	0,93	0,77	-0,93	1,00							
AT	0,08	0,14	-0,24	-0,12	-0,26	0,12	-0,18	1,00						
IM	0,08	0,15	0,44	0,36	0,47	-0,45	0,38	-0,76	1,00					
Firm.	0,15	0,33	-0,54	-0,28	-0,64	0,31	-0,08	0,26	-0,17	1,00				
a/b	0,11	-0,01	0,83	0,61	0,89	-0,66	0,51	-0,34	0,36	-0,87	1,00			
Croma	-0,56	-0,55	-0,01	-0,26	0,09	0,15	-0,36	-0,34	0,53	-0,33	0,19	1,00		
Hue	-0,10	0,03	-0,82	-0,60	-0,88	0,65	-0,49	0,32	-0,34	0,88	-1,00	-0,19	1,00	
IC	0,10	-0,04	0,82	0,59	0,88	-0,64	0,49	-0,38	0,38	-0,88	1,00	0,20	-1,00	1,00

#### 4.1.02.-Experimento realizado en el año 2006

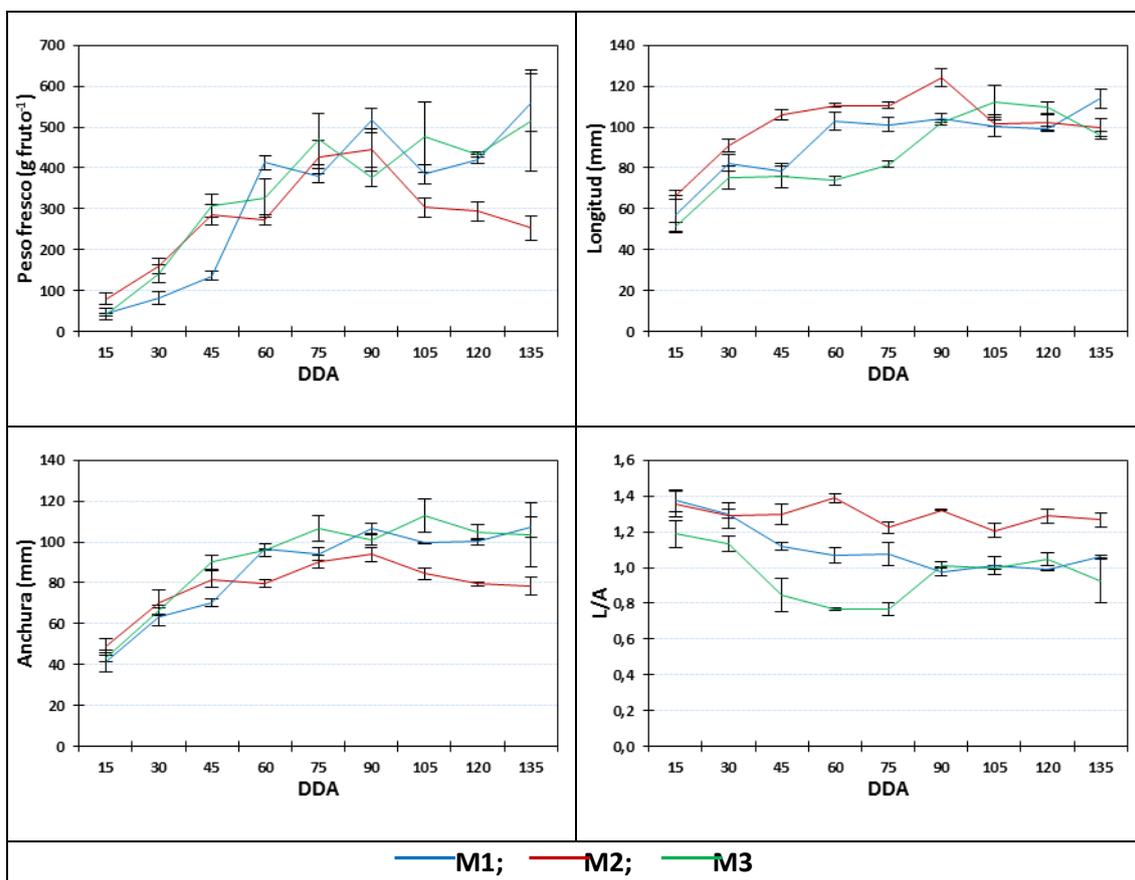
##### 4.1.02.1.- Parámetros morfológicos.

Para estudiar las evoluciones del peso, tamaño y forma de los frutos durante las fases de crecimiento y maduración correspondiente a la campaña 2005-06, el muestreo se realizó de modo similar a las campañas anteriores, observándose que las tendencias (datos no presentados) eran similares a la de los clones utilizados en años anteriores, constatándose que los frutos de la accesión M2 tuvieron menor peso unitario y fueron más estrechos que los de M1 y M3. No obstante se observó, en cada accesión, una variabilidad muy superior a la obtenida en los años anteriores, a pesar de que se habían seleccionado las plantas que tenían tanto ellas como los frutos, inicialmente en formación, una morfología similar. Dado que este resultado era previsible, se muestrearon de forma independiente los frutos de una planta de cada accesión y repetición, cuyos resultados se presentan en la figura 4.1.19. Los frutos muestreados de M2 tuvieron un peso unitario ( $\approx 300$  g) inferior a los de M1 y M3 ( $\approx 500$  y  $515$  g, respectivamente), fueron más estrechos ( $A \approx 80$  mm en M2,  $A \approx 100$  mm en M1 y M3) y más alargados ( $L/A \approx 1.25$  en M2,  $L/A \approx 1.00$  en M1 y M3). El peso medio de todos los frutos, aunque en general eran frutos grandes, no llegaron a alcanzar estos valores tan

elevados, que por otra parte suelen ser considerados como demasiado grandes por el consumidor. El rendimiento acumulado obtenido en M2 ( $1.042 \text{ kg m}^{-2}$ ) también fue inferior al de M1 ( $1.194 \text{ kg m}^{-2}$ ) y M3 ( $1.253 \text{ kg m}^{-2}$ ).

A pesar de que los frutos de las accesiones M1 y M3 tuvieron unas dimensiones similares, las formas fueron distintas; mientras la forma de los frutos de M1 fue acorazonada, la de los frutos de M3 fue prácticamente esférica (fotografía 4.02) y M2 ovoide-cónica.

Respecto a la evolución de los parámetros de crecimiento analizados, al igual que en las campañas anteriores, se presenta el modelo de regresión cuadrática (tabla 4.1.27), con el que se ha obtenido un ajuste adecuado (en todos los casos  $P \leq 0.01$ ;  $R^2 > 0.898$ ).



**Figura 4.1.19.-** Evolución de los frutos durante las fases de crecimiento y maduración correspondiente a la campaña 2005-06, expresadas en peso fresco (g), tamaño [longitud (L; mm), anchura (A, diámetro máximo; mm)] y forma (expresada como relación L/A) de los frutos correspondientes al primer ramillete (cuajado de enero) en relación a los días transcurridos desde la antesis (DDA).

**Tabla 4.1.27-** Parámetros de las ecuaciones con ajuste cuadrático ( $y = Ax^2 + Bx + C$ ) y coeficientes de determinación para las accesiones M1, M2 y M3. Año 2006.

	M1			M2			M3		
	Peso	Longitud	Anchura	Peso	Longitud	Anchura	Peso	Longitud	Anchura
A	-0.04	-0.004	-0.007	-0.062	-0.009	-0,007	-0.038	-0.003	-0.009
B	9.26	1.02	1.48	10.76	1.52	1.23	9.26	0.94	1.74
C	-122.05	48.47	22.65	-84.78	50.62	36.23	-77.7	40.46	22.25
R <sup>2</sup>	0.85	0.84	0.95	0.85	0.85	0.90	0.92	0.82	0.97

A partir de los valores del peso unitario y de las dimensiones de los frutos de las accesiones M1, M2 y M3, se ha obtenido una función matemática que permite relacionar lineal y positivamente, en cada accesión, el peso unitario de los frutos con la longitud y la anchura de los mismos, lo que indica, al igual que en los clones ensayados en las campañas anteriores, una dependencia directa entre los mismos.

M1:

$$y = 9.340 x - 545.56 \quad (r = 0.90; P \leq 0.01)$$

$$y = 7.98 w - 364.50 \quad (r = 0.95; P \leq 0.01)$$

M2:

$$y = 6.687 x - 397.99 \quad (r = 0.90; P \leq 0.01)$$

$$y = 8.039 w - 352.69 \quad (r = 0.92; P \leq 0.01)$$

M3:

$$y = 6.488 x - 217.92 \quad (r = 0.83; P \leq 0.01)$$

$$y = 7.037 w - 301.10 \quad (r = 0.95; P \leq 0.01)$$

siendo:

y = peso unitario del fruto (g), x = longitud del fruto (mm), w = anchura del fruto (mm)

En la tabla 4.1.28 se presentan los resultados de los ANOVA correspondientes al peso, L, A y relación L/A de los frutos en los estados de maduración “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro” (correspondientes a 45, 60 y 90 DDA, respectivamente), de las accesiones ensayadas en la campaña 2005-06. El estado de madurez (y por tanto el período durante el cual han crecido los frutos) influyó significativamente ( $P \leq 0.01$ ) en el peso y en las dimensiones de los frutos, aumentando con el estado de madurez. La accesión influyó significativamente ( $P \leq 0.01$ ) en la longitud, la anchura y la relación L/A de los frutos. Los frutos de la accesión M2 tuvieron ( $P \leq 0.05$ ) la mayor longitud, menor anchura y mayor relación L/A. Los frutos de la accesión M1 tuvieron ( $P \leq 0.05$ ) una mayor longitud y fueron más alargados (mayor relación L/A) que los de la accesión M3.

**Tabla 4.1.28.-** Influencia del estado de maduración [“Verde pálido” (1), “Premaduro” (2) y “Maduro” (3)] y de la accesión M1, M2, M3) en el peso unitario (g), longitud (L, mm), anchura (A, mm) y relación L/A de los frutos.

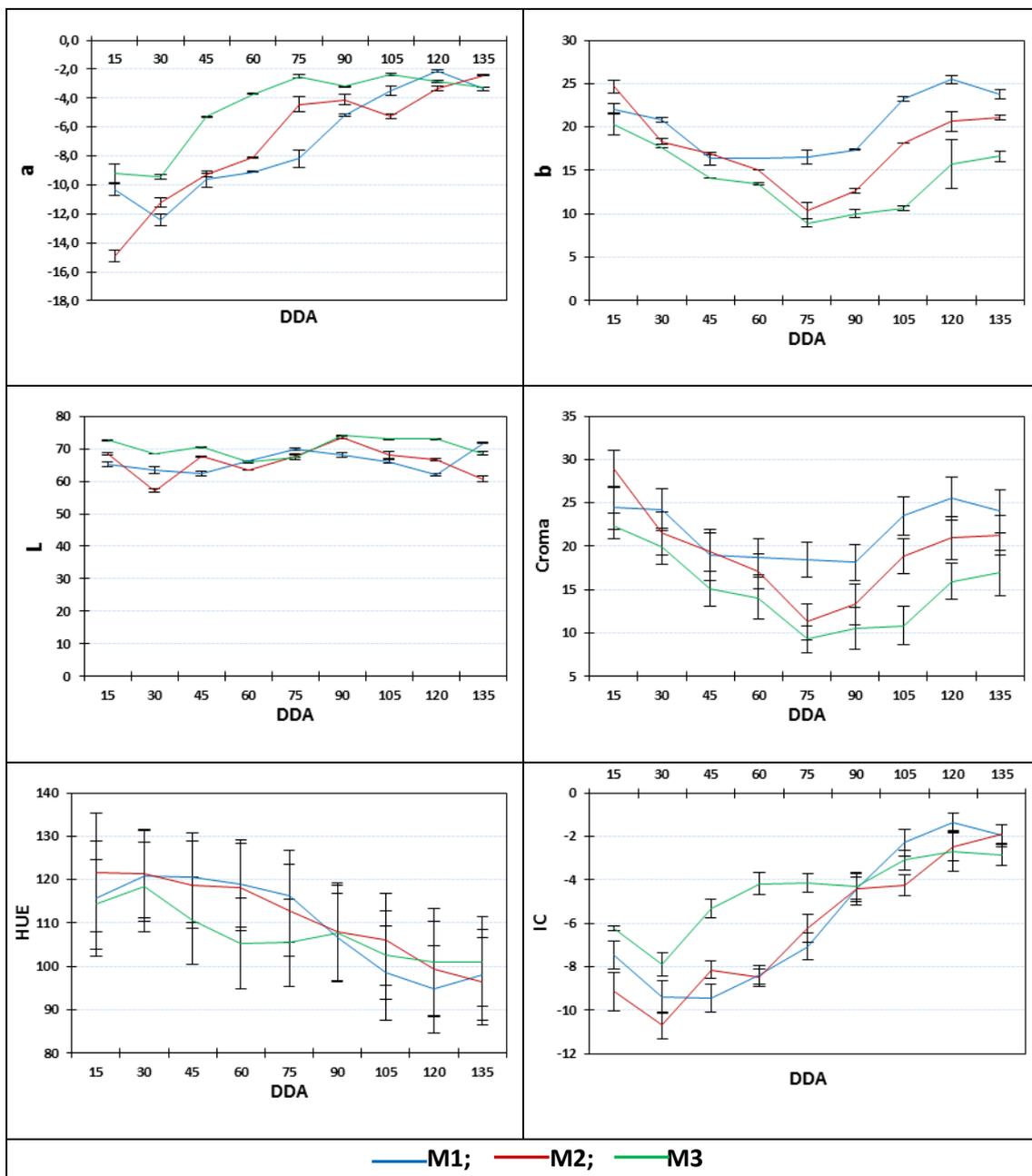
	Peso	Longitud	Anchura	L/A
Estado maduración (M)				
1	243.34 c	86.88 c	80.77 c	1.09
2	337.14 b	95.82 b	90.66 b	1.08
3	446.17 a	110.16 a	100.41 a	1.10
Accesión (C)				
1	355.43	95.31 b	91.17 a	1.05 b
2	333.97	113.52 a	85.11 b	1.34 a
3	337.23	84.02 c	95.56 a	0.88 c
ANOVA				
Parámetros (gl)	% Suma de cuadrados			
Maduración (2)	53.65 **	31.61 **	49.25 **	0.27 ns
Accesión (2)	0.70 ns	50.79 **	14.06 **	80.85 **
M*C (4)	31.39 **	10.14 **	25.09 **	10.79 **
Residual (18)	14.27	7.46	11.60	8.09
DE	138.59	20.89	13.99	0.26

DE: Desviación estándar

4.1.02.2.- Parámetros físico-químicos.4.1.02.2.1.- *Color*

Al igual que en las campañas anteriores, y como resulta lógico, el color de la piel cambió de verde a amarillento al progresar la maduración del fruto. En la figura 4.1.20 se presenta la evolución de los valores de los parámetros  $L$ ,  $a$  y  $b$ , y de las funciones  $Croma$  y  $Hue$ , correspondiente a los frutos de las tres accesiones M1, M2 y M3. Al igual que en los años anteriores el valor de  $a$  aumentó (disminuyó el valor negativo), siendo lo más destacado el elevado valor de  $a$  correspondiente al 45 DDA (frutos menos verdes). La tendencia de la evolución de  $b$  fue similar a la obtenida en 2002, destacando también el bajo valor correspondiente al 45 DDA (frutos son menos amarillos). El valor de  $L$  aumentó muy ligeramente, de forma similar a la de los años 2001 y 2002, por lo que la luminosidad aumentó muy ligeramente con la maduración de los frutos. El índice  $a/b$  aumentó (disminuyó en valor absoluto), aproximándose a 0 (manifestando el viraje de color, de color verde a amarillo). La tendencia de la evolución del  $Croma$  fue similar a la obtenida en el año 2002, descendiendo en primer lugar y aumentando después (mejor destacar el bajo valor del  $Croma$  del 45 DDA, correspondiente al elevado valor de  $a$  y el bajo valor de  $b$ ). Al igual que con los clones anteriormente ensayados en las

campañas anteriores, el *Hue* disminuyó hasta valores ligeramente inferiores a 100, que como se ha indicado anteriormente corresponde a un color entre verde y naranja, y el *IC* aumentó hasta valores próximos a -2, propio del color verde amarillento o amarillo verdoso.



**Figura 4.1.20.-** Coordenadas de color *a*, *b* y *L* (CIE  $L^*a^*b^*$ ), y funciones de color *Croma*, *Hue* e *IC* correspondientes a las accesiones M1, M2 y M3. Año 2006.

En la tabla 4.1.29 se presenta los valores de las funciones de color de los frutos de los estados, “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”. El clon fue el factor que más influyó ( $P \leq 0.01$ ; PSC= 58%) en el *Croma*, mientras el estado de madurez fue el que más influyó en los valores de *Hue* ( $P \leq 0.01$ ; PSC=43%) e *IC* ( $P \leq 0.01$ ; 38%). El clon M1

tuvo los mayores valores de *Croma* ( $P \leq 0.051$ ) y *Hue* ( $P \leq 0.05$ ), y el menor (mayor en valor absoluto) de *IC* ( $P \leq 0.05$ ), es decir presentaba una coloración más verdosa. Los frutos del estado “Maduro” tuvieron los mayores valores ( $P \leq 0.05$ ) de *Croma* y de *IC* (menor en valor absoluto) y el menor valor ( $P \leq 0.05$ ) de *Hue*, correspondiendo los tres valores a frutos más amarillentos. Las interacciones significativas ( $P \leq 0.01$ ) se debieron al diferente comportamiento de los clones en las diferentes campañas.

Los valores de *Croma* obtenidos en este estudio aumentaron al progresar la maduración (de 14.0 a 17.8), de acuerdo con lo indicado por Kola *et al.* (2015) y con los valores obtenidos por Prono-Widayat *et al.* (2003;  $\approx 7.5$  a los 28-42 DDA, 16 a los 38-57 DDA, 20 a los 57-72 DDA). Los valores de *Hue* obtenidos (116 en estado “Verde pálido”, 107 en estado “Maduro”) coinciden totalmente con los obtenidos por Sánchez *et al.* (2000) en frutos del cv. ‘Sweet Long’ (121 en estado verde, 95 maduro) producidos en Puzol (Valencia).

**Tabla 4.1.29.-** Influencia del estado de maduración [“Verde pálido” (1), “Premaduro” (2) y “Maduro” (3)] y de la accesión (M1, M2 y M3) en el valor del índice a/b y de las funciones de color *Croma*, *Hue* e *IC*.

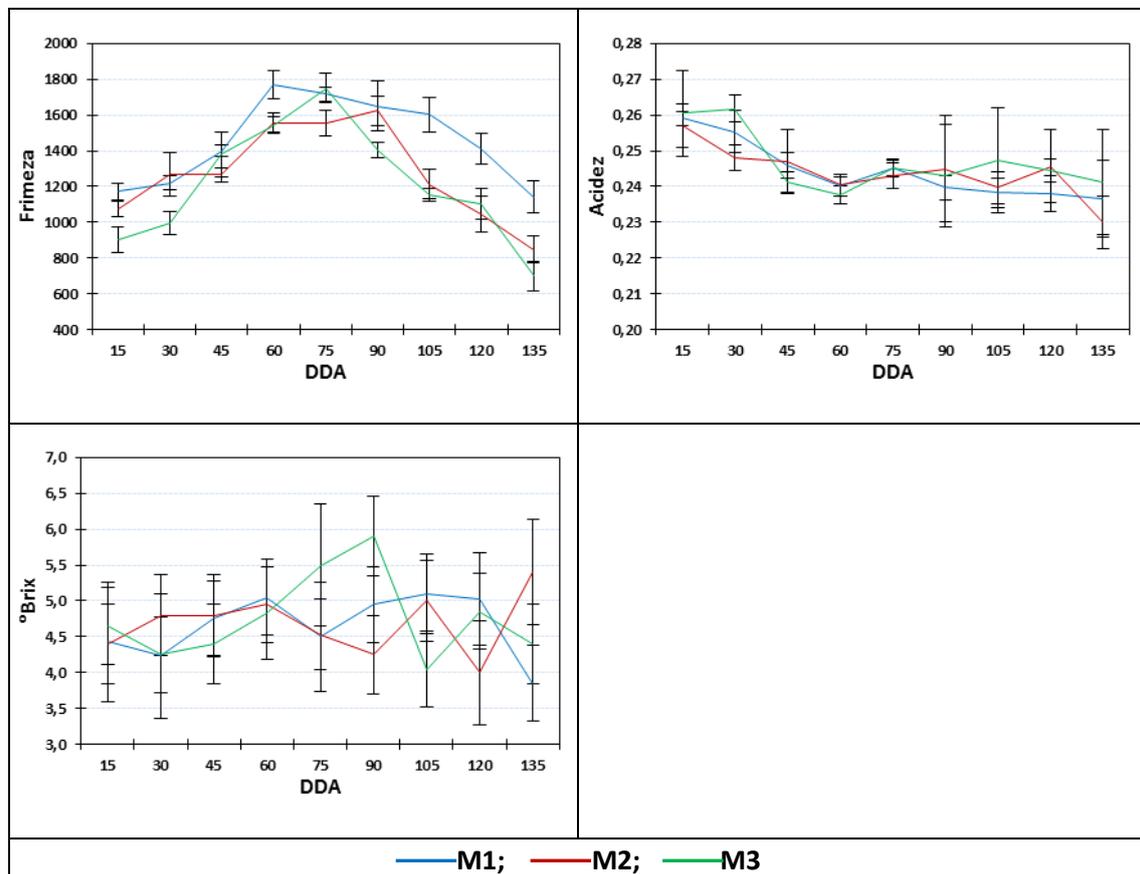
	a/b	<i>Croma</i>	<i>HUE</i>	<i>IC</i>
Estado maduración (M)				
1	-0.50	17.81 a	116.60 a	-7.55 b
2	-0.46	16.60 b	114.22 a	-6.55 b
3	-0.32	14.01 c	107.42 b	-4.40 a
Accesión (C)				
1	-0.48	18.63 a	115.37 a	-7.28 b
2	-0.47	16.59 b	115.01 b	-6.24 ab
3	-0.32	13.20 c	107.86 c	-4.99 a
ANOVA				
Parámetros (gl)		% Suma de cuadrados		
M (2)	42.51	29.06 **	43.00 **	38.23 **
C (2)	34.81	57.94 **	33.91 **	19.62 **
M*C (4)	21.12	9.45 **	21.34 **	14.55 **
Residual (18)	1.56	3.55	1.76	22.88
DE	0.02	0.68	0.96	1.22

DE: Desviación estándar

#### 4.1.02.2.2. - Sólidos Solubles Totales

El contenido en SST de los frutos aumentó muy ligeramente durante el crecimiento y la maduración (figura 4.1.21; 90 DDA, de forma bastante similar a la de 2001, detectándose en el análisis estadístico, al considerar los tres estados, “Verde

pálido”, “Premaduro” y “Maduro” (tabla 4.1.30), un efecto significativo ( $P \leq 0.01$ ) del estado de madurez, y también una fuerte interacción ( $P \leq 0.01$ ), que explicaba el 69% de la variabilidad total (PSC) y que reflejaba el elevado valor de los frutos de M3 en el estado “Maduro”, aunque este elevado valor parece puntual, con los frutos muestreados a los 90 DDA, porque no se mantuvo en los muestreos sucesivos (90 DDA).



**Figura 4.1.21.-** Evolución de los contenidos en SST (° Brix), de la acidez titulable (AT, mg L<sup>-1</sup>) y firmeza (g) de los frutos de la accesión (M1, M2 y M3) en relación a los DDA. Año 2006.

#### 4.1.02.2.3. - Firmeza

El patrón de evolución de la firmeza de los frutos (figura 4.1.21) presenta una similitud con la obtenida en 2002, con un incremento de valor inicial para descender después en la maduración, manifestando una elevada variabilidad. En esta ocasión los dos factores, Estado de madurez ( $P \leq 0.01$ ; PSC = 49%) y Accesión ( $P \leq 0.01$ ; PSC = 17%) resultaron significativos (tabla 4.1.30), así como su interacción ( $P \leq 0.05$ ; PSC = 14%). La accesión M1 presentó los frutos con mayor valor de firmeza ( $P \leq 0.05$ ), siendo de destacar su elevado valor (1600 g), y los frutos en estado “Premaduro” presentaron la máxima ( $P \leq 0.01$ ) firmeza ( $\approx 1600$  g), siendo estos valores superiores a los obtenidos con los clones ensayados en las campañas anteriores.

**Tabla 4.1.30.-** Influencia del estado de maduración [“Verde pálido” (1), “Premaduro” (2) y “Maduro” (3)] y de la accesión (M1, M2 y M3) en el valor de los parámetros de las características físico-químicas [SST (°Brix), acidez titulable (AT, mg L<sup>-1</sup>) y firmeza (g)] de los frutos producidos 2006.

	Brix	Acidez	Firmeza
Estado maduración (M)			
1	4.65 b	0.25	1347.50 c
2	4.94 a	0.24	1622.50 a
3	5.03 a	0.24	1558.50 b
Accesión (C)			
1	4.92 a	0.24	1605.17 a
2	4.67 b	0.24	1480.83 b
3	5.04 a	0.24	1442.50 c
ANOVA			
Parámetros (gl)	% Suma de cuadrados		
M (2)	13.11 **	6.07 ns	48.53 **
C (2)	12.03 **	2.24 ns	16.95 **
M*C (4)	68.86 **	5.43 ns	13.81 *
Residual (18)	6.00	86.26	20.71
DE	0.55	0.01	94.01

DE: Desviación estándar

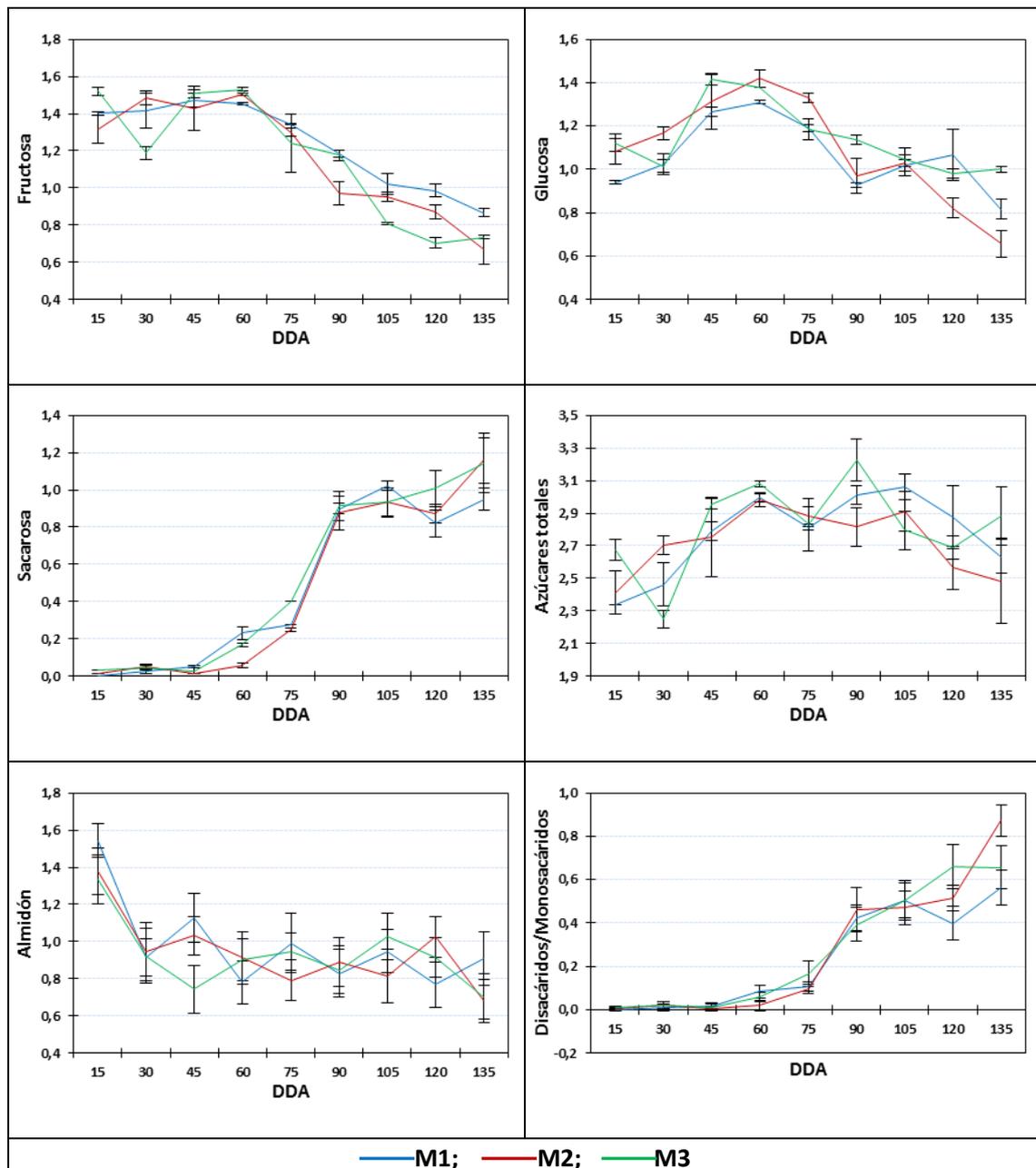
#### 4.1.02.2.4.- Acidez titulable

Lo más destacable probablemente de la evolución de la acidez (figura 4.1.21) es que manifestó una elevada variabilidad entre frutos, que queda patente en el análisis estadístico correspondiente a los tres estados de madurez analizados (tabla 4.1.30), en el que se constata el elevado valor del PSC del residuo (86%), que provocó que ninguno de los factores considerados resultara significativo ( $P \leq 0.05$ ). Los valores medios fueron similares a los de los clones *CH-VIII*, *806-PV* y *821-PV*.

#### 4.1.02.3.- Parámetros bioquímicos

El patrón del comportamiento en la evolución de los azúcares (figura 4.1.22) resultó idéntico al obtenido en las campañas anteriores, siendo la fructosa el azúcar almacenado en mayor cantidad en los estados “verdes”, y que su contenido, al igual que el de la glucosa, disminuyó durante la maduración coincidiendo con lo citado por Schaffer *et al.* (1989) y por Prono-Widayat (2003). El estado de madurez fue el factor que más influyó (tabla 4.1.31) en el contenido en fructosa, glucosa y sacarosa ( $P \leq 0.01$ ; valores del PSC en el rango 71 - 96%), aumentando con el estado de madurez, hasta el estado “Premaduro” en los casos de la fructosa y de la glucosa, y hasta el estado “Maduro” en la sacarosa. La accesión influyó significativamente en los contenidos en

fructosa y glucosa ( $P \leq 0.05$ ), pero no de sacarosa ( $P \leq 0.05$ ), observándose una apreciable variabilidad en los frutos cosechados a partir de 105 DDA (figura 4.1.22). Como valores medios, los frutos “Maduros” de estas accesiones presentaron un menor contenido en sacarosa (0.90%), y en azúcares totales (3.1%) que los clones *CH-VIII*, 806-*PV* y 821-*PV* (1.33 y 4.65%, respectivamente).



**Figura 4.1.22.-** Evolución de los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares solubles totales y almidón, y en la relación azúcares disacáridos/monosacáridos, de los frutos de las accesiones M1, M2 y M3 producidos en 2006 y cosechados en los estados” Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”.

El patrón de la evolución del almidón fue similar al obtenido en las campañas anteriores, descendiendo de forma marcada durante la fase crecimiento de los frutos,

con la salvedad de que el nivel de partida fue netamente inferior, y por tanto con menor pendiente. Además de resultar significativos ( $P \leq 0.01$ ) el Estado de madurez (con mayor valor en el estado “Verde pálido” y la Accesión (el menor valor correspondió a M3), resultó significativa la interacción ( $P \leq 0.01$ , PSC = 56%) debido al menor valor del contenido en almidón de los frutos de la accesión M3 en el estado “Verde pálido”. Al igual que en los experimentos de los años 2001-2004, los valores de SST y AST aumentaron con el crecimiento y maduración de los frutos.

**Tabla 4.1.31.-** Influencia del estado de maduración [“Verde pálido” (1), “Premaduro” (2) y “Maduro” (3)] y de la accesión (M1, M2 y M3) en los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares solubles totales (AST) y almidón, y en la relación azúcares disacáridos/monosacáridos (Dis/Mon).

	Fructosa	Glucosa	Sacarosa	AST	Almidón	Dis/Mon
Estado maduración (M)						
1	1.47 a	1.33 a	0.03 c	2.83	0.97 a	0.97 a
2	1.50 a	1.37 a	0.15 b	3.02	0.87 b	0.87 b
3	1.11 b	1.01 b	0.90 a	3.02	0.86 b	0.86 b
Accesión (C)						
1	1.37 ab	1.17 b	0.39	2.93 ab	0.91 a	0.91 a
2	1.30 b	1.23 ab	0.32	2.85 b	0.95 a	0.95 a
3	1.41 a	1.31 a	0.37	3.09 a	0.83 b	0.83 b
ANOVA						
Parámetros (gl)	% Suma de cuadrados					
Maduración (2)	78.78 **	70.91 **	96.33 **	18.35 ns	17.82 **	17.82 **
Accesión (2)	4.71 *	9.75 *	0.70 ns	23.12 *	15.84 **	15.84 **
M*C (4)	5.13 ns	3.52 ns	0.53 ns	6.79 ns	56.03 **	56.03 **
Residual (18)	11.38	15.81	2.44	51.74	10.30	10.30
DE	0.24	0.23	0.48	0.25	0.15	0.05

DE: Desviación estándar

#### 4.1.03. Análisis sensorial

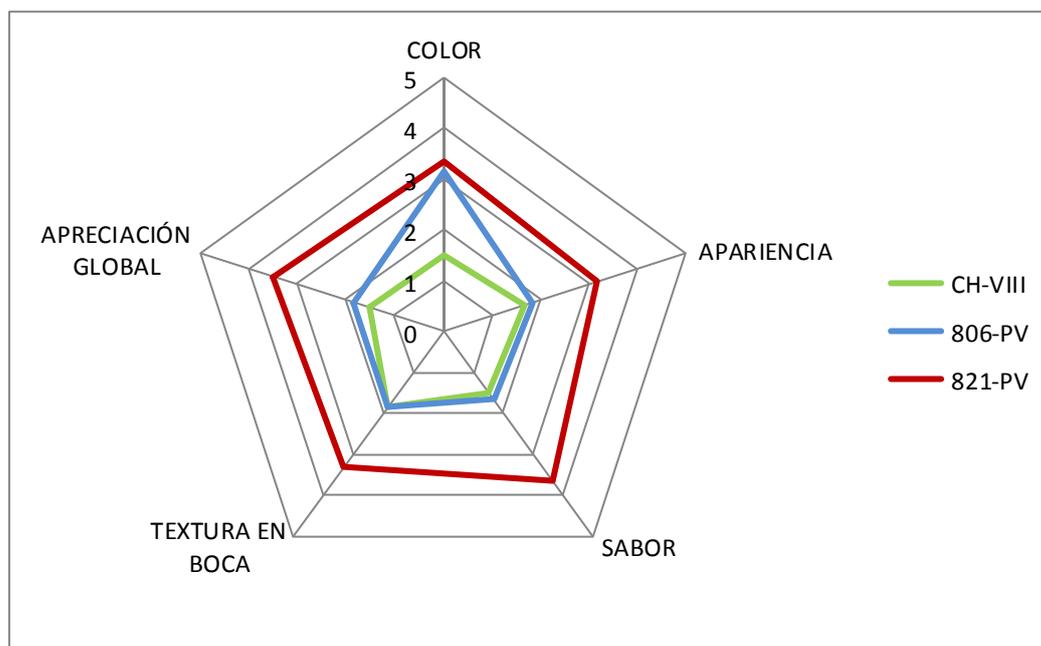
Dado que los paneles no habían actuado siguiendo el protocolo establecido por la normativa, y que los catadores habían sido previamente preparados, se presentan los valores medios obtenidos, sin realizar un análisis estadístico.

En las figuras 4.1.23, 4.1.24., 4.1.25 y 4.1.26, se presentan, en formato de gráfica radial, las calificaciones medias de los parámetros analizados, correspondientes a los frutos de los clones *CH-VIII*, *806-PV* y *821-PV*, muestreados en cada una de las campañas.

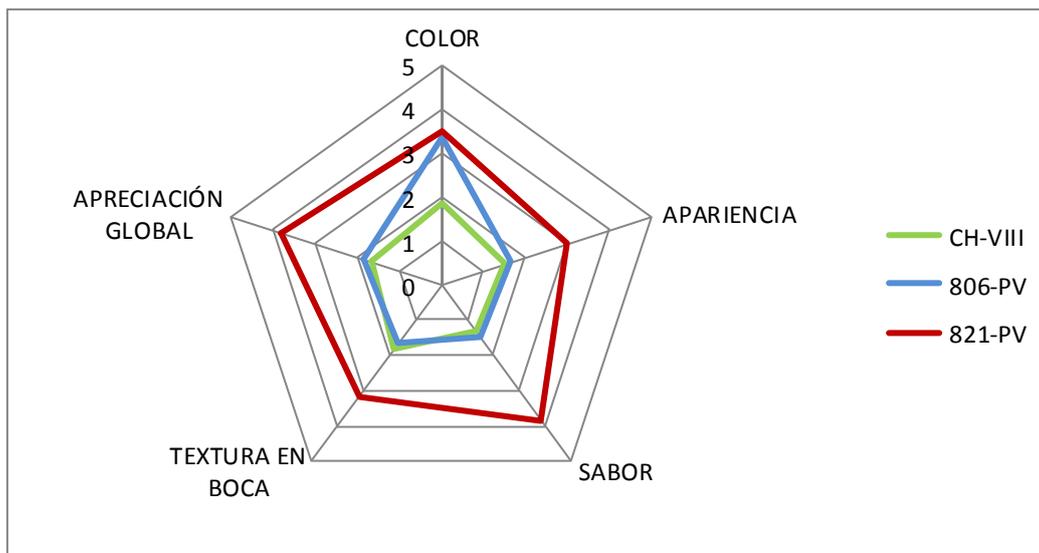
Se observa que los frutos del clon 821-*PV* fueron los que obtuvieron sistemáticamente la mejor valoración en cada apartado, y particularmente en la apreciación global. Es de destacar que hubo muy poca diferencia en la valoración del color entre los clones 806-*PV* y 821-*PV*.

Igualmente se presenta en el mismo formato los resultados correspondientes a los frutos de las accesiones M1, M2 y M3, producidos en 2006. Los frutos de la accesión M3 recibieron la mayor puntuación en todos los apartados, incluyendo la valoración global.

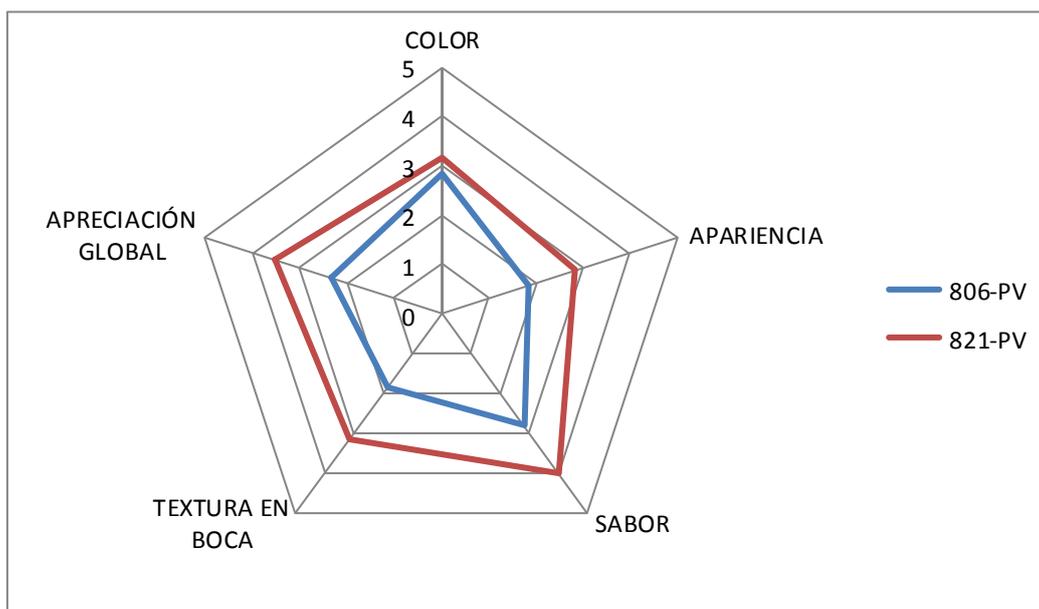
Por tanto, de los resultados obtenidos en estos paneles de cata, se puede concluir que el clon que 821-*PV* y la accesión M3 han tenido la mejor apreciación global, además de las mejores puntuaciones en color, apariencia, sabor y textura en la boca.



**Figura 4.1.23.-** Representación gráfica radial del valor medio de las calificaciones obtenidas por los frutos de los clones *CH-VIII*, *806-PV* y *821-PV*, muestreados en 2001.



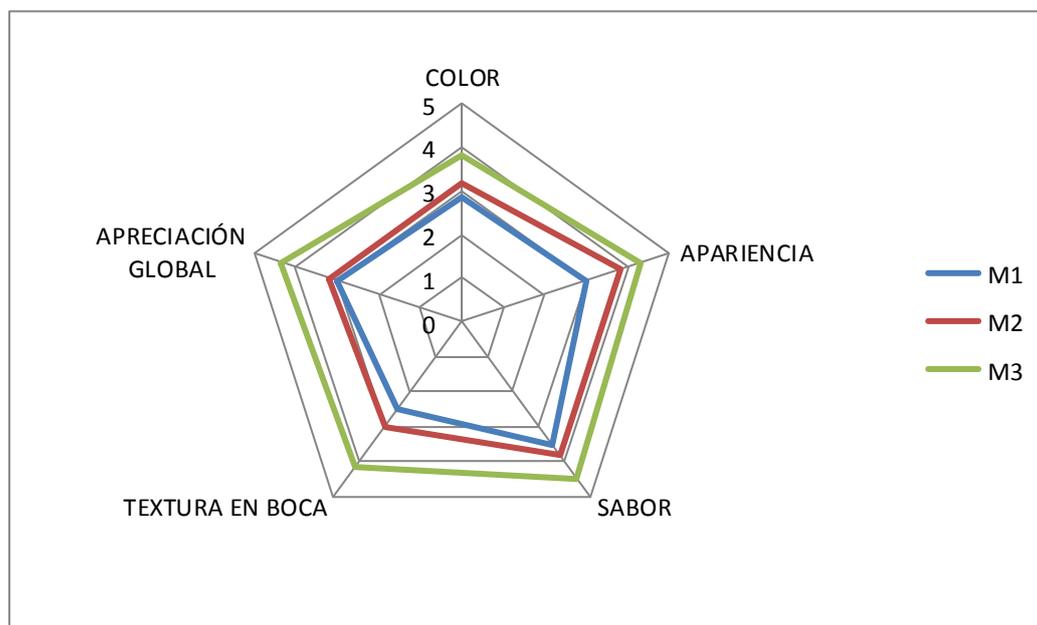
**Figura 4.1.24.-** Representación gráfica radial del valor medio de las calificaciones obtenidas por los frutos de los clones *CH-VIII*, *806-PV* y *821-PV*, muestreados en 2002.



**Figura 4.1.25.-** Representación gráfica radial del valor medio de las calificaciones obtenidas por los frutos de los clones *806-PV* y *821-PV*, muestreados en 2003.



**Figura 4.1.26.-** Representación gráfica radial del valor medio de las calificaciones obtenidas por los frutos de los clones 806-PV y 821-PV, muestreados en 2004.



**Figura 4.1.27.-** Representación gráfica radial del valor medio de las calificaciones obtenidas por los frutos de las accesiones M1, M2 y M3, muestreados en 2006.

#### 4.1.04.- Consideraciones generales de los clones

De las características analizadas de los clones ensayados, *CH-VIII*, 806-PV y 821-PV, se concluye que el clon 821-PV produjo frutos de más tamaño, lo que resulta

importante dado el reducido tamaño medio de los frutos cosechados durante las cuatro campañas (también resultó el de mayor rendimiento), teniendo una forma ovoide, menos alargada que los restantes. Respecto a la coloración de la piel no tuvo grandes diferencias respecto a los frutos del clon 806-PV, aunque según los valores de las funciones de color, fueran un poco menos amarillos. En cuanto al contenido de los frutos en SST y a la acidez no difirió de los otros clones, presentando los frutos una mayor firmeza, presentando la mayor concentración en AST, aunque sin diferencia en la concentración de sacarosa, por lo que la relación disacáridos/monosacáridos fue la más baja.

Paralelamente a este estudio se realizó un análisis sensorial de los frutos, cuyo resultado no se ha considerado conveniente incluir su análisis en esta tesis doctoral debido a que no se realizó con el rigor suficiente. Este análisis se realizaba con la participación de cinco colaboradores de la investigación, que degustaban los frutos del estado “Maduro”. Los resultados indicaron que, aunque no existieron grandes diferencias, el clon 821-PV fue generalmente el más apreciado, a pesar de que su contenido en sacarosa era prácticamente igual que el de los frutos del clon 806-PV.

En cuanto a las accesiones ensayadas, cabe indicar que, a pesar de proceder de semilla, con las plantas seleccionadas para la obtención de los frutos, se obtuvo una homogeneidad de los mismos casi igual a la de los clones anteriormente ensayados, por lo que servirían para ser origen de clones. En primer lugar, cabría destacar el elevado tamaño y peso de los frutos obtenidos con las tres accesiones, sobre todo en relación a los de los clones anteriormente indicados. Los frutos de la accesión M3 tuvieron una forma más esférica (menos alargada) que fue más apreciada por los participantes en el análisis organoléptico. En cuanto al contenido en azúcares, tuvo un contenido en sacarosa similar al de las otras accesiones, y un contenido en fructosa y glucosa ligeramente superior. Aunque con poca diferencia respecto a los frutos de las otras accesiones, sus frutos fueron los más apreciados. Por todo ello, esta accesión también podría propagarse mediante estaquillado, siendo cabeza de clon.

## **4.2.- EVOLUCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO EN LA FASE DE POST-RECOLECCIÓN.**

El estudio de la evolución de las características de los frutos durante el almacenamiento en post-recolección se realizó a través de diversos métodos de análisis con métodos destructivos, por lo que los datos corresponden a frutos distintos, y por tanto no exactamente de idéntica composición. La elevada variabilidad registrada entre frutos no quedaba amortiguada en los valores medios, debido al reducido tamaño de las muestras, por lo que la interpretación de este apartado debe realizarse en base a tendencias más que a valores concretos, y por esta razón no se han realizado los ANOVA tal y como se han realizado en los otros apartados.

A continuación, se presentan las principales tendencias observadas en la evolución de las características de los frutos, en primer lugar, de los dos clones (806-PV y 821-PV) producidos en los años 2003 y 2004, y en segundo lugar de las tres accesiones (M1, M2 y M3), producidos en 2006, en ambos casos cosechados en los estados “verde pálido”, “premaduro” y “maduro”, almacenados durante quince días en 2003 y 2004 y 15 (D15) y 30 días (D30) en 2006, a 10 °C y 90% HR.

### **4.2.01.- Clones 806-PV y 821-PV**

Se analizan conjuntamente los resultados correspondientes a las campañas 2002-03 y 2003-04, indicándose en su caso las particularidades.

#### 4.2.01.1.- Parámetros morfológicos

No se detectó ningún cambio en la morfología ni en el tamaño de los frutos, como era de esperar, dada la temperatura de conservación, 10 °C. La pérdida de peso de los frutos de los clones 806-PV y 821-PV fue en todos los casos muy baja (<1.75%; las pérdidas de peso en el clon 806-PV estuvieron comprendidas entre 0.60 y 1.04% en 2003, y entre 0.89 y 1.74% en 2004; en el clon 821-PV: entre 0.72 y 0.75% en 2003, y entre 0.65 y 1.38% en 2004). Estos resultados son acordes con los obtenidos por Huyskens-Keil *et al.* (2000) que registraron unas diferencias no significativas en las pérdidas de peso fresco de los frutos en el almacenamiento de los mismos durante 21 días, a temperaturas de almacenamiento de 5 y 18 °C. Estos autores observaron también una disminución del contenido en materia seca de los frutos en los tres estados de madurez, siendo más pronunciada esta disminución en el estado “maduro”, indicando el

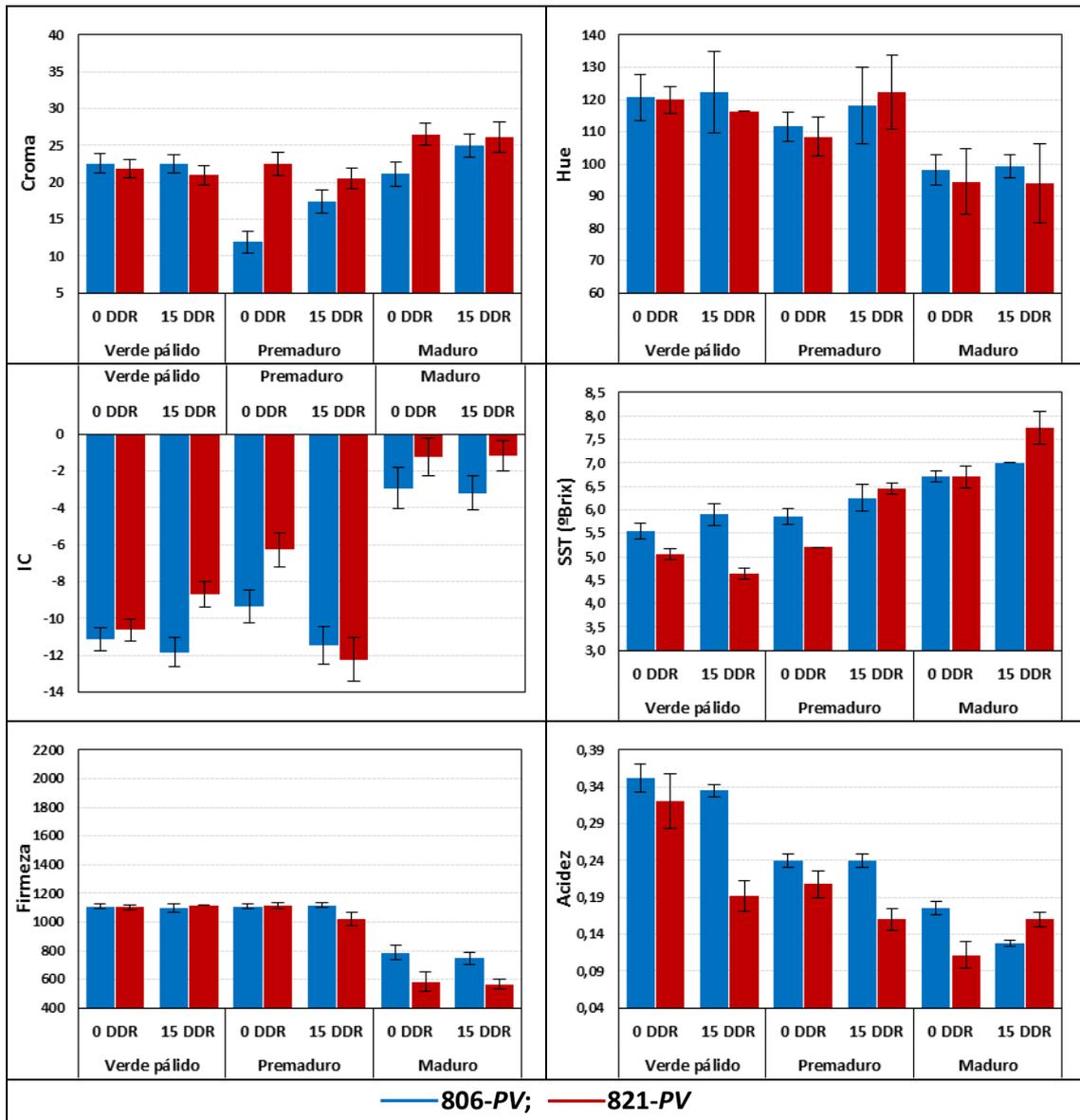
inicio del proceso de senescencia; por otra parte, no encontraron diferencias en el peso seco de los frutos almacenados a las dos temperaturas diferentes. Prono-Widayat *et al.* (2003) al analizar los frutos del cv. ‘Golden Globe’, también durante 21 días y a las temperaturas de 5 y 18 °C, encontraron una disminución en el porcentaje de materia seca de los frutos. Moreno *et al.* (2013) obtuvieron una pérdida de peso próxima al 8% en los cvs. ‘Zapata’, ‘Constable’ y ‘Lider’ conservados durante 15 días a la temperatura ambiente (20 °C y 70% H.R.), mientras estas pérdidas fueron < 1% en frutos recubiertos con una película plástica; las pérdidas obtenidas sin película plástica fueron muy superiores a las obtenidas en este experimento, pero se obtuvieron en una temperatura que duplicaba a la del presente experimento.

#### 4.2.01.2.- Parámetros físico-químicos

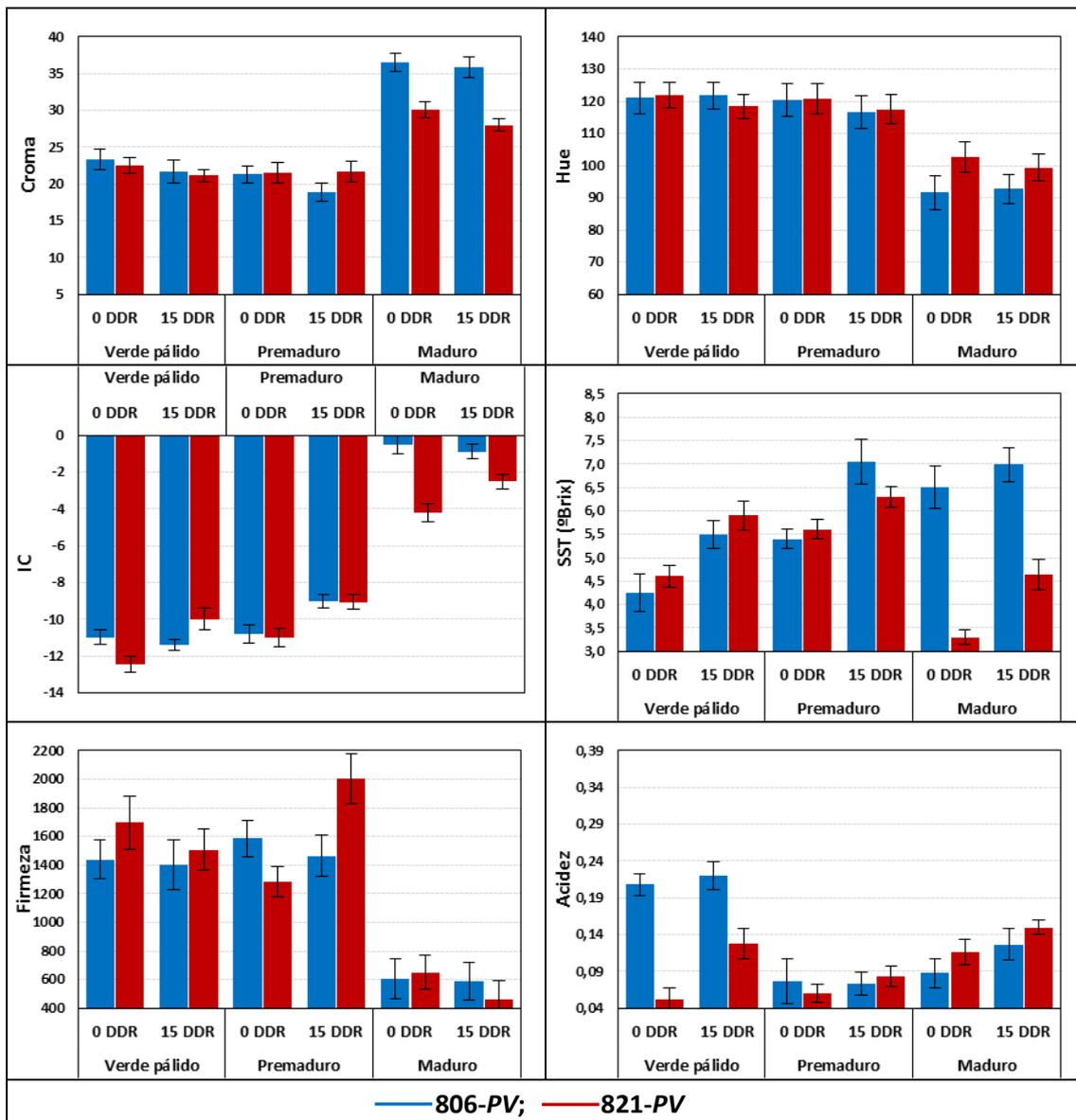
##### 4.2.01.2.1.- *Color de la piel*

La evolución del valor del *Croma* (figuras 4.2.01 y 4.2.02) con el almacenamiento de los frutos siguió una tendencia de disminución del valor, que resultó clara en 2004 en los dos clones y en el clon 821-PV en 2003, lo que indica un tono más rojizo de la piel, coincidiendo con lo obtenido por Prono-Widayat *et al.* (2003); en cambio esta tendencia no se observó en el clon 806-PV en 2003, cuyos frutos en ocasiones presentaron un mayor valor de *Croma* (una coloración más verdosa) al término del almacenamiento, coincidiendo con los resultado de Moreno *et al.* (2013), que constataron que los frutos del cv. ‘Constable’ presentaron mayor coloración verde tras el almacenamiento durante 15 días a 20°C.

Se observa una tendencia de disminución muy ligera del valor del *Hue* (correspondiente a un amarilleamiento de la piel; figuras 4.2.01 y 4.2.02) con el almacenamiento en los frutos del clon 821-PV en los dos años de experimentación, registrándose no obstante un incremento de valor en el estado “Premaduro” en 2003, comportándose, en este caso concreto, igual los frutos del clon 806-PV.



**Figura 4.2.01.-** Evolución de las funciones de color (*Croma*, *Hue* e *Índice de color*), contenidos en sólidos solubles totales (°Brix), firmeza (g) y acidez titulable (AT, %), de los frutos de los clones 806-PV y 821-PV producidos en 2003, cosechados en los estados “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”, almacenados durante 15 días a la temperatura de 10 °C.



**Figura 4.2.02.-** Evolución de las funciones de color (*Croma*, *Hue* e *Índice de color*), contenidos en sólidos solubles totales (°Brix), firmeza (g) y acidez titulable (AT, %), de los frutos de los clones 806-PV y 821-PV producidos en 2004, cosechados en los estados “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”, almacenados durante 15 días a la temperatura de 10 °C.

4.2.01.2.2.- *Contenidos en Sólidos Solubles Totales*

En los dos clones y en los dos años de experimentación se ha constatado un incremento en el contenido en SST (figuras 4.2.03 y 4.2.04). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Prono-Widayat *et al.* (2003) que estudiaron la evolución de la calidad de los frutos de pepino dulce en post-cosecha, tras la recolección de los mismos en los estados *premature*, *mature* y *ripe*; no presentaron valores de SST, pero sí de fructosa, glucosa y sacarosa, aumentando la suma de sus contenidos, con el almacenamiento, en los tres estados de recolección. Prohens *et al.* (1996) obtuvieron

con el clon '05-8' un ligero incremento en el contenido de SST (expresados en °Brix) con el almacenamiento durante 5 días a temperatura ambiente (25 °C), seguido de un descenso en el contenido a los 10 días; en cambio en el clon '92-610' únicamente apreciaron un descenso insignificante.

#### 4.2.01.2.3.- Firmeza

Aunque en alguna combinación Acceso x Estado de madurez se observaron cambios, no fueron importantes (figuras 4.2.01 y 4.2.02). En efecto, en 2004 se observó un cierto ablandamiento (disminución de la firmeza) en el clon 806-PV en el estado "Premaduro", al igual que en el clon 821-PV en el estado "Verde pálido"; en este último clon se observó un incremento de la firmeza en el estado "Premaduro", pero evidentemente este caso concreto podría deberse a las características de unos frutos concretos cosechados en esa fecha de muestreo. Prohens *et al.* (1996) obtuvieron con el clon '05-8' una disminución significativa de la "resistencia a la presión de la carne" de los frutos almacenados a 25 °C durante 5 días, incrementándose ligeramente a los 10 días, mientras que en los frutos del clon '92-610' observaron un ligero incremento de la firmeza durante todo el período de conservación.

#### 4.2.01.2.4.- Acidez titulable

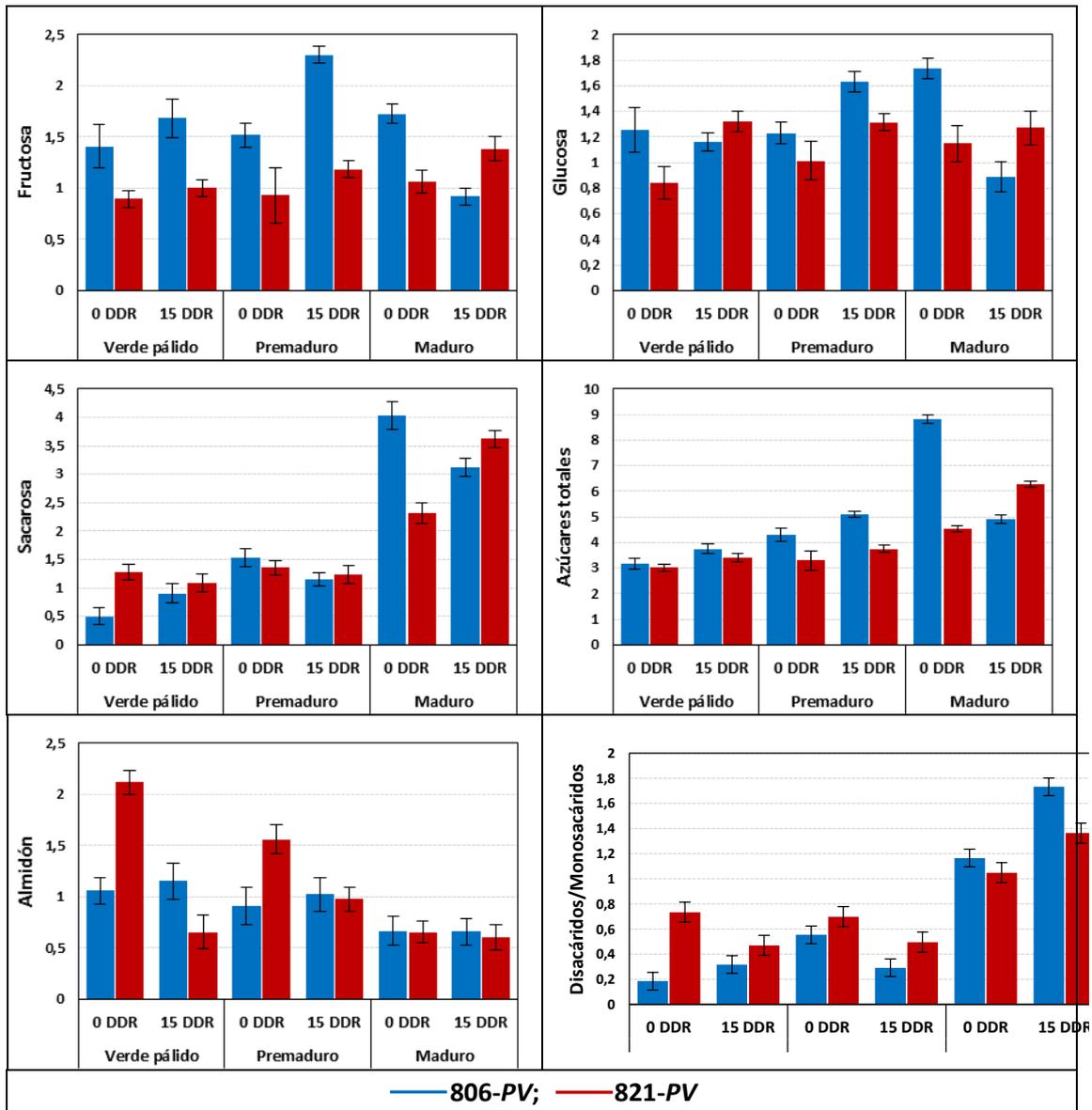
Al analizar la acidez titulable (AT) de los frutos (figuras 4.2.01 y 4.2.02) analizados en 2003 se observa una tendencia descendente con la conservación, pero con diferencias entre clones: en el clon 806-PV la AT disminuyó con la conservación en los estados "Verde pálido" y "Maduro", mientras en el clon 821-PV la reducción se produjo en los estados "Verde pálido" y "Premaduro", coincidiendo en este último caso con los resultados obtenidos por Prono-Widayat *et al.* (2003), quienes obtuvieron que la AT disminuyó significativamente del estado *premature* al *mature*, permaneciendo constante desde este estado hasta la madurez (*ripe*). Únicamente encontraron diferencias significativas en los frutos en estado *premature* conservados a 18 °C, pero no a 5 °C (indicando una senescencia inducida por la temperatura). Huyskens-Keil *et al.* (2000) relacionaron este resultado con el incremento en el contenido en ácido málico y la disminución del contenido en ácido cítrico. Los resultados también coinciden con los obtenidos por Prohens *et al.* (1996), que obtuvieron descensos de la AT de los frutos durante el almacenamiento, aunque con diferente intensidad entre los clones ensayados. No obstante, Moreno *et al.* (2013) constataron que la AT se incrementó inicialmente

con el almacenamiento, a temperatura ambiente, en la mayoría de cvs. ensayados, descendiendo a continuación, e incrementándose de nuevo entre los 9 y 15 días. En el año 2004 se obtuvieron resultados similares, con tendencia a disminuir la AT con el almacenamiento.

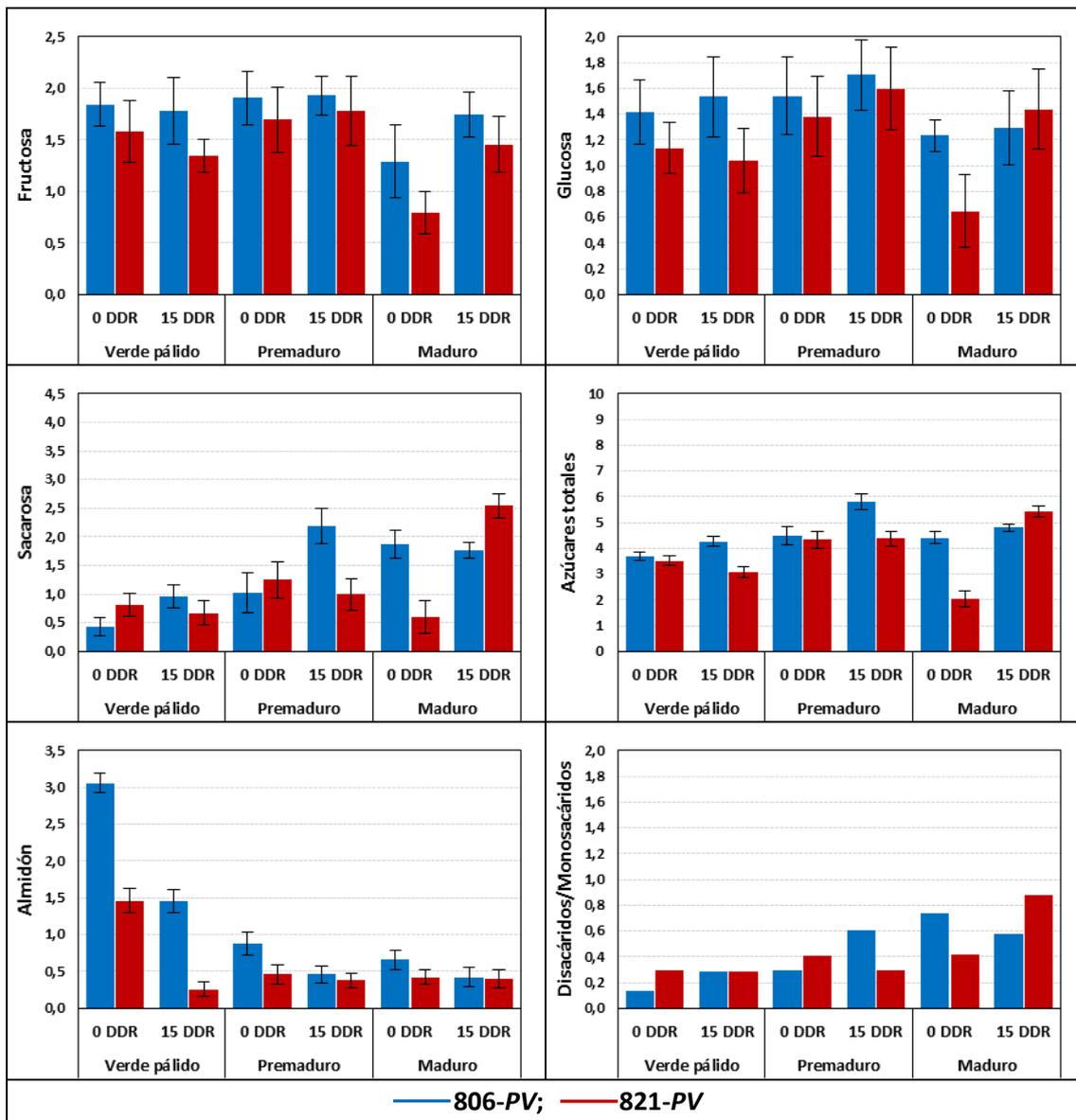
### 4.2.01.3.- Parámetros bioquímicos

Se comprueba la existencia de una tendencia bastante generalizada de incremento de los azúcares, fructosa, glucosa y sacarosa, y consecuentemente de AST (figuras 4.2.03 y 4.2.04), con el almacenamiento, aunque con ligeras diferencias entre clones, estados de madurez y año de experimentación. Estas evoluciones concuerdan con las obtenidas por Prono-Widayat *et al.* (2003) con el cv. 'Golden Globe'. Se constata que paralelamente al incremento de azúcares se produjo una disminución en el contenido de almidón.

Asimismo, se constata que la relación azúcares disacáridos/monosacáridos (figuras 4.2.03 y 4.2.04) también se incrementó con el almacenamiento en el estado "Maduro", lo que concuerda con el comportamiento ya citado de que los frutos de pepino dulce son acumuladores de sacarosa (Schaffer *et al.*, 1989; Sánchez *et al.*, 2000). Los datos del contenido en AST son acordes con los correspondientes a SST (figuras 4.2.01 y 4.2.02).



**Figura 4.2.03.-** Evolución de los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares solubles totales y almidón, y de la relación azúcares disacáridos/monosacáridos, de los frutos de los clones 806-PV y 821-PV producidos en 2003, cosechados en los estados “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”, almacenados durante 15 días a la temperatura de 10 °C.



**Figura 4.2.04.-** Evolución de los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares solubles totales y almidón, y de la relación azúcares disacáridos/monosacáridos, de los frutos de los clones 806-PV y 821-PV producidos en 2004, cosechados en los estados “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”, almacenados durante 15 días a la temperatura de 10 °C.

## 4.2.02.- Accesiones M1, M2 y M3

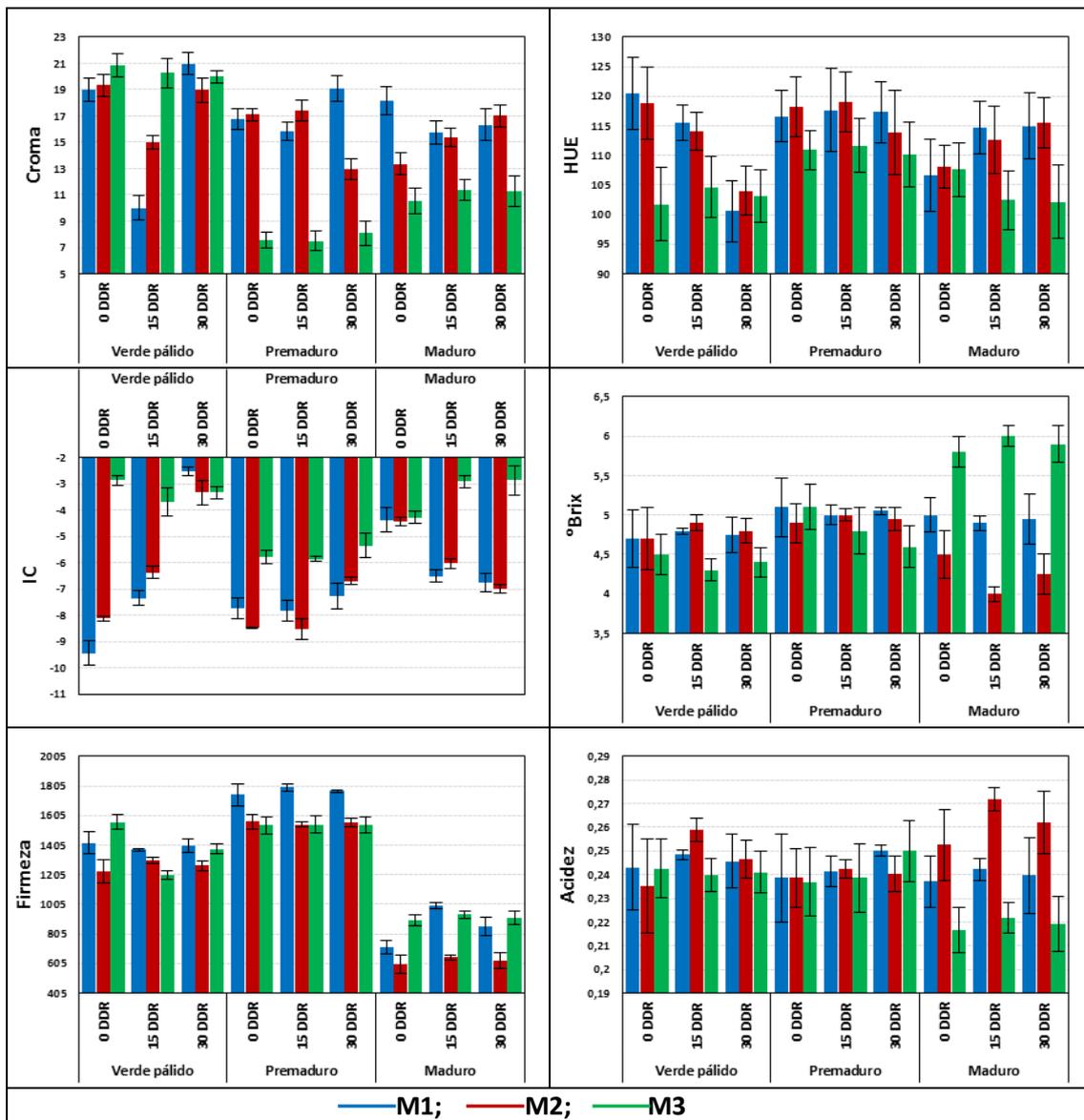
### 4.2.02.1.- Parámetros morfológicos

Al igual que en los clones 806-PV y 821-PV no se detectó ningún cambio en la morfología ni en el tamaño de los frutos, como era de esperar a la temperatura de 10 °C y 90% HR. La pérdida de peso de los frutos de las accesiones M1, M2 y M3 fueron del 1.61, 1.94 y 1.34%, respectivamente en D15, y del 2.13, 3.50 y 2.67% en D30. Como se ha indicado anteriormente, estos resultados son acordes con los obtenidos por Huyskens-Keil *et al.* (2000), y los valores de la pérdida de peso muy inferiores a los obtenidos por Moreno *et al.* (2013;  $\approx$  8%) en frutos conservados durante 15 días a la temperatura ambiente (20 °C y 70% H.R.).

### 4.2.02.2.- Parámetros físico-químicos

#### 4.2.02.2.1.- *Color*

La única tendencia clara que se observa en el valor del *Croma* (figura 4.2.05) es una tendencia a aumentar ligeramente en el almacenamiento (de forma más evidente en los frutos de las accesiones M1 y M3 en el estado “Premaduro” y M2 y M3 en el estado “Maduro”, lo que indica la disminución de la tonalidad rojiza de la piel, aumentando la amarillenta, coincidiendo con lo obtenido por Prono-Widayat *et al.* (2003). Se constata la tendencia de disminución del valor del *Hue* con el almacenamiento en los frutos del estado “Verde pálido”, correspondiente a un amarilleamiento de la piel (figura 4.2.04). Existió una tendencia de aumento (disminución en valor absoluto) del valor del IC (correspondiente al paso de color verde a verde amarillento – amarillo verdoso de la piel) con el almacenamiento (figura 4.2.04), resultando más evidente en determinadas combinaciones Accesoión x Estado de madurez que en otras. Esta tendencia resultó evidente en los frutos de las accesiones M1 y M2 en el estado “Verde pálido”, en los de la accesoión M3 en el estado “Maduro” y en los de las tres accesiones en el estado “Premaduro”.



**Figura 4.2.05.-** Evolución de las funciones de color (*Croma*, *Hue* e *Índice de color*), contenidos en sólidos solubles totales ( $^{\circ}$ Brix), firmeza (g) y acidez titulable (AT, %), de los frutos de las accesiones M1, M2 y M3 producidos en 2006, cosechados en los estados “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”, almacenados durante 15 y 30 días a la temperatura de 10  $^{\circ}$ C.

#### 4.2.02.2.2.- *Contenidos en Sólidos Solubles Totales*

Aunque en alguna combinación Accesoión x Estado de madurez se observó un ligero incremento del valor del contenido en SST ( $^{\circ}$ Brix, figura 4.2.05), no pudo establecerse una tendencia más o menos generalizada. Moreno *et al.* (2003) encontraron que el contenido en SST varió con el tiempo de almacenamiento (disminuyendo inicialmente y aumentando después) y que los cultivares se comportaron de forma diferente; estos autores indicaron que la disminución del contenido en SST, previa a la calidad comercial, podría relacionarse con el incremento de la actividad respiratoria,

con la consiguiente oxidación de los azúcares (de acuerdo con Wills *et al.*, 1988). Evidentemente a la temperatura de 10 °C estos procesos se presentaron con una menor intensidad que en las condiciones (20 °C) en las que realizaron su experimentación.

#### 4.2.02.2.3.- Firmeza

Aunque en alguna combinación Acceso x Estado de madurez se observaron cambios, no fueron importantes, de manera que la firmeza de los frutos se mantuvo prácticamente constante durante el almacenamiento, en los frutos de cada estado de madurez (figura 4.2.05). Aunque Moreno *et al.* (2003) observaron visualmente el marchitamiento, producto de la plasmólisis de los tejidos durante el almacenamiento, no presentaron datos de firmeza, es decir de resistencia a la presión de los frutos.

#### 4.2.02.2.4.- Acidez titulable

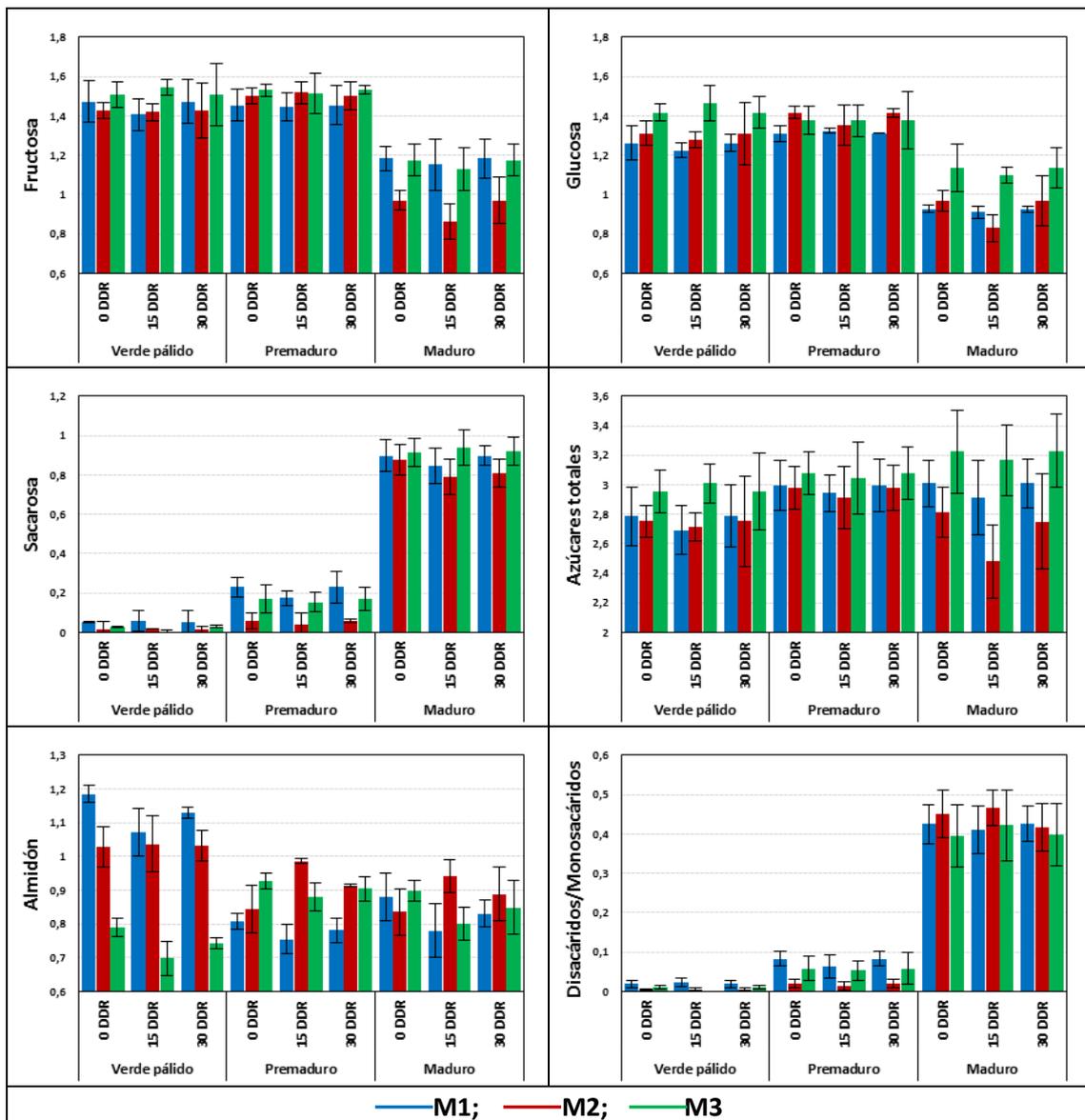
Al igual que en la firmeza, no se observaron cambios apreciables, de manera que supusiera una tendencia en la evolución de la firmeza durante el almacenamiento (figura 4.2.05). Moreno *et al.* (2003) obtuvieron un incremento inicial de los valores de la acidez titulable en la mayoría (no en todos) los cultivares, descendiendo después e incrementándose de nuevo entre los 9 y 15 días en almacenamiento a 20 °C (el doble de la temperatura del presente experimento); estos autores relacionaron el descenso con la respiración que, de forma anormal, resulta acelerada por la plasmólisis.

#### 4.2.02.3.- Parámetros bioquímicos

Aunque en alguna combinación Acceso x Estado de madurez se observó una ligera variación en el valor de los contenidos (figura 4.2.06) en fructosa, glucosa, sacarosa y AST, no pudo establecerse una tendencia más o menos generalizada, siendo los datos del contenido en AST acordes con los correspondientes a SST (figura 4.2.05). La relación azúcares disacáridos/monosacáridos es muy baja en el estado “Premaduro”, y sobre todo en el estado “Verde pálido”, aumentando en el estado “Maduro”, como corresponde a los frutos acumuladores de sacarosa (Schaffer *et al.*, 1989; Sánchez *et al.*, 2000). El valor de esta relación es inferior a la obtenida en los clones 806-PV y 821-PV, probablemente debido a la fecha en que se realizó el muestreo para la realización de los análisis, que, aunque aparentemente estaban en idéntico estado, en la realidad podían estar en un estado más atrasado, dado que como puede observarse en la figura 4.1.22,

después del día de muestreo (90 DDA) los contenidos en fructosa y glucosa continuaron bajando, y el de sacarosa aumentando.

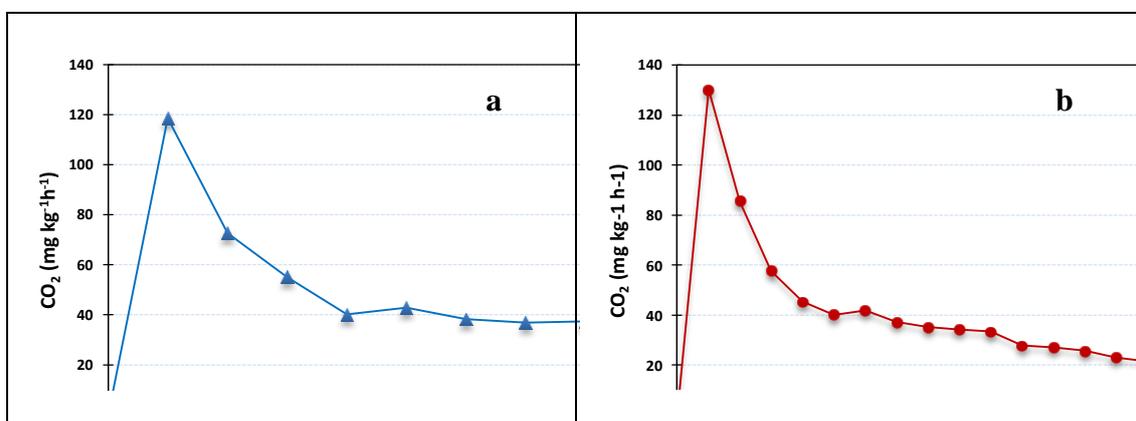
No se detectaron variaciones en el contenido de almidón durante el almacenamiento, de forma que manifestaran una tendencia de evolución clara (figura 4.2.06).



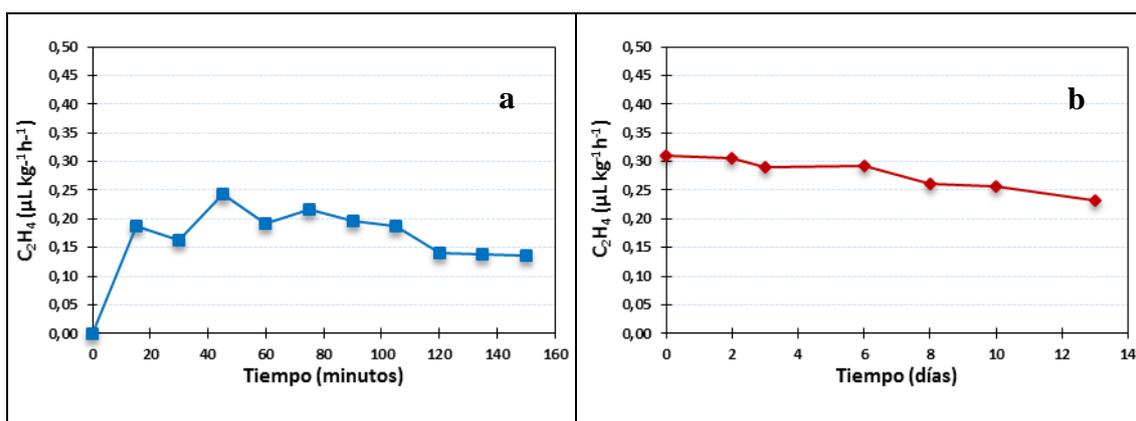
**Figura 4.2.06.-** Evolución de los contenidos (% mf) en fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares solubles totales y almidón, y de la relación azúcares disacáridos/monosacáridos, de los frutos de las accesiones M1, M2 y M3, producidos en 2006, cosechados en los estados “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”, almacenados durante 15 y 30 días a la temperatura de 10 °C.

#### 4.3.- EVOLUCIÓN DE LA RESPIRACIÓN Y PRODUCCIÓN DE ETILENO EN RESPUESTA AL TRATAMIENTO CON ETEFÓN EN POST-RECOLECCIÓN

En la figura 4.3.01 se presentan, a título de ejemplo, dos de las evoluciones de la tasa respiratoria (TR) obtenidas con distintos tiempos, y en la figura 4.3.02 se muestra la evolución de la producción de etileno durante 150 minutos, y a lo largo de 13 días, en las determinaciones realizadas para poner a punto el método. Estas determinaciones sirvieron para conocer, por una parte, el orden de magnitud de las TR y acumulación de  $\text{CO}_2$  y de etileno, y por otra parte el tiempo que los frutos debían estar dentro de los espacios de cabeza, así como el volumen de los mismos para que la concentración de  $\text{CO}_2$  estuviera dentro del rango aconsejado (0.25 – 0.50%; Lafuente *et al.*, 2001; Salveit, 2003; Fernández-Trujillo *et al.*, 2005).



**Figura 4.3.01.-** Evolución de la tasa respiratoria de frutos de pepino dulce de la accesión M3 en estado verde oscuro durante diferentes tiempos de medida [60 min (a) y 150 min (b)].

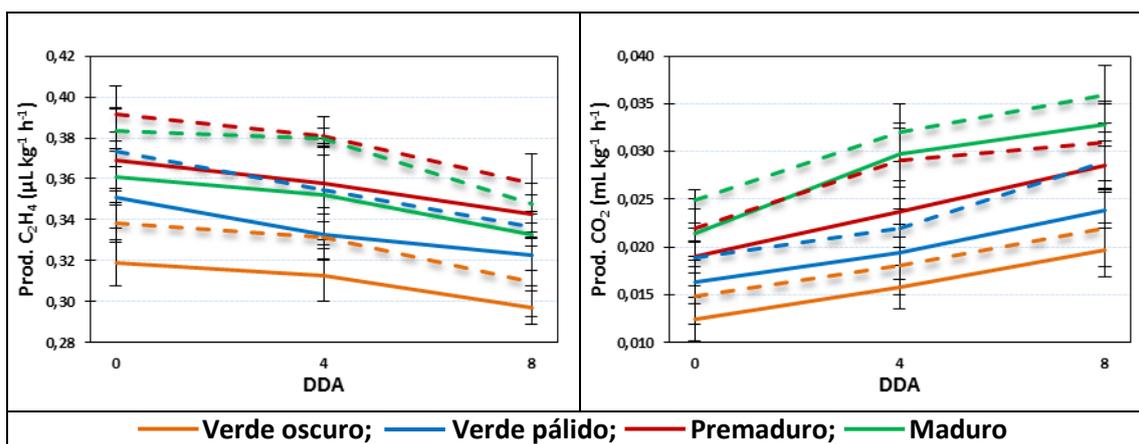


**Figura 4.3.02.-** Evolución de la producción de etileno de frutos de pepino dulce de la accesión M3 en estado verde oscuro durante diferentes tiempos de medida [150 min (a) y durante 13 días (b)].

A la vista de estos resultados se decidió realizar las determinaciones de etileno acumulado durante 3 h el día de muestreo, además de a los 4 y 8 días de

almacenamiento. Las determinaciones de  $\text{CO}_2$  se establecieron a las 4 h, igualmente el día de muestreo y a los 4 y 8 días de almacenamiento.

En la figura 4.3.03 se presenta la evolución de las TR correspondientes a los frutos de la accesión M3 (producidos en la campaña 2005-06) tratados con etefón a  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  y sin tratar, durante los 8 días de almacenamiento a  $18^\circ\text{C}$ , así como las correspondientes producciones de etileno de los frutos.



**Figura 4.3.03.-** Evolución de las producciones de etileno y tasas respiratorias correspondientes a los frutos de la accesión M3, en los estados “Verde oscuro”, “Verde pálido”, “Premaduro” y “Maduro”, tratados con etefón a  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  (líneas discontinuas) y sin tratar (línea continua), en la recolección y a los 4 y 8 días después de la recolección (DDR).

En cuanto a la TR se observa que los valores aumentaron con el grado de madurez de los frutos y con el período de almacenamiento, estando comprendidos entre  $0.0125$  (frutos testigo “Verde oscuro”, recién recolectados) y  $0.0359 \text{ mL CO}_2 \text{ Kg (mf)}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (frutos “Maduro” tratados, y almacenados 8 días). El tratamiento con etefón aumentó ligeramente la TR. Los valores de la tasa respiratoria son ligeramente superiores a los obtenidos por Heyes *et al.* (1994) utilizando un método dinámico (ventilando a  $400 \text{ mL min}^{-1}$ ) con el cv ‘El Camino’ [ $0.25\text{-}0.55 \text{ mmol CO}_2 \text{ Kg (mf)}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ], coincidiendo en la tendencia de su evolución, así como en la respuesta de los frutos a un tratamiento análogo (propileno a  $1000 \text{ mg L}^{-1}$ ). Los resultados también son coincidentes con la tendencia de la tasa respiratoria obtenida por Ahumada *et al.* (1996; valores mínimos y máximos de  $6$  y  $15 \text{ mL CO}_2 \text{ Kg (mf)}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , así como con el incremento de la misma) como respuesta al tratamiento de los frutos del cv ‘Toma’ con  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de etileno. El modelo de respiración coincide totalmente con el presentado por Biale and Young (1981) para los frutos no climatéricos.

Respecto a la producción de etileno, siempre fue inferior a  $0.5 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ Kg (mf)}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , observándose un incremento con el grado de madurez, así como con el tratamiento con etefón, pero una disminución con el almacenamiento, con un valor mínimo de  $0.297 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ Kg (mf)}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (frutos testigos “Verde oscuro”, tras el almacenamiento de 8 días) y un valor máximo de  $0.384 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ Kg (mf)}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (frutos “Premaduro” recién cosechados, tratados con etefón). Los valores y las tendencias coinciden con los obtenidos por Heyes *et al.* (1994) con el cv ‘El Camino’ ( $0.2\text{-}0.5 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ Kg (mf)}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) y por Ahumada *et al.* (1996) con el cv ‘Toma’, quienes obtuvieron valores muy bajos de etileno [ $0.02\text{-}0.05 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ Kg (mf)}^{-1} \text{ h}^{-1}$  a  $20^\circ\text{C}$ ] y no detectaron diferencias consistentes entre frutos con diferente grado de madurez. Martínez-Romero *et al.* (2003) indicaron que el cv. ‘Sweet Long’ podría clasificarse como climatérico (a diferencia de lo publicado en otros cultivares), dado que se había producido un incremento en la producción de etileno durante el almacenamiento; no obstante el incremento en la producción de etileno fue reducido, y únicamente tuvo lugar en frutos cosechados 90 días después del cuajado, y almacenados a la temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , lo que no ocurrió en el presente estudio. Diversos autores han analizado la producción de etileno por parte de los frutos de pepino dulce (Kader, 2005; Galletti *et al.*, 2006), indicando todos ellos que se producen valores muy bajos de etileno, pero sin concretar estos valores. En uno de los frutos analizados y no incluido en este trabajo por considerarse anormal, se observó que presentaba una mayor producción de etileno (hasta  $0.9 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ Kg (mf)}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), pero que presentaba daños en la piel, evidenciando el inicio de la descomposición, siendo ésta probablemente la causa de la mayor producción de etileno, tal y como describieron Heyes *et al.* (1994).

Como se ha indicado en la Introducción, la aplicación exógena de etileno o de algún producto análogo como el etefón o el propileno (McMurchie *et al.*, 1972) puede inducir la autocatálisis de etileno y desencadenar el climaterio en frutos climatéricos inmaduros, acelerando su maduración, siempre que haya suficiente oxígeno (Brady, 1987; Arnal 2003); en cambio, en frutos no climatéricos, el etileno exógeno únicamente provoca un incremento (reversible) de la tasa respiratoria y acelera la degradación de las clorofilas, pero no la autocatálisis de etileno, que es el proceso en el que se produce un incremento rápido de la tasa de producción de etileno alcanzando su punto máximo (pico), disminuyendo a continuación. De la ausencia de picos en las tasas de producción de etileno y respiratoria (Bruisma, 1983, Mizutani, 1988; Tadesse, 2002), así como que

los frutos tienen un nivel de etileno endógeno bajo (Biale and Young, 1981), la ausencia de autocatálisis (Biale and Young, 1981) y que el modelo de respiración coincide totalmente con el de los frutos no climatéricos (Biale and Young, 1981), se deduce que los frutos de pepino dulce de la accesión M3 presentan un comportamiento no climatérico.

## 5.- CONCLUSIONES

En el análisis de la evolución de los parámetros de calidad de los frutos de pepino dulce,

- Se han obtenido las curvas de crecimiento, expresadas en peso y tamaño, de los frutos de los tres clones y tres accesiones, siendo el modelo de regresión cuadrática el que mejor ajuste ha proporcionado.
- Se ha constatado una dependencia directa entre el peso y la longitud y la anchura de los frutos; se han obtenido funciones matemáticas que permiten relacionar lineal y positivamente, en cada clon y accesión, el peso unitario con la longitud y la anchura de los frutos.
- A partir de las coordenadas CIE  $L^*a^*b^*$  se ha obtenido la evolución de los valores de las funciones de color *Croma*, *Hue* e *IC*. Se han obtenido elevados coeficientes de correlación entre el contenido en sacarosa y los valores de las funciones *Hue* e *Índice de color*.
- Los bajos valores de los coeficientes de correlación obtenidos entre los contenidos en sólidos solubles totales y en azúcares solubles totales aconsejan que los valores del contenido en sólidos solubles totales de los frutos de pepino dulce se utilicen únicamente como una estimación aproximada del contenido en azúcares.
- La evolución del contenido de los frutos en almidón fue la opuesta a la de los azúcares solubles, disminuyendo de forma marcada a medida que aumentaba el tamaño y el peso del fruto, presentando valores muy bajos en la madurez de los frutos; simultáneamente a la disminución del contenido en almidón, tuvo lugar el incremento en sacarosa.
- Los cambios en los contenidos de carbohidratos acumulados durante el desarrollo de los frutos son característicos de los frutos acumuladores de sacarosa.
- Los frutos correspondientes a las accesiones, obtenidas mediante reproducción sexual, han obtenido un peso unitario muy superior al correspondiente a los clones, obtenidos mediante estaquillado. En cambio, los frutos maduros de estas

accesiones presentan un menor contenido en sacarosa y en azúcares totales que los clones ensayados.

- En post-cosecha, los frutos registraron una pérdida de peso muy pequeña durante el almacenamiento. No se detectaron cambios importantes en la firmeza de los frutos.
- La relación azúcares disacáridos/monosacáridos aumentó con el almacenamiento en el estado maduro.
- Las condiciones de temperatura y humedad utilizadas en este estudio han limitado la pérdida de los principales atributos de calidad, sin producirse daños por frío. En líneas generales no existieron diferencias en la respuesta entre los clones y las accesiones ensayados.
- El tratamiento de los frutos con etefón en post-cosecha aumentó ligeramente la tasa respiratoria y la producción de etileno, pero las ausencias de picos en estas evoluciones indican que los frutos de pepino dulce presentan un comportamiento no climatérico.

## 6.- BIBLIOGRAFÍA

- Abeles, F (1973) *Ethylene in plant biology*. New York, USA. Second Edition. Academic Press
- Acosta, J. (1590). *Historia natural y moral de las Indias*. Vol. 1. Hispano-Americana de Publicaciones, ed. 1987 Sevilla, España
- Agustí, M. (2000). *Crecimiento y maduración del fruto*. Fundamentos de fisiología vegetal. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana
- Ahumada, M., Cantwell, M. (1996) Postharvest studies on pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait.): maturity at harvest and storage behaviour. *Postharvest Biology and Technology*. (7), 129-136
- Alba, R. Payton, P., Fei, Z., McQuinn, R., Debbie, P., Martin, G.B., Tanksley, S. y Giovannoni, J.J. (2005). Transcriptome and selected metabolite analyses reveal multiple points of ethylene control during tomato fruit development. *The Plant Cell*, 17(11), 2954-2965
- Alexander, L., Grierson, D. (2002) Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. *Journal of Experimental Botany* 53, 2039-2055
- Alonso, M., Arias, E. (1983). Cultivo del pepino dulce. Antecedentes agronómicos y económicos. *El campesino*, 114 (6), 16-33
- Alvarado, P. (1996). *El cultivo del pepino dulce*. Fundación Agroeconómico Chile. Diciembre-enero 13-18
- Anderson, G.J. (1975). The variation and evolution of selected species of *Solanum* section *Basarthurum*. *Brittonia*, 27, 209-222
- AOAC (1995). Official methods of analysis. (16 ed.) Association of Official Analytical Chemist. Washington, DC.
- Arenas, L.A. (1992). *Monografía del pepino dulce (Solanum muricatum Ait.)*. Facultad de agronomía. Universidad Católica de Valparaíso, Quillota. Chile
- Arnal, L., Del Rio, M.A. (2003) Evaluación de los daños por frío en frutos de caqui cv. 'Rojo Brillante' almacenados a 1°C. II Congreso español de ciencias y técnicas de frío, 18-20 septiembre 2003. Vigo, (in press)
- Atkin O.K., Tjoelker, M.G. (2003). Thermal acclimation and the dynamic response of plant respiration to temperature. *Trends in Plant Science*, 8: 343-351
- Azcón-Bieto, J. (2000). *Fundamentos de fisiología vegetal*. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana
- Azcón-Bieto, J., Talón, M. (1993) *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Madrid, España: McGraw-Hill Interamericana

- Azcón-Bieto, J., Talón, M. (1993). *Fisiología y bioquímica vegetal*. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana
- Baccarini, P. (1988) Il pera-melone (*Solanum muricatum* Ait.). Una nuova pianta da frutto da coltivarci in Italia. *Bolletino della Reale Società Toscana di Orticoltura*, 33, 327-331
- Bakker. (1995). Melón ‘Pepino’ (Publicidad). Catálogo Baller España, primavera 1995, 15
- Barceló, J., Nicolás, G., Sabater, B., Sánchez Tamés, R. (2000). *Fisiología vegetal*. Barcelona: Pirámide
- Biale, J.B., Young, R.E. (1981) Respiration and ripening in fruits. Restrospect and respect. En: Fried, J., Rhodes, M.J.C. (Eds). *Recent avances in the biochemestri of fruits and vegetables*, Academic Press, Londres, UK
- Biale, J.B. (1960) *Respiration of fruits*. Ruhland W., Handbuch der Pflanzenphysiologie (12,2). Springer Verlag. Berlin. 536-586
- Brady, C.J. (1987) Fruit ripening. *Annual review plant physiology*, 38: 155-178.
- Bravo, A., Arias, E. (1983). Cultivo del pepino dulce. Antecedentes agronómicos y económicos. *El campesino*, 114 (3), 15-34. Chile
- Burge, G.K. (1989). Fruti set in pepino (*Solanum muricatum*, Ait.). *Scientia Horticulturae*, 41, 63-68
- Cantwell, M., Flores-Minutti, J., Trejo-González, A. (1992). Developmental changes and postharvest physiology of tomatillo fruits (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Scientia Horticulturae*, 50, 59-70
- Cheftel, J.C. Cheftel, H., (1976). Frutas y legumbres. En: *Introducción a la bioquímica y tecnología de alimentos*. Zaragoza España: Acribia. Vol. 1, 135-290
- CIE (Commision Internacionale de l’Eclairage) (2004). Colorimetry.
- Côme, D., Corbineau, F. (2002a) *Bases de la fisiología postcosecha de las hortalizas*. 215-231. Tirilly, Y., Bourgeois, C.M. Tecnología de las hortalizas. Zaragoza: Acribia
- Côme, D., Corbineau, F. (2002b) *Clasificación y principales características de las fisiológicas de las hortalizas*. 3-14. Tirilly, Y., Bourgeois, C.M. Tecnología de las hortalizas. Zaragoza: Acribia
- Cornejo, P., Esteban, M.J. Y Nuez, F. (1990). Obtención de plántulas de pepino dulce a partir de semilla. *Acta Horticulturae*, 4, 312-316
- Cossio, F. (1988). Il pepino (*Solanum muricatum*, Ait.): aspetti culturali, problemi e prospettive. *Frutticoltura*, 50(10), 67-76.
- Cuquerella, J. (1999) Estado actual de la postcosecha de cítricos. *Revista Agricultura*, 807, 862 – 866

- Delgado De La Flor, B. (1988). *Cultivos hortícolas. Datos básicos*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. Págs. 73-75
- Dennis, D.J., Burge, G.K. y Lill, R. (1985). Pepinos: cultural techniques. New Zealand Ministry of Agriculture and Fishery. *Aglink HPP* 208, 2 págs.
- Di Scala, K., Vega-Gálvez, A., Uribe, E., OYanadel, R., Miranda, M., Vergara, J., Quispe, I., Lemus-Mondaca, R. (2011). Changes of quality characteristics of pepino fruit (*Solanum muricatum* Ait) during convective drying. *International Journal of Food Science and Technology* 46,746-753
- Doorenbos, J., Pruitt, W.O. (1977). *Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage*. Paper 24, 144.
- Douce, R., Neuburger, M. (1989) The uniqueness of plant *Mitochondria*. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 40, 371-414
- El-Zeftawi, B.M., Brohier, L., Dooley, L., Goubran, F.H., Holmes, R. y Scott, B. (1988). Some maturity indices for tamarillo and pepino fruits. *Journal of Horticultural Science*, 63 (1), 163-169
- Esquivel, M. y Hammer, K. (1991). The cultivated species of the family Solanaceae in Cuba. En J.G. Hawkes, R.N., Lester, M. Nee, y N. Estrada, eds. *Solanaceae III: taxonomy, chemistry, evolution*. Royal Botanic Gardens Kew and Linnean Society of London. Londres, Reino Unido. Págs. 357-364
- Fennema, O. (2000). *Química de los alimentos. Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas. Post-recolección*. Ed. Acribia, 1143-1210
- Fernandez-Trujillo, F.P., Obando, J.M., Martínez, J.A., Alarcón, A.L., Eduardo, I., Arús, P., Monforte, A.J. (2005) Gestión de la calidad de experimentos con frutos de una colección de líneas casi isogénicas de melón. En *Tercer Congreso Virtual sobre Gestión de Calidad en Laboratorios*, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid: España
- Flores, F., El-Yahyaoui, F., De Billerbeck, G., Romojaro, F., Latché, A., Bouzayen, M., Pech, J.C., Ambid, C. (2002) Role of ethylene in the biosynthetic pathway of aliphatic ester aroma volatiles in Charentais Cantaloupe melons. *Journal of Experimental Botany*, 53, 201-206
- Fonseca, S.C., Oliveira, F.R.A., Bretcht, J.K. (2002) *Modeling Respiration Rate of Fresh Fruits and Vegetables for Modified Atmosphere Packages*. A Review. *Journal of Food Engineering*, 52, 99-119
- Fouqué, A. (1973). Espèces fruitières d'Amérique tropicale – Famille des Solanacées. *Fruits*, 28, 41-49
- Francis, F. (1980). Color quality evaluation of horticultural crops. *HortScience* 15(1), 14-16

- Fresquet, J. (1999). *Estudios sobre nutrición, fertilización y otras técnicas agronómicas en el cultivo protegido del pepino dulce en el litoral valenciano*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España
- Fresquet, J., Pascual, B., López-Galarza, S., San Bautista, A., Baixauli, C., Gisbert, M. Y Maroto, J.V. (2001). Nutrient uptake of pepino plants in soilless cultivation. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 76(3): 338-343
- Gambardella, C., Botti, G.C., Faúndez, L.Y. y Nario, A.M. (1996) Caracterización de ecotipos de pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait.) cultivados en Chile. *Agricultura técnica (Chile)*, 56(3). 193-200
- Galleti, L., Lizana, L.A., Berger, H. y Tapia, M. (2005). Pepino Fruits Respiration Rate. Proc. 5<sup>th</sup> Int. Postharvest Symp.
- Gil Martínez, F. (1994). *Elementos de fisiología vegetal*. Madrid: Mundi-Prensa
- Goubran, F.H. (1985) *Growin and marketing of pepinos*. Departament of Agriculture, Victoria Agnote Agdex 268/11, 3 págs.
- Guardiola, J.L. (1990). *Fisiología vegetal I: Nutrición y transporte*. Síntesis.
- Guis, M., Botomdi, R., Ben Amor, M. Ayub, R., Bouzayen, M., Petch, J.C., Latché, A. (1997) *Piening-associated biochemical traits of cantaloupe Charentais melons expressing an ACC oxidase transgene*. *Journal American Society Horticultural Science*, 122, 748-751
- Haji, T., Yaegaki, H., Yamaguchi, M. (2003) *Softening of stony hard peach by ethylene and the induction of endogenous ethylene by 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC)*. *Journal Japan Society Horticultural Science*, 72, 212-217
- Heyes, J.A., Blaikie, F.H., Downs, D.F., Sealey, D.F. (1994). Textural and during pepino (*Solanum muricatum* Ait.) ripening. *Scientia Horticulturae*, 58, 1-15.
- Hidalgo, A. (2006). Proyecto de exportación del pepino dulce al mercado alemán. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador.
- Hiwasa, K., Kinugasa, Y., Amano, S., Hashimoto, A., Nakano, R., Inaba, A., Kubo, Y., (2003) Ethylene is required for both the initiation and progression of softening in pear (*Pyrus communis* L.) fruit. *Journal of Experimental Botany* 54, 771-779
- Hobson, G., Grierson, D. (1993) Tomato. En: Seymour, G., Taylor, J., Tucker, A. eds. *Biochemistry of Fruit Ripening*. London: Chapman & Hall. p. 405-442
- Holland, N., Sala, J.M., Menezes, H.C., Lafuente, M.T. (1999). Carbohydrate content and metabolism as related to maturity and chilling sensitivity of cv. 'Fortune' mandarins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47, 2513-2518
- Hunter Associates Laboratory, Inc. (2012). Measuring color using Hunter L, a, b, versus CIE 1976 L\*a\*b\*, visto en <http://hunterlab.com/an-1005b.pdf>

- Hutchings, J.B. (1994) *Food colour and appearance*. Blackie Academic & Professional. Glasgow, Estados Unidos.
- Huyskens-Keil, S., Widayat, H.P., Lüdders, P., Schreiner, M. y Peters, P. (2000). Physiological changes of pepino (*solanum muricatum* Ait.) During maturation and ripening. *In II ISHS Conference on Fruit Production in the Tropics and Subtropics*. 531, 251-256
- Jimenez-Cuesta, M., Cuquerella, J., Martinez-Javega, J.M. (1981). Determination of a color index for citrus fruit degreening. *Proceedings of the International Society of Citriculture*, 2, 750-753
- Kadenbach, B., Rainzan, R., Wen, L., Vogt, S. (2010). New extension of the Mitchell Theory for oxidative phosphorylation in mitochondria of living organism. *Biochimica et Biophysica Acta*. General Subjects, 1800: 205-212
- Kader, A., Arpaia, M. (2000). Recomendaciones para preservar la calidad post-cosecha de los cítricos. *Levante Agrícola*. Especial Post-cosecha, 239-243
- Kader, A., (2002a) Ethylene in postharvest Technology. 149-162. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Kader, A. University of California, Agriculture and natural resources Public 3311
- Kader, A., (2002b) *Postharvest Biology and Technology*: 39-47. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Kader, A. University of California, Agriculture and natural resources Public 3311
- Kader, A., (2005) Pepino dulce: recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. *Postharvest Technology Research & Information Center*. University of California
- Kays, S. (1991). *Postharvest Physiology of Perishable Plant Products*. An a VI Book. Van Nostrand Reinhold
- Kays, S. (1999). Preharvest factors affecting appearance. *Postharvest Biology and Technology*, 15: 233-247.
- Kola, O. (2010). Physical and chemical characteristics of the ripe pepino (*Solanum muricatum*) fruit grown in Turkey. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(2), 168-171
- Kola, O., Simsek, M., Duran, H., & Bozkir, H. (2015). HPLC Determination of Carotenoid, Organic Acid, and Sugar Content in Pepino (*Solanum muricatum*) Fruit During the Ripening Period. *Chemistry of Natural Compounds*, 51(1), 132-136
- Kuntz M, Chen H., Simkin A., Shipton C. Drake R., Schuch W., Bramley M. (1998) Upregulation of two ripening-related genes from a non-climacteric plant (pepper) in a transgenic climacteric plant (tomato). *The Plant Journal* 13, 351-361
- Lafuente, M.T., Zacarias, L., Martinez-Téllez, M.A. Sánchez-Ballesta, M.T. y Dupille, E. (2001) Phenylalanine Ammonia-lyase As Related to Ethylene in the Development of Chilling Symptoms during Cold Storage of Citrus Fruits. *J. Agric. Food Chem.* 49(12), 6020-6025

- Lee, J. (1987). The design of controlled or modified packaging systems for produce. *Food Product-Package Compatibility, Proceedings*. Ed. J.I. GRay, B.R. Harte & Miltz, J. Technomic Publishing Co., Lancaster, PA. 69-157
- Lee, D., Hagggar, P., Lee, J; Yam, K. (1991). Model for Fresh Produce Respiration in Modified Atmospheres Based on Principles of Enzyme Kinetics. *Journal of Food Science*, 56 (6), 1580 - 1585
- Lee, D., Song, Y., Yam, K. (1996). Application of an Enzyme Kinetics based on a Respiration Model to Permeable System Experiment of Fresh Produce. *Journal of Food Engineering*, 27, 297 - 310
- Lelièvre, J. M., Latchè, A., Jones, B., Bouzayen, M., & Pech, J. C. (1997). Ethylene and fruit ripening. *Physiologia plantarum*, 101(4), 727-739.
- Liao, M., Liu, M., Yang, J. (1982). *Respiration Measurement of some Fruits and Vegetables of Taiwan. II*. Research Report, Food Industry Research and Development Institute, No. E, Pp.: 66: 18
- Lizana, L.A., Levano, B. (1977). Caracterización y comportamiento de postcosecha del pepino dulce, *Solanum muricatum*, Ait. *Proceedings of the Tropical Region. American Society for Horticultural Science*, 21, 11-15
- López Galarza, S., Maroto, J.V., San Bautista, A., Pascual, B., Alagarda, J. (2000). Qualitative changes in pepino fruits following preharvest applications of ethephon. *Scientia Horticulturae*, 83, 157-164
- Manera, F.J., Marinez, J.J., Martínez, R. Conesa, A., Hernández, F., Legua, P., Megarejo, P., Porrás, I. (2010). La evolución del color de los frutos de granado. *Óptica pura y aplicada*. 43(2), 153-159
- Maroto, J.V., López Galarza, S. (1992). El cultivo del pepino dulce. Análisis agronómico básico de las posibilidades de *Solanum muricatum* Ait. en la horticultura valenciana. *Hortofruticultura* 10, 41-44
- Maroto, J.V. (1992). *Cultivos complementarios y alternativos en la horticultura valenciana. Problemas de manejo*. Memoria presentada a la CAPA. Generalitat Valenciana. 67 pp
- Maroto, J.V., San Bautista, A., López Galarza, S., PascuaL, B., Alagarda, J. (1995). Response of pepino (*Solanum muricatum* Ait.) to ethephon applicattions. *Acta Horticulturae*, 412, 313-320
- Maroto, J.V. (1995) a. *Horticultura herbácea especial*. Mundi –Prensa. 611 pp
- Maroto, J.V. (1995b) *Producciones complementarias y alternativas para la diversificación de la Horticultura Valenciana*. Memoria del Proyecto de investigación entregada a la CAPA de la Generalidad Valenciana, pp 87-116
- Maroto, J.V., López Galarza, S., PascuaL, B., San Bautista, A., Alagarda, J., Bono, M.S., Rubio, M.C., Baixauli, C., García, M.J. (1996) a. *Comportamiento productivo*

- de diversos clones de pepino dulce (Solanum muricatum Ait.)*. ITEA. Vol. Extra, 17, 286-293
- Maroto, J.V., López Galarza, S., San Bautista, A., Pascual, B., Alagarda, J., Bono, M.S., Rubio, M.C., Baixauli, C. (1996) b. Influencia de las fechas de enraizamiento y plantación en el comportamiento productivo de un clon de pepino dulce (*Solanum muricatum*). *Acta Horticulturae*, SECH, 13, 139-143
- Maroto, J.V., López Galarza, S., Alagarda, J., San Bautista, A., Bono, M.S., Fresquet, J. (1996) c. Problemas adaptativos del cultivo del pepino dulce en el área mediterránea española. *Hortifructicultura* 80, 19-23
- Maroto, J.V., López Galarza, S. (1997). *El pepino dulce (Solanum muricatum Ait.)*. *Introducción a su cultivo y experimentos agronómicos realizados*. Generalidad Valenciana. C.A.P.A. Valencia
- Maroto, J.V., López Galarza, S., Pascual, B., Bono, M.S., San Bautista, A., Alagarda, J. (1997). Procarpil enhances earliness and partenocarpny of pepino (*Solanum muricatum Ait.*). *HortScience* 32(1), 1-133
- Maroto, J.V. (2000). *Elementos de horticultura general*. Mundi-Prensa. Madrid
- Martínez, J.A., Ruiz, J.J., Costa, J., y Nuez, F. (1995). Producción temprana de pepino dulce en cultivo bajo invernadero. *Agrícola vergel*, 159, 142-145
- Martínez-Jávega, J.M., Cuquerella, J., Salvador, A., Monterde, A., Navarro, P. (2004) Tratamientos post-cosecha en mandarinas y naranjas. *Vida Rural*, 10: 60-64
- Martínez-Romero, D., Serrano, M., & Valero, D. (2003). Physiological changes in pepino (*Solanum muricatum Ait.*) fruit stored at chilling and non-chilling temperatures. *Postharvest Biology and Technology*, 2(30), 177-186
- Martínez-Téllez, M.A. (1993). *Estudio de los cambios bioquímicos y fisiológicos inducidos por el almacenamiento a bajas temperaturas en frutos cítricos*. Tesis Doctoral. Departamento de tecnología de los alimentos. Universidad Politécnica de Valencia.
- Mathooko, F. (1996). Regulation of Respiratory Metabolism in Fruits and Vegetables by Carbon Dioxide. *Review. Postharvest Biology and Technology*, 9, 247 – 264
- Mattoo, A. K., Suttle, J.C. (1991) *The Plant Hormone Ethylene*, CRC Press, Boca Ratón, Florida, EEUU
- Matus, S.M. (1983) *Efecto de la madurez y calibre en la calidad de pepino dulce (Solanum muricatum, Ait.) appetizado como pulpa y en mitades*. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica de Valparaíso, Quillota, Chile.
- Maynard, D.N. (1989). Speciality vegetable production in Florida, U.S.A. *Acta Horticulturae*, 242, 203-215

- McLlaughlin, C., O'Beirne, D. (1999). *Respiration Rate of a Dry Coleslaw Mix as Affected by Storage Temperature and Respiratory Gas Concentrations*. Journal of Food Science: 64 (1): 116-119
- Mehouachi, J., Serna, D., Zaragoza, S., Agustí, M., Talón, M., Primo-Milló, E. (1995) Defoliation increases fruit abscission and reduces carbohydrate levels in developing fruits and woody tissues of *Citrus unshiu*. *Plant science*, 107: 189-197.
- Mejía, L. (1984). *El cultivo del pepino dulce en el valle del Cañete*. Guía de referencia 29. Instituto Rural, Valle Grande, Perú
- Mione, T., Anderson, G.J. (1992). Pollen-ovule ratios and breeding system evolution in *Solanum* section *Basarthurum* (Solanaceae). *American Journal of Botany*, 79, 279-287
- Mitcham, B., Cantwell, M. Y Kader, A. (1996). Methods for determining quality of fresh commodities. Perishables Handling Newsletter Issue No. 85. Pp: 1-5. <http://ucce.ucdavis.edu/files/datastore/234-49.pdf>. Última actualización 16/03/03
- Mizutani, F., Hirota, R., & Kadoya, K. (1988). Cyanide metabolism linked with ethylene biosynthesis in ripening processes of climacteric and non-climacteric fruits. *Scientia horticulturae*, 35(3), 199-205
- Montes, C., Campos, J., Pons, A., Heredia, F.J. (2004) Instrumental factors influencing absorption measurements for fluid food color determination. *Journal of AOAC International*, 87, 632-638
- Moreno Velázquez, D., Cruz Romero, W., García Lara, E., Ibáñez Martínez, A., Barrios Díaz, J. M., & Barrios Díaz, B. (2013). Cambios fisicoquímicos post-cosecha en tres cultivares de pepino con y sin película plástica. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(6), 909-920.
- Morley-Bunker, M.J.S. (1983) A new commercial crop, the pepino (*Solanum muricatum*, Ait.) and suggestions for further development. *Annual Report of the Royal New Zealand Institute of Horticulture*, 11, 8-19
- Murray, B.G., Hammett, K.R.W., GRIGG, F.D.W. (1992). Seed set and breeding system in the pepino *Solanum muricatum*, Ait., Solanaceae. *Scientia Horticulturae*, 49, 83-92
- National Research Council (1989). Lost crops of the Incas. Little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. *National Academy Press*, Washington, D.C., Estados Unidos
- Nuez, F., Ruiz, J.J. (1996). *El pepino dulce y su cultivo*. Estudio FAO de Producción y Protección Vegetal. n° 136. Roma. 142 pp.
- O'Donoghue, E. M., Somerfield, S. D., De Vré, L. A., y Heyes, J. A. (1997). Developmental and ripening-related effects on the cell wall of pepino (*Solanum muricatum*) fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 73(4), 455-463
- Ordoñez, A.G. (2005) *Diseño de un proceso para la maduración acelerada de banano utilizando etefón como agente madurador*. Tesis de Grado. Escuela Superior

- Politécnica de Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Guayaquil, Ecuador
- Ortolá, A.G. (2000). *Apuntes básicos de fisiología vegetal*. UPV
- Ortolá, M. D. (2002). *Tecnología Postrecolección de frutas y hortalizas: Conservación a bajas temperaturas*. Apuntes E.U.I.T.A.
- Parker, M., Wardoswki, W., Dewey, D. (1984). A Damage Test for Oranges in a Commercial Packing House Line. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 94, 136 – 137
- Patiño, V.M. (1962). Edible fruits of *Solanum* in South American historic and geographic references. *Harvard University Botanical Museum Leaflets*, 19:215 – 234
- Pérez García, F (1994). *Introducción a la fisiología vegetal*. Mundi-Prensa.
- Pizarro, P. (1572, ed. 1978). *Relación del descubrimiento y conquista de los reinos de Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú
- Pluda, D., Rabinovitch, H.D., Kafkafi, U. (1993). Pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait.) quality characteristics respond to nitrogen nutrition and salinity. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118, 86-91
- Pluda, D., Rabinovitch, H.D., Kafkafi, U. (1993). *Fruit set and yield of pepino dulce response to nitrate-nitrogen and salinity levels and thinning of side branches and trusses*. *Journal of Plant Nutrition*, 16(11), 2121-2133
- Primo Yúfera, E. (1997) *Química de alimentos*. Madrid: Síntesis
- Prohens, J. (1997). *Mejora del cuajado y de la precocidad en pepino dulce (Solanum muricatum Aiton)*. Tesis doctoral. Departamento de Biotecnología. Universidad Politécnica de Valencia.
- Prohens, J., Ruiz, J.J., Nuez, F. (1996a) The pepino (*Solanum muricatum*, *Solanaceae*): A “new” crop with a history. *Economic Botany*, 50 (4), 355-368
- Prohens, J., Ruiz, J.J., Nuez, F. (1996b) Respuesta diferencial de clones de pepino dulce a tratamiento en postcosecha con etherhon. En: Chamarro, L. y Pozueta, J. *Sobre maduración post-recolección de frutos y hortalizas*. Valencia: SPUPV, p 151-154
- Prohens, J., Ruiz, J.J., Nuez, F. (1998) The inheritance of partenocarpy and associated trait in pepino. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123 (3), 376-380
- Prono-Widayat, H., Schreiner, M., Huyskens-Keil, S. y Lüdders, P. (2003) Effect of ripening stage and storage temperature on postharvest quality of pepino (*Solanum muricatum* Ait.). *Food, Agriculture & Environment* Vol. 1(1), 35-41
- Redgwell, R.J. y Turner, N.A. (1986). Pepino (*Solanum muricatum*): chemical composition of ripe fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 37, 1217-1222

- Rocha, A. M. C. N.; Morais, A. M. M. B. (2010) Influence of controlled atmosphere storage on polyphenoloxidase activity in relation to colour changes of minimally processed Jonagored apple. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 425-432
- Romojaro, F., Riquelme, F., Pretel, M.T., Martinez, G., Serrano, M., Martinez, C., Lozano, P., Segura, P., Luna, P.A. (1996) *Nuevas tecnologías de conservación de frutas y hortalizas: Atmosferas modificadas*. Mundi-Prensa (ed.). Madrid, 221 pp.
- Ruiz, J.J. (1997). *Introducción, adaptación y mejora de un nuevo cultivo, Solanum muricatum, en nuestro país*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Ruiz, J.J., Nuez, F., Amurrio, M., De Ron, A., Fueyo, M. (1992). Adaptation of the pepino (*Solanum muricatum* Ait.) in Spain. *Acta Horticulturae*, 318, 213-216
- Ruiz, J.J., Nuez, F. (1991). Relación entre algunas características florales y el cuajado de frutos en pera-melón (*Solanum muricatum* Ait.). *Actas de Horticultura*, 8, 337-342
- Ruiz, J.J., Nuez, F. (1993). Efectos de la polinización y competencia entre racimos del pepino dulce. *Acta Horticultura*, 10, 1032-1037
- Ruiz, J.J., Nuez, F. (1994a). Respuesta de híbridos y clones de pepino dulce al estrés salino y fertilización potásica I. Caracteres productivos y vegetativos. *Acta Horticulturae*, 12, 251-258
- Ruiz, J.J., Nuez, F. (1994b). Respuesta de híbridos y clones de pepino dulce al estrés salino y fertilización potásica II. Caracteres de calidad del fruto. *Acta Horticulturae*, 12, 259-267
- Salisbury, F.B., Ross, C.W. (2000). *Fisiología de las plantas*. Madrid: Thomson
- Saltveit, M. E. (1993). Internal carbon dioxide and ethylene levels in ripening tomato fruit attached to or detached from the plant. *Physiologia plantarum* 89: 204-210
- Saltveit, M. E. (2003) *Measuring respiration*. University of California, Davis 95616
- Sánchez-Monge, E. (1981). *Diccionario de plantas agrícolas*. MAPA. Madrid
- Sánchez-Vega, I. (1992). Frutales andinos: Pepino dulce (*Solanum muricatum* ait.). En: E. Hernández-Bermejo y J. León, eds. *Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492*. FAO, Roma. Págs. 179-183
- Sánchez, M., Cámara, M., Prohens, J., Ruiz, J., Torija, E., Nuez, F. (2000), Variation in carbohydrate content during ripening in two clones of pepino. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80 (13), 1985-1991
- Santner A, Estelle M (2009) *Recent advances and emerging trends in plant hormone signaling*. *Nature* 459, 1071-1078

- Shathish, K., Guruvayoorappan, C. (2014) *Solanum muricatum* Ait. Inhibits inflammation and cancer by modulating the immune system. *Journal Cancer Research Therapy*. Jul-Sep:10(3): 623-30
- Schaffer, A.A., Rykski, I. y Fogelman, M. (1989) Carbohydrate content and sucrose metabolism in developing *Solanum muricatum* fruits. *Phytochemistry*, 28(3), 737-739
- Schwartz, M.M., Nuñez, K.H. (1988) Preparación de zumo pasteurizado de pera melón (*Solanum muricatum* Ait.). *Alimentos*, 13(1): 31-34
- Sekse, L. (1988). *Storage and Storage Potential of Sweet Cheeries (Prunus avium L.) as related to Respiration Rate*. *Acta Agriculturae Scandinavica*: 38 (1), 59-66
- Seymour, G., Taylor J., Tucker G. (1993) *Biochemistry of fruit ripening*. Chapman & hall. Primera edición, London, pp 1-43
- Sonneveld, C., Straverd, N. (1992) Nutrient solution for vegetables and flowers grown in water or substrates. Series: Voedingsoplossigen glastuinbouw, 8, Glasshouse Crops Research Station, Naaldwijk, The Netherlands.
- Srivastava, L. (2002) *Plant growth and development. Hormones and environment*. Academic Press Elsevier science. London, 772 pp
- Statistical Graphics Cooperation (2005) Statgraphics Plus for Windows 5.1. Statistical Graphics, Rockville, Maryland, USA
- Stern, D., Ortolá, M.D., Fito, P. (2000) *Estudio de la influencia de distintas condiciones de almacenamiento de cítricos sobre el desarrollo de componentes volátiles indeseables y predicción de su vida útil*. Series de Ciencia e Ingeniería de Alimentos, Investigación del Postgrado del IAD-DTA (1): 159-175
- Stern, D. (2005) *Desarrollo de métodos analíticos para la detección de cambios metabólicos frente a situaciones de estrés en fruta fresca*. Ortolá, M.D., Fito, P. (tutores). Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos e Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo, Valencia
- Stern, D., Ortolá, M. D., Fito, P. (2001). *Estudio de la influencia de distintas condiciones de almacenamiento de cítricos sobre el desarrollo de componentes volátiles indeseables y predicción de su vida útil*. En: Series de Ciencia e Ingeniería de Alimentos. Investigación del Postgrado del IIADDTA. AÑO 2000. Vol. I. Eds.: P. Fito; A. Chiralt; A. Andrés; N. Martínez-Navarrete, 159 – 176
- Thompson, A.K. (1998). *Tecnología post-cosecha de frutas y hortalizas*, 268pp., Armenia, Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje. Editorial Kinesis, Convenio SENA-Reino Unido, producido con el apoyo del Servicio Nacional de Aprendizaje de Colombia (SENA), el Departamento para el Desarrollo Internacional (Department for International Development-DFID) y el Instituto de Recursos Naturales (Natural Resources Institute-NRI) del Reino Unido, Armenia, Colombia

- Torrent, D. (2014). *Caracterización morfológica y molecular en pepino dulce (Solanum muricatum) y especies silvestres relacionadas*. Prohens, J. (Tutor educativo), Vilanova, S. (Co-tutor educativo) y Herraiz, F.J. (Tutor experimental). Trabajo final de grado. Universidad Politécnica de Valencia: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural
- Tucker, G. (1993) *Biochemistry of fruit ripening*. Seymour, G.B., Taylor, J.E. Tucker, G.A., Editors. Chapman y Hall: 1-51
- Vakis, N., Grierson W., Soule, J. (1970). Chilling Injury in Tropical and Subtropical fruits III. The Role of CO<sub>2</sub> in Suppressing Chilling Injury of Grapefruit and Avocados. *Proc. Trop. Reg. Amer. Soc. Hort. Sci.* 14, 89 -100
- Van Der Merwe, M., Osorio, S., Araujo, W.L., Balbo, I., Nunes-Nesi, A., Maximova, E., Carrari, F., Bunik, V., Persson, S., Fernie, A.R. (2010) Tricarboxylic acid cycle activity regulates tomato root growth via effects on secondary cell Wall production. *Plant Physiology*, 153: 611-621
- Van Der Vlugt, R. (2010). Pest risk analysis for Pepino mosaic virus. *Specific Targeted Research or Innovation Project*. Wageningen, Holanda
- Vera, J.C. (1984) *Appertización de pepino dulce (Solanum muricatum Ait.) en tres medios de empaque y utilización de cloruro de calcio como texturizante*. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Valparaíso. Quillota. Chile
- Wills, R., MC Glasson, B., Graham, D., Joyce, D. (1984) *Postharvest. An introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals*. 4th edition CABI Publishing. pp 33-60, 97-112
- Wu, B. H., Liu, H. F., Guan, L., Fan, P. G., & Li, S. H. (2011). Carbohydrate metabolism in grape cultivars that differ in sucrose accumulation. *VITIS*, 50(2), 51-57.
- Yokotani, Naoki, Nakano, Ryohei, Imanishi, Shunsuke, Nagata, Masayasu, Inaba, Akitsugu, and Kubo, Yasutaka (2009) *Ripening-associated ethylene biosynthesis in tomato fruit is autocatalytically and developmentally regulated* Journal of Experimental Botany, Vol. 60, No. 12, pp. 3433–3442
- Zacarias, L., Lafuente, M.T, Marcos, F.F., Saladdie, M. y Dupille, E. (2002). Regulation of ethylene biosíntesis cold storage of the chilling-sensitive Fortune mandarine fruit. En: M. Vendrell, H. Klee, J.C. Petch y F. Romojaro (Eds), *Biology and Biotechnology of the Plant Hormone Ethylen III*. 112-117