

**INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DEL AIRE Y DEL
RALEO SOBRE EL TAMAÑO DEL FRUTO DE PERAL
(*Pyrus comunnis*) cv *William's* DURANTE SUS DISTINTAS
FASES DE DESARROLLO**

Andrea B. Rodríguez

Tesis

Para optar al Grado Académico de
Magíster en Ciencias Agropecuarias
Mención: Recursos Naturales

Córdoba, 2009

AGRADECIMIENTOS

A mis amigos y compañeros de trabajo Ángel Muñoz y Mariela Curetti por su ayuda, apoyo profesional y emocional.

A Dolores Raffo, Enrique Sánchez y Antonio de la Casa por guiarme académicamente y facilitarme el camino.

Al INTA por darme la posibilidad de continuar con mi desarrollo profesional y a todo el personal de la EEA Alto Valle por el compañerismo y respeto que recibí y recibo a diario.

DEDICATORIA

A mis padres Víctor y Elena, por estar siempre a mi lado y apoyar mis proyectos

A mis hermanos Javier, David y Gustavo porque son el núcleo de mi vida

A mis abuelos por haber transmitido de generación a generación el valor por la vida y el respeto hacia los demás.

RESUMEN

El tamaño final del fruto de pera depende de factores genéticos, climáticos y de manejo. El objetivo del presente estudio fue examinar como influye la variabilidad térmica estacional y el raleo manual, sobre el crecimiento del fruto de pera cv William's. Los ensayos se llevaron a cabo en condiciones de campo en los años 2006 y 2007. En cada temporada se efectuó un muestreo aleatorio de frutos entre los 10 y 60 DDPF por cada tratamiento de raleo. Se determinó el número de células y el tamaño medio de las mismas en el mesocarpio de los frutos. Los registros de temperatura fueron realizados en forma horaria en cada estación. Como resultado de nuestras observaciones, el crecimiento del fruto de pera cv William's puede ser descripto por una etapa inicial de tipo exponencial en donde predomina la división celular con una duración aproximada de 30 días, seguido por un período de interfase con actividad mitótica y elongación celular entre los 30 y 40 DDPF; y por último una fase mas o menos lineal en donde el crecimiento es exclusivamente por expansión celular. Se encontró una correlación altamente significativa, durante la fase de división celular, entre la velocidad de crecimiento del fruto (gdía^{-1}) y la temperatura media del aire (desde 11°C a $16,5^{\circ}\text{C}$), para frutos grandes ($R^2= 0.96$) y frutos chicos ($R^2= 0.77$). Nuestras observaciones en estaciones con diferentes condiciones climáticas sugieren que la temperatura afecta la tasa de crecimiento de los frutos durante la fase de expansión celular, pero la respuesta podría estar influenciada por el tamaño inicial de los mismos. El raleo efectuado tanto a 10 como a 45 DDPF incrementa la tasa de crecimiento de los frutos de tamaño chico independientemente de la temporada y consigue mejorar levemente la distribución de calibres a cosecha. La variación estacional en el tamaño final de frutos de pera cv William's estaría determinada principalmente por el efecto de la temperatura durante la fase de división celular y la distribución de recursos pre-floración.

Palabras claves: división celular, crecimiento, temperatura, raleo, *Pyrus communis*.

ABSTRACT

Final size of pear fruit depends on genetics, environmental and different management factors. The aim of the present study was to examine how temperature fluctuations and hand-thinned affected growth of cultivar William's fruit. The fruit growth of the pear cultivar William's was studied under field conditions during 2006 and 2007. Every year, ten small fruits and ten large fruits were randomly sampled for each treatment in 10 different trees. Sampling began 10 days after full bloom (DAFB) until 60 DAFB with a frequency of 10 days. Total cell number and mean cell size were determined in mesocarp tissue. Mean temperatures were recorded hourly during each season. As a result of our observations, growth of pear fruit cv Williams can be described by an initial exponential phase that extending for 30 days of cell division, followed by an inter-phase of cell division and cell expansion and finally lineal phase where growth is due to cell expansion. Temperature has a major influence on fruit growth rate during the cell division phase. There was a highly significant correlation during cell division phase between fruit growth rate (g day^{-1}) and the mean temperature (from 11C° to $16.5\text{ }^{\circ}\text{C}$), for large fruits ($R^2 = 0.96$) and small fruits ($R^2 = 0.77$). Our observations of pear growth during two seasons under different climatic condition suggest that temperature has a direct impact on growth rate fruit during expansion phase but this influence may be inter-active with initial fruit size. Thinning pears at 10 and 45 DAFB increase the growth rate in small fruit and improvement mildly the size range at harvest. Seasonal variation in final size of pear cultivar William's could be determined by impacts of temperature during cell division phase and resource allocation before full bloom.

Keywords: cell division, growth, temperature, thinning, *Pyrus communis*

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1 MARCO MUNDIAL Y REGIONAL DE PRODUCCIÓN DE PERA WILLIAMS

Introducción	1
Importancia de Pera William´s Producciones y Exportaciones	3
Caracterización Agroclimática de Alto Valle	6
Problemática Abordada	13
Objetivo General	19
Objetivos Específicos	19
Hipótesis De Trabajo	20
Bibliografía Citada	21

CAPITULO 2 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PARA DETERMINAR NÚMERO Y TAMAÑO CELULAR

Introducción	24
Materiales y Métodos	27
Resultados	31
Discusión	40
Conclusión	42
Bibliografía Citada	43

CAPITULO 3 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL CRECIMIENTO DEL FRUTO Y DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO POTENCIAL DE ACUERDO AL TAMAÑO Y NÚMERO DE CÉLULAS.

Introducción	45
Diferenciación floral y pre-antesis	46
Antesis y Fecundación	47
Fase de división celular post-floración	
Contribución genética, hormonas y redistribución de fotoasimilados	49
Efecto de las condiciones ambientales sobre la división celular y el crecimiento del fruto	52
Materiales y Métodos	56
Fenología	56
Número y tamaño de células	57
Curvas de crecimiento	59
Análisis de temperatura	60
Resultados	63
Crecimiento del fruto en los 60 DDPF y duración del período de división celular	63
Influencia de la temperatura ambiental sobre las características de crecimiento de los frutos	80
Discusión	92
Conclusión	96
Bibliografía Citada	98

CAPITULO 4 EFECTO DEL RALEO MANUAL SOBRE EL CRECIMIENTO DE LOS FRUTOS

Introducción	102
Materiales y Métodos	105
Densidad floral	106
Curvas de crecimiento en los primeros 60 DDPF, número de células y tamaño celular	107
Curvas de crecimiento durante la fase de elongación celular a cosecha	107
Distribución de calibres a cosecha	109
Resultados	110
Densidad floral	110
Curvas de crecimiento en los primeros 60 DDPF, número de células y tamaño celular	112
Curvas de crecimiento durante la fase de elongación celular a cosecha	118
Distribución de calibres a cosecha	123
Discusión	128
Conclusión	131
Bibliografía Citada	132

CAPITULO 5 REQUERIMIENTOS TÉRMICOS REGIONALES PARA LA FLORACIÓN DE PERA WILLIAM'S.

Introducción	134
Materiales y Métodos	136
Resultados	138
Discusión	141
Conclusión	142
Bibliografía Citada	143

CAPITULO 6 CONCLUSIONES GENERALES.

Efecto de la Temperatura del Aire sobre el Tamaño del Fruto	145
Efecto del Raleo Manual sobre el Crecimiento	147
Aplicaciones Prácticas y Líneas Indagatorias	147

ANEXO 1 CONDICIONES MESOCLIMATICAS ZONALES.

Condiciones Térmicas	150
Radiación Solar Global	152
Vientos	153
Evaporación y Precipitaciones	155

ANEXO 2 CRECIMIENTO DEL FRUTO DE PERA CV WILLIAMS DURANTE LA FASE DE ELONGACIÓN CELULAR HASTA EL MOMENTO DE COSECHA.

Introducción	158
Metodología de Trabajo	158
Resultados y Discusión	160
Bibliografía Citada	175

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Cultivo de peral en Argentina, superficie cultivada y toneladas producidas, año 2003.	3
Tabla 1.2 Evolución de la superficie plantada (hectáreas) de peral para los cultivares más importantes, en la provincia de Río Negro.	4
Tabla 1.3 Producción de peras en Argentina (toneladas) y destino comercial.	5
Tabla 1.4 Valores Medios de Temperatura, Heliofanía y Radiación en EEA Alto Valle del INTA, período 1923-1987 y 1990-2004.	8
Tabla 1.5 Características del régimen agroclimático de Heladas en EEA Alto Valle del INTA, Frecuencia relativa (FR) media del período 1990-2004 para cada clase de intensidad.	10
Tabla 1.6 Valores Medios de Precipitaciones, Humedad, Viento y Evaporación en EEA Alto Valle del INTA, período 1990-2004.	12
Tabla 2.1 Equivalencias de medidas en micras por unidad ocular.	29
Tabla 2.2 Peso medio de frutos para cada momento de muestreo.	33
Tabla 2.3 Valores de gravedad específica en función del peso medio de los frutos, error estándar y coeficiente de variación.	37
Tabla 3.1 Evolución del tamaño del fruto de pera cv. Williams, en los primeros 60 días después de plena floración (DDPF) de acuerdo al peso, diámetro y características histológicas, número y tamaño de células, para el año 2006.	64
Tabla 3.2 Evolución del tamaño del fruto de pera cv. Williams, en los primeros 60 días después de plena floración (DDPF) de acuerdo al peso, diámetro y características histológicas, número y tamaño de células, para el año 2007.	64
Tabla 3.3 Parámetros del modelo logístico ajustado para el número de células en el mesocarpio del fruto de pera cv William's.	65
Tabla 3.4 Parámetros del modelo exponencial ajustado para el volumen de células del fruto de pera cv William's.	68
Tabla 3.5 Número de células, diámetro ecuatorial medio y tamaño comercial (TC) (envase STD, 18 kg) para frutos grandes y chicos a 40 DDPF y a cosecha.	79
Tabla 3.6 Valores medios de temperaturas máximas, mínimas y medias de aire dentro de la parcela cada 10 días, durante todo el ciclo de crecimiento del cultivo en 2006 y 2007.	80

Tabla 3.7 Grados días acumulados (°C días) cada diez días para diferentes valores de temperatura base durante los 60 DDPF, 2006 y 2007.	81
Tabla 3.8 Desarrollo de las diferentes fases fenológicas de pera Williams, en 2006 y 2007.	81
Tabla 3.9 Tasas máximas de división celular (TM-millones de células/día), días desde anthesis hasta máxima tasa de división celular (F2-TM) y grados días acumulados entre los 10 y 20 DDPF en 2006 y 2007.	84
Tabla 3.10 Coeficientes de determinación (R^2) para modelos de regresión lineal que vinculan la tasa de crecimiento de los frutos de pera William's con la temperatura media del aire y los grados días calculados por DDU y acumulación de temperaturas efectivas (T_b de 4,5, 7 y 10°C).	88
Tabla 4.1 Relación entre el diámetro de rama y el número de dardos con fruta para obtener un rendimiento adecuado en pera cv. William's.	106
Tabla 4.2 Categorías de tamaño de frutos de pera cv William's.	109
Tabla 4.3 Peso medio (Pm) y Diámetro ecuatorial medio (Dm) de frutos grandes y chicos a los 100 DDPF para cada tratamiento; testigo, raleo temprano y raleo tardío, en las temporadas 2006 y 2007.	119
Tabla 4.4 Número medio de frutos obtenidos en la cosecha de cada temporada y proporción de frutos con respecto a la floración inicial.	124
Tabla 4.5 Peso medio de fruto (g) por tratamiento para las temporadas 2006-2007 y 2007-2008.	126
Tabla 4.6 Distribución de la producción (kg/planta) para la temporada 2006-2007 para cada tratamiento de raleo.	127
Tabla 4.7 Distribución de la producción (kg/planta) para la temporada 2007-2008 para cada tratamiento de raleo.	127
Tabla 5.1 Número de días necesarios a 18 °C para la floración de peral cv. William's en función de las horas de frío acumuladas.	139
Tabla 5.2 Clasificación de los inviernos según la fecha en la que alcanzan las 1000 horas de frío.	139
Tabla 5.3 Caracterización de los inviernos.	140

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1. Distribución de cultivos frutícolas de clima templado a nivel mundial...	1
Fig. 1.2. Ubicación de los valles irrigados.	2
Fig. 1.3. Curva simple sigmoidea de crecimiento de frutos de pepita en función de los días después de plena floración, con las tres fases de crecimiento.	14
Fig. 1.4 Fechas de plena floración del cv William's para cada temporada productiva y fecha media de floración para la serie 1970-2007.	18
Fig. 2.1 Corte ecuatorial de un fruto de pera William's en las fases tempranas de crecimiento.	27
Fig. 2.2 Improntas histológicas.	28
Fig. 2.3 Imagen digital de la réplica obtenida con esmalte, células mesocárpicas de pera cv Williams a 20 DDPF (40X).	31
Fig. 2.4 Imagen digital de células del mesocarpio y región epidérmica en fruto maduro de pera cv. Williams (20X).	32
Fig. 2.5. Distribución y forma de células cercanas a los haces vasculares de pera cv. Williams a 60 DDPF (20X).	33
Fig. 2.6 Volumen celular medio para cada momento después de plena floración.	34
Fig. 2.7 Longitud celular media para cada momento después de plena floración.	35
Fig. 2.8 Número de células en el mesocarpio del fruto para cada momento después de plena floración.	36
Fig. 2.9. Proporción de volumen medular con respecto al volumen total del fruto para cada momento después de plena floración.	38
Fig. 2.10. Volumen de fruto y espesor de mesocarpio para frutos grandes y chicos entre los 10 y 60 DDPF.	39
Fig. 3.1 Puntos cardinales de crecimiento. Temperatura base, temperatura óptima, temperatura umbral máxima, temperatura mínima letal, temperatura máxima letal.	53
Fig. 3.2 Variación del número de células en pera cv William's, obtenido en cada año de estudio y para cada categoría de tamaño en función de los días transcurridos desde el momento de plena floración.	66

- Fig. 3.3 Tasa de división celular en pera cv William's obtenida en cada año de estudio y para cada categoría de tamaño en función de los días transcurridos desde el momento de plena floración. 67
- Fig. 3.4 Volumen celular obtenido en pera cv William's en cada año de estudio y para cada categoría de tamaño en función de los días transcurridos desde el momento de plena floración. 69
- Fig. 3.5. Variación del número de células medio (millones) en frutos de pera cv William's de tamaño grande de acuerdo a los días después de plena floración (DDPF), para las temporadas 2006 y 2007. 70
- Fig. 3.6. Variación del número de células medio (millones) en frutos de pera cv William's de tamaño chico de acuerdo a los días después de plena floración (DDPF), para las temporadas 2006 y 2007. 71
- Fig. 3.7. Variación del volumen celular medio ($\mu^3 \times$ millón) en pera cv William's para frutos de tamaño chico y grande, en las temporadas 2006 y 2007. 72
- Fig. 3.8. Variación del peso medio (g) de frutos grandes y chicos de pera cv William's desde los 10 a los 60 DDPF. 73
- Fig. 3.9. Modelo de regresión lineal entre el número de células y el peso medio de los frutos en los 30 DDPF de pera cv William's. 74
- Fig. 3.10. Modelo de regresión lineal entre el volumen de células y el peso medio de los frutos en el periodo entre los 20 y 60 DDPF de pera cv William's. 75
- Fig. 3.11. Relación entre el peso y el diámetro del fruto de pera cv William's en los primeros 60 DDPF. 76
- Fig. 3.12. Peso del fruto según el número de células al momento de cosecha para pera cv William's. Año 2006. 77
- Fig. 3.13. Distribución del volumen celular según el número de células en el momento de cosecha para pera cv William's. Año 2006. 78
- Fig. 3.14. Grados días acumulados desde el fin del reposo invernal hasta plena floración (180°C días). 82
- Fig. 3.17. Frecuencia relativa de temperaturas medias horarias de aire ($^\circ\text{C}$) para el período de 10 a 20 DDPF. 83
- Fig. 3.18. Grados días acumulados ($^\circ\text{C}$) con temperatura base de 7°C y tasa de crecimiento para frutos de tamaño grande, para los años 2006 y 2007. 84
- Fig. 3.19. Grados días acumulados ($^\circ\text{C}$) con temperatura base de 7°C y tasa de crecimiento para frutos de tamaño chico, para los años 2006 y 2007. 85
- Fig. 3.20. Grados días acumulados en lapsos de 10 días (temperatura base 7°C), para los años 2006 y 2007. 86

Fig. 3.21. Tasa de crecimiento de frutos de tamaño grande, para los años 2006 y 2007.	87
Fig. 3.22. Relación lineal entre la temperatura y la tasa de crecimiento de frutos grandes durante el período de división celular.	89
Fig. 3.23. Relación lineal entre la temperatura y la tasa de crecimiento de frutos chicos durante el período de división celular.	90
Fig. 3.24. Relación lineal entre grados días y la tasa de crecimiento de frutos grandes para los primeros 60 DDPF.	91
Fig. 4.1. Número medio de ramilletes florales por árbol y desvío estándar para cada tratamiento.	110
Fig. 4.2. Número medio de ramilletes florales por árbol para tres años consecutivos.	111
Fig. 4.3 Curva de crecimiento según el peso de los frutos, para los primeros 60 DDPF por tratamiento y categoría de tamaño, año 2006.	112
Fig. 4.4 Curva de crecimiento según el diámetro ecuatorial de los frutos, para los primeros 60 DDPF por tratamiento y categoría de tamaño, año 2006.	113
Fig. 4.5. Curva de crecimiento para los primeros 60 DDPF por tratamiento y categoría de tamaño, año 2007.	114
Fig. 4.6. Curva de crecimiento temporada 2007 para cada tratamiento, diámetro ecuatorial del fruto en función de los DDPF.	115
Fig. 4.7 Número de células por fruto para los primeros 60 DDPF por tratamiento y categoría de tamaño, año 2006.	116
Fig. 4.8 Número de células por fruto para los primeros 60 DDPF por tratamiento y categoría de tamaño, año 2007.	116
Fig. 4.9 Volumen celular para los primeros 60 DDPF por tratamiento y categoría de tamaño, año 2006.	117
Fig. 4.10. Volumen celular para los primeros 60 DDPF por tratamiento y categoría de tamaño, año 2007.	118
Fig. 4.11 Curva de crecimiento del peso en función de los días transcurridos desde plena floración durante la fase de elongación celular por tratamiento y categoría de tamaño, año 2006.	120
Fig. 4.12. Curva de crecimiento del peso en función de los días transcurridos desde plena floración durante la fase de elongación celular por tratamiento y categoría de tamaño, año 2007.	121

- Fig. 4.13. Tasas de crecimiento del peso en función de los días transcurridos desde plena floración durante la fase de elongación celular para cada tratamiento y categoría de tamaño, en el año 2006. 122
- Fig. 4.14. Tasas de crecimiento del peso en función de los días transcurridos desde plena floración durante la fase de elongación celular para cada tratamiento y categoría de tamaño, en el año 2007. 123
- Fig. 4.15. Número medio de frutos por árbol por tratamiento para las dos temporadas de evaluación. 124
- Fig. 4.16. Producción media de frutos por árbol por tratamiento para las dos temporadas de evaluación. 125
- Fig. 4.17. Producción media (kg/árbol) por temporada de evaluación. 126
- Fig. 5.1. Regresión lineal entre los valores estimados y observados de Horas de Frío diarias durante el periodo mayo –agosto, para la serie 2003-2007. 138

LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

- ABA: ácido abscísico
- ADN: ácido desoxirribonucleico
- ANA : ácido naftalén acético
- $\text{cal. cm}^{-2}\text{día}^{-1}$: calorías por centímetro cuadrado por día
- cm^3 : centímetro cúbico
- com.pers: comunicación personal
- CO_2 : dióxido de carbono
- $^{\circ}\text{C}$: grados Celsius
- cv. : cultivar
- CV: coeficiente de variación
- Diam: diámetro
- Dm: diámetro ecuatorial medio
- DDPF: días después de plena floración
- DDU: Degree Day Utility
- DJ: día juliano
- DPV: déficit de presión de vapor
- E-O: este-oeste
- e : base de los logaritmos neperianos
- EEA: estación experimental agropecuaria
- FAA : etanol, formaldehido y ácido acético
- F2 : estado de plena floración
- Fig. : figura
- FR: frecuencia relativa
- g: gramo
- g/cm^3 : gramos por centímetro cúbico
- g.día^{-1} : gramos por día

- ° días : grados días
- ha: hectárea
- HF: horas de frío
- INTA: Instituto nacional de tecnología agropecuaria
- INTI: Instituto nacional de tecnología industrial
- Km: kilómetro
- Km^h⁻¹ : kilómetros por hora
- KPa : kilo Pascal
- m: metro
- ml: mililitro
- mm: milímetro
- NS: no significativo
- μm: micrómetro
- μm³: micrómetro cúbico
- μ³: micras cúbicas
- Pm : peso medio
- %: por ciento
- %p/v: porcentaje peso en volumen
- Π: pi, 3.1416
- r: radio
- r³: radio cúbico
- R²: coeficiente de determinación
- Sp: especie
- Σ: sumatoria
- t: toneladas
- tb: temperatura base
- Tc: Temperatura corregida
- TC: tamaño comercial

- TCC: tasa de crecimiento para frutos chicos
- TCG: tasa de crecimiento para frutos grandes
- t/ha: toneladas por hectárea
- Tha^{-1} : toneladas por hectárea
- T_i : Temperatura indicada por el instrumento
- TM: tasa máxima de división celular
- T_m : temperatura media de aire
- $T_{\text{máx}}$: temperatura máxima de aire

MARCO MUNDIAL Y REGIONAL DE PRODUCCIÓN DE PERA WILLIAM´S

INTRODUCCIÓN

Las especies frutales son cultivadas en áreas donde se han adaptado climáticamente y en regiones desérticas donde se ha desarrollado el riego. Las especies caducifolias de clima templado se distribuyen principalmente entre los 30° y 50 ° de latitud de los hemisferios norte y sur, como muestra la Figura 1.1.

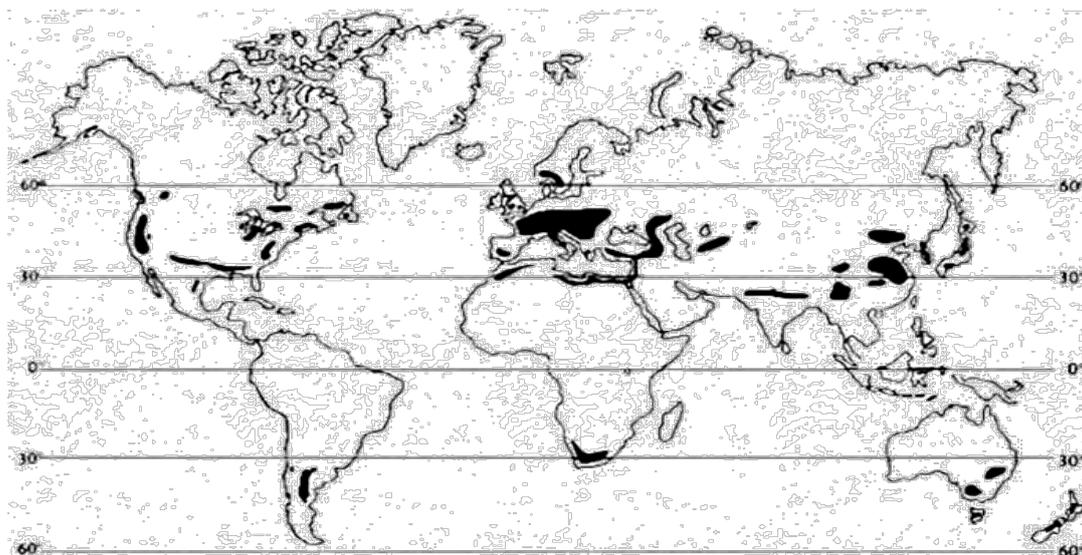


Fig. 1.1. Distribución de cultivos frutícolas de clima templado a nivel mundial. (Westwood, 1982).

La República Argentina se extiende desde el trópico de Capricornio hasta el polo sur predominando en su extenso territorio el clima templado. Las zonas húmedas ocupan un tercio del país (bosques, montes subtropicales y llanura pampeana), en tanto las otras dos terceras partes corresponden a regiones áridas y semiáridas, que es la condición propia de la Patagonia. En esta región la actividad frutícola está concentrada en las provincias de Río Negro y Neuquén, dentro de las cuales existen cuatro zonas de producción denominadas Alto Valle, Valle Medio, General Conesa y Río Colorado. En la región de Alto Valle se desarrolla principalmente la agroindustria frutihortícola (Figura 1.2).

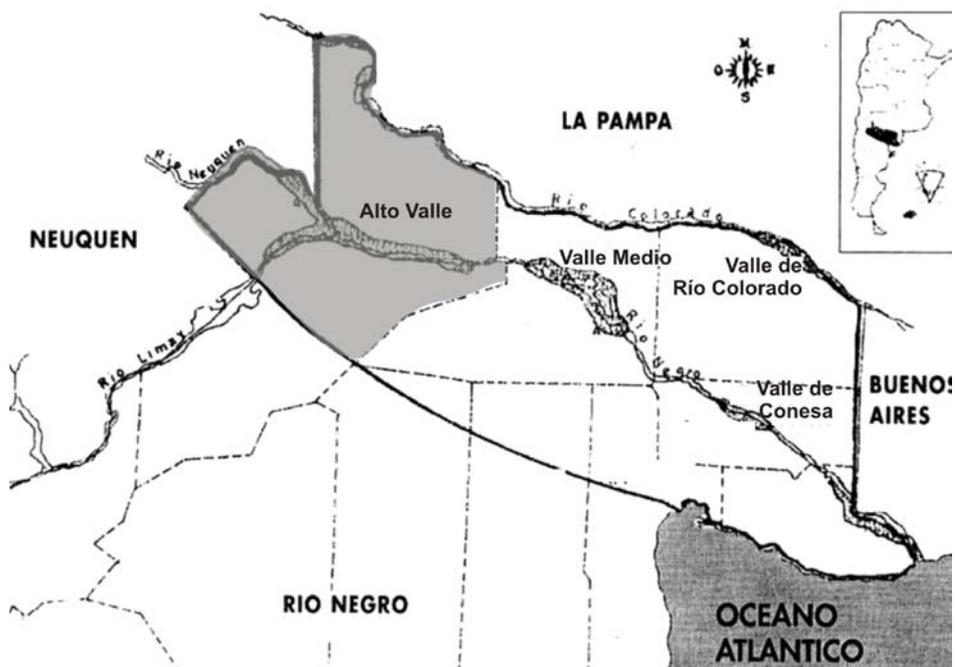


Fig. 1.2. Ubicación de los valles irrigados (INTA-GTZ, 1999).

IMPORTANCIA DE PERA WILLIAM'S PRODUCCIONES Y EXPORTACIONES

La producción de peras (*Pyrus communis*) en América del Sur se concentra principalmente en Argentina y Chile. Argentina es el primer exportador mundial, donde cerca del 55 % de lo producido se exporta (Sánchez, 2002).

Dentro de la actividad frutícola nacional, la producción de peras y manzanas (*Malus domestica*) ocupa el tercer lugar, siendo precedida por la producción vitícola y cítrica. Las provincias argentinas productoras son Río Negro, Neuquén y Mendoza (Luppiz, 2003) (Tabla 1.1). Los valles irrigados de Río Negro y Neuquén abarcan el 80% de la superficie cultivada con manzanas y peras a nivel nacional, y 90% de la producción Argentina procede de esta región. El 84% de la superficie cultivada con perales en la provincia de Río Negro se encuentra en la zona del Alto Valle. Luego le siguen las zonas de Valle Medio y Río Colorado, con una superficie de 12% y 2,5% respectivamente (Boltshauser y Villarreal, 2007).

Tabla 1.1. Cultivo de peral en Argentina, superficie cultivada y toneladas producidas, año 2003.

	Superficie (ha)	Producción (t)
Río Negro y Neuquén	16.368	755.144
Mendoza	3.592	72.571
Total	19.960	827.715

De acuerdo a la comparación intercensal, entre los años 1993 y 2005, el crecimiento de la superficie cultivada con perales en la provincia de Río Negro fue del 32 %, manteniéndose relativamente constante la composición varietal (Boltshauser y Villarreal, 2007) (Tabla 1.2).

Tabla 1.2 Evolución de la superficie plantada (hectáreas) de peral para los cultivares más importantes, en la provincia de Río Negro.

	Censo Frutícola 1993	Censo Frutícola 2005
Williams	5.629	8.445
Packham's Triumph	4.338	4.390
Beurre D'Anjou	1.380	1.725
Red Bartlett	453	694
otras	1.600	2.366
Total	13.400	17.620

La producción de peras en Argentina se destina principalmente al mercado externo. Se ha manifestado un aumento progresivo de la producción y de la proporción de la misma destinada a la exportación en el transcurso de la última década (Tabla 1.3). La actividad frutícola aporta aproximadamente 300 millones de dólares al Producto Bruto y constituye el primer eslabón de la cadena agroindustrial regional. Ingresan en concepto de exportaciones cerca de 200 millones de dólares, que representan más del 80% del valor de las exportaciones de Productos Primarios y Manufacturas de Origen Agropecuario del Norte de la Patagonia, y casi el 75% del total de exportaciones de la provincia de Río Negro (Gobierno de Río Negro, 1993).

Tabla 1.3. Producción de peras en Argentina (toneladas) y destino comercial.

	1999 ¹	2003 ²	2005 ³	2007 ³
Exportación	278.000	351.000	396.000	440.000
Consumo interno	104.000	83.000	114.000	120.000
Industria	119.000	161.000	200.000	170.000
Total	502.000	595.000	710.000	730.000

¹ Fuente: Sánchez, 2002.

² Fuente: Luppiz, 2003.

³ Fuente: Foreign Agricultural Service, 2008.

Uno de los destinos principales de las exportaciones de pera Williams es el mercado europeo, por lo que la cosecha de fruta primicia marca una fuerte competencia con otros países exportadores del Hemisferio Sur.

El tamaño de la fruta es uno de los parámetros de calidad más importantes y condiciona el inicio de la cosecha. Los diámetros mínimos para la recolección corresponden al límite inferior para que el fruto alcance un peso exigido para alcanzar tamaño comercial. Las categorías con mejor remuneración económica son aquellas con frutos de diámetros mayores a 70 mm. La caída en el precio para categorías con diámetros inferiores va de 5 a 16 % de acuerdo al país comprador (Secretaría de fruticultura de Río Negro, 2009).

CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA DE ALTO VALLE

El Alto Valle de Río Negro y Neuquén, ubicado en la confluencia de los ríos Limay y Neuquén inferior y Negro superior, está comprendido entre 38°40' y 39°20' de latitud Sur y entre los 66°50' a 68°20' de longitud Oeste. Los valores de altitud van de 400 a 200 metros sobre nivel del mar. Las menores alturas se registran hacia el este del valle.

De acuerdo con Thornthwaite la región se caracteriza por tener un clima de árido a semiárido, meso termal y con lluvias deficientes durante todo el año, región climática EB₂da (Bustos, 2009).

En la Tabla 1.4 se muestra un resumen de los valores medios y extremos de temperatura de aire a 1,5 metros de altura, frecuencia de heladas, amplitud térmica, heliofanía y radiación global.

El valor medio de la temperatura del aire en el periodo 1990-2004 es 15,5°C, 0,5°C superior a los valores de series anteriores.

El período más cálido del año con temperaturas medias mayores a 20°C comprende los meses de noviembre a febrero. Durante el período primavero-estival las temperaturas máximas diarias sobrepasan los 37°C. El valor máximo absoluto se registró en el mes de enero de 1992 con 38,7 °C. El trimestre más frío es de junio a agosto, con valores medios entre 6,7°C y 9,1°C. Julio es el mes más frío con -0,7°C de temperatura mínima media. La mínima absoluta fue de -11°C en agosto de 1995.

La acumulación de horas de frío (sumatoria de horas con temperaturas menores a 7°C) durante el período de reposo invernal de los frutales de hoja caduca satisface normalmente a las especies más exigentes, alcanzando valores superiores a 1200 horas.

Bajo estas condiciones climáticas a nivel productivo se destaca el efecto de las bajas temperaturas (heladas) durante las primeras fases de desarrollo del ciclo vegetativo. El período medio con heladas es de 190 días, en tanto la fecha media de la primera y

última helada es el 14 de abril y el 3 de octubre, respectivamente. La frecuencia anual media de heladas es de 67,5 días. El 11,6% del total de las heladas anuales son de tipo tardío o primaveral. Las mismas, durante los meses de septiembre y octubre, son mucho menos frecuentes que las invernales y otoñales pero tienen mayor interés agronómico. Entre 1990 y 2004, el mayor número de heladas registrado en el mes de septiembre fue de 11 días y de 5 días para el mes de octubre. Por su parte, la frecuencia media fue de 6,3 días y 1,3 días, respectivamente. Con respecto a la intensidad de las mismas se presenta una mayor frecuencia de heladas suaves y moderadas en septiembre y octubre. En esta época intensidades mayores son menos frecuentes pero los daños físicos y económicos en el cultivo son muy importantes, más aún si consideramos que las heladas primaverales tienen una duración media de hasta 7,9 horas. Tanto los frutales de pepita como de carozo presentan temperaturas críticas de daño entre -1 y -3°C desde el estado fenológico de floración. El período de floración y las fases sucesivas de desarrollo coinciden necesariamente con la época de ocurrencia de las heladas tardías. Esto significa que los tejidos pueden sufrir daños severos e incluso la muerte de algunos órganos. En la Tabla 1.5 se detallan las características del régimen agroclimático de heladas.

La región se caracteriza por tener altos valores de radiación global y de insolación. Los valores más altos de heliofanía efectiva corresponden al período estival con una media de 9,8 horas por día para enero y febrero. Existe una disminución gradual desde fines de verano hasta el mes de junio en donde se registran 3,6 horas.

En cuanto a la radiación solar global (estimada con la fórmula de Penman, 1948), el máximo valor ocurre en el mes de enero con $557 \text{ cal cm}^2\text{día}^{-1}$ y el mínimo en junio con $122,4 \text{ cal. cm}^2\text{día}^{-1}$ (Tabla 1.4).

Tabla 1.4 Valores Medios de Temperatura, Heliofanía y Radiación en EEA Alto Valle del INTA, período 1923-1987 y 1990-2004

(Rodríguez, 2006)

		Serie	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Temperatura media	°C	1923-1987	23,6	22,2	18,9	14	9,7	6,4	6,6	8,2	11,7	15,8	19,7	22,4	15
	°C	1990-2004	24,2	22,5	19,2	13,8	9,9	7,0	6,7	9,1	12,7	17,0	20,4	23,2	15,5
Temperatura máxima media	°C	1923-1987	31,1	29,8	26,7	22,1	16,8	13,0	13,1	16,0	19,1	23,0	26,7	29,6	22,2
		1990-2004	30,4	29,0	26,3	21,2	16,9	13,4	13,5	16,9	19,3	23,2	26,2	29,1	22,1
Temperatura absoluta máxima	°C	1923-1987	42,0	40,0	40,2	40,0	31,2	27,3	27,3	29,0	34,3	38,6	40,0	40,5	42,0
		1990-2004	38,7	38,9	38,5	32,1	29,0	29,2	25,9	30,9	32,6	39,1	37,2	38,1	39,1
Temperatura media mínima	°C	1923-1987	12,9	11,6	8,9	5,1	2,1	-0,1	-0,8	0,1	2,9	6,1	9,4	13,6	6,0
		1990-2004	13,1	11,7	9,8	5,3	2,5	0,4	-0,7	0,5	3,4	6,9	9,8	12,4	6,3
Temperatura absoluta mínima	°C	1923-1987	-0,6	-1,7	-5,5	-7,3	-12,7	-12,6	-13,2	-12,5	-12,5	-5,0	-3,0	-2,4	-13,2
		1990-2004	0,0	1,3	-1,9	-6,5	-10,1	-10,3	-9,2	-11,0	-7,9	-3,6	-2,5	1,3	-11,0

Tabla 1.4 Valores Medios de Temperatura, Heliofanía y Radiación en EEA Alto Valle del INTA, período 1923-1987 y 1990-2004

(Rodríguez, 2006) **Continuación**

		Serie	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Amplitud térmica	°C	1923-1987	18,2	18,2	17,8	17,0	14,7	13,1	13,9	15,9	16,2	16,9	17,3	16,0	17,0
		1990-2004	17,3	17,3	16,5	15,9	14,3	13,0	14,2	16,4	16,0	16,3	16,4	16,7	17,5
Frecuencia de heladas	días	1923-1987	0,0	0,0	0,3	3,3	9,5	16,5	19,1	14,9	7,1	1,4	0,1	0,0	71,9
		1990-2004	0,0	0,0	0,3	3,6	9,3	14,1	17,8	14,7	6,3	1,3	0,1	0,0	67,5
Radiación global	Cal.g/m ² .día	1990-2004	557,0	490,5	357,5	242,5	152,4	122,4	154,0	226,9	298,8	410,3	485,3	536,7	336,2
Heliofanía efectiva	horas	1990-2004	9,8	9,7	7,6	5,8	4,3	3,6	4,4	5,8	6,2	7,4	8,5	9,3	6,9

Tabla 1.5 Características del régimen agroclimático de Heladas en EEA Alto Valle del INTA, Frecuencia relativa (FR) media del período 1990-2004 para cada clase de intensidad (Rodríguez, 2006).

Heladas	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	FR (%)
Suaves 0° a -1.9°C	0,4	3,8	6,2	7,3	8,4	7,9	5,2	1,8	< 0,1	41,2
Moderadas -2° a -3.9°C	0	1,0	4,1	6,0	7,6	7,0	2,7	0,2	< 0,1	28,6
Fuertes -4° a -5.9°C	0	0,4	2,0	3,2	6,6	4,3	1,0	0	0	17,8
Muy Fuertes -6° a -7.9°C	0	< 0,1	1,0	2,9	2,6	1,4	0,3	0	0	8,3
Severas -8° a -9.9°C	0	0	0,3	1,2	1,2	1,1	0	0	0	3,8
Muy Severas < -10°C	0	0	< 0,1	< 0,1	0	0,2	0	0	0	0,4
FR (%)	0,4	5,3	13,8	20,8	26,4	21,7	9,4	2,0	0,2	

Durante los meses de junio y julio la humedad relativa máxima alcanza valores por encima del 90 %. Como la humedad relativa es más elevada durante el invierno, su contribución en el desarrollo de plagas y enfermedades disminuye por efecto de las bajas temperaturas. Los valores más bajos se producen en el período primavero-estival (de noviembre a febrero) que coincide con el crecimiento vegetativo y desarrollo de los frutos, afectando la transpiración y balance hídrico del cultivo (Tabla 1.6).

La precipitación media anual de la serie 1990-2004 fue de 243,7mm. Las lluvias se concentran en el período otoñal de marzo a junio y en primavera durante octubre y noviembre. En cuanto a la frecuencia mensual de precipitaciones se observa un rango medio de 2,1 a 5,7 días (Tabla 1. 6). El régimen pluviométrico de la zona no permite

cultivos de secano, por lo cual se han desarrollado técnicas de sistematización, distribución y manejo del agua para riego gravitacional y mecanizado. La importancia agrometeorológica de las lluvias en la zona se basa principalmente en el desarrollo de enfermedades fúngicas y en el efecto sobre las intervenciones de manejo del cultivo.

La evaporación mensual excede ampliamente lo aportado por las precipitaciones. El valor anual promedio es de 1232 mm.

El viento es otro factor meteorológico de mucha importancia en la zona. Se presenta durante todo el año adquiriendo las velocidades más altas durante la primavera (Tabla 1. 6). Vientos moderados con velocidades de 18 a 35 Kmh^{-1} son frecuentes durante los meses de septiembre a diciembre, en tanto las calmas predominan de marzo a junio. Los vientos fuertes se caracterizan por la presencia de ráfagas de hasta 100 Kmh^{-1} . Las velocidades alcanzadas pueden producir quebrado de ramas, caídas y heridas de frutos, acompañado de altas temperaturas y baja humedad relativa provoca condiciones de estrés hídrico. La dirección predominante es del oeste y, en segundo lugar, del sector sudoeste, a su vez son los vientos de mayor intensidad con velocidades máximas medias de hasta 20,6 Km h^{-1} . Dadas estas características del viento en la región es conveniente el uso de cortinas rompevientos de origen natural y/o artificial.

Tabla 1.6 Valores Medios de Precipitaciones, Humedad, Viento y Evaporación en EEA Alto Valle del INTA, período 1990-2004 (Rodríguez, 2006)

		Serie	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Humedad Relativa máxima media	%	1990-2004	80,5	75,9	86,6	89,6	86,8	87,8	92,1	82,7	87,4	84,6	81,5	81,3	84,7
Humedad Relativa mínima media	%	1990-2004	35,7	47,3	41,0	44,6	51,0	54,0	52,4	43,1	41,6	40,5	37,2	37,8	43,8
Precipitación Mensual	mm	1990-2004	18,6	18,0	25,0	27,2	25,9	22,3	16,9	8,8	18,8	26,1	21,9	14,2	243,7
Frecuencia de Precipitaciones	días	1990-2004	2,3	2,1	3,8	4,7	5,2	5,7	3,7	2,3	3,9	3,7	3,5	2,3	43
Viento Ráfaga Máxima	Km/hora	1990-2004	45	54	64	54	35	54	44	69	42	70	70	74	74
Viento Velocidad Máx. Media	Km/hora	1990-2004	12,2	10,5	10,2	9,1	8,8	9,8	9,8	11,5	12,7	13,5	15,1	13,2	11,4
Evaporación	mm/mes	1990-2004	203,6	145,8	112,0	64,1	36,4	27,9	31,8	54,1	84,8	122,7	155,0	193,8	1232,1
Tanque tipo A	mm/día	1990-2004	6,6	5,2	3,6	2,1	1,2	0,9	1,0	1,7	2,8	4,0	5,2	6,3	3,4

PROBLEMÁTICA ABORDADA

Se denomina sello al momento en que se autoriza la cosecha de pera y manzana. Esta autorización se establece en función del grado de madurez de los frutos. Como se mencionó anteriormente el mercado exige determinado tamaño de fruto, por esta razón no se da comienzo a la recolección hasta cumplir con este requisito. Esta situación obliga al productor a realizar la cosecha en varias pasadas extendiendo el ciclo de crecimiento de aquellos frutos que no llegaron al sello con el tamaño adecuado. Estas restricciones administrativas y comerciales traen aparejado un incremento de los costos operativos (mano de obra, insumos etc.) y un avance en el grado de madurez de la fruta que disminuye su calidad de conservación y debilita la posibilidad de entrar con fruta primicia en el mercado europeo. Paralelamente, el final de la cosecha de pera Williams coincide con la recolección de otras variedades provocando inconvenientes logísticos en las plantas de empaque.

A nivel productivo se espera contar con el mayor porcentaje posible de fruta de tamaño comercial al momento de autorización de cosecha y concentrar la recolección en dos pasadas, obteniendo en la primera al menos el 50% de la producción.

La variabilidad en el tamaño de los frutos que se observa en cada temporada puede ser consecuencia del efecto de un conjunto muy diverso de factores. El crecimiento de los frutos está determinado por factores genéticos (variedad, portainjerto), ambientales (clima y suelo) y de manejo como la poda, el raleo, el riego y la nutrición (Webster, 2002). Es importante conocer la dinámica de crecimiento de los frutos para poder estudiar e investigar por separado la contribución de cada uno de estos factores.

Ocurrida la fecundación el crecimiento del fruto comienza al terminar el estado fenológico de floración. La duración del mismo, que es variable según la especie, variedad y condiciones agroecológicas, puede oscilar entre 70 y 250 días en cerezos tempranos y

peras de invierno, respectivamente (Westwood, 1982). En la región la duración media del ciclo de crecimiento para la pera cv. William's es de 105 días (Bramardi *et al.*, 2006).

En peras y manzanas la curva de crecimiento del fruto es del tipo sigmoideo y presenta tres fases bien definidas (Figura 1.3): fase 1 de multiplicación celular, fase 2 de elongación o expansión celular y fase 3 que incluye la etapa final de crecimiento y el proceso de madurez.

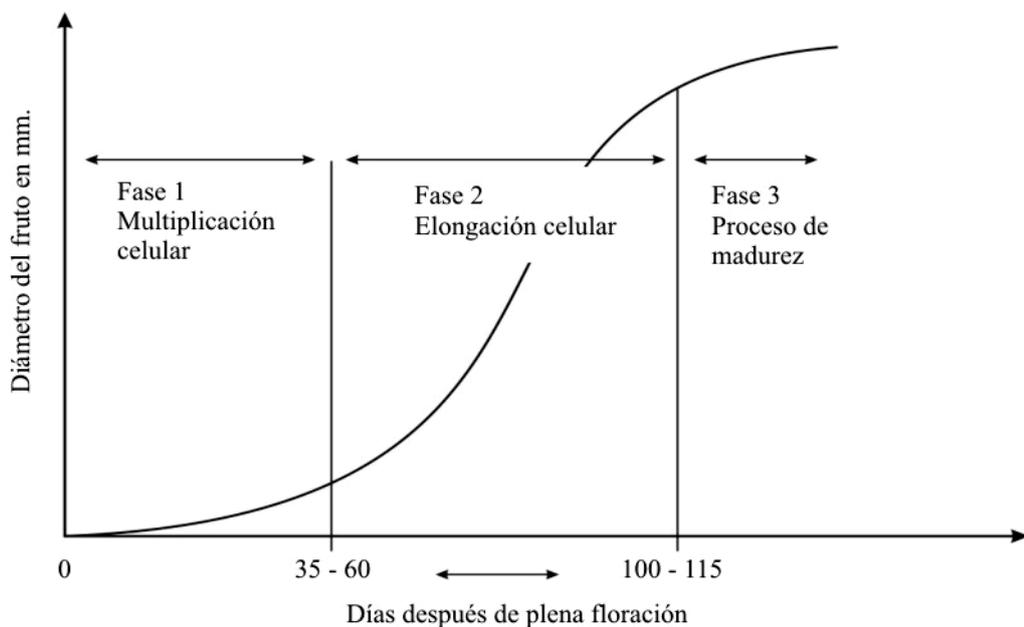


Fig. 1.3. Curva simple sigmoidea de crecimiento de frutos de pepita en función de los días después de plena floración, con las tres fases de crecimiento (Gil Albert Velarde, 1991). En ordenada: Diámetro del fruto (mm).

En la fase 1 de multiplicación celular se alcanza casi el número total de células que va a tener el fruto, pero con muy poco aumento de tamaño. La duración de este período es de aproximadamente 2 meses para pera Williams (Sozzi, 2007). La fase 2 de elongación celular comienza una vez terminada la fase anterior. Consiste en la acumulación de agua y

sustancias hidrocarbonadas en las células, originando el aumento de volumen y peso del fruto, hasta alcanzar casi el tamaño normal y característico. Es fundamental en esta etapa la disponibilidad de agua (riego) y la capacidad fotosintética de la planta (relación hoja/fruto, cantidad de luz interceptada) determinada previamente por prácticas culturales (poda, raleo) y características propias del cultivar. Esta fase puede durar de 30 a 90 días. La última fase, que corresponde al proceso de maduración, suele durar de 10 a 30 días desencadenando en el fruto una serie de transformaciones bioquímicas que conducen al desarrollo de las características organolépticas específicas del mismo (Kay Ryugo, 1988; Barceló Coll *et al.*, 1992).

Se ha trabajado intensamente a nivel regional sobre la fase 2 de crecimiento buscando ajustar diferentes prácticas de manejo que mejoren el tamaño de los frutos (Bramardi *et al.*, 1998). En esta etapa de elongación celular existe una gran demanda de fotoasimilados por la alta tasa de crecimiento de los frutos y el desarrollo de estructuras vegetales. La disponibilidad de sustancias hidrocarbonadas depende de la superficie foliar y de la intensidad de fotosíntesis (Gil Albert Velarde, 1991; Sozzi, 2007). De esta manera el tamaño final de los frutos quedaría fijado en buena medida por la capacidad de la canopia para suministrar hidratos de carbono, principalmente por intercepción de luz, asimilación de CO₂ y la carga frutal.

La relación normal de hojas/fruto que determina calidad y cantidad de cosecha es de aproximadamente 30 a 50 hojas/fruto en el caso de manzanas, siendo válido también para el peral. Para incrementar la producción es importante maximizar la intercepción lumínica temprana en la estación de crecimiento por lo cual tanto la poda como el sistema de conducción han sido aspectos claves de estudio (Dussi *et al.*, 2004; Benítez *et al.*, 2005; Raffo *et al.*, 2006).

La operación de raleo es una practica de uso común en la actividad frutícola que permite regular la carga frutal optimizando la relación hoja/fruto, la distribución de nutrientes y fotoasimilados y de esta manera, obtener mejores tamaños a cosecha (Faust, 1989). En pera se realiza comúnmente de forma manual entre los 45 y 60 días después de plena floración. Bramardi (2006), en su trabajo sobre tablas de raleo, utiliza como medida

de aumento de tamaño del fruto las curvas de crecimiento expresadas en diámetro en función de los días transcurridos desde plena floración (comenzando las mediciones 40 días después de plena floración). Se ha observado en este trabajo que el tamaño a los 40 días después de plena floración se correlaciona perfectamente con el obtenido en el momento de cosecha. Es decir que los frutos que al comienzo de la fase de elongación celular tienen un tamaño chico mantienen la misma categoría a cosecha, y es en este principio en el que se basa el ajuste de la práctica de raleo a través del uso de las tablas, ya que se ralea selectivamente de acuerdo al tamaño.

El raleo favorece el crecimiento del fruto al promover un incremento del número de células. Se ha demostrado que los frutos más grandes tienen un mayor número de células. El momento en que se realiza esta práctica influye sobre el tamaño final del fruto siendo menos favorable cuanto mas alejado del periodo de mayor división celular se efectúe (Westwood *et al.*, 1967; Williams *et al.*, 1969; Goffinet *et al.*, 1995; Harada *et al.*, 2005).

Si bien este tipo de prácticas mejoran notablemente el tamaño de los frutos, se ha observado a nivel regional una variabilidad interanual en la distribución de tamaños llegada la fecha de cosecha. Se considera que las condiciones meteorológicas de cada temporada tienen un efecto importante sobre el tamaño final del fruto a cosecha. Sin embargo no se han realizado los estudios correspondientes y no se sabe en que momento del ciclo de crecimiento del fruto los factores meteorológicos adquieren mayor importancia.

Entre los factores climáticos que regulan el crecimiento la temperatura ocupa un lugar importante porque controla la velocidad de las reacciones enzimáticas que directa o indirectamente intervienen en el proceso (Barceló Coll *et al.*, 1992). En general, los procesos fisiológicos ocurren a temperaturas de 0 a 40 °C. El crecimiento se detiene cuando la temperatura del aire desciende por debajo de cierto valor mínimo (temperatura base) o excede un determinado valor máximo (temperatura umbral). Dentro de estos límites existe un rango óptimo de temperatura para el crecimiento en el cual la tasa de desarrollo es máxima. La temperatura base, la óptima y el umbral máximo son conocidas como temperaturas cardinales del desarrollo y son particulares para cada especie, genotipo

y etapa fenológica (Ruiz Corral *et al.*, 2002).

En cultivos frutales se considera que las temperaturas entre 10 y 15°C son las aceptables para dar comienzo al crecimiento en materia verde (Kay Ryugo, 1988). Bajo condiciones adecuadas de intensidad lumínica e hídrica, la temperatura del aire se establece como principal condicionante del proceso fotosintético. Cuando los valores de temperatura ambiental exceden entre 30 y 35°C, la tasa de respiración se incrementa en mayor proporción que la de la fotosíntesis y, en consecuencia, la tasa de asimilación neta disminuye. Bajo estas circunstancias el crecimiento se detiene (Wang y Camp, 2000; Corelli Grappadelli y Lakso, 2004; Pascale y Damario, 2004).

En numerosos estudios se ha encontrado una correlación importante entre las temperaturas inmediatas al periodo de plena floración y el tamaño del fruto a cosecha (Reichel y Schmidt, 1989; Bergh, 1990; Warrington *et al.*, 1999; Stanley *et al.*, 2000; Wang y Camp, 2000). Se ha comprobado que el diámetro de manzanas entre 40 a 50 DDPF (días después de plena floración) se relaciona estrechamente con el diámetro final de los frutos (Warrington *et al.*, 1999; Stanley *et al.*, 2000).

Stanley *et al.* (2000) consideran que la temperatura de los primeros 50 DDPF junto con la carga del árbol son los factores que determinan principalmente el tamaño final del fruto de manzana de la variedad Royal Gala a cosecha. Sugieren que el tamaño potencial del fruto se determina en los primeros 50 días después de floración a partir del número total de células. Este número de células resulta de la respuesta a la temperatura en la fase de división celular. El tamaño final del fruto esta en función del número final de células generado durante el período de división celular y del volumen alcanzado por ellas durante las fases de elongación y maduración (Austin *et al.*, 1999). Esto implica que la fase de división celular responde más a la temperatura que la fase de elongación celular. El comienzo de esta primera fase de crecimiento está en función de la fecha de plena floración, que en frutales de hojas caducas, es regulada por la temperatura del aire (Westwood, 1982).

La fecha de plena floración y autorización de cosecha para la variedad William's se

ha registrado en la zona desde el año 1971 (Benítez *et al.*, 2005). De acuerdo a lo observado en estos ciclos de crecimiento existe una gran variabilidad en las fechas de floración (desde el 16/9 al 07/10) (Figura 1.4). La fase de división celular en cada uno de estos ciclos de floración se desarrolló aparentemente bajo condiciones ambientales diferentes. La temperatura media del aire de 12,7°C en septiembre aumenta a 17°C y 20,4°C en octubre y noviembre, respectivamente (Rodríguez y Muñoz, 2006).

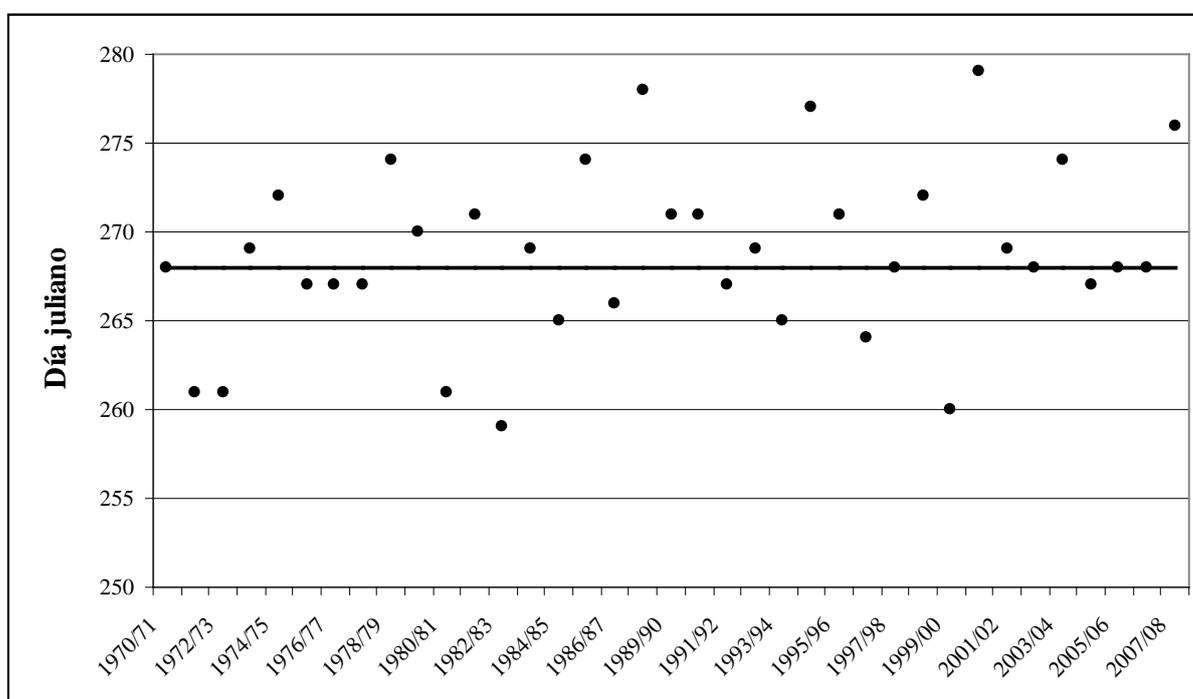


Fig. 1.4 Fechas de plena floración del cv William's para cada temporada productiva (•) y fecha media de floración (—) (para la serie 1970 -2007. En ordenadas: Día de plena floración; En abscisa: Temporada productiva.

OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto que tiene la temperatura del aire (en el monte frutal) y el raleo manual de frutos durante el período de división celular, en el tamaño del fruto de pera William's.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Ajustar una técnica de conteo para estimar el número de células a fin de utilizarla como parámetro de medida del crecimiento del fruto.

Determinar la duración del período de división celular del cultivar en la zona y establecer relaciones con los grados días acumulados.

Analizar la relación existente entre el número de células, el tamaño potencial del fruto y los grados días acumulados durante la fase de división celular.

Evaluar el efecto del raleo manual de frutos sobre el crecimiento en dos momentos después de plena floración los 10 y a los 40 DDPF.

Determinar los requerimientos térmicos regionales para la floración de pera cv. William's.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

La temperatura media del aire durante el período de división celular afecta el número de células del fruto de pera cv. William's e influye sobre su tamaño a cosecha

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Austin P., Hall A., Gandar P., Warrington J., Fulton T., y Halligan A., 1999. Compartment Model of the Effect of Early-season Temperatures on Potential Size and Growth of Delicious Apple Fruits. *Annals of Botany* 83: 129-143.
- Barceló Coll J., Nicolas Rodrigo G., Sabater Garcia B. y Sánchez Tamés R. 1992. *Fisiología Vegetal*. 6^{ta} edición, Ed Pirámides, Madrid, 662 pp.
- Benítez C., Castro H., Ricca A., Vaudagna S. 2005. Peras y Manzanas: Factores que afectan la calidad de los frutos. Ed. INTA, BsAs, Argentina. 396 pp.
- Bergh O. 1990. Effect of temperature during the first 42 days following full bloom apple fruit growth and size at harvest. *S. Afr.J.Plant Soil*. 7:11-18.
- Bramardi S., Tassile V., Reeb P. y De Benardin F. 2006. *Tablas de Raleo*. 1° Ed. Editorial Universidad Nacional del Comahue, FCA. Río Negro. Argentina. 24 pp.
- Bramardi S., Castro H. y Zanelli M. 1998. Fruit growth pattern of pear cv Bartlett and Packhams Triumph to improve hand thinning. *Acta Hort*. 475: 283-293.
- Bustos C. 2009. Caracterización general de la provincia. En: *Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de Río Negro*. Godagnone R. y Bran D. (ed.). Buenos Aires, Argentina. Pp 14-29.
- Corelli-Grappadelli L. y Lakso A. 2004. Fruit Development in deciduous tree crops as affected by physiological factors and environmental conditions (keynote). *Acta Horticulturae (ISHS)* 636: 425-441.
- Dussí M., Sosa D., González Junyent R., y Giardina G. 2004. Poda de verano en manzanos "Red Delicious". Efecto sobre la calidad de la fruta y las hojas de los dardos. *Revista FCA UNCuyo* 36 (2): 15-22.
- Faust M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees*. Ed. John Wiley & Sons. EE.UU. pp 333.
- Gil Albert Velarde F. 1991. *Tratado de Arboricultura Frutal. Morfología y Fisiología del árbol frutal*. 3^a ed. Ed. Mundi- prensa, Madrid, 103 pp.
- Gobierno de Río Negro-Min. Economía. Subsecretaria de Agricultura .1993. *Censo Agrícola Rionegrino*, s.p.
- Goffinet M.C., Robinson T. y Lakso A. 1995. A comparison of *Empire* apple fruit size and anatomy in unthinned and hand-thinned trees. *J. Hort. Sci* 70:375-387.
- Harada T., Kurahashi W., Yanai M., Wakasa Y. y Satoh T. 2005. Involvement of cell proliferation and cell enlargement in increasing the fruit size of *Malus* species. *Scientia Horticulturae* 105: 447-456.

- INTA-GTZ. 1999. Fruticultura Moderna. 1ºed. Alto Valle de Río Negro y Neuquén, Argentina. 300 pp.
- Kay Ryugo. 1988. Fruit Culture Its Science and Art. University of California Davis, California , 344 pp.
- Luppiz V. 2003. Producción de peras y manzanas en Argentina. Dirección de Agricultura. SAGPYA. Disponible en [http:// www.sagpya.mecon.gov.ar](http://www.sagpya.mecon.gov.ar).
- Pascale, D. y Damario E. 2004. Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología. Ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina, 547 pp.
- Raffo Benegas M., Rodríguez R., Rodríguez A. 2006. “Distribución lumínica en diferentes combinaciones portainjerto variedad en manzana cv. Mondial Gala y su efecto sobre la calidad de la fruta y parámetros vegetativos. RIA, 35 (2): 53-69.
- Reichel M. y Schmidt G. 1989. The increase in fruit diameter in Golden Delicious until the 60th day after full bloom as affected by flowering date and several meteorological factors. Archiv für Gartenbau 37(2):99-109.
- Rodríguez A., Muñoz A. 2006. Síntesis Agrometeorológica para el período 1990-2004 EEA Alto Valle. Ed. INTA. Boletín Divulgación Técnica n° 53, 38 pp.
- Ruiz Corral J., Flores López H., Ramírez Díaz J., González Eguiarte D. 2002. Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz H-311 en condiciones de temporal. Agrociencia 36: 569-577.
- Sánchez E. 2002. Pear Production in South América. Acta Horticulturae (ISHS) 596: 67-69.
- Secretaría de Fruticultura de Río Negro. 2009. Marcha del Negocio Frutícola. Boletín n° 10. Disponible en [http:// www.sefrn.gov.ar](http://www.sefrn.gov.ar).
- Sozzi G. 2007. Fisiología del crecimiento de los frutos. En: Árboles Frutales: Ecofisiología, cultivo y aprovechamiento. Sozzi G. Buenos Aires. Argentina. pp. 309-328.
- Stanley C., Tustin D., Lupton G., McCartney S., Cashmore W. y De Silva H. 2000. Towards understanding the role of temperature in apple fruit growth responses in three geographical regions within New Zealand. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 75(4): 413-422.
- Sverre Petterssen, PH. 1962. Introducción a la meteorología. Ed. Espasa Calpe S.A. Madrid, 417 pp.
- Tassile V. y Reeb P. 2008. Pronóstico de producción de peras y manzanas para las provincias de Río Negro y Neuquén. Disponible en [http:// www.sefrn.gov.ar](http://www.sefrn.gov.ar).
- Wang S. y Camp M. 2000. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. Scientia Horticulturae 85: 183-199.

- Warrington I.J., Fulton T.A., Halligan E.A. y De Silva H. 1999. Apple Fruit Growth and Maturity are Affected by Early Season Temperatures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124(5):468-477.
- Webster A. 2002. Factors influencing the flowering, fruit set and fruit growth of European pears. *Acta Horticulturae* 596 (2): 699-709.
- Westwood M., Batjer L. y Billingsley H. 1967. Cell size, cell number, and fruit density of apples as related to fruit size, position in cluster and thinning method. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 91:51-62.
- Westwood N. 1982. *Fruticultura de zonas templadas*. Ed. Mundiprensa, Madrid, 461 pp.
- Williams M., Billingsley D., Batjer L. 1969. Early season harvest size predicting of Bartlett pears. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 94: 596-598.

DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PARA DETERMINAR NÚMERO Y TAMAÑO CELULAR

INTRODUCCIÓN

En diversas experiencias se ha utilizado el análisis de los constituyentes celulares para cuantificar la variabilidad del tamaño en los frutos. De esta manera se ha evaluado la incidencia en el tamaño de frutos de manzano, cerezo (*Prunus cerazus*) y duraznos (*Prunus persica*) de diferentes portainjertos, distintas posiciones de la fruta en el árbol, momentos de raleo y cultivares (Bradley, 1961; Westwood *et al.*, 1967; Scorza *et al.*, 1991; Goffinet *et al.*, 1995; Al-Hinai y Roper, 2004; Harada *et al.*, 2005; Olmstead *et al.*, 2007). El análisis a nivel celular también ha sido útil para dar explicaciones de la evolución del crecimiento en uvas (*Vitis sp.*) y peras asiáticas (*Pyrus pyrifolia*), principalmente durante la primera fase de desarrollo en donde las manifestaciones macroscópicas son poco evidentes y no representativas del crecimiento (Ojeda *et al.*, 1999; Shargal *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2006).

Las diferencias en tamaño de los frutos son principalmente debidas a la variabilidad en el tamaño y número de células (Westwood, 1982). Para determinar estas características histológicas, como primer paso, debe obtenerse el preparado histológico para ser observado bajo microscopio y, posteriormente, medirse el tamaño de las células y estimar el número de las mismas.

La metodología de uso más frecuente para obtener los preparados histológicos consiste en conservar y fijar la muestra de tejido en una solución FAA (etanol, formaldehído y ácido acético) u otros compuestos químicos como el ácido tánico, sulfato de amonio férrico y parafina, que evitan cambios en el tamaño del tejido. Posteriormente, se realizan cortes con micrótopo o navajas de doble hoja obteniendo así los preparados que son observados en microscopio electrónico o de luz con grillas reticulares o regla micrométrica (Westwood *et al.*, 1967; Scorza *et al.*, 1991; Goffinet *et al.*, 1995; Bertin *et al.*, 2001; Al-Hinai y Roper, 2004; Shargal *et al.*, 2006; Olmstead *et al.*, 2007). Las características anatómicas de ciertos tejidos dificultan el uso de técnicas de observación microscópica para determinar el número de células, por tal motivo se han desarrollado métodos que cuantifican directamente el contenido de ADN (Ojeda *et al.*, 1999).

Si bien existen varios métodos que permiten obtener y acondicionar la muestra histológica, los mismos demandan varias horas o días de trabajo y se requiere de cierto instrumental e infraestructura de laboratorio que no siempre es factible disponer. En los casos en que los cortes son del tipo manual y no se requiere de fijadores, la muestra no puede ser conservada. Por tal motivo, se han buscado métodos alternativos que sean igual de efectivos, pero de bajo costo y tiempo operativo, y que requieran el mínimo de infraestructura.

El tamaño celular es medido de forma directa a través del volumen de una esfera (Westwood *et al.*, 1967) o estimando el diámetro de las mismas al dividir el número de células interceptadas en determinada longitud de radio (Sugiura *et al.*, 1995; Shargal *et al.*, 2006). El número de células en un fruto se estima principalmente al dividir el volumen del fruto por el volumen celular. Sin embargo algunos autores han ajustado estas mediciones restando al volumen total, el ocupado por espacios intercelulares y el volumen medular que integra la cavidad seminal, la región de células pétreas y haces vasculares dorsales (Goffinet *et al.*, 1995; Zhang *et al.*, 2006).

Sugiura *et al.* (1995) ensayo tres metodologías para estimar el número de células y medir su tamaño denominadas de réplica o video microscópicas. La ventaja de estos métodos radica en que el tamaño celular en frutos frescos puede ser determinado

rápidamente usando un microscopio de luz para observar réplicas obtenidas a través de películas de acetato de celulosa ó esmalte de uñas.

Estas metodologías fueron evaluadas en frutos frescos de pera cultivar Williams, buscando identificar cuál de ellos es más efectivo para determinar el número y tamaño celular con mínimos requerimientos de infraestructura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó, en el año 2006, sobre una muestra al azar de 10 frutos grandes y 10 chicos recolectados a los 10, 20, 30, 40, 50, 60 días después de plena floración (DDPF) y sobre frutos maduros de pera William's (110 DDPF). A cada fruto se midió el diámetro ecuatorial con un calibre manual; el peso con una balanza digital y el volumen por desplazamiento de agua en probeta graduada. Todas estas mediciones se realizaron cortando previamente el pedúnculo de los frutos. A cada fruto se le efectuó un corte transversal en la región cortical media a lo largo del radio ecuatorial y se midió el diámetro de la cavidad seminal más la banda de células pétreas para efectuar el cálculo del volumen medular.

De cada mitad de fruto se seleccionaron dos sectores a los que se le realizó un corte neto con navaja para lograr una superficie nítida y lisa (Figura 2.1).

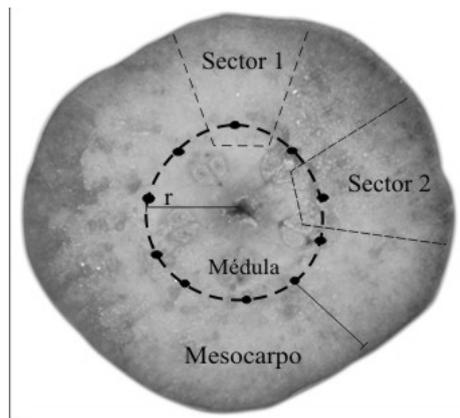


Fig. 2.1 Corte ecuatorial de un fruto de pera William's en las fases tempranas de crecimiento.

El análisis histológico se realizó en el mesocarpio del fruto en donde se concentra más del 80 % del volumen del fruto maduro (Martin, 1935). Se utilizaron para esta determinación dos de las técnicas sugeridas por Sugiura *et al.* (1995).

Una de las técnicas consistió en aplicar sobre cada sector del fruto acetato de metilo, luego se colocó una película de acetato de celulosa (0,08mm) y se mantuvo presionado por aproximadamente 1 minuto. Para la segunda metodología sobre cada sección se aplicó una capa de esmalte de uñas transparente y se dejó secar naturalmente por aproximadamente una hora. Este método se realizó como cita la bibliografía (Sugiura *et al.*, 1995) y se lo modificó con el agregado de safranina al 0,25 % p/v para la tinción de paredes celulares antes de colocar el esmalte (Figura 2.2).

El esmalte solidificado se exfolió con la ayuda de pinzas y agujas histológicas y fue colocado sobre un portaobjeto. Esta réplica se observó bajo microscopio de luz (Zeiss Germany- Axioskop) con una resolución ocular de 40X en las primeras fases de desarrollo y de 20X para las últimas.

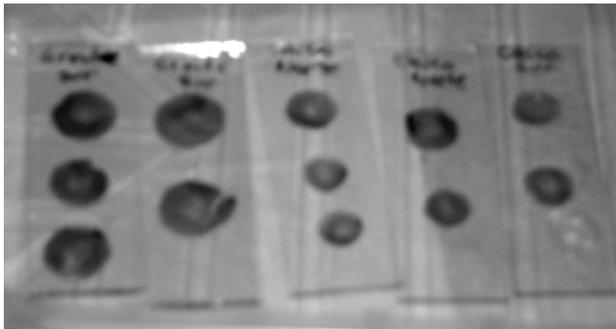


Fig. 2.2 Improntas histológicas.

A cada muestra se le tomó una fotografía con cámara digital (Sony-6.0 mega pixeles). La fotografía se realizó sobre el ocular izquierdo con escala micrométrica.

La imagen fotográfica fue acondicionada usando un software apropiado (Adobe photoshop 5.5) y sobre ella se realizó la medida del tamaño celular siguiendo la metodología propuesta por Westwood *et al.* (1967).

De acuerdo a la calibración de la escala ocular del microscopio con una escala micrométrica (Tabla 2.1) se midió el diámetro celular mediante el programa de análisis de imágenes UTHSCSA ImageTool (desarrollado por el Centro de Ciencias de la Salud de la Universidad de Texas en San Antonio, Texas y disponible en Internet en <ftp://maxrad6.uthscsa.edu>). Posteriormente, se realizó el cálculo de volumen celular para 20 células por imagen a partir de la ecuación 2.1, donde “a” corresponde a la mitad del eje mayor y “b” a la mitad del eje menor de un esferoide.

$$\text{Volumen celular } (\mu\text{m}^3) = 4/3 \pi a b^2 \quad [\text{ecuación 2.1}]$$

Tabla 2.1. Equivalencias de medidas en micras por unidad ocular.

Unidad Ocular	Equivalente en micras (μm)
10X	10 μm
20X	5 μm
40X	2,5 μm

Las células adyacentes a las bandas vasculares y a la región epidérmica fueron evitadas por ser muy pequeñas y representar una porción reducida del volumen total del fruto.

El número de células por fruto fue estimado a partir de la ecuación 2.3 que relaciona el volumen del fruto y el volumen celular, previa conversión de unidades. Esta ecuación se ajustó considerando solo el volumen correspondiente al mesocarpo en donde se realizó la observación histológica. Para ello se le restó al volumen total del fruto, el volumen medular (ecuación 2.2).

$$\text{Volumen medular (cm}^3\text{)} = 4/3 \pi r^3 \text{ [ecuación 2.2]}$$

“r” es el radio correspondiente a la cavidad seminal y la región de células pétreas.

$$\text{N}^\circ \text{ de células} = \text{Volumen del mesocarpo (cm}^3\text{)} / \text{Volumen celular (cm}^3\text{)} \text{ [ecuación 2.3]}$$

Westwood *et al* (1967) propone obtener el volumen del fruto entero a partir del cociente entre el peso del fruto y su gravedad específica. De acuerdo a trabajos realizados sobre el tema (Westwood, 1962) el valor de gravedad específica varía en función de la especie, variedad y tamaño de los frutos. Dado que medir el volumen del fruto por desplazamiento de agua es una metodología poco práctica cuando se trabaja con una muestra numerosa, el cálculo del valor de gravedad específica de los frutos, se realizó con los datos de peso y volumen obtenidos en este ensayo,

Se evaluó también el comportamiento del volumen medular en función del volumen del fruto para identificar alguna relación de proporcionalidad que permita, en trabajos futuros, evitar el cálculo del mismo en cada unidad muestra.

RESULTADOS

De las tres metodologías evaluadas solo se obtuvieron réplicas de células en las que se utilizó esmalte de uñas. Además, al teñir previamente el tejido con safranina se mejoró notablemente la identificación de las células de la pulpa del fruto (Figura 2.3).

Este resultado obtenido en el primer muestreo a los 10 DDPF y en frutos maduros (conservados de la temporada anterior) permitió descartar el uso de las otras dos alternativas en los muestreos posteriores. En las réplicas obtenidas de frutos maduros fue más dificultoso identificar grupos de células enteras.

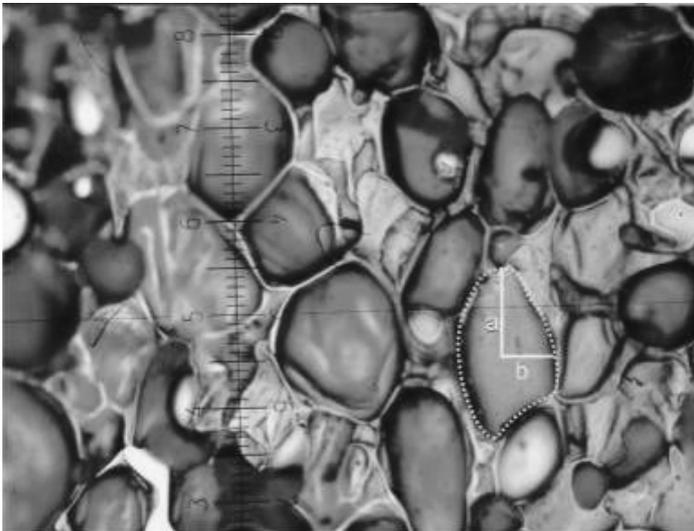


Fig. 2.3 Imagen digital de la réplica obtenida con esmalte, células mesocárpicas de pera cv William's a 20 DDPF (40X). a: mitad del eje mayor; b: mitad del eje menor

Se pudo determinar que el tiempo óptimo de secado de la lámina de esmalte es de 45 minutos, dado que facilita la exfoliación y armado del preparado para su posterior observación en microscopio. No es conveniente la aplicación de más de dos capas de esmalte porque el tiempo de secado se extiende y provoca cierta elasticidad en la lámina exfoliada que podría alterar el tamaño real de las células.

La calidad de la réplica depende principalmente del corte superficial que se realiza antes de la tinción y el esmaltado. Este corte debe ser limpio y nítido y para ello se requiere el uso de navajas de doble filo u hojas de cutter bien afiladas. Estas últimas tienen la ventaja de ser económicas, de fácil adquisición y de soportar la dureza característica de los frutos inmaduros de pera.

La imagen réplica permitió además identificar las diferentes regiones del fruto. Es claramente visible el cambio del tamaño celular en la zona epidérmica y medular (Figura 2.4). También es factible observar la distribución de los haces vasculares y la presencia de fibras por la forma y distribución particular de las células (Figura 2.5).

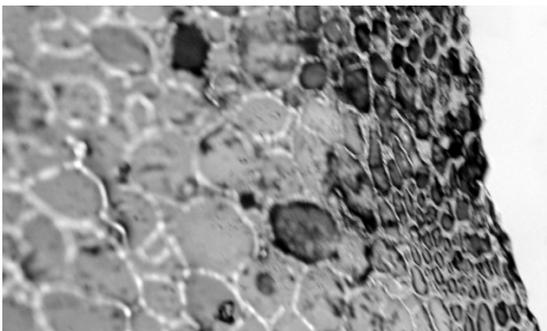


Fig. 2.4 Imagen digital de células del mesocarpio y región epidérmica en fruto maduro de pera cv. William's (20X).

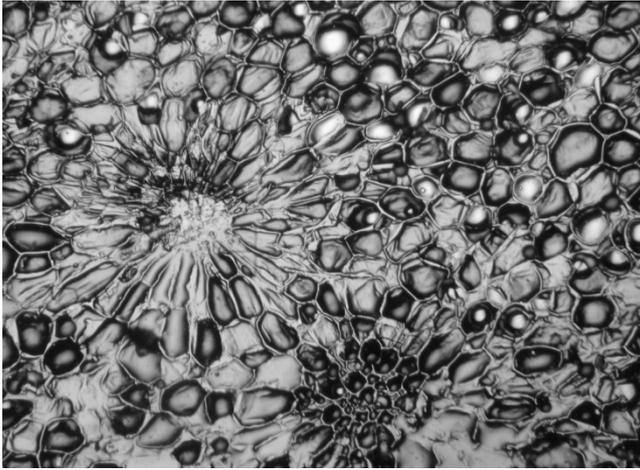


Fig. 2.5. Distribución y forma de células cercanas a los haces vasculares de pera cv. Williams' a 60 DDPF (20X).

Los frutos de cada muestreo fueron recolectados en la parcela experimental de la parte media de los árboles, correspondientes, identificando visualmente tamaños extremos (grandes y chicos) de acuerdo a su diámetro ecuatorial. Posteriormente, en gabinete se categorizó a los mismos en función de su peso (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Peso medio de frutos para cada momento de muestreo.

Peso medio de frutos (g)	DDPF						
	10	20	30	40	50	60	110
Fruto grande	1,1	3,1	7,0	14,6	22,6	43,9	229,9
Fruto chico	0,4	1,0	2,2	9,2	14,0	26,7	128,6

Los tamaños celulares medios de frutos grandes y chicos se muestran en la Figura 2.6. Se observa que el tamaño celular expresado como volumen, permanece relativamente constante hasta los 30 DDPF, con valores similares para frutos grandes y chicos. A partir de los 40 DDPF el incremento del volumen celular es más notable.

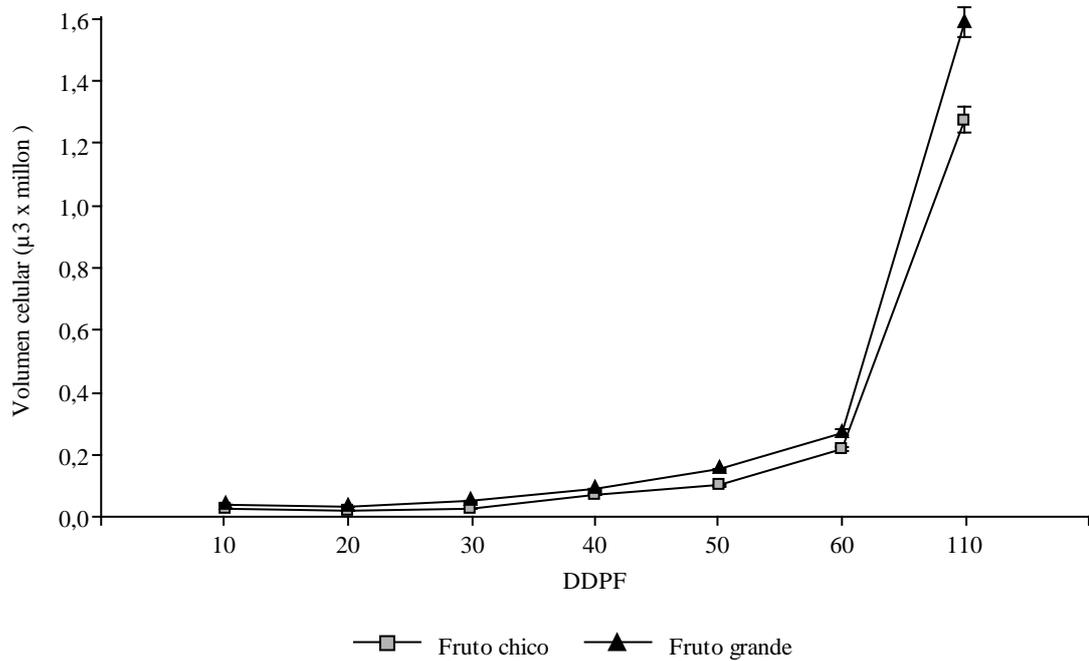


Fig. 2.6 Volumen celular medio para cada momento después de plena floración, valor medio +/- Desvío estándar.

Otra manera de expresar el tamaño celular es a través del valor de longitud celular media (Figura 2.7). Al analizar esta variable se observa un comportamiento similar al del volumen pero con una diferencia más marcada entre frutos grandes y chicos.

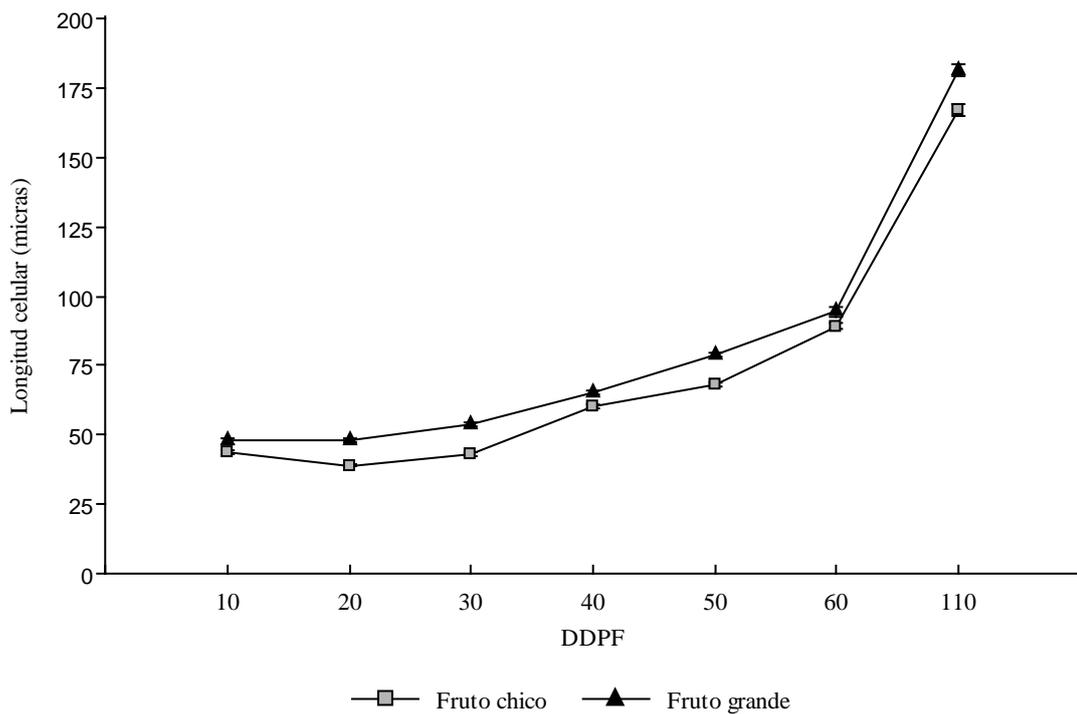


Fig. 2.7 Longitud celular media para cada momento después de plena floración, valor medio +/- Desvío estándar.

Los frutos de tamaño grande tienen un mayor número de células que los de tamaño chico para cada momento del muestreo después de antesis (Figura 2.8). Dentro de esta categoría se observa a los 40 DDPF un máximo en el número de células.

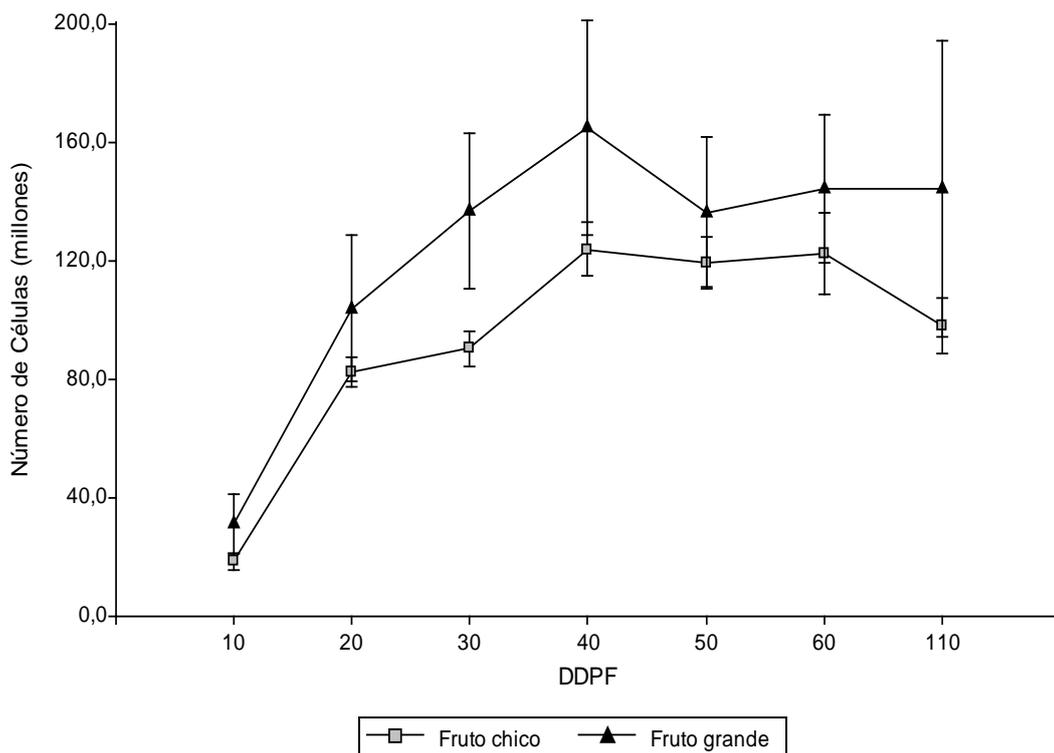


Fig. 2.8 Número de células en el mesocarpio del fruto para cada momento después de plena floración, valor medio +/- Desvío estándar.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que el valor de gravedad específica varía durante el ciclo de crecimiento del fruto. A los 10 y 20 DDPF se han obtenido valores por debajo de uno. En estos muestreos parte del error se le atribuye a la sobrestimación del volumen debido a la falta de precisión del instrumental utilizado (probeta graduada en 0,5 ml). El peso medio de estos frutos es de 0,38g y 1,0g clasificados en chicos y grandes respectivamente. El menor coeficiente de variabilidad en la estimación del valor de gravedad específica se obtuvo realizando un análisis estadístico descriptivo en función de una categorización de tamaño de fruto de acuerdo a su peso. En la Tabla 2.3 se pueden observar los valores de gravedad específica en función del rango de peso medio de los frutos.

Dentro de la categoría de peso medio de fruto de 5 a 50 gramos se han considerado frutos grandes del muestreo de los 30 DDPF y todos los frutos correspondientes a los muestreos de 40, 50 y 60 DDPF.

Tabla 2.3. Valores de gravedad específica en función del peso medio de los frutos, error estándar y coeficiente de variación.

Peso medio del fruto (g)	Gravedad específica media (g/cm ³)	Error Estándar	CV %
Menor a 5	0,89	0,02	12,3
De 5 a 50	1,00	0,01	5,5
Mayor a 100	1,02	0,00	1,5

En lo que respecta al volumen medular no se encontró relación con el peso de los frutos, pero fue observado que la proporción de este con respecto al volumen total del fruto varía principalmente en función del momento de desarrollo en el que se encuentre. Al comparar el volumen medular de frutos grandes y chicos se observa que existen diferencias estadísticamente significativas para los tratamientos comprendidos entre los 20 y 40 DDPF (Figura 2.9). Sin embargo, no se observó en el ensayo un comportamiento regular o sistemático de esta variable.

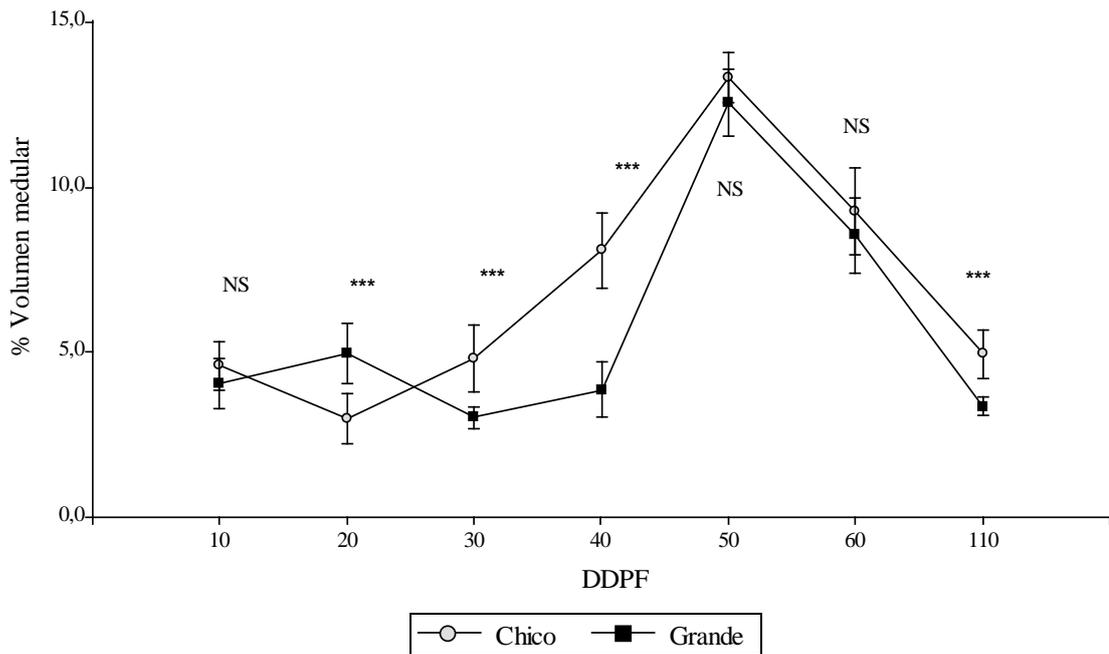


Fig. 2.9. Proporción de volumen medular con respecto al volumen total del fruto para cada momento después de plena floración. Valor medio +/- Desvío estándar. ANOVA entre frutos grandes y chicos para cada momento DDPF, (NS) sin diferencia significativa, (***) diferencia altamente significativa.

A los 50 DDPF se observa un aumento importante del espacio ocupado en el fruto por la cavidad medular, esto podría deberse al desarrollo de las semillas y por ende a un aumento del volumen de la cavidad seminal (Figura 2.9). Durante esta fase de desarrollo del fruto la tasa de crecimiento radial del mismo es relativamente constante al ser cuantificada en función del espesor del mesocarpio. Sin embargo al evaluar el crecimiento del fruto a través de su volumen total se observa una tasa de crecimiento más acentuada. Esta variable engloba al crecimiento en forma longitudinal, propio de pera William's, y en sentido ecuatorial. Estas diferencias son notables a partir de los 40 DDPF (Figura 2.10).

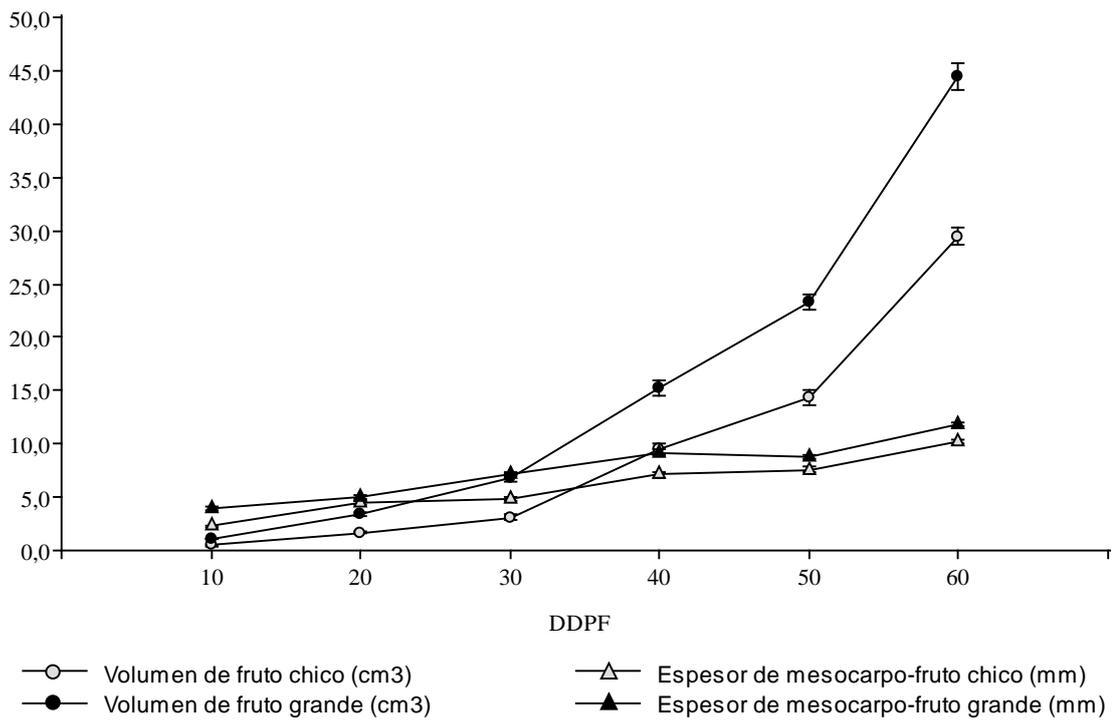


Fig. 2.10. Volumen de fruto y espesor de mesocarpio para frutos grandes y chicos entre los 10 y 60 DDPF, valor medio +/- Desvío estándar.

DISCUSIÓN

El tamaño celular medido en las imágenes de réplica resulta acorde a los valores presentados por otros autores en donde el preparado histológico es obtenido a partir de otras técnicas (Goffinet *et al.*, 1995; Al-Hinai y Roper, 2004).

El número de células estimado a través del volumen celular y del volumen mesocarpico del fruto, mostró un comportamiento compatible a los obtenidos en otras variedades de pera (Zhang *et al.*, 2005; Shargal *et al.*, 2006) y en manzanas (Al-Hinai y Roper, 2004). El aumento del número de células es importante hasta los 40 DDPF y luego tiende a un comportamiento asintótico hasta el momento de cosecha (110 DDPF), marcando de esta forma la finalización del período de división celular, aproximadamente entre los 30 y 40 DDPF.

Se ha observado que la contribución de la proporción de espacios intercelulares para incrementar el volumen de frutos de manzana no puede medirse a través del número o tamaño de las células (Al-Hinai y Roper, 2004). Asimismo, se sabe que la contribución de los espacios intercelulares en el tamaño de los frutos ocurre en las etapas tardías de crecimiento, junto con la fase de expansión celular (Goffinet *et al.*, 1995). Podría inferirse de este modo que el menor número de células registrado después de los 40 DDPF (Figura 2.8) no representa evidentemente a frutos de menor tamaño como puede comprobarse con los valores de volumen medidos (Figura 2.10). A través del número de células no se puede comprobar el aporte de la proporción de espacios intercelulares en el tamaño de los frutos.

Si bien algunos autores consideran útil medir el crecimiento del fruto a través del número de capas de células (Wismer *et al.*, 1995; Zhang *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2006; Shargal *et al.*, 2006), aquí se ha comprobado que para frutos piriformes es una variable que presenta un alto grado de dispersión. Esto se debe principalmente a que es calculada a

través del diámetro ecuatorial del fruto. El crecimiento del fruto de pera Williams tiene una fase radial y otra longitudinal importante, por lo tanto se consideró que para el análisis de etapas tempranas de desarrollo del fruto es más adecuado utilizar el peso y/o volumen de los frutos para evaluar el crecimiento por medio de magnitudes celulares.

De acuerdo a los trabajos de Westwood (1962) las peras tienen valores más altos de gravedad específica que manzanas y duraznos (debido a la lignificación de las células pétreas), y son mayores al inicio de la estación de crecimiento ($1,07 \text{ g/cm}^3$) decreciendo levemente hasta la cosecha ($1,00 \text{ g/cm}^3$). Los valores encontrados en este trabajo tuvieron un comportamiento opuesto, con un aumento paulatino hacia el momento de cosecha ($0,89 \text{ g/cm}^3$ hasta los 20 DDPF, $1,00 \text{ g/cm}^3$ desde los 30 a los 60 DDPF y de $1,02 \text{ g/cm}^3$ en cosecha). Sin embargo, los valores de gravedad específica son similares a los citados en la bibliografía al compararlos en función de las características de tamaño de los frutos y no por el momento de recolección de la muestra (DDPF).

Westwood (1962) atribuye la disminución de la gravedad específica hacia cosecha a la disminución de la densidad celular. No se puede en esta experiencia considerar los valores de gravedad específica como equivalentes a los valores de densidad celular. Para estimar la densidad celular debería evaluarse el tejido de manera fraccionada evitando de ese modo la variabilidad que la cavidad seminal produce en el fruto. Los valores de densidad celular deberían tener un comportamiento de menor a mayor en función de la curva de crecimiento del fruto debido al incremento paulatino de los espacios intercelulares. Las diferencias obtenidas en los valores de gravedad específica pueden deberse a las distintas características anatómicas y estructurales de los frutos, adquiridas en función de las condiciones edafoclimáticas de la región de cultivo y de las intervenciones de manejo.

El comportamiento del volumen medular en función del volumen del fruto no ha mostrado una relación estable a lo largo del tiempo que permita remplazar con cierto grado de confianza el cálculo del mismo en cada unidad muestral evaluada.

CONCLUSIÓN

El procedimiento utilizado para estimar el número de células y medir el tamaño de las mismas a través las imágenes de réplica tiene la ventaja de que el tamaño celular en frutos frescos puede ser determinado rápidamente usando un microscopio de luz. Esta metodología es muy efectiva para los primeros estadios de crecimiento, aunque luego pierde efectividad cuando aumenta el contenido hídrico del fruto y la proporción de espacios intercelulares. Este método alternativo es igual de efectivo que otros procedimientos, de bajo costo y requiere de una infraestructura mínima.

El volumen del fruto puede obtenerse de manera apropiada a partir del cociente entre el peso y su gravedad específica para los frutos de peso superior a 5g.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Al-Hinai Y. y Roper T. 2004. Rootstock effects on growth, cell number, and cell size of “Gala” Apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129 (1): 37-41.
- Bradley M. 1961. Cell number in the mesocarp of normal vs. “June Drop” and “Button” fruits in the peach. *American Society for Horticultural Science* v. 80, 207-210.
- Bertin N.; Gautier H. y Roche C. 2001. Number of cells in tomato fruit depending on fruit position and source-sink balance during plant development. *Plant Growth Regulation* 00: 1-8.
- Goffinet M. ; Robinson T. y Lakso A. 1995. A comparison of “Empire” apple fruit size and anatomy in unthinned and hand-thinned trees. *Journal of Horticultural Science* 70 (3), 375-387.
- Martin W. 1935. Distribution of certain sugars in Bosc pears. *Plant Physiology* n° 4, vol. 10: 139-147.
- Ojeda H.; Deloire A.; Carbonneau A.; Ageorges A. y Romieu C. 1999. Berry development of grapevines: Relations between the growth of berries and their DNA content indicate cell multiplication and enlargement. *Vitis* 38 (4), 145-150.
- Olmstead J.; Iezzoni A. y Whiting M. 2007. Genotypic differences in sweet cherry fruit size are primarily a function of cell number. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 132 (5), 697-703.
- Scorza R.; May L.; Purnell B. y Upchurch B. 1991. Differences in number and area of mesocarp cells between small- and large- fruited peach cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116(5), 861-864.
- Shargal A. ; Golobovich S.; Yablovich Z.; Shlizerman L.; Stern R.; Grafi G.; Lev-Yadun S. y Flaishman M. 2006. Synthetic cytokinins extend the phase of division of parenchyma cells in developing pear (*Pyrus communis* L.) fruits. *J. of Hort. Sci. and Biotechnology* 81 (5), 915-920.
- Sugiura T.; Honjo H. y Horimoto M. 1995. Measuring fruit cell size and estimating changes in the number of fruit cells by replica or video microscope. *HortScience* 30 (2), 270-271.
- Westwood N. 1962. Seasonal changes in specific gravity and shape of apple, pear and peach fruits. *American Society for Horticultural Science* 80, 90-96.

- Westwood N.; Batjer L. y Billingsley H. 1967. Cell size, cell number, and fruit density of apples as related to fruit size, position in cluster, and thinning method. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 91, 51-62.
- Westwood N. 1982. *Fruticultura de zonas templadas*. Ed. MundiPrensa, Madrid, 461 pp.
- Wismer P.; Proctor J. y Elfving D. 1995. Benzyl adenine affects cell division and cell size during Apple fruit thinning. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120 (5), 802-807.
- Zhang C.; Tanabe K.; Tamura F.; Itai A.; Wang S. 2005. Partitioning of ¹³C-photosynthate from Spur Leaves during fruit growth of three Japanese pear (*Pyrus pyrifolia*) cultivars differing in maturation date. *Annals of Botany* 95, 685-693.
- Zhang C.; Tanabe K.; Tamura F.; Itai A.; Wang S.; Yoshida A. y Matsumoto K. 2006. The impact of cell division and cell enlargement on the evolution of fruit size in *Pyrus pyrifolia*. *Annals of Botany* 98, 537-543.

EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA FASE TEMPRANA DE CRECIMIENTO DEL FRUTO Y DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO POTENCIAL DE ACUERDO AL TAMAÑO Y NÚMERO DE CÉLULAS.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo y crecimiento del fruto comprende varias etapas que comienza en el momento de la diferenciación floral y desarrollo antes de la antesis (1), sigue con la antesis propiamente dicha, acompañada por la fecundación (2) y, por último, una etapa de crecimiento visible por aumento de tamaño del propio fruto (3). Esta última es muy estudiada y se ha fraccionado en distintas fases, básicamente división celular, elongación celular y madurez.

Si bien el número de células es uno de los principales condicionantes del crecimiento potencial del fruto, no se ha precisado cuál es el momento en que la división celular es prioritaria: antes de antesis (diferenciación floral), durante antesis ó en el período inmediato a la misma, o en ambas simultáneamente. Por ejemplo, la división celular en los pistilos de los frutos de carozo empieza a medida que sus primordios aparecen en el tejido del receptáculo a finales del verano (etapa final de la diferenciación floral) y continúa por un período de 2 a 4 semanas después de antesis. En manzana y pera, la división celular continúa en el tejido cortical del ovario por casi 8 semanas después de plena floración (Westwood, 1982).

Las técnicas de manejo en un monte frutal y los factores exógenos como el clima, intervienen durante todo el ciclo biológico del cultivo y pueden producir distintos tipos y grados de respuestas de acuerdo a cómo y cuándo se manifiestan. Cuando el objetivo es mejorar el tamaño de los frutos y la rentabilidad comercial, es muy importante identificar los momentos claves de intervención para lograr efectos positivos.

El tamaño final del fruto depende del número de células por fruto y de su potencial para crecer, por lo tanto todos los factores que aumenten la tasa de división celular, extiendan la duración de la fase y favorezcan la expansión de la célula son importantes en el crecimiento.

DIFERENCIACIÓN FLORAL Y PRE-ANTESIS

La producción de un monte frutal está determinada en primer lugar por el desarrollo de flores. Este proceso, en frutales de pepita, parte de la inducción floral que se desencadena dentro de los 50 días después de la antesis del año anterior, sobre yemas apicales vegetativas (Ryugo, 1988). La inducción está directamente relacionada al desarrollo de las primeras hojas y a la presencia de frutos. En las hojas se reciben los estímulos lumínicos y se sintetizan los carbohidratos y hormonas necesarias para desencadenar el proceso. El fruto contribuye principalmente en el balance hormonal (Ryugo, 1988).

La fase siguiente a la inducción es la diferenciación floral que comprende el desarrollo de la yema de flor. En frutales, la misma puede comenzar desde principios del verano hasta fines de otoño, dependiendo de la especie (Gil Albert Velarde, 1991; Westwood, 1982).

Un adecuado equilibrio nutricional de la planta asegura la calidad de la yema de flor. La fotosíntesis es el proceso por el cual la planta transforma compuestos inorgánicos

en productos claves para el crecimiento. La interceptación de luz fotosintéticamente activa es clave para optimizar la fotosíntesis si es acompañada adecuadamente de nutrientes minerales y agua. Existe una relación óptima de área foliar por fruto que permite una adecuada nutrición de yemas florales, frutos y otros órganos en crecimiento, y un posterior restablecimiento de las reservas en raíces, ramas y corteza (Sánchez, 1999).

Trabajos realizados en duraznos indican que el tamaño final de los frutos está determinado por la cantidad de células del mesocarpio que es establecido durante el desarrollo del ovario antes de antesis (Scorza *et al.*, 1991).

Dado que el mayor número de multiplicaciones mitóticas ocurre antes de la antesis propiamente dicha (Westwood, 1982; Barceló *et al.*, 1992) y que las reservas nutricionales de la planta son la fuente de energía principal durante la floración y las primeras etapas de crecimiento (Millard *et al.*, 1998; Sánchez, 1999), se puede suponer que la calidad nutricional de las yemas de flor y el tejido de reserva circundante condicionan el número de células inicial del tejido ovárico antes de antesis.

ANTESIS Y FECUNDACIÓN

La antesis comprende la expansión de pétalos y estambres que requieren un considerable alargamiento celular de cada órgano. Este proceso denominado floración utiliza energía respiratoria.

La fecundación en angiospermas determina, básicamente, el desarrollo de una semilla a partir del óvulo y de un fruto a partir del ovario. Si las condiciones son favorables, un polen compatible se hidrata sobre la superficie del estigma dentro de la hora siguiente a la polinización y germina. La longevidad del huevo de la ovocélula y la tasa a la cual el tubo polínico crece, depende de los abastecimientos de nutrientes y la tasa respiratoria de la ovocélula, tubo polínico y los tejidos estilares. Después de la fecundación

los compuestos nitrogenados y fotosintatos se traslocan al óvulo en desarrollo a través de haces vasculares. A este proceso se lo llama descarga del floema (Ryugo, 1988).

La energía inicial para el crecimiento vegetativo y la floración proviene de los alimentos de reserva en las células de almacenamiento de ramas, troncos y raíces. El aporte desde las reservas es utilizado hasta que las hojas nuevas se convierten en autosuficientes y empiezan a cubrir las demandas de otros puntos de crecimiento.

El óvulo fecundado es un destino muy fuerte de productos nutricionales de reserva y hormonas vegetales. Se han detectado picos de hormonas en el mesocarpio del fruto en el mismo momento en que se está desarrollando el endospermo y la nucéla (después de la fecundación).

En estudios realizados en vid se ha observado que el contenido endógeno de hormonas disminuye a medida que se aproxima el momento de antesis. Esta parece ser la causa por la cual en antesis se detiene el crecimiento del ovario y no se reanuda a menos que se produzca la polinización o que la flor reciba un estímulo equivalente; si esto no ocurre se desencadena la abscisión de la flor (Barceló *et al.*, 1992). Auxinas y giberelinas parecen ser los dos tipos de hormonas de crecimiento mediante los cuales el polen estimula el crecimiento del ovario (Westwood, 1982; Barceló *et al.*, 1992).

Después de la polinización el control de la fase inicial del desarrollo del fruto está regulado principalmente por las semillas. El número de semillas juega un rol importante que se atribuye a la cantidad de hormonas producidas por cada semilla. Sin embargo, existen cultivares autoestériles, como por ejemplo la pera cv. Williams, que retiene los frutos sin polinización (partenocarpia). Se ha comprobado que los frutos partenocarpicos tienen un alto contenido de hormonas que reemplazan el efecto de las semillas, posiblemente auxinas y giberelinas (Ryugo, 1988; Barceló *et al.*, 1992).

FASE DE DIVISIÓN CELULAR POST – FLORACIÓN

Contribución Genética, Hormonas y Redistribución de Fotoasimilados

Analizando el contenido de ADN en la pera japonesa cv. Hosui se han identificado cuatro fases de desarrollo del fruto: etapa de división celular, fase de preelongación, elongación y maduración (Ryugo, 1988). El período de división celular dura aproximadamente 30 días y se detecta por un pico y posterior caída en la cantidad de ADN. En la etapa de preelongación la cantidad de ADN se mantiene constante mientras el peso del fruto aumenta lentamente. Cuando la tasa de crecimiento del fruto se incrementa rápidamente, también se observa un aumento en la cantidad de ADN. Aquí se considera que comienza la fase de elongación celular que finaliza cuando se inicia la liberación de etileno (Ryugo, 1988). Manzanas y peras europeas muestran curvas de crecimiento del tipo simple sigmoidea con pequeñas irregularidades que son atribuidas a condiciones ambientales (Westwood, 1982; Faust, 1989).

De acuerdo a Westwood, (1982) y Barceló *et al.* (1992), el peso de los frutos carnosos, como los de pepita y carozo, al llegar a la madurez está determinado por el número y densidad celular desarrollados en el momento de anthesis y fecundación. El número de células depende de la intensidad y duración del período de división celular. Pero es necesario aclarar que el mayor número de multiplicaciones mitóticas ocurre antes de la anthesis propiamente dicha. Como citan estos autores tanto para manzanas como para uvas hay de 4 a 11 duplicaciones más, antes de floración que en el momento en que se da la misma. A partir de esto se puede suponer que el número de células en el tejido del ovario queda determinado principalmente antes de la fecundación, y que puede estar ligado al desarrollo de la yema floral y la calidad nutricional de la misma. Esta condición inicial podría modificar, entre otros factores, la potencialidad de las siguientes divisiones celulares durante los primeros 30 días después de floración.

A medida que la fase de división celular termina, cada célula comienza su elongación, y produce el crecimiento en tamaño del fruto. El volumen o tamaño de los mismos esta principalmente afectado por la fase de elongación o expansión celular.

Al inicio de la fase de elongación, las células tienen vacuolas muy pequeñas; luego la pared primaria y la membrana citoplasmática se adelgazan y las vacuolas pasan a ocupar un gran porcentaje del volumen celular. Tanto la pared celular como el contenido citoplasmático siguen en activo crecimiento debido a la síntesis continua de sustancias celulósicas, pépticas y proteínicas.

En estudios recientes sobre frutos carnosos, pero hortícolas como el tomate, se ha observado que la diferencia de tamaños de frutos entre genotipos distintos se debe principalmente a un fenómeno denominado endoreduplicación que puede ser desencadenado después de antesis y en la fase de elongación celular. Cheniclet *et al.*, (2005), al comparar el número y tamaño medio de las células, en antesis, no encontraron diferencias entre genotipos. Sin embargo, se encontraron grandes diferencias después de antesis. La diferencia de los tamaños celulares medios entre los distintos genotipos comprendía valores de 10 a 350 μm . Este incremento en tamaño se correlacionó positivamente con el nivel de ploidía de cada genotipo. Se sugiere que la elongación celular asociada a la poliploidia determina el peso final de los frutos en tomate y no así el número de células.

También se ha evaluado la contribución genotípica en el tamaño final de los frutos en distintas variedades de cerezo. Olmstead *et al.*, (2007) comprobó que la división celular está fuertemente influenciada por el genotipo al encontrar una importante diferencia en el número de células del mesocarpio entre las variedades de cerezo evaluadas. La cantidad de células era estadísticamente similar antes de antesis, sugiriendo que el aumento en número fue influenciado por la fecundación. Este número de células marca la diferencia en el diámetro radial de los distintos cultivares. Datos similares se obtienen al comparar distintos cultivares de pera asiática. Zhang *et al.*, (2006) observaron que el tamaño final de los frutos está directamente relacionado al número de células producido en el período inmediato a la

polinización y fecundación. Las diferencias de tamaños encontradas entre los distintos cultivares se debían a las tasas de división celular de cada uno.

En otros trabajos con peras asiáticas, se comprueba que el período de división celular es cultivar dependiente, siendo mayor el número de células de las variedades con periodos de división más largos. Estas diferencias entre cultivares se atribuyeron a una mayor tasa de fotosíntesis neta de las hojas de los dardos a 14 días después de antesis. Una mejor disponibilidad de fotoasimilados durante la fase de división celular da como resultado fruta de mayor tamaño (Zhang *et al.*, 2005).

En manzana se ha estudiado el efecto genotípico de distintos portainjertos para la variedad Gala y no se encontraron efectos sobre el crecimiento de los frutos y tamaño final de los mismos. Al-Hinai y Roper (2004) encuentran que el tamaño del fruto era determinado principalmente por el tamaño celular más que por el número de células establecido en la fase de división celular. Sin embargo, en otros estudios se han encontrado diferencias en el crecimiento del fruto de acuerdo al portainjerto utilizado y se atribuye la manifestación de este efecto a las condiciones climáticas estacionales de la región de cultivo, principalmente radiación y temperatura (Stanley *et al.*, 2000).

Existe una correlación importante entre el nivel de citocininas de semillas en desarrollo y la fase de división celular en el fruto joven (Sozzi, 2007). Las citocininas son requeridas para iniciar la proliferación celular en tejidos que aún no están dividiéndose y son también necesarias para mantener la actividad mitótica (Barceló *et al.*, 1992). En trabajos de Shargal *et al.* (2006), la aplicación externa de citocininas sintéticas en el período de división celular incrementó el tamaño de frutos de pera. Este efecto se explica porque promueve la división celular en el parénquima de la pulpa del fruto al extender el período de actividad mitótica. Se sugiere en estos ensayos que niveles normales de citocininas pueden restringir la expresión del desarrollo potencial de los frutos de pera. Si bien se consigue un aumento en el número de células, las mismas son de menor tamaño y su crecimiento posterior dependerá fundamentalmente de las condiciones presentes durante la fase de elongación celular. También se ha evaluado el efecto de citocininas sintéticas en manzanas y se encontró que la aplicación de las mismas durante el período de división

celular mejora el tamaño final de los frutos de la variedad Royal Gala. Este efecto se atribuye directamente a la estimulación de la división celular en el fruto (Stern *et al.*, 2003).

EFFECTO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES SOBRE LA DIVISIÓN CELULAR Y EL CRECIMIENTO

El complejo de variables meteorológicas: temperatura, radiación, precipitación, humedad, viento, a los que la planta está expuesta se denomina microclima. Todos los elementos del microclima interactúan simultáneamente y constantemente con la planta durante cada fase de su crecimiento y desarrollo. En frutales de hoja caduca el crecimiento a fines del invierno o principio de primavera es activado por la temperatura. Los promotores hormonales auxinas, citocininas y giberelinas incrementan su nivel drásticamente justo antes de floración (Seeley, 1990).

Según Gaylen *et al.* (1977), el proceso de antesis depende solo de la temperatura del aire. Después de cubierto el requerimiento en frío, los frutales de hoja caduca acumulan unidades de calor por encima de un umbral térmico dado, para llevar a cabo el desarrollo fenológico de las yemas de flor. Estudios en damascos, duraznos, manzanas y cerezas indican que después de cumplido el reposo invernal, el crecimiento responde a la temperatura en forma de una curva simple sigmoidea. Parte de una temperatura umbral efectiva y alcanza un óptimo a 25°C (Seeley, 1990).

La cuantificación de los efectos de la temperatura sobre las plantas y los procesos productivos está relacionada principalmente con sucesos bioquímicos. Johnson y Thornley (1985) demuestran que la respuesta a la temperatura, típica de los procesos involucrados en el crecimiento y desarrollo de las plantas, consiste en un aumento acelerado de la tasa de crecimiento (en función del tiempo) desde el cero (D), una sección lineal (entre A y B), un óptimo (B) y posteriormente una rápida caída (entre B y C) (Figura 3.1). El efecto de la

temperatura ocurre básicamente sobre las reacciones químicas que luego se manifiestan como respuestas biológicas y fisiológicas.

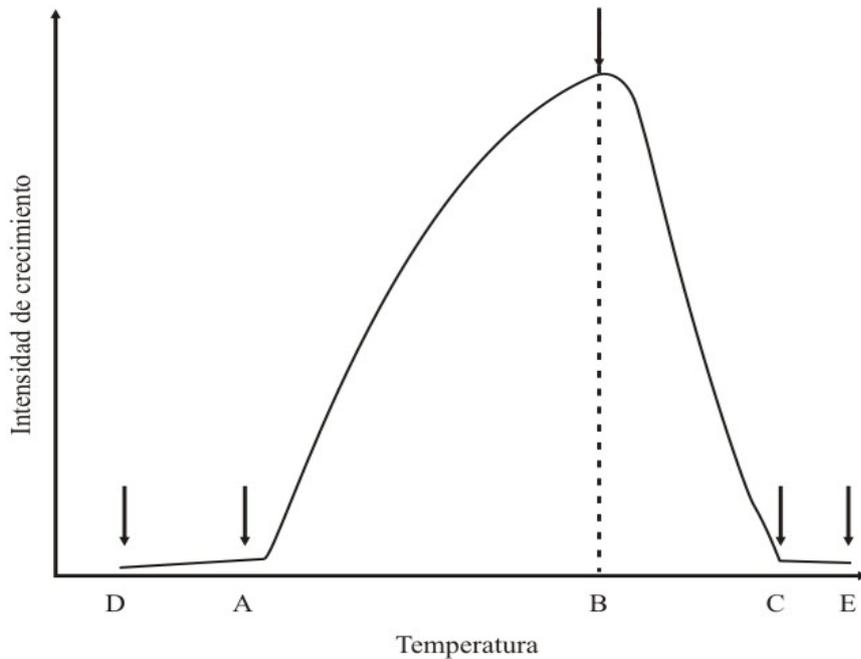


Fig. 3.1 Puntos cardinales de crecimiento. A temperatura base, B temperatura óptima, C temperatura umbral máxima, D temperatura mínima letal, E temperatura máxima letal.

La tasa de fotosíntesis bruta depende fuertemente de la temperatura y existe una temperatura umbral a partir de la cual la actividad fotosintética cesa, así mismo la respiración de mantenimiento es termodependiente por su relación directa con los procesos enzimáticos de degradación (Johnson y Thornley, 1985). La diferencia de lo producido y degradado por estos dos sucesos metabólicos da como resultado una ganancia en materia seca que se traduce como crecimiento de la planta o cultivo.

La respiración es considerada un complemento del proceso fotosintético y es el proceso mediante el cual se obtiene la energía necesaria para el crecimiento y el mantenimiento de los tejidos. En términos generales, entre 0 y 42°C, la respiración

responde logarítmicamente a la temperatura. La sensibilidad y velocidad de respuesta a la temperatura depende del tipo de tejido y del momento dentro del ciclo de crecimiento en el que se encuentre. En frutos de manzana se ha observado que la tasa de respiración responde rápidamente a la temperatura durante la fase de división celular y disminuye paulatinamente durante las fases posteriores (Lakso, 1994).

Trabajos realizados por Austin *et al.*, (1999) y Stanley *et al.*, (2000) en manzanas muestran que el crecimiento potencial del fruto se fija cerca de los 50 DDPF y está determinado por el número total de células que a su vez responde a las condiciones térmicas dadas durante la fase de división celular.

De acuerdo a Warrington *et al.*, (1999) la temperatura tiene un efecto importante sobre el crecimiento del fruto en los primeros 40 DDPF. Con temperaturas controladas entre 15° y 25° C se obtuvo un peso de fruto a cosecha 2 veces mayor que con rangos de 3° a 9°C. En condiciones de campo, varios autores han establecido que el periodo de división celular del mesocarpio de frutos de manzana, dura aproximadamente de 35 a 45 días después de antesis (citado por Warrington *et al.*, 1999). Podríamos suponer en base a esto que esta ganancia en peso se debe a un mayor número de células.

La relación entre el desarrollo fenológico de las yemas de flor y la temperatura comúnmente se expresa en términos de grados días o sumatoria de temperaturas efectivas. Consiste básicamente en la sumatoria diaria de la diferencia entre la temperatura media del aire y el valor de temperatura umbral. Esta temperatura umbral es también denominada temperatura base o crítica y depende principalmente del cultivo y de la fase de desarrollo en que se encuentre (Pascale y Damario, 2004). En trabajos de Tabuenca y Herrero (1966) se utilizó, para el cálculo de grados días en manzanos y perales, un umbral de 6°C. Ryugo (1988) menciona que la temperatura crítica para frutales de pepita es de 7°C y Stanley *et al.*, (2000) encuentra correlaciones significativas entre el crecimiento del fruto de manzana y la temperatura de aire utilizando para el cálculo de grados días un umbral de 10°C.

El resto de las variables meteorológicas: radiación, régimen hídrico (en regiones de clima árido), velocidad del viento, tienen un efecto más importante en las etapas

posteriores a la fase de división celular, principalmente interfiriendo en el proceso fotosintético y abastecimiento de nutrientes (Ryugo, 1988; Lakso, 1994; Williams et al., 1994; Mitchell et al., 1994).

Sin embargo, se han encontrado en algunos cultivos relaciones estrechas entre el número de células y el estrés hídrico. La uva es muy susceptible al déficit hídrico durante la fase de división celular (Ojeda *et al.*, 1999; Ojeda *et al.*, 2001), al igual que el olivo (Rapoport *et al.*, 2004). Bajo condiciones de estrés hídrico aumentan los niveles endógenos de ABA y decrece el movimiento auxínico frenando el crecimiento (Seeley, 1990; Parsons, 1990). Las citocininas producidas en las raíces son movilizadas a los órganos en crecimiento a través del flujo auxínico (Westwood, 1982). Sugiere que en esta situación disminuiría el contenido de citocininas en las yemas afectando la capacidad de división mitótica de las mismas.

En cultivos como el peral y el durazno no se ha detectado sensibilidad al estrés hídrico durante la primera fase de crecimiento de los frutos (Lakso, 1990).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudió el efecto de la temperatura durante 2 ciclos de crecimiento sucesivos en pera cv Williams sobre pie franco. El ensayo se llevó a cabo en una parcela experimental dentro de la EEA INTA Alto Valle, provincia de Río Negro (39°01 de latitud Sur y 67°40 de longitud Oeste, a 242 metros sobre nivel del mar) en cultivo de 15 años de edad que se encuentra orientado en sentido este-oeste. El sistema de conducción es el de espaldera modificada y el marco de plantación es de 4m x 2m.

FENOLOGÍA

El seguimiento fenológico del monte se realizó desde el mes de agosto hasta octubre del año 2006 y 2007. Los estados fenológicos se determinaron siguiendo el método de Fleckinger, (1965), que es usado en frutales de pepita y es un método de notación de los órganos de fructificación. La notación tiene como base una serie de estados característicos llamados estados de referencia, cada uno de los cuales se designa con las primeras letras del alfabeto.

En este trabajo intereso conocer específicamente la fecha en la que se alcanzó el estado de plena floración (estado F2). Para que ésta sea registrada correctamente, las observaciones se iniciaron en estado A (yema dormida) y finalizaron en el estado G (caída de pétalos).

Para determinar el estado de un monte en particular, se seleccionaron 2 árboles representativos, alejados de las alamedas y bordes de la parcela. En estos árboles se marcaron 2 ramas primarias fructificadas y, sobre ellas, se efectuaron las observaciones.

En cada una de las ramas seleccionadas y marcadas se determinó el estado de referencia preponderante. Se consideró alcanzada la etapa F2 cuando el 80% de las flores de cada rama estaban abiertas. Luego, con cada una de las observaciones (una por cada rama marcada) se determinó el estado fenológico de la parcela.

Esta operación se realizó dos veces por semana.

NÚMERO Y TAMAÑO DE CÉLULAS

Para realizar esta determinación, se trabajó sobre una muestra al azar de 10 frutos grandes y 10 chicos recolectados a los 10, 20, 30, 40, 50, 60 días después de plena floración (DDPF) y en cosecha. La metodología utilizada para determinar el número y tamaño celular fue por obtención de replicas de la primer capa de células de una sección de la superficie ecuatorial del fruto, utilizando esmalte de uñas. Esta técnica se explica con más detalle en el Capítulo 2.

Para evaluar el aumento del número de células se empleó el modelo logístico, utilizado comúnmente para describir el crecimiento de los frutos (Wismer *et al.*, 1995; Bramardi *et al.*, 1998; Ojeda *et al.*, 1999; Al-Hinai y Roper, 2004; Shargal *et al.*, 2006), ecuación 3.1. Se determinó la longitud del período de división celular ajustando una curva sigmoidea de acuerdo a dicho modelo. Se consideró finalizado el período de división celular cuando la tasa de multiplicación celular adquiere valores inferiores al 15 % de su máximo.

$$\text{Número de células } (10^6) = A / 1 + e^{(B-C*DDPF)} \text{ (ecuación 3.1)}$$

A: parámetro relacionado con el número final de células, asíntota superior.

B: parámetro que depende del número inicial de células.

C: parámetro que caracteriza la tasa de división celular.

El crecimiento de las células se evaluó utilizando un modelo de tipo exponencial, ecuación 3.2. Donde e es la base de los logaritmos neperianos ($e= 2.718$) y **A** y **B** son los parámetros de la función (valor constante).

$$\text{Volumen celular } (\mu^3 \times 10^6) = A * e^{(B*DDPF)} \text{ (ecuación 3.2)}$$

A: parámetro relacionado con el volumen inicial de la célula, cuando $DDPF=0$.

B: parámetro relacionado a la velocidad de crecimiento de la curva desde un valor inicial, determinado por la magnitud de A.

Se analizó el número de células, tamaño celular y período de división celular para dos categorías de tamaño (frutos grandes y chicos) y dos temporadas productivas (años 2006 y 2007) con un análisis estadístico de comparación de medias. La relación existente entre el número de células y el tamaño de los frutos se evaluó a partir de un análisis de regresión entre las dos variables para cada momento evaluado después de plena floración.

CURVAS DE CRECIMIENTO

Para realizar las curvas de crecimiento desde el estado fenológico de floración y hasta 60 DDPF, cada diez días se realizó la extracción de 10 frutos de dos categorías de tamaño, grandes y chicos, registrando su peso.

La curva de crecimiento del fruto, peso en función de los días transcurridos después de plena floración, responde a un modelo matemático de tipo exponencial (ecuación 3.3). Nuevamente e es la base de los logaritmos neperianos ($e= 2.718$) y A y B son los parámetros de la función (valor constante).

La tasa diaria de crecimiento del fruto en función del peso se obtuvo a partir de la derivada primera de dicha función (ecuación 3.4).

$$\text{Peso (g)} = A * e^{B * \text{DDPF}} \quad (\text{ecuación 3.3})$$

$$\text{Tasa de crecimiento (g/día)} = A * B * e^{B * \text{DDPF}} \quad (\text{ecuación 3.4})$$

El valor de los coeficientes “A” y “B” se obtuvieron al linealizar la ecuación 3.3 y plantear el modelo de regresión lineal entre el logaritmo natural del peso de los frutos y los días después de plena floración (DDPF).

ANÁLISIS DE TEMPERATURA

En cada estación de crecimiento se registró la temperatura media horaria del aire mediante 3 almacenadores de datos con un total de 10 sensores de temperatura. Los sensores se distribuyeron equitativamente dentro de la parcela experimental colocando 5 en la cara norte y 5 en la cara sur de las filas, a una altura media de 1,5 metros del suelo. Los registros se programaron con una frecuencia de 15 minutos.

Los sensores de temperatura fueron calibrados por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). La metodología empleada consiste en comparar la indicación del termómetro a calibrar con la indicación de dos termómetros de resistencia de platino, sumergidos en baños con temperatura estabilizada en valores próximos a -10°C , 0°C y 40°C , según procedimiento de calibración INTI-PE-35.

A partir de estos resultados se genera una curva de calibración siguiendo un modelo del tipo lineal y se determina la ecuación empleada posteriormente para la corrección de los valores de temperatura registrados a campo (ecuación 3.6).

$$T_c = - 0,204 + 1,02 * T_i \text{ (ecuación 3.6)}$$

T_c : Temperatura corregida

T_i : Temperatura indicada por el instrumento

La comparación de las condiciones térmicas de las dos temporadas de estudio se realizó a través del cálculo de integrales térmicas empleando el programa Degree Day Utility (DDU-versión 2.3 Univ. De California, 1994), con la acumulación de temperaturas efectivas (grados días) y temperatura media de aire. Para el primer método se requiere determinar un umbral de temperatura máxima y otro de mínima. Estos valores se obtuvieron del análisis de temperaturas máximas y mínimas diarias de aire en abrigo meteorológico, ocurridas durante los primeros 60 DDPF para 15 años de registro de la serie 1992-2006. El umbral de temperatura mínima fue de 5°C y el máximo fue de 21°C y de 25°C. Para el cálculo de las temperaturas efectivas se utilizaron tres valores de temperatura base: 4,5°, 7° y 10°C.

La temperatura media horaria del aire dentro del monte, usada para el análisis a través de integrales térmicas y temperaturas efectivas, se obtuvo del promedio de los valores registrados en todos los sensores. El cálculo de temperaturas efectivas se realizó cada 10 días comenzando 20 días antes de antesis.

Para relacionar el efecto de la temperatura sobre el crecimiento de los frutos en la primer fase de su ciclo se plantean modelos de regresión del tipo lineal y polinomial (ecuación 3.8 y 3.9).

$$Y = a + b.x \text{ (ecuación 3.8)}$$

$$Y = a + b.x + b.x^2 \text{ (ecuación 3.9)}$$

Donde “y” es el parámetro de crecimiento (tasa de división celular, peso) y “x” representa a los grados días determinados por la sumatoria de temperaturas efectivas (temperatura base 4,5, 7 y 10°C), DDU y temperatura media para el período comprendido en los primeros 60 días después de antesis. Se consideró superior al modelo con mayor R². El análisis se realizó con las tasas de crecimiento obtenidas cada 10 días. Del mismo modo, los parámetros térmicos corresponden al valor acumulado en ese lapso de tiempo. Esta

forma de análisis permitió independizar a las variables en estudio del efecto acumulativo propio del paso del tiempo.

La variabilidad interanual se analizó con un análisis de varianza entre años para número de células, volumen celular y peso de fruto, desde los 10 a los 60 DDPF.

RESULTADOS

CRECIMIENTO DEL FRUTO EN LOS 60 DDPF Y DURACIÓN DEL PERÍODO DE DIVISIÓN CELULAR

Los valores medios de las variables utilizadas para medir el crecimiento y desarrollo de los frutos de pera cv. William's durante los primeros 60 DDPF permiten observar que los frutos grandes tienen mayor número de células que los de categoría chico. Esta diferencia es estadísticamente significativa hasta los 40 DDPF para los dos años de estudio. Sin embargo para los 50 y 60 DDPF se observan diferentes comportamientos de acuerdo a la temporada (Tablas 3.1 y 3.2).

Hasta los 40 DDPF los frutos categorizados como grandes son de 2 a 2,7 veces más pesados que los de tamaño chico y tienen de 1,4 a 1,5 veces más células. Esta diferencia en el número de células permanece igual de los 10 a los 60 DDPF.

En cuanto al tamaño celular se observa que a partir de los 20 DDPF el aumento es constante y es más pronunciado a partir de los 40 DDPF. Existe una clara diferencia en el volumen celular de frutos chicos y grandes.

Tabla 3.1 Evolución del tamaño del fruto de pera cv. William's, en los primeros 60 días después de plena floración (DDPF) de acuerdo al peso, diámetro y características histológicas, número y tamaño de células, para el año 2006. N = 10 frutos por categoría de tamaño.

DDPF	Peso de fruto(g)		Diámetro ecuatorial (mm)		Número de células (10 ⁶)		Volumen celular (μ ³ x10 ⁶)	
	Chico	Grande	Chico	Grande	Chico	Grande	Chico	Grande
10	0,4	1,1	7,9	11,3	18	31 *	0,03	0,04 ^{NS}
20	1,2	3,3	11,7	16,8	80	105 **	0,02	0,03***
30	2,4	6,9	15,0	21,8	94	135***	0,03	0,05***
40	9,1	15,1	24,2	28,2	123	159 *	0,07	0,09***
50	14,9	23,7	28,8	34,0	121	140 ^{NS}	0,10	0,15***
60	28,9	44,2	36,5	42,5	129	144 ^{NS}	0,22	0,28 **

DDPF: Días después de plena floración, NS: Diferencia no significativa al 5%. *, ** Y *** Diferencia significativa al 5, 1 y 0,1 %, respectivamente entre categoría de tamaños.

Tabla 3.2 Evolución del tamaño del fruto de pera cv. William's, en los primeros 60 días después de plena floración (DDPF) de acuerdo al peso, diámetro y características histológicas, número y tamaño de células, para el año 2007. N = 10 frutos por categoría de tamaño.

DDPF	Peso de fruto(g)		Diámetro ecuatorial (mm)		Número de células (10 ⁶)		Volumen celular (μ ³ x10 ⁶)	
	Chico	Grande	Chico	Grande	Chico	Grande	Chico	Grande
10	0,4	1,1	7,9	11,3	34	53 **	0,01	0,01 ^{NS}
20	1,2	3,7	11,7	17,5	59	120***	0,02	0,03***
30	4,4	9,7	18,6	24,7	130	195***	0,02	0,05***
40	7,0	16,6	22,0	29,9	133	197***	0,05	0,08***
50	14,2	25,5	28,3	34,9	114	168***	0,13	0,14 ^{NS}
60	27,9	47,1	36,0	43,5	121	153 **	0,23	0,29 **

DDPF: Días después de plena floración, NS: Diferencia no significativa al 5%. *, ** Y *** Diferencia significativa al 5, 1 y 0,1 %, respectivamente entre categorías de tamaño.

El número de células estimado para cada momento después de plena floración (para cada año y categoría de tamaño) se ajustó a una curva logística. Los parámetros de cada una de las curvas y el coeficiente de ajuste se presentan en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Parámetros del modelo logístico ajustado para el número de células en el mesocarpio del fruto de pera cv William's para frutos grandes y chicos en los años 2006 y 2007.) $Y = A / 1 + e^{(B-C*DDPF)}$

Temporada	A	B	C	R ² Ajuste
2006				
Frutos chicos	128	2,91	0,16	0,58
Frutos grandes	147	3,49	0,22	0,61
2007				
Frutos chicos	131	4,72	0,25	0,39
Frutos grandes	176	3,51	0,23	0,39

Se observa que el número de células en función del tiempo parte de un valor e incrementa su pendiente hasta alcanzar un punto de inflexión a partir del cual la función tiende a una asíntota. Es en este punto en el que se considera que se ha alcanzado el número definitivo de células en el mesocarpio del fruto. De acuerdo al modelo planteado el fruto incrementa de 4 a 5 veces el número de células desde los 10 DDPF hasta el momento en que finaliza la fase de división celular y comienza a visualizarse claramente la fase de elongación celular. En frutos grandes se obtuvo un total de 147 millones para el primer año y 176 millones de células para el segundo. En los frutos chicos no se superan los 130 millones.

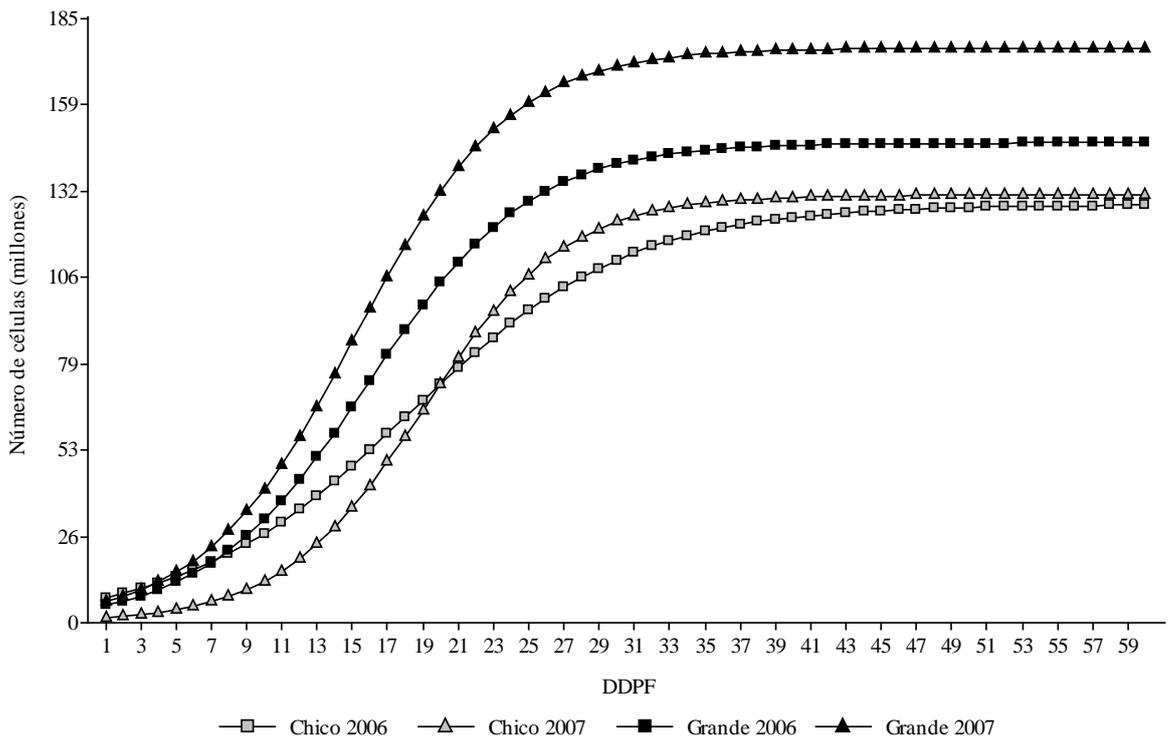


Fig. 3.2 Variación del número de células en pera cv William's, obtenido en cada año de estudio y para cada categoría de tamaño en función de los días transcurridos desde el momento de plena floración.

La fase de división celular en el mesocarpio del fruto después de anthesis presentó una duración de 29 y 28 días en frutos de tamaño grande (para 2006 y 2007, respectivamente). En frutos chicos la longitud de la fase de división celular varía para cada estación de crecimiento, en 2006 fue de 36 días y en 2007 de 29 días. Las tasas de división celular máximas se produjeron entre los 15 y 17 DDPF para los frutos de mayor tamaño y entre los 18 y 20 DDPF para los más chicos (figura 3.3). Para cada año se observa que los frutos de tamaño chico alcanzaron su máxima tasa de división celular dos días después que para los frutos grandes.

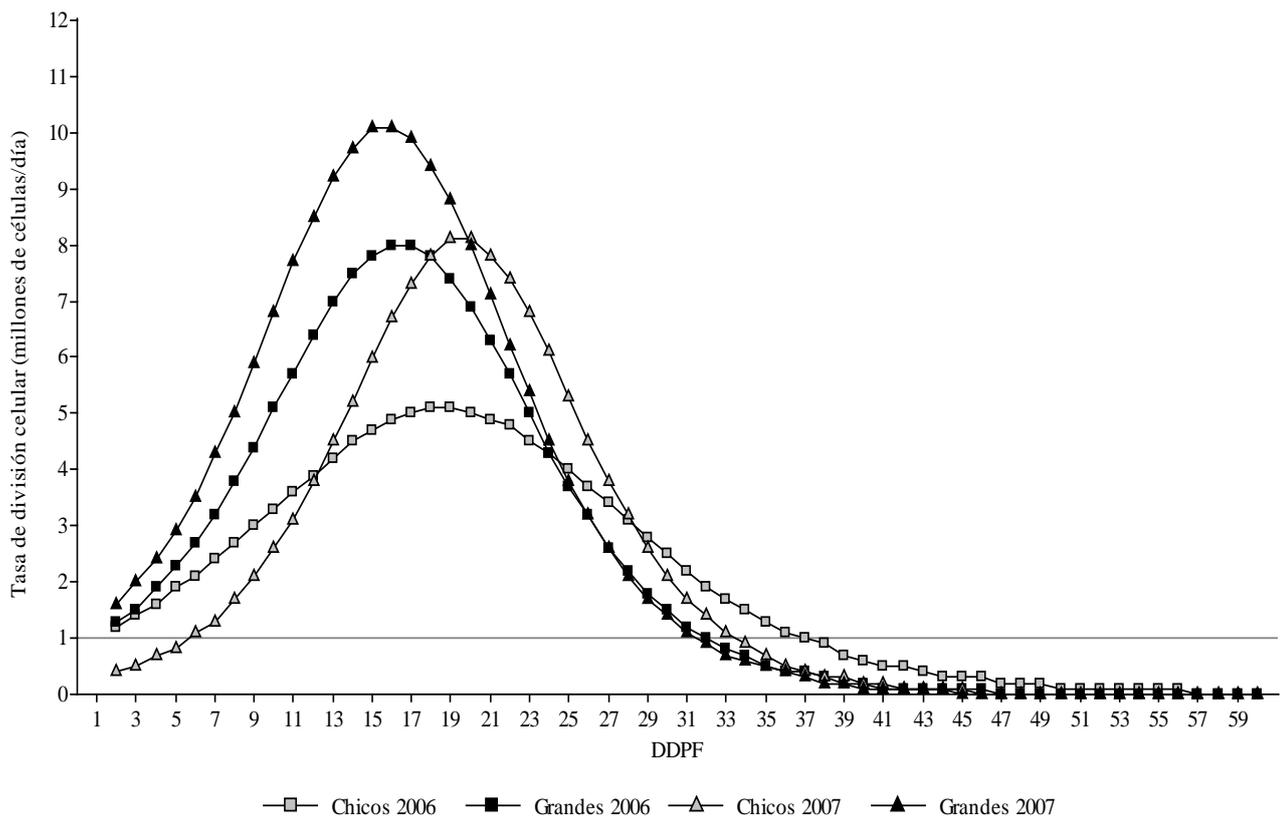


Fig. 3.3 Tasa de división celular en pera cv William's obtenida en cada año de estudio y para cada categoría de tamaño en función de los días transcurridos desde el momento de plena floración.

El crecimiento de la célula se ajusta correctamente a un modelo de tipo exponencial. Se obtuvo una curva para cada categoría de tamaño y año de estudio (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Parámetros del modelo exponencial ajustado para el volumen de células del fruto de pera cv William's para frutos grandes y chicos en los años 2006 y 2007. $Y = A * e^{(B * DDPF)}$

Temporada	A	B	R ² Ajuste
2006			
Frutos chicos	0,0039	0,067	0,86
Frutos grandes	0,0104	0,054	0,93
2007			
Frutos chicos	0,0032	0,073	0,83
Frutos grandes	0,0060	0,064	0,88

Observando las curvas obtenidas para volumen celular se corrobora visualmente que la fase de elongación celular se intensifica entre los 30 y 40 DDPF dado el rápido incremento del tamaño celular (Figura 3.4). Las células de los frutos chicos son de menor tamaño con respecto a los frutos grandes, pero esta diferencia disminuye después de los 50 DDPF, principalmente en la temporada 2007.

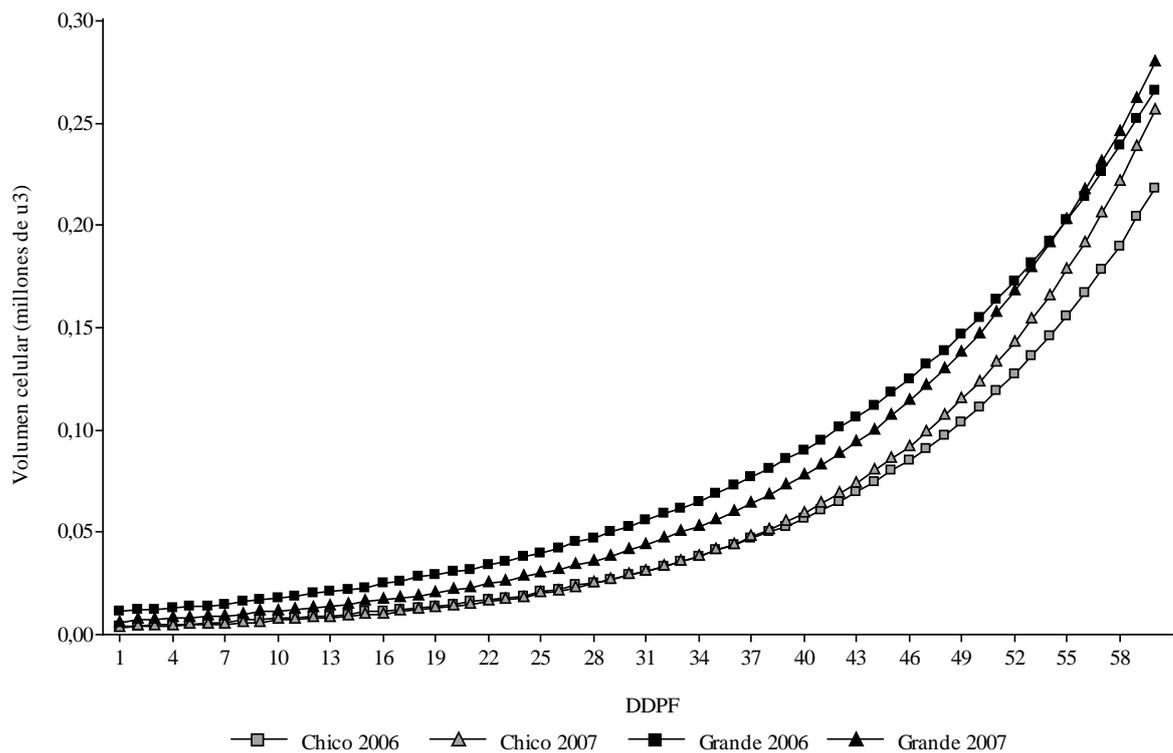


Fig. 3.4 Volumen celular obtenido en pera cv William´s en cada año de estudio y para cada categoría de tamaño en función de los días transcurridos desde el momento de plena floración.

De acuerdo a lo observado anteriormente existe un efecto marcado del año sobre la respuesta del crecimiento a nivel celular.

Los frutos de tamaño grande generalmente presentaron un comportamiento similar entre años en lo que respecta al tamaño celular y peso de fruto. El número de células, sin embargo, mostró cierta variabilidad entre temporadas para las dos categorías de tamaño estudiadas (Figuras 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8).

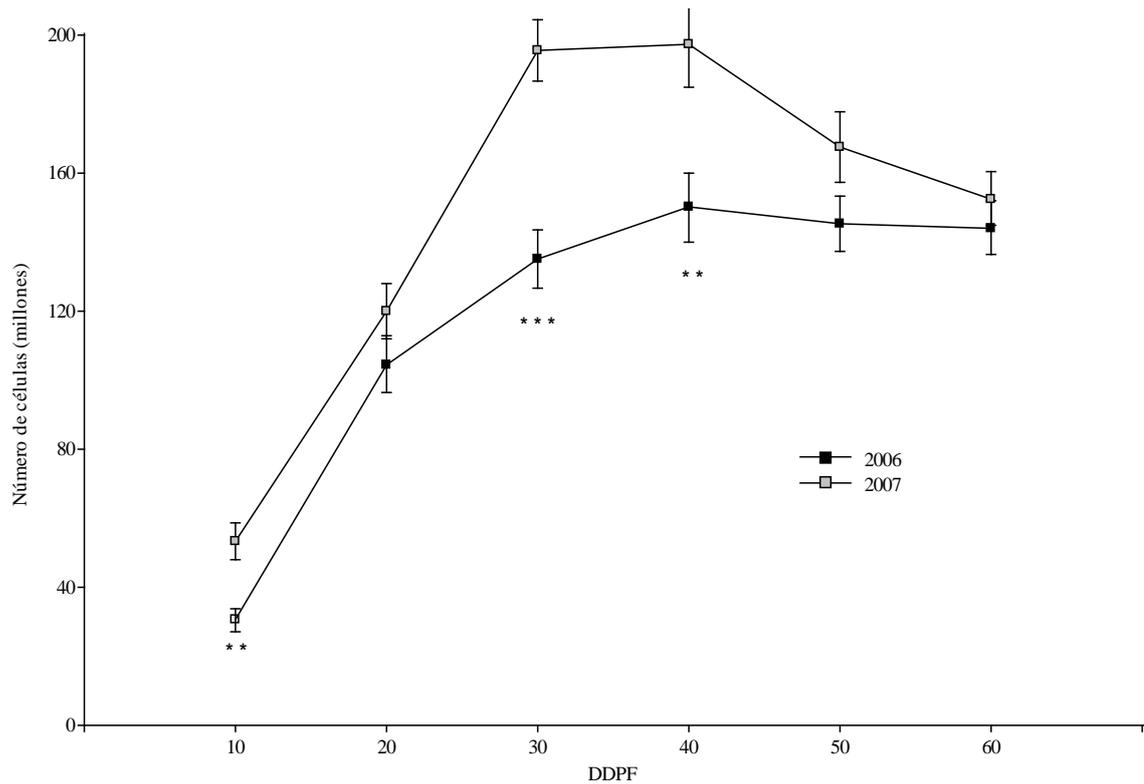


Fig. 3.5. Variación del número de células medio (millones) + error estándar en frutos de pera cv William's de tamaño grande de acuerdo a los días después de plena floración (DDPF), para las temporadas 2006 y 2007. ANOVA *, ** y *** Diferencia significativa al 5, 1 y 0,1% respectivamente del número de células entre los frutos entre años para cada fecha.

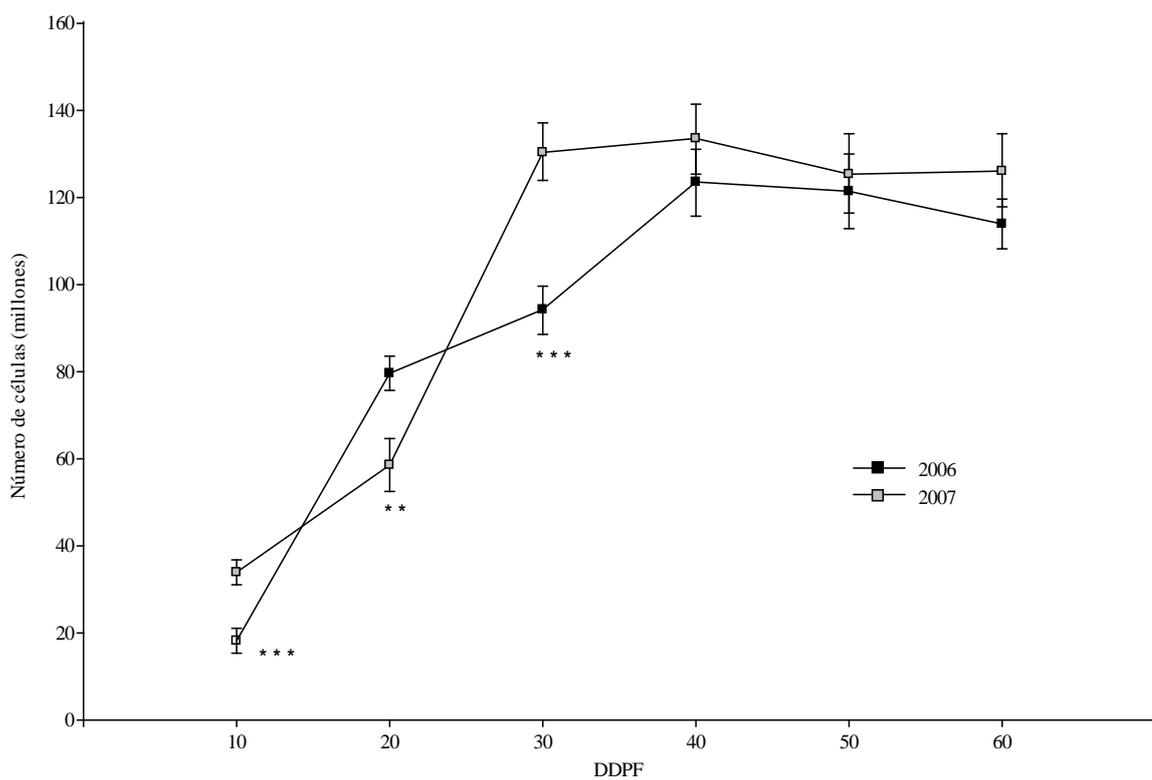


Fig. 3.6. Variación del número de células medio (millones) + error en frutos de pera cv William's de tamaño chico de acuerdo a los días después de plena floración (DDPF), para las temporadas 2006 y 2007. ANOVA *, ** y *** Diferencia significativa al 5, 1 y 0,1 % respectivamente del número de células entre los frutos entre años para cada fecha.

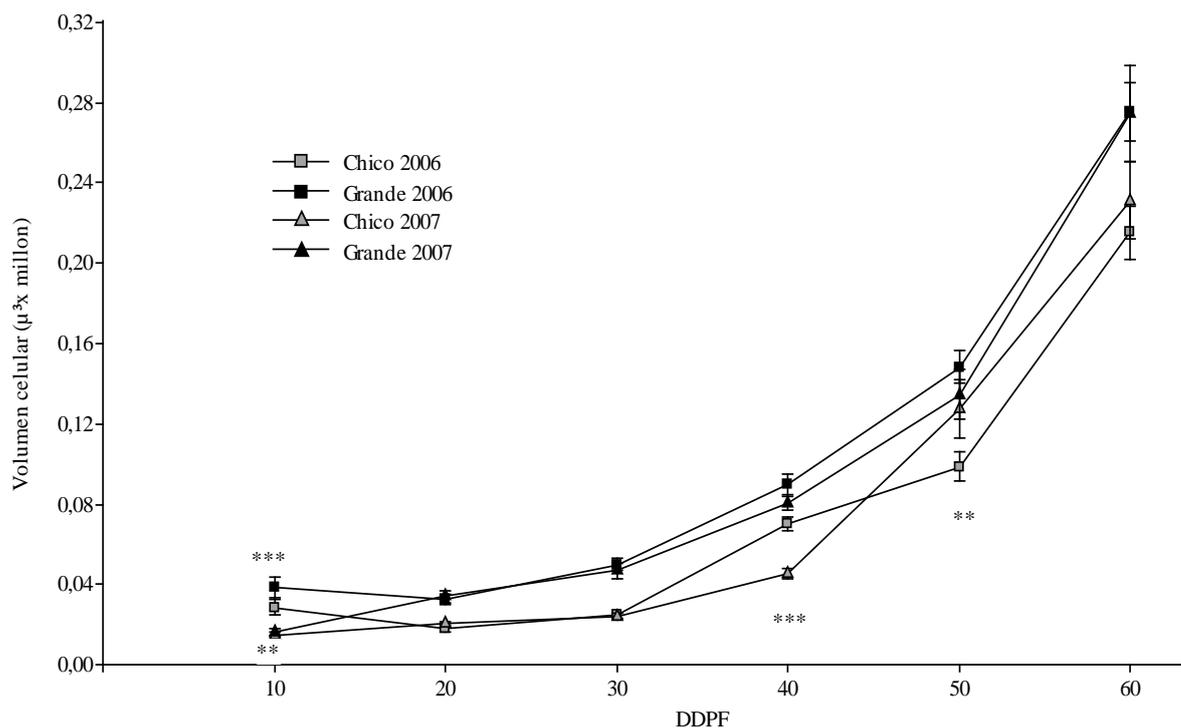


Fig. 3.7. Variación del volumen celular medio ($\mu^3 \times$ millón) + error estándar en pera cv William's para frutos de tamaño chico y grande, en las temporadas 2006 y 2007. ANOVA *, ** y *** Diferencia significativa al 5, 1 y 0,1 % respectivamente del tamaño celular entre años, para cada categoría de tamaño para cada fecha.

Los datos proporcionados por las curvas ajustadas para número de células a través del modelo de tipo logístico y volumen celular por medio del modelo exponencial, permiten observar con mayor claridad el comportamiento generalizado en cada temporada (figura 3.2 y 3.4).

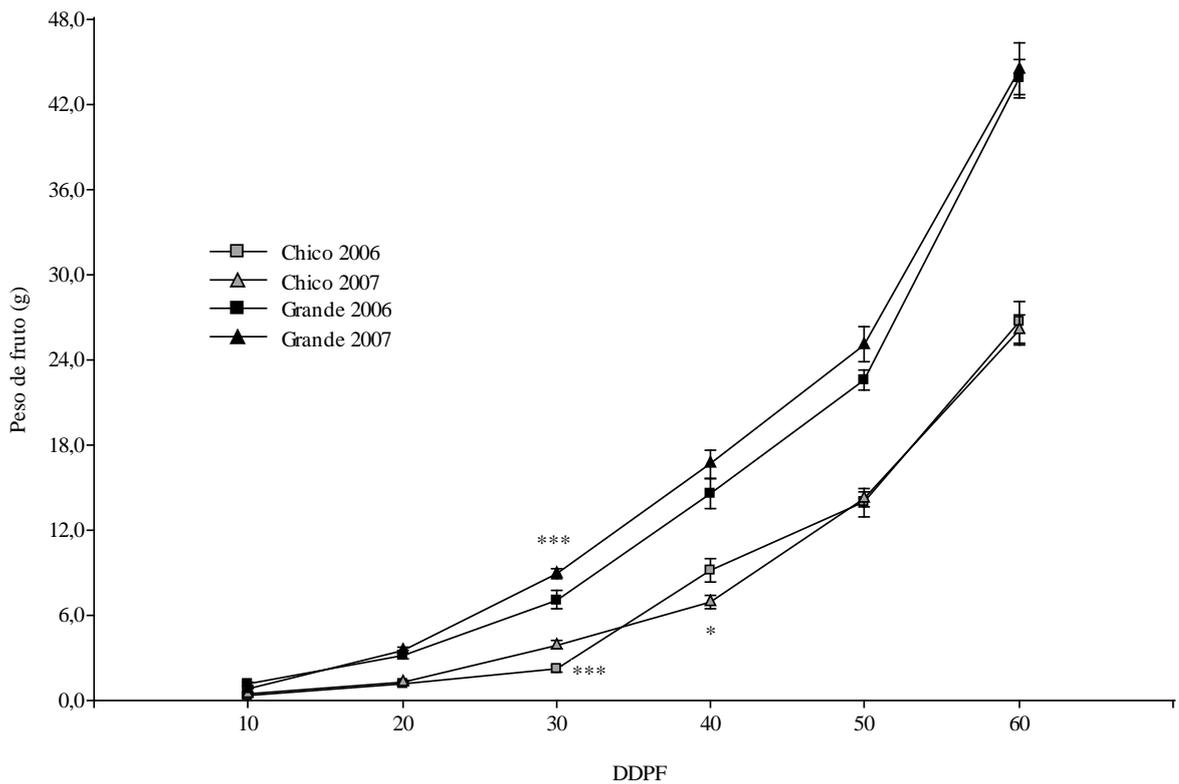


Fig. 3.8. Variación del peso medio (g) de frutos grandes y chicos de pera cv William's desde los 10 a los 60 DDPF. Valor medio + error estándar. ANOVA *, ** y *** Diferencia significativa al 5, 1 y 0,1 % respectivamente del peso medio del fruto entre años, para cada categoría de tamaño.

La relación encontrada entre el número de células y el peso de los frutos fue altamente significativa ($p= 0.0001$) y respondió a un modelo de regresión lineal para el período de los 10 a los 30 DDPF ($R^2= 0,76$), es decir durante la fase de multiplicación celular (Figura 3.9).

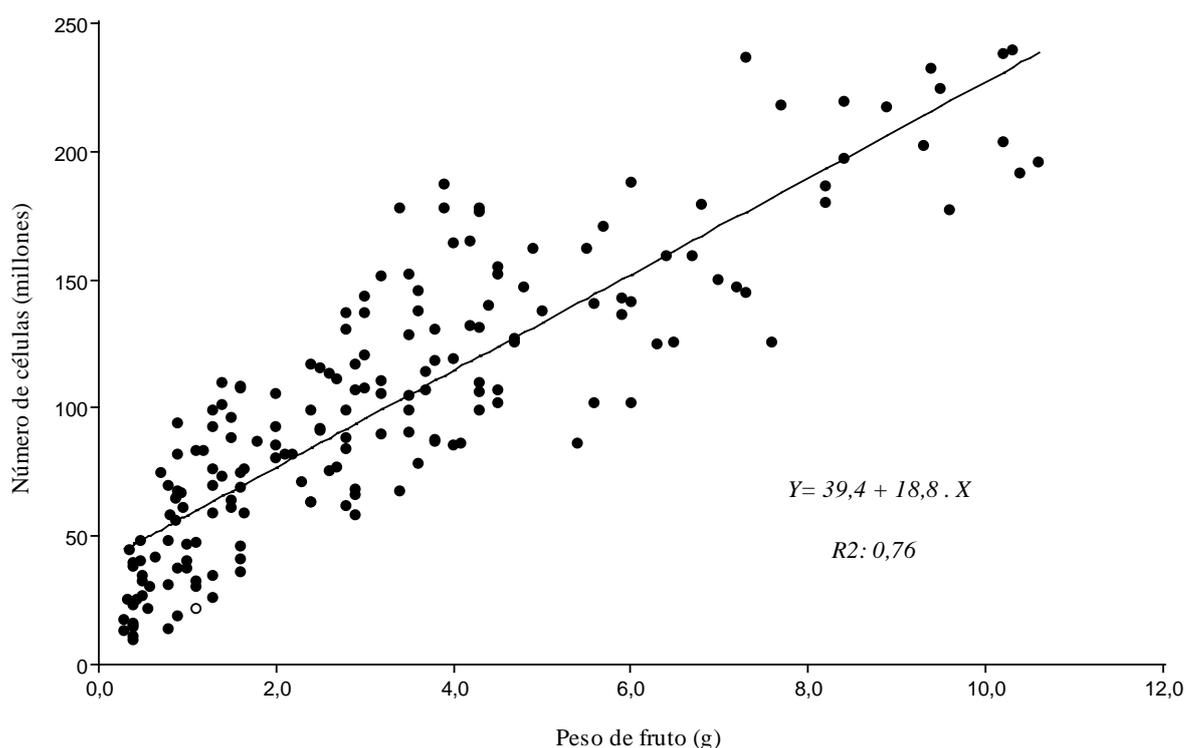


Fig. 3.9. Modelo de regresión lineal entre el número de células y el peso medio de los frutos en los 30 DDPF de pera cv William's.

Un incremento en el peso del fruto de 4 g se consigue con 75 millones más de células. Esta diferencia de peso se aproxima a la encontrada entre frutos de tamaño chico y grande al finalizar el periodo de división celular (Tablas 3.1 y 3.2). Con capacidades de multiplicación celular como las estimadas para las dos temporadas de estudio, los frutos de tamaño chico requieren de 5 a 6 días más de crecimiento que los de tamaño grande para obtener el mismo tamaño inicial o potencial (pre-elongación celular).

El tamaño celular se relaciona fuertemente con el peso del fruto ($p = 0,0001$) durante el período comprendido entre los 20 y 60 DDPF. El coeficiente de determinación (R^2) fue de 0,86 (Figura 3.10).

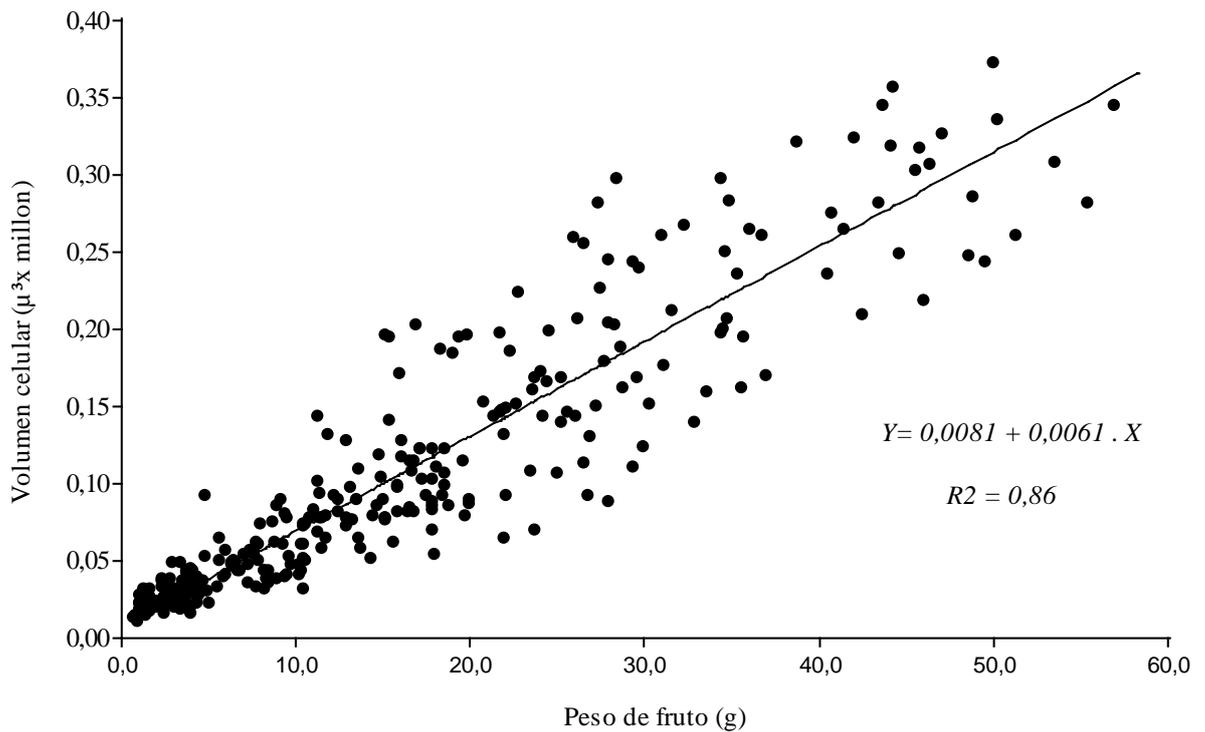


Fig. 3.10. Modelo de regresión lineal entre el volumen de células y el peso medio de los frutos en el periodo entre los 20 y 60 DDPF de pera cv William's.

El tamaño celular se relaciona positivamente con el tamaño del fruto. A partir de los 20 DDPF se inicia la expansión celular. En frutos grandes a partir de los 30 DDPF es notable el aumento del volumen celular sin embargo, en los frutos de menor tamaño, este incremento comienza más tarde, aproximadamente a los 40 DDPF.

Evidentemente existe una interfase entre el período de división celular y el de elongación celular. Que se esté en presencia de una u otra fase depende de la intensidad con que se desarrolla cada proceso y esto, a su vez, está ligado al tamaño del fruto.

A los 40 DDPF, cuando efectivamente ha comenzado a manifestarse la fase de elongación celular, los frutos categorizados como grandes tienen un 40 % más de tamaño celular que los chicos y el doble de peso. En el lapso de 10 días, desde que se considera finalizada la fase de división celular (30 DDPF) hasta los 40 DDPF, la ganancia en peso de los frutos en general es de aproximadamente el 40 %, pero el incremento del volumen

celular es mayor para los frutos de tamaño grande con respecto a los pequeños, 36 % y 31 %, respectivamente.

En los primeros 60 DDPF la relación entre el peso y el diámetro ecuatorial de los frutos responde a un modelo del tipo potencial, de acuerdo a lo que muestra la Figura 3.11. La relación obtenida ($y = 0,00122 x^{2,8}$), con un R^2 de 0,99, tiene interés práctico porque el diámetro del fruto es una medición no destructiva que puede realizarse directamente a campo y, a partir de ella, inferir otras variables para caracterizar el complejo proceso de crecimiento y desarrollo del fruto. Siguiendo la situación planteada anteriormente una ganancia en peso del 40%, en los 10 días siguientes al período de división celular, implica 3,5 y 5 mm más de diámetro en frutos chicos y grandes, respectivamente.

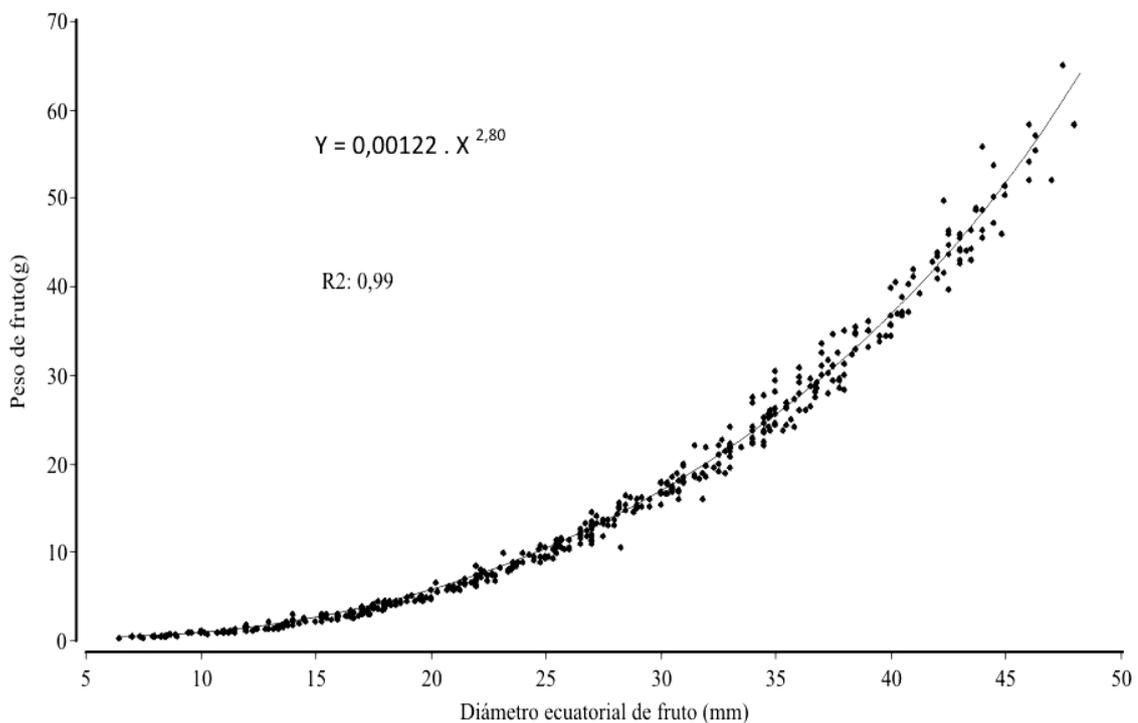


Fig. 3.11. Relación entre el peso y el diámetro del fruto de pera cv William's en los primeros 60 DDPF.

El peso de los frutos al momento de cosecha se relaciona claramente con el número de células. Los categorizados como grandes tuvieron un rango de variabilidad aproximadamente de 100 a 200 millones, mientras que los chicos no superan los 130 millones (Figura 3.12). Entre estas dos categorías existe una gran diversidad de tamaños de fruto y en conjunto, determinan la distribución obtenida a cosecha (Anexo 2). No se presentan los datos correspondientes a la temporada 2007 por errores de muestreo.

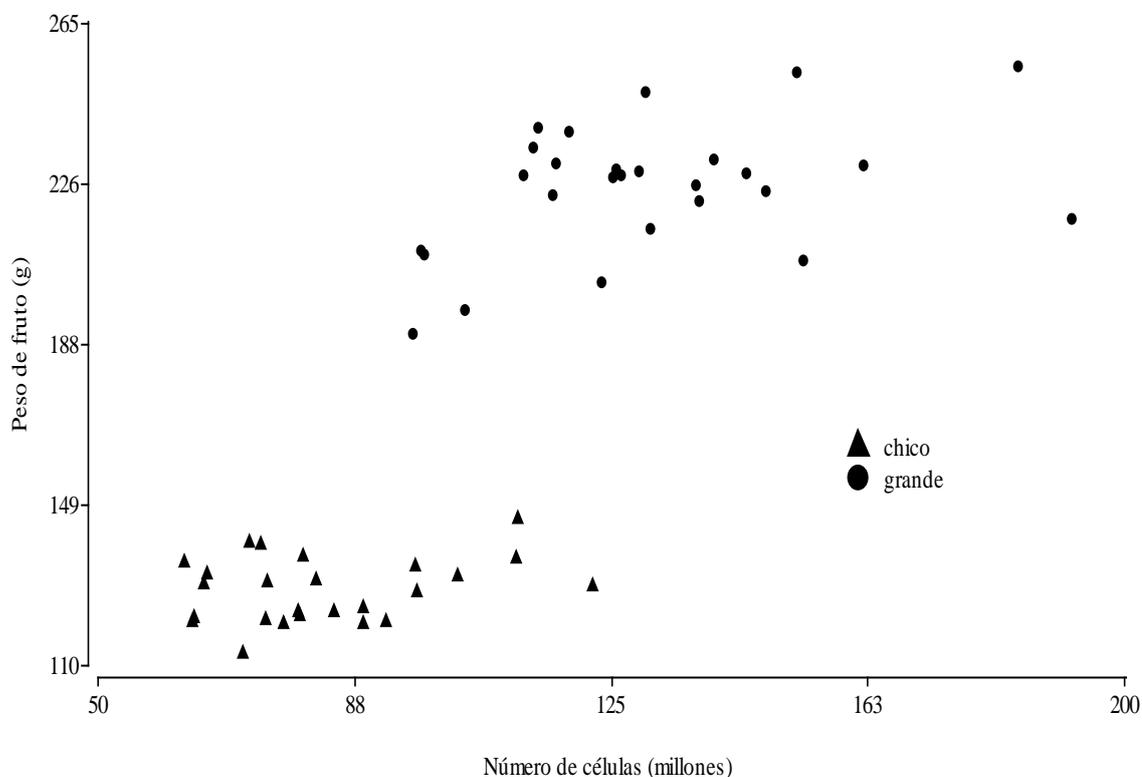


Fig. 3.12. Peso del fruto según el número de células al momento de cosecha para pera cv William's. Año 2006

Es posible, de acuerdo a estos resultados, encontrar frutos con el mismo número de células pero de diferente peso. La relación existente entre el tamaño celular y el número de

células explica este comportamiento. Para frutos grandes y chicos, una mayor cantidad de células implica menor volumen de las mismas (Figura 3.13).

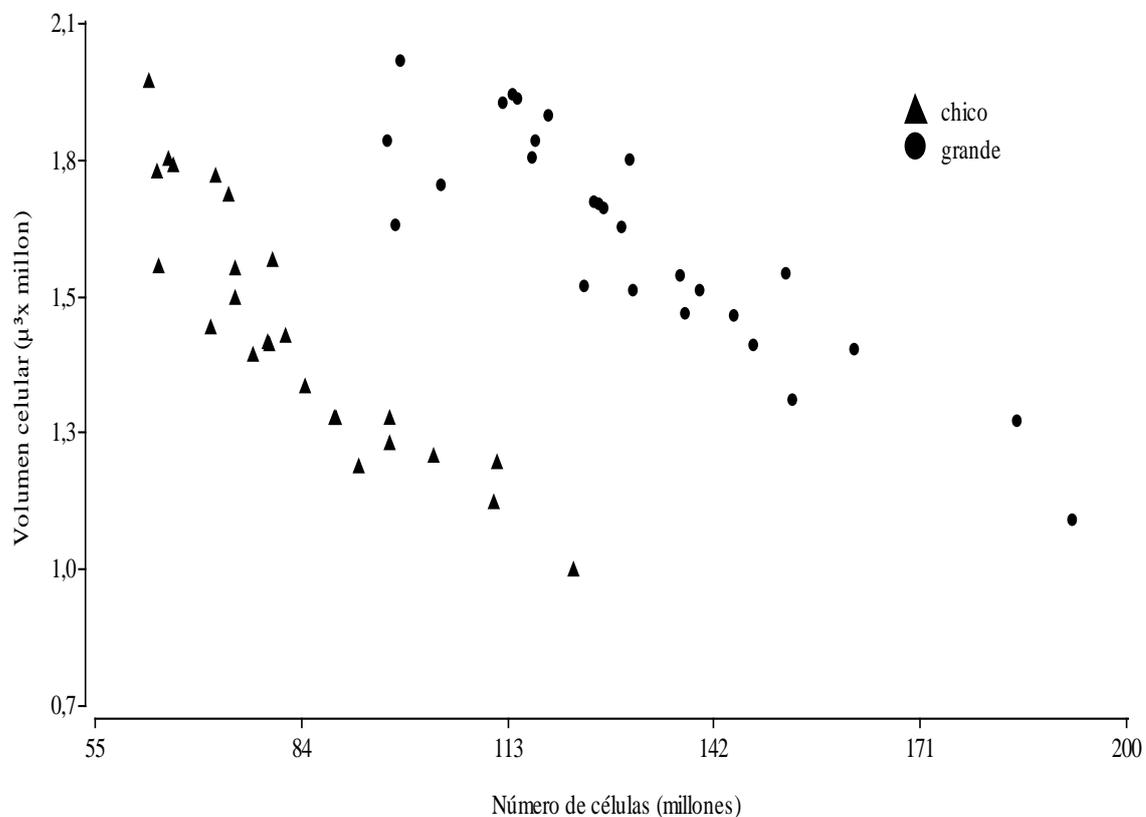


Fig. 3.13. Distribución del volumen celular según el número de células en el momento de cosecha para pera cv William´s. Año 2006

En la Tabla 3.5 se muestra comparativamente el número medio de células de frutos grandes y chicos, terminado el período de división celular, y los valores encontrados al finalizar el ciclo de crecimiento.

Tabla 3.5. Número de células, diámetro ecuatorial medio y tamaño comercial (TC) (envase STD, 18 kg) para frutos grandes y chicos a 40 DDPF y a cosecha.

	Grandes		Chicos	
	Número de células (10 ⁶)	Diámetro medio (mm)	Número de células (10 ⁶)	Diámetro medio (mm)
40 DDPF	147	28	128	24
Cosecha	144	73	100	61
TC	80		135	

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO DE LOS FRUTOS

Como puede observarse en la Tabla 3.6 los valores de temperatura pre-antesis son diferentes para cada temporada. Entre los 20 y 10 días previos a antesis la temperatura media del aire fue 3,3°C superior en 2006 con respecto a 2007, como resultado de temperaturas máximas más elevadas. (Tabla 3.6). El desarrollo de las diferentes fases fenológicas previas a la floración se ve claramente afectado en el momento de inicio y en su duración (Tabla 3.8). Es importante resaltar que en 2006 el reposo invernal culmina 20 días después que en 2007, sin embargo la fecha de floración se retrasa 7 días en este último año.

Tabla 3.6. Valores medios de temperaturas máximas, mínimas y medias de aire dentro de la parcela cada 10 días, durante todo el ciclo de crecimiento del cultivo en 2006 y 2007.

DDPF	Temperatura media (°C)		Temperatura máxima (°C)		Temperatura mínima (°C)	
	2006	2007	2006	2007	2006	2007
-10	9,9	6,6	21,0	12,5	-0,3	1,1
0	13,0	13,6	23,1	25,9	3,8	2,0
10	12,0	11,6	21,6	21,1	3,6	4,0
20	12,5	15,1	22,8	24,5	4,1	4,5
30	15,0	16,0	26,3	26,0	3,6	6,1
40	14,6	14,0	24,2	22,6	4,3	5,5
50	16,1	16,3	26,0	24,9	5,7	5,8
60	16,7	18,7	25,2	27,5	7,4	9,1

En la Figura 3.14 se observa el régimen de acumulación térmica (T_b 7°C) para cada temporada durante el período post-dormición. La duración del período post-reposo-floración fue de 54 y 84 días para los años 2006 y 2007, respectivamente.

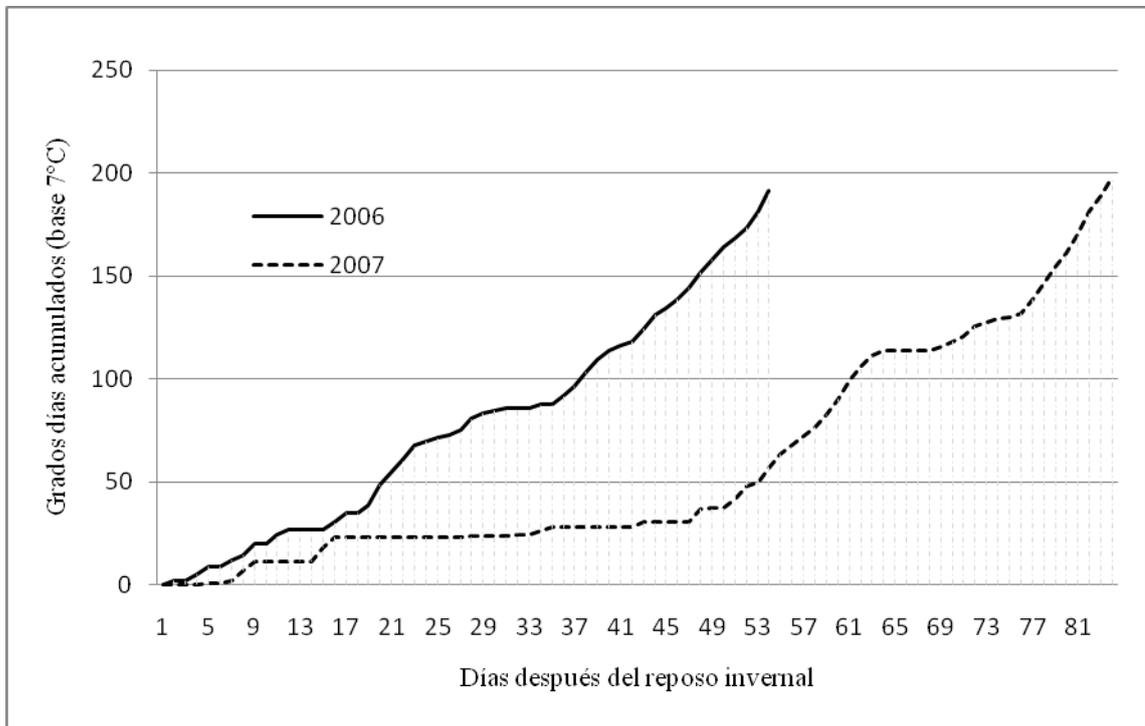


Fig. 3.14. Grados días acumulados desde el fin del reposo invernal hasta plena floración (180°C días).

Después de floración el año 2007 presenta condiciones más cálidas que el 2006, principalmente durante los 10 y 20 DDPF, con un incremento de 2,6 °C en la temperatura media (Figura 3.15). Los grados días acumulados con diferentes umbrales térmicos permiten observar de la misma manera la variabilidad de las condiciones térmicas entre temporadas, marcando una diferencia de aproximadamente 26 grados días durante los 10 y 20 DDPF. Los grados días acumulados, considerando como temperatura base 10°C, permiten observar que el 2006 acumuló un 20 % menos de calor que el 2007 durante el período de división celular. Para temperatura base de 4,5 y 7°C la diferencia no supera 7%.

La tasa de división celular no presentó ajuste con los parámetros térmicos en ninguno de los dos modelos matemáticos planteados. Sin embargo, se ha observado que existen diferencias en la temperatura media de aire entre una temporada y otra durante el

período de máxima tasa de división celular, como se mencionó anteriormente entre los 10 y 20 DDPF. En un análisis más detallado de temperaturas medias diarias se observa que durante los primeros 20 DDPF la distribución de temperaturas es la que marca la diferencia entre las dos temporadas; para ello se contabilizó la cantidad de horas con temperaturas en diferentes rangos (Figura 3.17). El ciclo 2007 se ve favorecido térmicamente presentando mayor frecuencia de horas con temperaturas superiores a 20°C con respecto a 2006.

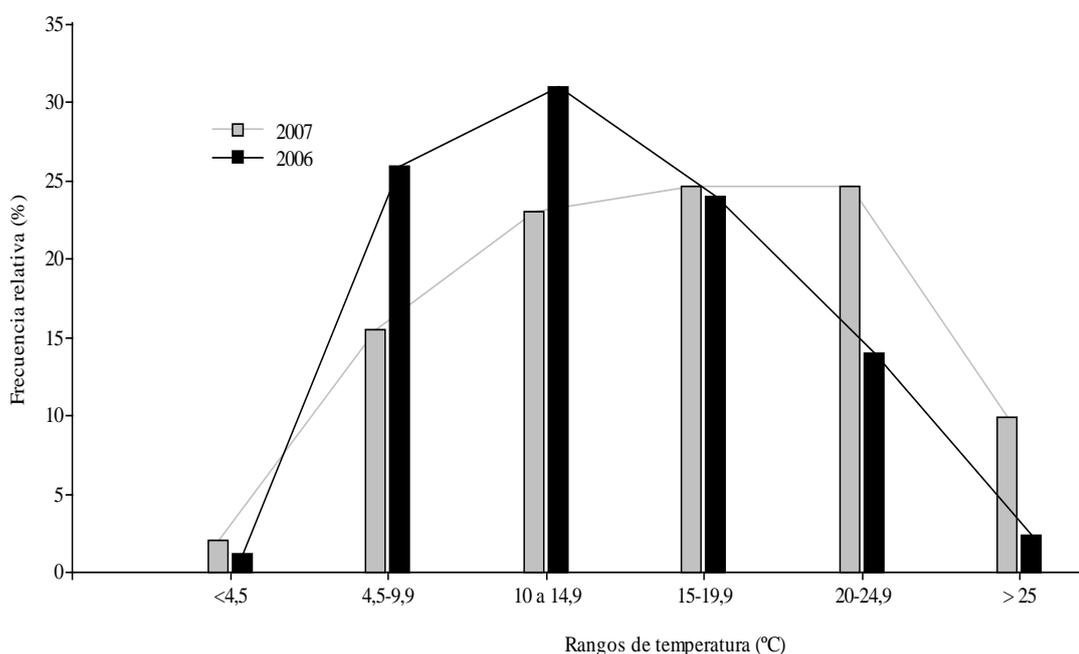


Fig. 3.17. Frecuencia relativa de temperaturas medias horarias de aire (°C) para el período de 10 a 20 DDPF.

La acumulación de grados días ($T_b=7^{\circ}\text{C}$) también muestra claramente la diferencia entre temporadas. El aumento térmico coincide con tasas de división más altas para las dos categorías de tamaño analizadas (Tabla 3.9).

Tabla 3.9. Tasas máximas de división celular (TM-millones de células/día), días desde antesis hasta máxima tasa de división celular (F2-TM) y grados días acumulados entre los 10 y 20 DDPF (temperatura base 7°C) en las temporadas 2006 y 2007 para tamaños de frutos grandes y chicos.

Temporada	Tamaño	TM	F2-TM	Grados Días
2006	Grande	8	16	55,3
	Chico	5	19	
2007	Grande	10	15	81,1
	Chico	8	18	

Los frutos de tamaño grande tienen tasas de crecimiento en peso superiores en 2007 con respecto a 2006, durante los primeros 60 DDPF. La acumulación térmica en este mismo período también es superior para 2007 (Figura 3.18).

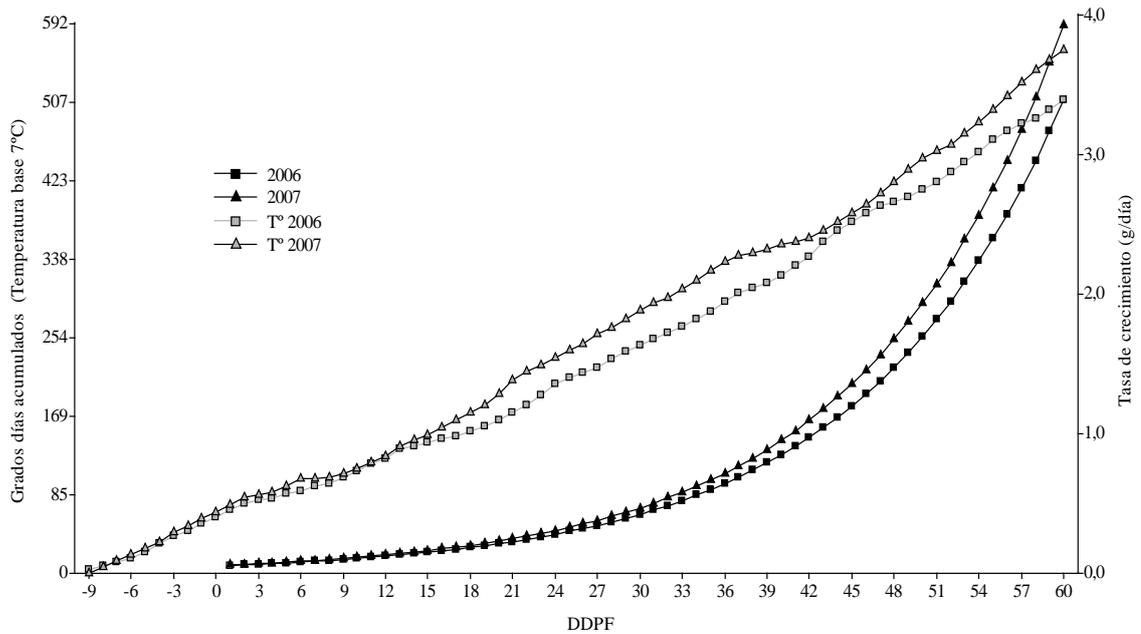


Fig. 3.18. Grados días acumulados ($^{\circ}\text{C}$) con temperatura base de 7°C y tasa de crecimiento para frutos de tamaño grande, para los años 2006 y 2007.

En los frutos chicos, sin embargo, esta mayor acumulación térmica no se ve reflejada con una tasa de crecimiento en peso superior. La tasa de crecimiento en 2007 fue inferior a la de 2006 (Figura 3.19).

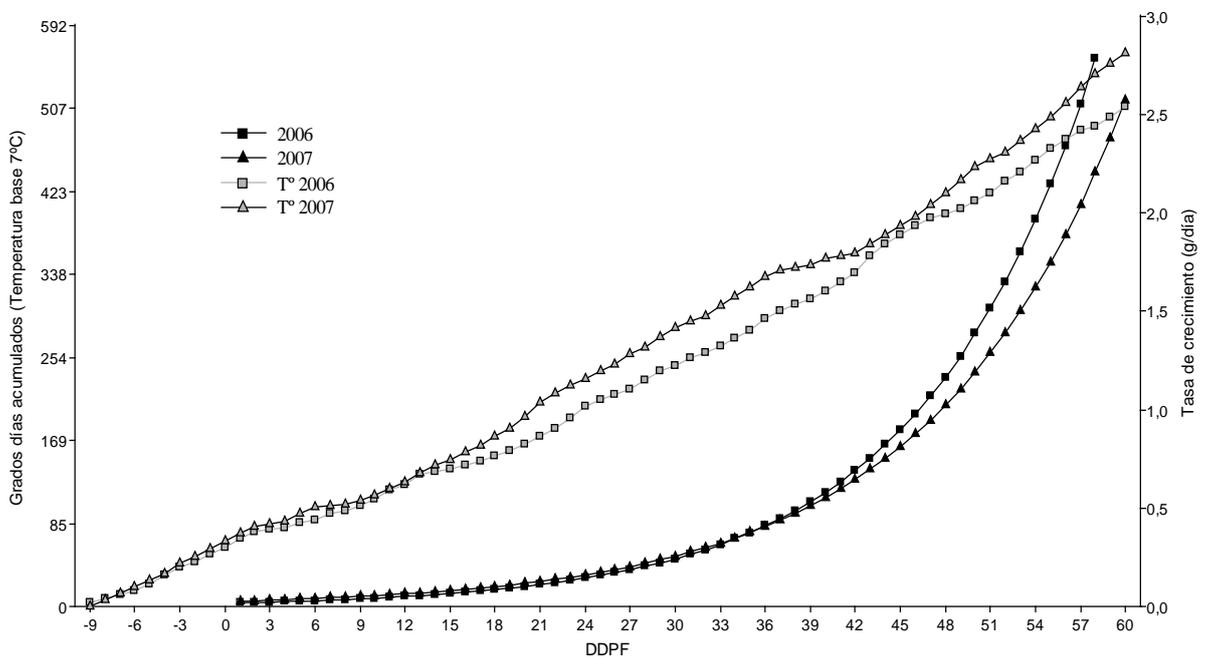


Fig. 3.19. Grados días acumulados ($^{\circ}\text{C}$) con temperatura base de 7°C y tasa de crecimiento para frutos de tamaño chico, para los años 2006 y 2007.

La tasa de crecimiento de los frutos de mayor tamaño comienza a diferenciarse, entre una temporada y otra, a partir de los 30 DDPF. Los frutos pequeños en cambio comienzan aproximadamente a manifestar estas diferencias a los 40 DDPF.

Para poder efectuar un correcto análisis del efecto de la temperatura sobre la tasa de crecimiento se realizó el análisis a través de la acumulación térmica registrada cada diez

días (temperatura efectiva decadal). En las Figuras 3.20 y 3.21 se observa con más detalle lo que ocurre entre los 10 y 40 DDPF para frutos de categoría grande. En el 2006 durante los primeros 20 DDPF las condiciones térmicas permanecen constantes alrededor de los 55 grados días, y luego se produce un aumento de temperatura alcanzando los 80 grados días a los 30 DDPF. La tasa de crecimiento de los frutos se incrementó paulatinamente desde valores cercanos a 0,10 hasta 0,90 gdía^{-1} en los 40 DDPF (aproximadamente un incremento del doble del peso cada 10 días). El 2007, en cambio, presentó un aumento de 66% de los grados días acumulados desde los 10 a los 20 DDPF (de 55 a 80 grados días). Para el mismo período la tasa de crecimiento aumenta 4 veces (0,10 a 0,50 gdía^{-1}). Durante la fase de división celular en la temporada 2006 se requieren 10 días más que en el 2007 para alcanzar igual tasa de crecimiento.

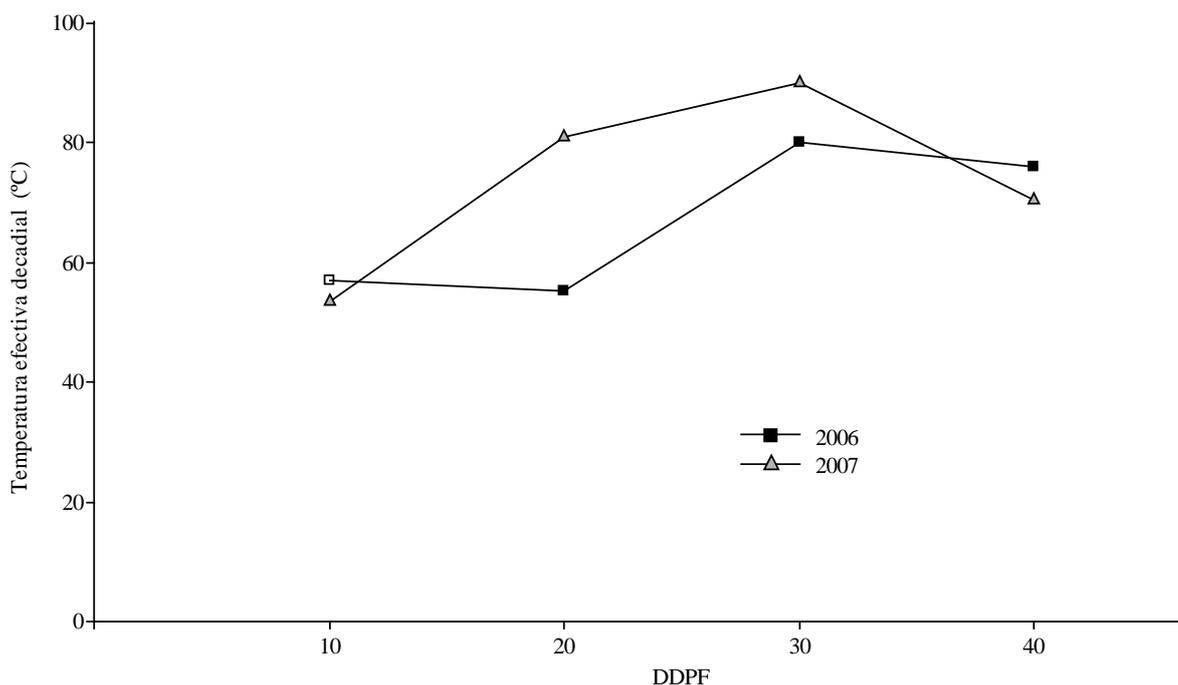


Fig. 3.20. Grados días acumulados en lapsos de 10 días (temperatura base 7°C), para los años 2006 y 2007.

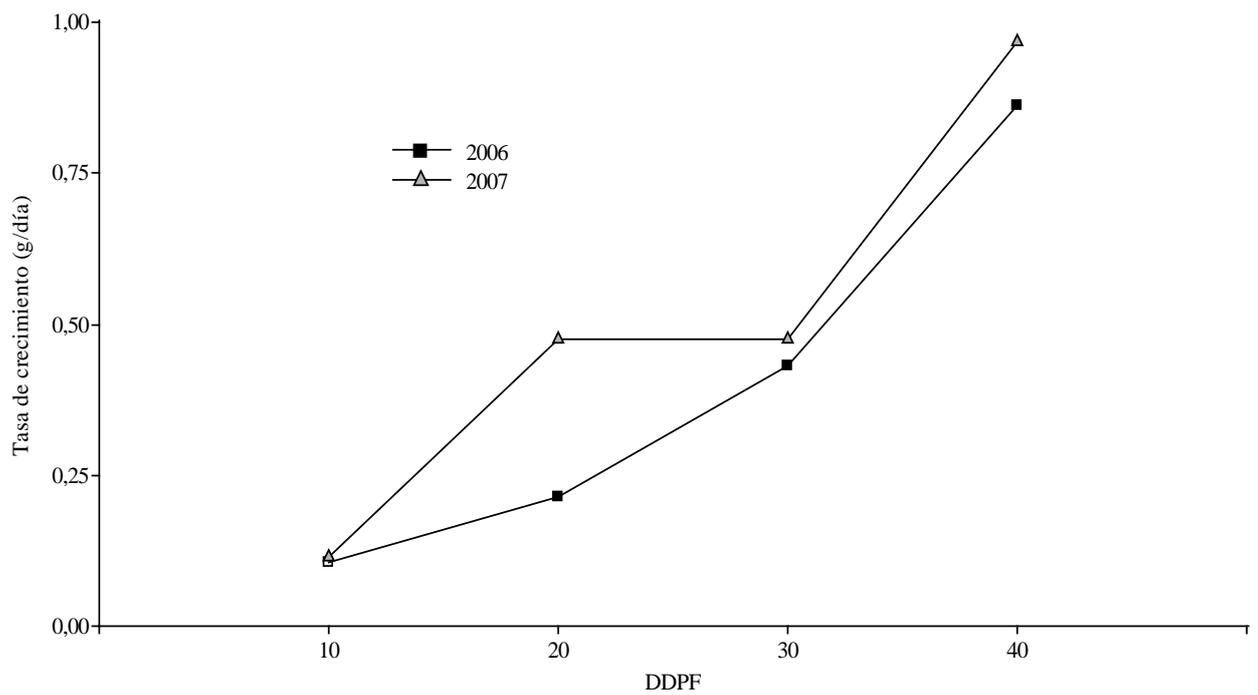


Fig. 3.21. Tasa de crecimiento de frutos de tamaño grande, para los años 2006 y 2007.

Se planteó el modelo de regresión lineal entre temperatura y tasa de crecimiento en frutos grandes y chicos para los períodos de 0 a 30 y de 0 a 60 DDPF. El modelo polinomial se evaluó para el periodo de 0 a 60 DDPF, también para las dos categorías de tamaño. Los modelos que mejor ajustaron se presentan en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Coeficientes de determinación (R^2) para modelos de regresión lineal que vinculan la tasa de crecimiento de los frutos de pera William's con la temperatura media del aire y los grados días calculados por DDU y acumulación de temperaturas efectivas (T_b de 4,5, 7 y 10°C).

Variables térmicas	R^2			
	0-30 DDPF		0-60 DDPF	
	Grande	Chico	Grande	Chico
T_b 4,5°C	0,90	0,72	0,71	0,58
T_b 7°C	0,90	0,74	0,70	0,57
T_b 10°C	0,90	0,74	0,71	0,58
DDU 5-21°C	0,91	0,83	0,68	0,54
DDU 5-25°C	0,89	0,88	0,67	0,54
T° media	0,96	0,77	0,67	0,55

Durante la fase de división celular cualquiera de los métodos utilizados para el análisis de temperatura muestra una relación lineal con la tasa de crecimiento, significativa al 0,1 %. En este período más del 90 % de la variabilidad en la tasa de crecimiento, en frutos de tamaño grande, es explicada por la temperatura media de aire dentro del rango de 11 a 16,5 °C. Para los frutos de menor tamaño este valor es de 70 a 80 % (Figuras 3.22 y 3.23).

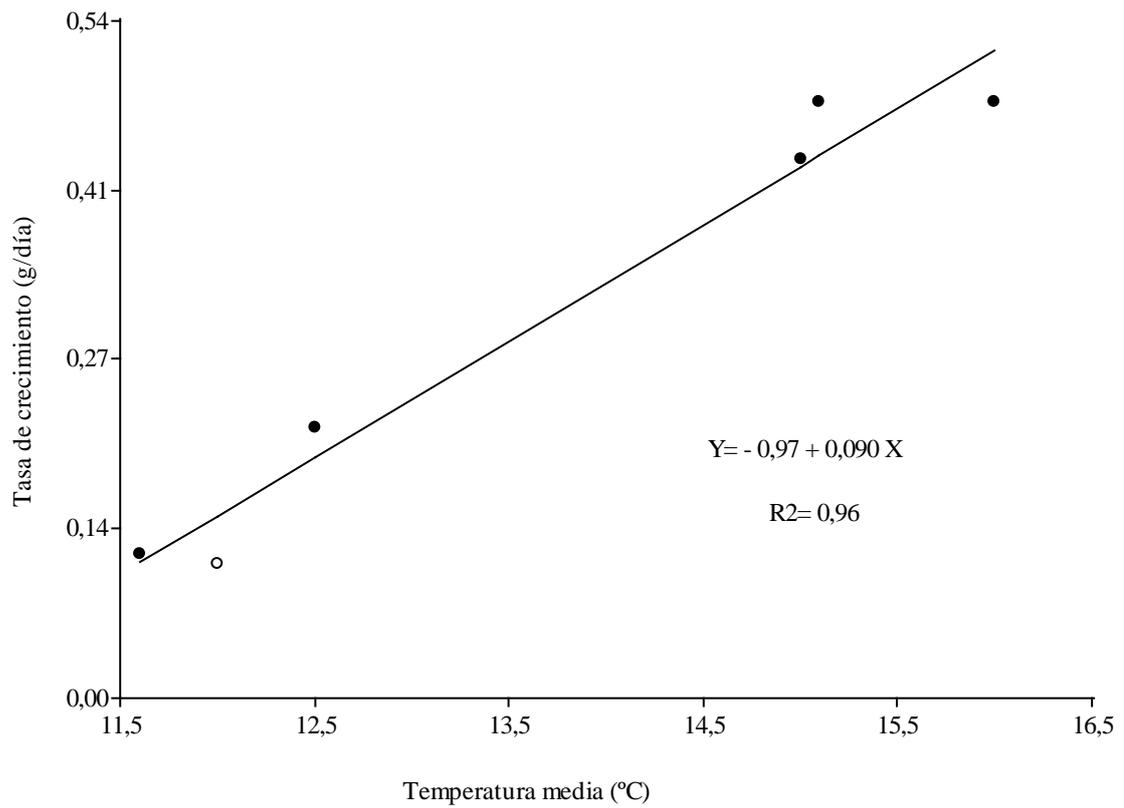


Fig. 3.22. Relación lineal entre la temperatura y la tasa de crecimiento de frutos grandes durante el período de división celular. Modelo significativo al 0,1 %.

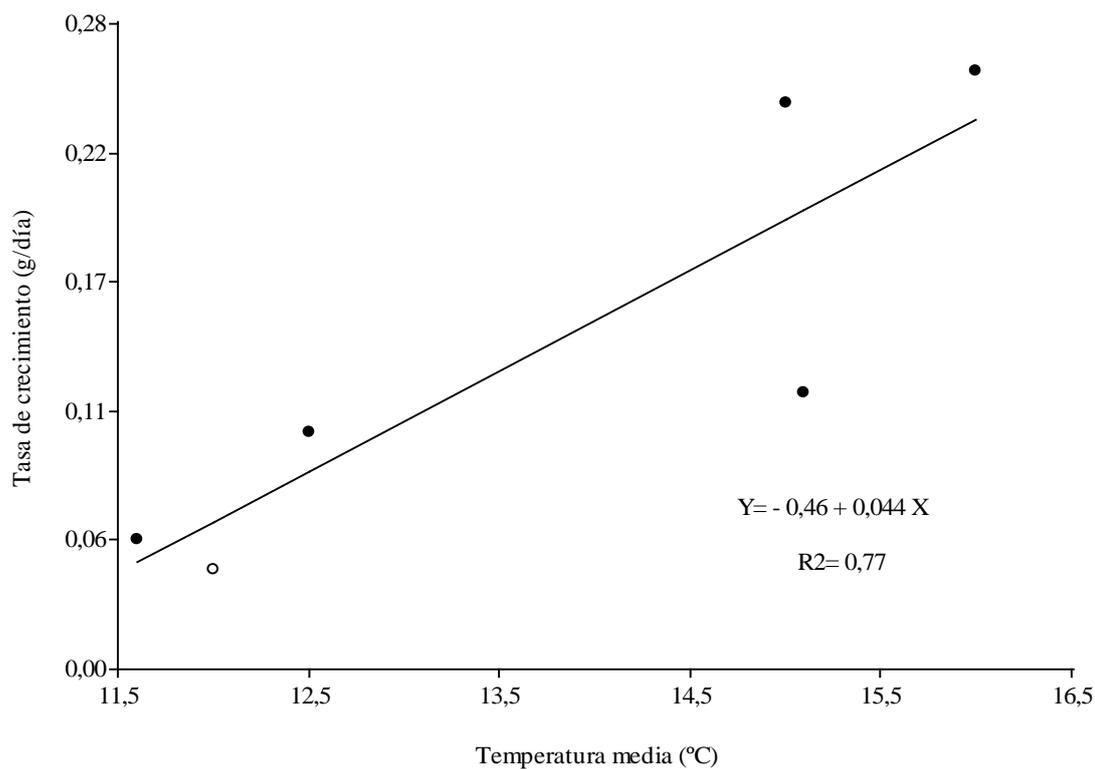


Fig. 3.23. Relación lineal entre la temperatura y la tasa de crecimiento de frutos chicos durante el período de división celular. Modelo significativo al 5%.

Durante la fase de división celular de los frutos grandes, por cada °C de aumento en la temperatura la tasa de crecimiento se incrementa $0,09 \text{ g día}^{-1}$. En los frutos chicos, en cambio, el incremento en la tasa es de $0,04 \text{ g día}^{-1}$.

El periodo de antesis hasta los 60 DDPF también responde a un modelo lineal. El método de grados días con temperatura base de 10°C es el que mejor ajuste tiene y explica el 70 % de la variabilidad de la tasa de crecimiento ($R^2 = 0,71$) de frutos grandes (Figura 3.24) y cerca del 60 % en frutos chicos ($R^2 = 0,58$). En términos generales, se obtienen menores coeficientes de determinación con respecto a los obtenidos en la fase de división celular. Este menor ajuste se debe a que el fruto se encuentra en fase de elongación celular y durante esta etapa adquieren importancia otros factores que influyen sobre el crecimiento. Las variables analizadas no responden al modelo de tipo polinomial.

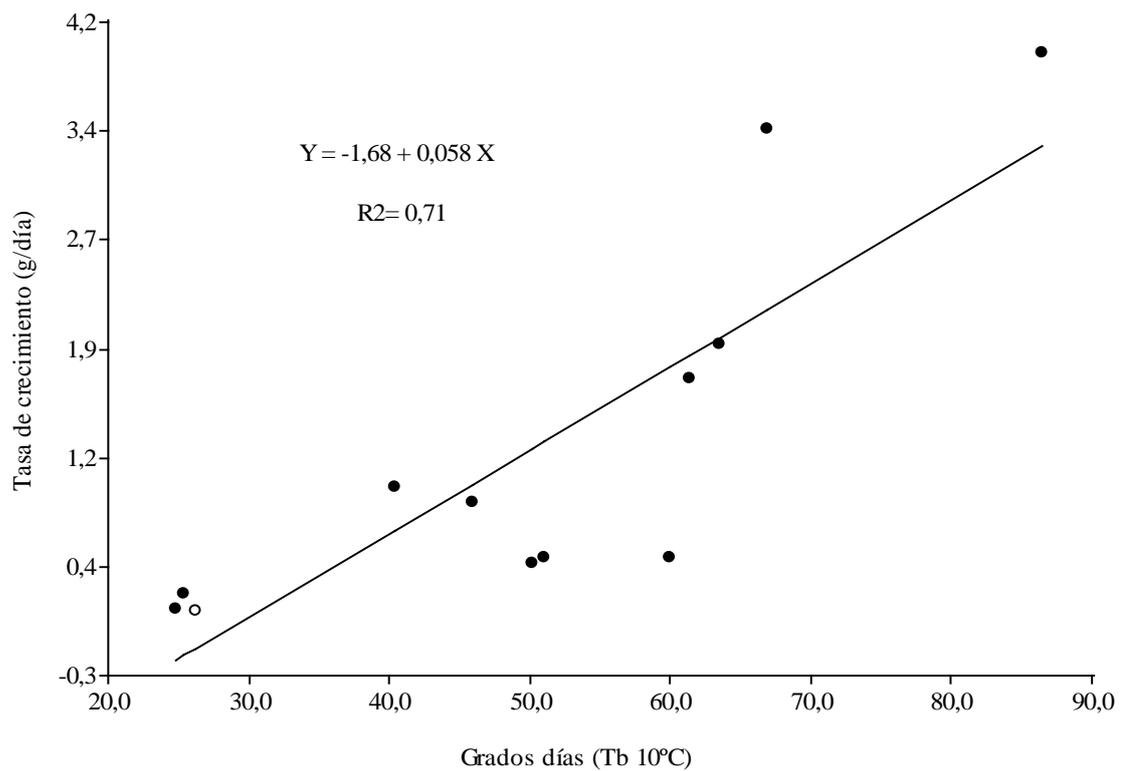


Fig. 3.24. Relación lineal entre grados días y la tasa de crecimiento de frutos grandes para los primeros 60 DDPF. Modelo significativo al 0,1 %.

El modelo lineal que relaciona los grados días acumulados (temperatura base de 10°C) con la tasa de crecimiento de los frutos chicos es $Y = -1,31 + 0,044 X$. Un incremento de 30 grados días genera un aumento en la tasa de 1,3 gdía^{-1} y 1,7 gdía^{-1} para frutos chicos y grandes, respectivamente.

DISCUSIÓN

El proceso de división celular en los órganos productivos, es posiblemente el eje principal en determinar el tamaño potencial de los frutos. Varios factores tanto bióticos como abióticos pueden modificar el desarrollo de esta fase de crecimiento. Entre los 10 y 20 DDPF se han registrado las máximas tasas de división celular y se ha observado un comportamiento diferente entre frutos grandes y chicos (Figura 3.2 y 3.3). Un incremento del 67 % en la temperatura para el año 2007 con respecto al 2006, coincide con un aumento en la tasa de división celular del 20 % en frutos grandes y del 40 % en los de tamaño chico. Bergh (1990, citado en Warrington 1999) demuestra que altas temperaturas están asociadas con un aumento en la tasa de división celular y este efecto se observa en el incremento de las tasas de crecimiento del fruto. Los frutos grandes tienen una tasa de división celular mayor que los chicos independientemente de la temperatura. Sin embargo, se obtiene un mayor número de células cuando las condiciones térmicas favorecen la tasa de división celular, tanto para frutos grandes como chicos (Figura 3.22 y 3.23). Se ha encontrado un total de 147 millones y 176 millones de células en frutos grandes de pera cv. “William’s” en el ciclo 2006 y 2007, respectivamente. En manzana, Denne (1960) encuentra de 88 a 121 millones para diferentes variedades, Westwood *et al.* (1967), para las variedades “Delicious” y “Jonathan”, 110 millones, Goffinet *et al.* (1995) para la variedad “Empire” 32 millones, Al-Hinai y Roper (2004) en “Gala” de 25 a 30 millones. En peras se ha registrado mayor número de células que en manzanas. Zhang *et al.* (2005) encuentran de 100 a 180 millones de células en diferentes variedades de peras asiáticas y Shargal *et al.* (2006) más de 150 millones en pera europea, cv “Spadona”.

Es interesante en frutos chicos observar que con el aumento de la temperatura la tasa de división celular en 2007 se incrementa un 40 % con respecto a 2006 y alcanza un número máximo de células de 131 millones. Una cantidad muy semejante de células (128 millones) se obtiene en 2006 pero en este año es debido a la mayor duración del período de división celular. Warrington (1999) observa que en condiciones frías la fase de división celular se extiende, resultados que coinciden con los encontrados en este trabajo pero sólo para los frutos de menor tamaño. Los frutos grandes tienen la misma longitud de fase de

multiplicación celular, independientemente de la temperatura. La respuesta de los frutos chicos podría estar regulada principalmente por competencia con los frutos grandes, intensificada cuando los factores reguladores como la temperatura no son favorables.

Si se considera que en términos generales el período de división celular finalizó a los 30 DDPF, el tamaño de las células se incrementa 6 veces para frutos grandes y 8 veces en los chicos, en el lapso de un mes. En las curvas que relacionan cantidad y tamaño de células y peso de frutos (Figuras 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8) se observaron diferentes pautas de comportamiento. Durante la fase de división celular, los frutos con mayor número de células tienen células más chicas; en este caso no se manifiesta un incremento en el peso de dichos frutos. En el momento de interfase multiplicación-elongación celular, entre los 30 y 40 DDPF, se observa que los frutos difieren por un aumento en el número de células pero estas células no difieren en tamaño; en estos casos hay una ganancia importante en el peso medio de los frutos. Terminada completamente la fase de división celular, una vez que se estabiliza el número de células en el mesocarpio, las diferencias interanuales encontradas y que se manifestaron en un mayor peso del fruto, se deben exclusivamente a la expansión celular. De acuerdo a estas observaciones se infiere que existen relaciones directas entre las características histológicas analizadas y el peso de los frutos. Sin embargo, el grado en el que se manifiestan depende del momento o subperíodo en el que se encuentre el fruto, dentro de las distintas fases que caracterizan su crecimiento y desarrollo.

En trabajos de Stanley *et al.* (2000) y de Warrington *et al.* (1999) se señala que los primeros 60 días de crecimiento del fruto son los más sensibles a la temperatura afectando directamente el peso inicial de los frutos. En los primeros 30 DDPF la fase de división celular predomina y el 90 % de la variabilidad del peso de frutos de tamaño grande se explica por la temperatura del aire, en cambio si se considera el período de los 60 DDPF tenemos un fuerte aporte del proceso de expansión celular y solo un 70 % del aumento de peso es explicado por la temperatura (Tabla 3.10). El papel regulador de la temperatura se manifiesta en pera William's entre los 10 y 20 DDPF, período de máxima multiplicación celular y, paralelamente, actúa linealmente sobre la velocidad de crecimiento del fruto en los primeros 60 DDPF. Las mejores condiciones térmicas en estas etapas tempranas de crecimiento coinciden con una mayor frecuencia horaria de temperaturas medias entre 20 y 25 °C (Figura 3.17). Terminado el período de división celular y avanzada la fase de

elongación cobran mayor importancia las temperaturas medias por encima de 10°C. La respuesta lineal encontrada entre el crecimiento del fruto y la temperatura está comprendida entre los 11 y 17°C, este rango de temperaturas medias tiene un 79% de probabilidades de ocurrir durante el periodo de división celular (análisis realizado sobre el registro de la serie 1971 – 2007, INTA Alto Valle).

A los 40 DDPF en la temporada 2007 se contaba con frutos de mayor tamaño potencial con respecto al 2006, de acuerdo al número total de células en el mesocarpio. La relación lineal encontrada entre el número de células y el peso de los frutos de pera William's durante la fase de división celular confirma que bajo las condiciones experimentales de este ensayo, un mayor número de células en el mesocarpio coincide con mayores tamaños de fruto. Del mismo modo desde los 20 a 60 DDPF el 86 % de la variabilidad del volumen celular se manifiesta en el del peso de los frutos (Figura 3.10). Por otro lado, se ha observado que frutos categorizados como grandes y chicos (diferencias significativas en peso) a los 10 DDPF presentan similar número de células (31 millones en grandes del 2006 y 34 millones en chicos del 2007) y que el tamaño en este caso queda determinado por el volumen celular ($0,04 \mu^3 \times 10^6$ para los grandes y $0,01 \mu^3 \times 10^6$ para los chicos). Se infiere en base a estos resultados que la disponibilidad de nutrientes y carbohidratos de reserva condicionan el crecimiento de la célula en los primeros 10 días después de floración y en consecuencia el del fruto. En el lapso de 10 días, desde que se considera finalizada la fase de división celular (30 DDPF) hasta los 40 DDPF, la ganancia en peso de los frutos en general es de aproximadamente el 40 %, pero el incremento del volumen celular es mayor para los frutos de tamaño grande con respecto a los pequeños, 36 % y 31 %, respectivamente. Estos resultados marcan una tendencia de mejor capacidad competitiva en la hidratación y nutrición de la célula, de los frutos grandes con respecto a los chicos. Martin *et al.* (1964, citado en Goffinet *et al.*, 1995) sugieren que la cantidad de reservas condiciona el número de células. Sin embargo, se sabe que el número de células depende de la tasa de división celular y esta última principalmente de la temperatura y del balance hormonal entre citocininas y auxinas (Barceló Coll, 1992).

A cosecha se ha observado que el número de células está directamente relacionado a la categoría de tamaño, pero existe un rango entre 100 y 130 millones (Figura 3.12) en donde se puede tener frutos con igual número de células pero diferente categoría de

tamaño, en estos casos determinada por el volumen celular. Para las dos categorías de tamaño analizadas, un aumento en el número de células implica una disminución del tamaño celular. Se ha observado un comportamiento de iguales características en los primeros dos meses después de floración y en las categorías de menor tamaño la expansión celular adquiere aún mayor importancia en la determinación del crecimiento de los frutos. Goffinet *et al.* (1995) afirman que en manzana el tamaño final del fruto, está determinado por el número de células y que el tamaño celular tanto como la proporción de espacios intercelulares no son importantes en la variación del tamaño. Austin *et al.* (1999) dicen que la actividad meristemática por sí sola no determina el tamaño del fruto, sin embargo define una trayectoria de crecimiento en función de los diferentes tamaños potenciales. Westwood *et al.* (1967), trabajando en manzana, concluyen que la combinación del número de células y el tamaño de las mismas dan como resultado una gran diversidad de tamaños de frutos con diferentes características de calidad y conservación post-cosecha.

Una parte de la distribución de tamaños a cosecha estaría explicada por el tamaño inicial del fruto al finalizar el período de división celular y, otra parte, por la proporción inicial de estas categorías de tamaño a su vez determinada por el vigor inicial de las yemas y luego por la competencia por nutrientes de reserva entre flores y dardos durante los primeros 10 DDPF. Seeley (1990) menciona que en primaveras frías el crecimiento de las yemas no es óptimo dado que la temperatura regula la síntesis de sustancias hormonales responsables del crecimiento.

La temperatura es el factor climático de mayor incidencia de las distintas etapas de crecimiento y desarrollo durante todo el ciclo del cultivo, comenzando con el reposo invernal y culminando con la madurez comercial de pera William's. Seeley (1990) menciona que existe un amplio rango de temperaturas óptimas para el crecimiento y este responde en forma de una curva simple sigmoidea con un umbral mínimo de 8°C y un óptimo por encima de los 25°C. Después de los 60 días desde floración hasta el momento de recolección se comprueba que el papel regulador de la temperatura tiene más que ver con la actividad fotosintética y su efecto se ve reflejado en la tasa o velocidad de crecimiento (Anexo 2).

CONCLUSIÓN

La correcta determinación de la fecha de plena floración es de primordial importancia para poder analizar de manera efectiva el ciclo de crecimiento del fruto y el efecto que la temperatura y otros factores climáticos tienen sobre cada fase del desarrollo.

En pera Williams las tasas máximas de división celular se registran entre los 10 y 20 DDPF. El valor máximo alcanzado está asociado con una mayor frecuencia horaria de temperaturas entre 20 y 25 °C o, en términos de grados días, más de 5°días diarios por encima de una temperatura base de 7°C. Los frutos de mayor tamaño tienen mayores tasas de división celular y, en consecuencia, más células.

El número de células en el mesocarpio del fruto de pera Williams presenta un valor de entre 70 y 200 millones. Los frutos chicos, con diámetros a cosecha inferiores a 60 mm, no superan los 130 millones; los grandes, con diámetros a cosecha mayores a 70 mm, oscilan entre 120 y 200 millones.

Tanto en las primeras semanas de crecimiento como hacia el final del ciclo, frutos con igual número de células pertenecen a categorías de menor o mayor tamaño en función del volumen celular. La expansión celular adquiere mayor importancia en la determinación del crecimiento de los frutos chicos.

La fase de división celular de pera Williams, se prolonga 30 días en la región del Alto Valle. Este período se extiende 6 días en frutos de menor tamaño cuando las condiciones de temperatura no son óptimas. En este caso, se considera que la prolongación de la fase está ligada principalmente a la competencia por nutrientes.

La tasa de crecimiento del fruto durante los primeros 30 DDPF depende principalmente de la temperatura del aire, los frutos grandes, por cada °C de aumento en la

temperatura incrementan su tasa de crecimiento en $0,09 \text{ g día}^{-1}$. En los frutos chicos el incremento en la tasa es de $0,04 \text{ g día}^{-1}$.

El tamaño potencial del fruto queda determinado por el número de células y la capacidad de expansión celular de las mismas. El ciclo de crecimiento del fruto de pera William's cuenta con una fase de división celular entre floración y los 30 días siguientes; una interfase entre los 20 y 40 DDPF, en la que ocurre división y expansión celular y constituye el periodo en que se determina el tamaño potencial del fruto y, por último, la fase de elongación celular propiamente dicha que culmina en el momento de cosecha. En etapas tempranas del crecimiento resulta de vital importancia la disponibilidad de recursos y la capacidad competitiva de los frutos.

Desde los 40 DDPF todos los factores que inciden sobre la capacidad de crecimiento celular alteran la tasa de crecimiento del fruto, condicionando su tamaño final dentro de cada categoría de tamaño potencial preestablecida.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Austin P.; Hall A.; Gandar P.; Warrington I.; Fulton T. y Halligan E. 1999. A compartment model of the effect of early-season temperatures on potential size and growth of "Delicious" apple fruits. *Annals of Botany* 83: 129-143.
- Al-Hinai Y. y Roper T. 2004. Rootstock effects on growth, cell number, and cell size of "Gala" Apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129 (1): 37-41.
- Barceló Coll J.; Nicolás Rodrigo G.; Sabater García B. y Sánchez Tamés R. 1992. *Fisiología Vegetal*. Sexta edición, Ed. Pirámides, Madrid. Pp 662.
- Benítez C.; Castro H.; Ricca A.; Vaudagna S. 2005. Peras y Manzanas: Factores que afectan la calidad de los frutos. Ediciones INTA, Buenos Aires. Pp 396.
- Bramardi, S; Castro H. y Zanelli M. 1998. Fruit growth pattern of pear cv Bartlett and Packham's triumph to improve hand thinning. *Acta Hort.* 475, 283-293.
- Cheniclet C.; Ying Rong W.; Frangne N.; Bolling L.; Garde J. y Renaudin J. 2005. Cell expansion and endoreduplication show a large genetic variability in pericarp and contribuye strongly to tomato fruit growth. *Plant Physiology* 139: 1984- 1994.
- Couvillon G. y Erez A. 1985. Influence of prolonged exposure to chilling temperatures on bud break and heat requirement for bloom of several fruit species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110 (1), 47-50.
- Denne, P. 1963. Fruit development and some tree factors affecting it. *New Zeland J. Bot.* 1: 265-294.
- Faust M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees*. Ed. John Wiley & Sons. EE.UU. pp 333.
- Fleckinger J. 1965. Stades reperes des pomaácees. Coll. G. Viennot-Bourgin, I. 45 pp.
- Gaylen L.; Ashcroft E.; Richardson E. y Seeley S. 1977. A Statistical Method of Determining chill unit and growing degree hour requirements for deciduous fruit trees. *HortScience.* 12 (4): 347-348.
- Gil Albert Velarde F. 1991. *Tratado de Arboricultura Frutal. Morfología y Fisiología del árbol frutal*. 3ª ed. Ed. Mundi- prensa, Madrid, 103 pp.
- Goffinet M.; Robinson T. y Lakso A. 1995. A comparison of "Empire" apple fruit size and anatomy in unthinned and hand-thinned trees. *Journal of Horticultural Science* 70 (3) 375-387.

- Harada T.; Kurahashi W.; Yanai M.; Wakasa Y. y Satoh T. 2005. Involvement of cell proliferation and cell enlargement in increasing the fruit size of *Malus* species. *Scientia Horticulturae* 105, 447-456.
- InfoStat. 2009. InfoStat versión 2009. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Johnson I.R. y Thornley H.M. 1985. Temperature dependence of plant and crop processes. *Annals of Botany* 55, 1-24.
- Kin A. y Ledent J. 2003. Efectos del viento sobre las plantas. En: Viento, Suelo y Plantas. Editores: Golberg A. y Kin A. Ed. INTA. Buenos Aires, Argentina. pp. 1-130.
- Lakso A. 1990. Interactions of physiology with multiple environmental stresses in horticultural crops. *HortScience*, vol. 25 (11), 1365-1368.
- Lakso A. 1994. Apple. En: Environmental physiology of fruit crops – temperate crops. Schaffer B. y Andersen P. Florida, EE.UU. Pp 1-32.
- Millard P.; Wendler R.; Hepburn A. y Smith A. 1998. Variations in the amino acid composition of xylem sap of *Betula pendula* Roth. Trees due to remobilization of stored N in the spring. *Plant, Cell and Environment*. 21, 715-722.
- Mitchell P., Goodwin I. y Jerie P. 1994. Pear and Quince. En: Environmental physiology of fruit crops – temperate crops. Schaffer B. y Andersen P. Florida, EE.UU. Pp 189-203
- Ojeda H.; Deloire A.; Carbonneau A.; Ageorges A. y Romieu C. 1999. Berry development of grapevines: Relations between the growth of berries and their DNA content indicate cell multiplication and enlargement. *Vitis* 38 (4), 145-150.
- Ojeda H.; Deloire A. y Carbonneau A. 2001. Influence of water deficits on grape berry growth. *Vitis* 40 (3), 141-145.
- Olmstead J.; Iezzoni A. y Whiting M. 2007. Genotypic differences in sweet cherry fruit size are primarily a function of cell number. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 132 (5), 697-703.
- Parsons L. 1990. Interactions among environmental stresses. *HortScience*, vol. 25 (11), 1362-1363.
- Pascale, D. y Damario E. 2004. Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología. Ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina, 547 pp.
- Rapoport H.; Costagli G. y Gucci R. 2004. The effect of water deficit during early fruit development on olive fruit morphogenesis. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129: 121-127.
- Richardson A., Seeley S., Walker D., Anderson L y Ashcroft G. 1975. Pheno-climatology of spring peach bud development. *HortScience*, vol. 10 (3), 236-237.

- Rodríguez, A; Raffo D; Curetti M. 2008. Asoleado de frutos: Variables Meteorológicas que afectan la temperatura superficial de manzanas cv. Royal gala en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. XII Reunión Argentina de Agrometeorología. AADA (Asociación Argentina de Agrometeorología), San Salvador de Jujuy, Argentina, pp.
- Ryugo K. Fruit Culture: Its science and art. New York: Wiley 1988. p. 107-189.
- Sánchez E. Nutrición Mineral de Frutales de Pepita y Carozo. Publicado por INTA, EEA Alto Valle de Río Negro, Argentina. 1999. P.196.
- Seeley S. 1990. Hormonal transduction of environmental stresses. HortScience, vol. 25 (11), 1369-1376.
- Scorza R.; May L.; Purnell B. y Upchurch B. 1991. Differences in number and area of mesocarp cells between small- and large- fruited peach cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116(5), 861-864.
- Shargal A.; Golobovich S.; Yablovich Z.; Shlizerman L.; Stern R.; Grafi G.; Lev-Yadun S. y Flaishman M. 2006. Synthetic cytokinins extend the phase of division of parenchyma cells in developing pear (*Pyrus communis* L.) fruits. J. of Hort. Sci. and Biotechnology 81 (5), 915-920.
- Sozzi O. Capítulo 9: Fisiología del crecimiento de los frutos de “Árboles frutales. Ecofisiología, Cultivo y Aprovechamiento”. Editorial, Facultad de Agronomía UBA. Buenos Aires, Argentina 2007. Pp 309-328.
- Stanley C.; Tustin D.; Lupton G.; McCartney S.; Cashmore W. y De Silva H. 2000. Towards understanding the role of temperature in apple fruit growth responses in three geographical regions within New Zealand. J. of Hort. Sci. and Biotechnology 74 (4), 413-422.
- Stern R.; Ben-Arie R.; Neria O. y Flaishman M. 2003. CPPU and BA increase fruit size of “Royal Gala” (*Malus domestica*) apple in a warm climate. J. of Hort. Sci. and Biotechnology 78 (3), 297-302.
- Tabuenca M. y Herrero J. 1966. Influencia de la temperatura en la época de floración de frutales. Anales de la estación experimental de AULA DEI, 8 (1-2), 115-153.
- University of California, 1994. Degree Day Utility 2.3. UC IPM Publication 9 <http://www.ipm.ucdavis.edu/models/ddu>.
- Warrington I.; Fulton T.; Halligan E. y De Silva H. 1999. Apple fruit growth and maturity are affected by early season temperatures. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 124(5), 468-477.
- Westwood N.; Batjer L. y Billingsley H. 1967. Cell size, cell number, and fruit density of apples as related to fruit size, position in cluster, and thinning method. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 91, 51-62.
- Westwood N. 1982. Fruticultura de zonas templadas. Ed. MundiPrensa, Madrid, 461 pp.

- Williams L.; Dokoozlian N. y Wample R. 1994. Grape. En: Environmental physiology of fruit crops – temperate crops. Schaffer B. y Andersen P. Florida, EE.UU. Pp 85-122.
- Williams M.; Billingsley H. y Batjer P. 1969. Early season harvest size prediction of “Bartlett” pears. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 94(6), 596-598.
- Wismer P.; Proctor J. y Elfving D. 1995. Benzyl adenine affects cell division and cell size during Apple fruit thinning. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120 (5), 802-807.
- Zhang C.; Tanabe K.; Tamura F.; Itai A. y Wang S. 2005. Partitionin of ¹³ C-photosynthate from spur leaves during fruit growth of three japanese pear (*Pyrus pyrifolia*) cultivars differing in maturation date. Annals of Botany 95, 685-693.
- Zhang C.; Tanabe K.; Tamura F.; Itai A.; Wang S.; Yoshida A. y Matsumoto K. 2006. The impact of cell division and cell enlargement on the evolution of fruit size in *Pyrus pyrifolia*. Annals of Botany 98, 537-543.

EFECTO DEL RALEO MANUAL SOBRE EL CRECIMIENTO DE LOS FRUTOS

INTRODUCCIÓN

Las prácticas culturales tienen incidencia directa sobre el crecimiento motivo por el cual el tamaño del fruto puede ser optimizado a través de la nutrición, poda y raleo de frutos. Las prácticas culturales como fertilización, poda y raleo de frutos inciden directamente sobre el crecimiento vegetal, de modo que a partir de ellas se puede optimizar el tamaño del fruto.

En la mayoría de las especies frutales es común que se forme una cantidad de frutos superior a la requerida para obtener una producción comercial. El raleo consiste en eliminar una proporción de frutos durante la primera parte del período de crecimiento, fundamentalmente para mejorar el tamaño de los remanentes y disminuir la alternancia o añerísmo de ciertas especies y variedades (Westwood, 1982; Bramardi *et al.*, 1998).

Existen dos maneras de llevar a cabo esta tarea: en forma manual o empleando compuestos químicos. El raleo manual es una práctica común en el Valle de Río Negro, principalmente en el cultivo de manzanas. Sin embargo, también adquirió importancia en

el cultivo de peras debido a una mayor demanda de frutos de tamaño grande y al mejor precio de venta que se paga por estos (Castro y Tiscornia, 1967; Secretaria de fruticultura de Río Negro, 2009). Generalmente esta práctica consistía en distanciar uniformemente los frutos sobre la rama o dejar uno o dos frutos por estructura fructífera (dardo), aunque actualmente se lleva a cabo teniendo en cuenta además el tamaño de los frutos raleados, dejando sólo aquellos que superan determinado diámetro y que aseguran un tamaño comercialmente aceptable a cosecha. Estos conceptos surgen de distintas evaluaciones que relacionan el diámetro de los frutos en las primeras etapas de crecimiento y el obtenido en el momento de cosecha para hacer más eficiente el método de raleo manual (Castro y Tiscornia, 1967; Bramardi *et al.*, 1998; Bramardi *et al.*, 2006). En pera se está probando la efectividad de raleadores químicos como una alternativa para reducir los mayores costos del raleo de tipo manual. En trabajos realizados en peras cv. Williams se han probado productos tales como el ANA (ácido naftalén acético) y Benciladenina, obteniendo un buen efecto raleador y un incremento interesante en el calibre de los frutos a cosecha (Podestá *et al.*, 1995; Rodríguez *et al.*, 2008).

El ritmo de crecimiento de las variedades de pera es rápido comparado al de manzanas. De acuerdo a trabajos de Williams *et al.* (1969), tanto frutos grandes como pequeños de pera cv Williams, aumentan cerca de 40% de su volumen entre una cosecha temprana y una tardía. El raleo de frutos en peral interesa para obtener una mayor proporción de frutos de tamaño comercial al inicio de la cosecha. Si bien una recolección tardía hace factible obtener frutos de mayor calibre, también avanza el estado de madurez y, en consecuencia, disminuye su capacidad de conservación frigorífica (Campana, 2007). Se ha observado que frutos con valores de firmeza adecuados pero provenientes de cosechas retrasadas (mayor edad del fruto) tienen una vida muy corta en estante, de aproximadamente 4 días, después de un período de conservación frigorífica de 30 días (Gomila *et al.*, 2005).

El raleo puede estimular el crecimiento del fruto afectando las fases de división y elongación celular. Se ha demostrado que los frutos más grandes tienen un mayor número de células. Los resultados obtenidos dependen del momento en que se raleó dentro del ciclo de crecimiento del fruto, siendo menos favorable cuanto mas alejado del periodo de

mayor división celular se efectúe (Westwood *et al.*, 1967). Goffinet *et al.* (1995) evalúan diferentes momentos de raleo en manzanos, comenzando 7 días antes de plena floración. Concluyen que el tamaño y peso del fruto disminuyen al retrasar el momento de raleo y que el tamaño del fruto se correlaciona positivamente con el número de células. Esto indicaría que los frutos remanentes después del raleo continúan con la división celular pero con una menor competencia durante las primeras semanas después de floración. Posiblemente haya una redistribución de reservas y hormonas de crecimiento en un menor número de destinos. Existe una fecha límite de raleo que es el momento de iniciación floral de las yemas del año siguiente y en pera ocurre entre los 45 y 60 DDPF (Westwood, 1982).

Esta práctica de manejo mejora también la relación hoja/fruto, optimizando la distribución de nutrientes y fotoasimilados, y además atenuando la competencia (Link, 2000). Para tener un equilibrio nutricional adecuado entre el tamaño de fruto y la producción total del árbol se requiere de aproximadamente 30 hojas por fruto (Westwood, 1982). El aprovechamiento de fotoasimilados durante el período de división celular es muy importante en las fases tempranas de crecimiento del fruto y se relaciona directamente con el tamaño final del fruto (Zhang *et al.*, 2005).

El crecimiento de un fruto es el resultado de la acción conjunta de la división celular, elongación o crecimiento de las células y de la formación de espacios intercelulares, de modo que, al representar el tamaño del fruto en función del tiempo, produce una curva sigmoidea del tipo logístico. En peras estas curvas no adquieren la típica forma de S porque los frutos se cosechan verdes (inmaduros). Las curvas de crecimiento son una herramienta de gran utilidad técnica para evaluar el efecto sobre el crecimiento de los diversos factores que lo afectan, incluyendo el raleo.

El objetivo de este ensayo fue evaluar el efecto del raleo durante la fase de división celular, a través del número y tamaño de células, y durante la fase de elongación celular analizando la velocidad de crecimiento de los frutos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó en una parcela con tres cultivares (Williams, Packham's y Abate Fetal como polinizadora supernumeraria) de 15 años de edad con orientación E-O. El sistema de conducción es el de espaldera modificada y su marco de plantación es de 4m x 2m.

Dentro del cuadro se identificaron al azar 30 árboles, y cada uno de ellos se consideró como unidad experimental. Se realizaron 3 tratamientos con 10 repeticiones cada uno. La asignación de las unidades experimentales a los distintos tratamientos fue aleatoria.

Tratamiento 1: Testigo sin raleo

Tratamiento 2: Raleo manual a los 10 DDPF (temprano).

Tratamiento 3: Raleo manual a los 45DDPF (tardío).

De acuerdo a la relación hoja/fruto, el porcentaje de cuajado y la productividad esperada, se considera que la carga adecuada para obtener una buena productividad en pera es de 4,5 a 6,5 frutos cm^2 de área seccional de rama (com.pers.). Teniendo en cuenta que se dejaron al menos dos frutos por dardo, en la Tabla 4.1 se detalla el número de dardos adecuados en función del diámetro de rama cargadora.

Tabla 4.1 Relación entre el diámetro de rama y el número de dardos con fruta para obtener un rendimiento adecuado en pera cv. William's.

Diámetro de ramas (mm)	08-10	12-14	16-18	20-22	24-26	>26
Número de dardos	2-3	4-6	8-10	12-15	18-21	25

Fuente. Comunicación personal Ing. Rodolfo Rodríguez (INTA Alto Valle).

El raleo consistió en quitar dardos en función del diámetro de la rama cargadora y en dejar 2 frutos por estructura fructífera (dardo). Los frutos raleados fueron los de diámetro insuficiente para obtener un calibre adecuado a cosecha. Este diámetro se determinó en función de las tablas de raleo y predicción de tamaños propuestas por Bramardi *et al.*, (2006).

DENSIDAD FLORAL

El número total de ramilletes florales de cada tratamiento permite verificar la homogeneidad inicial de la muestra. Se contabilizó el número de ramilletes florales inicial de cada temporada y se estimó el porcentaje de cuaje en función de la cantidad total de ramilletes y el número de frutos a cosecha.

CURVAS DE CRECIMIENTO EN LOS PRIMEROS 60 DDPF, NÚMERO DE CÉLULAS y TAMAÑO CELULAR

Se trabajó sobre una muestra al azar de 10 frutos grandes y 10 chicos recolectados a los 10, 20, 30, 40, 50, 60 días después de plena floración (DDPF). A partir del peso y diámetro de estos frutos se representaron las curvas de crecimiento para cada tratamiento en los primeros 60 DDPF. Sobre la misma muestra se determinó el número y tamaño celular para cada uno de los tratamientos utilizando la técnica de replica de acuerdo a la metodología planteada en el Capítulo 2. El análisis estadístico se realizó a través de un análisis de varianza bifactorial (tratamiento de raleo y categoría de tamaño) para cada año de evaluación.

CURVAS DE CRECIMIENTO DURANTE LA FASE DE ELONGACIÓN CELULAR-COSECHA

Durante la fase de elongación celular y hasta la recolección se llevó a cabo el seguimiento del crecimiento de frutos grandes y chicos en la plantación. A partir de esta información se confeccionaron las curvas de crecimiento del fruto para ambos tratamientos de raleo y el testigo.

Se identificaron 20 frutos por árbol para cada uno de los tratamientos, 10 en la cara norte y 10 en la cara sur (200 frutos en total por tratamiento). Se midió el diámetro transversal (zona ecuatorial) de cada fruto identificado, registrándose el promedio entre dos mediciones a partir de los 40 DDPF en cada temporada. Los frutos se clasificaron en chicos y grandes de acuerdo a su diámetro medio. Las mediciones se realizaron una vez por semana hasta la fecha de cosecha.

Posteriormente, los valores de diámetros (mm) se expresaron en peso (g) utilizando el modelo propuesto por Bramardi *et al.* (1998) (ecuación 4.1), para obtener las curvas de crecimiento correspondientes

$$\text{Peso} = 0,00153 * \text{Diam}^{2,7720} \quad (4.1)$$

La curva de crecimiento del fruto, peso en función de los días transcurridos después de plena floración, responde a un modelo matemático de tipo exponencial (ecuación 4.2). Donde e es la base de los logaritmos neperianos ($e= 2.718$) y **A** y **B** son los parámetros de la función (valor constante).

La tasa diaria de crecimiento del fruto en función del peso se obtuvo a partir de la derivada primera de dicha función (ecuación 3.4).

$$\text{Peso (g)} = A * e^{B * \text{DDPF}} \quad (\text{ecuación 4.2})$$

$$\text{Tasa de crecimiento (g/día)} = A * B * e^{B * \text{DDPF}} \quad (\text{ecuación 4.3})$$

El valor de los coeficientes “A” y “B” se obtuvieron al linealizar la ecuación 4.2 y plantear el modelo de regresión lineal entre el logaritmo natural del peso de los frutos y los días después de plena floración (DDPF).

Para evaluar las variables de diámetro y peso medio de los frutos, se realizó un análisis de varianza bifactorial (tratamiento de raleo y categoría de tamaño).

DISTRIBUCIÓN DE CALIBRES A COSECHA

El efecto sobre el tamaño de los frutos de cada uno de los tratamientos de raleo se evaluó en función de la distribución de calibres en cosecha. La recolección de los frutos para las dos temporadas de estudio, se realizó en una sola pasada luego de la autorización oficial de cosecha. Posteriormente, se evaluó la distribución de tamaños del total de frutos del árbol para cada tratamiento. Para caracterizar esta distribución se consideraron seis categorías de tamaño de acuerdo al diámetro ecuatorial de los frutos (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Categorías de tamaño de frutos de pera cv William's.

Categorías de tamaño	1	2	3	4	5	6
Diámetro ecuatorial (mm)	< 60	60-65	65-70	70-75	75-80	>80

Se registró el peso y número de frutos para cada categoría.

RESULTADOS

El raleo efectuado 10 DDPF se realizó el 6 de octubre en 2006 y el 12 de octubre en 2007. Por su parte, el raleo tardío (45 DDPF) se efectuó el 10 de noviembre y 16 de noviembre para el primer y segundo año, respectivamente.

DENSIDAD FLORAL

El número de ramilletes inicial para cada población de árboles en las que se aplicaron los distintos tratamientos, no mostraron diferencias significativas entre sí, por lo cual se asume que se trabajó sobre plantas con carga floral homogénea (Figura 4.1).

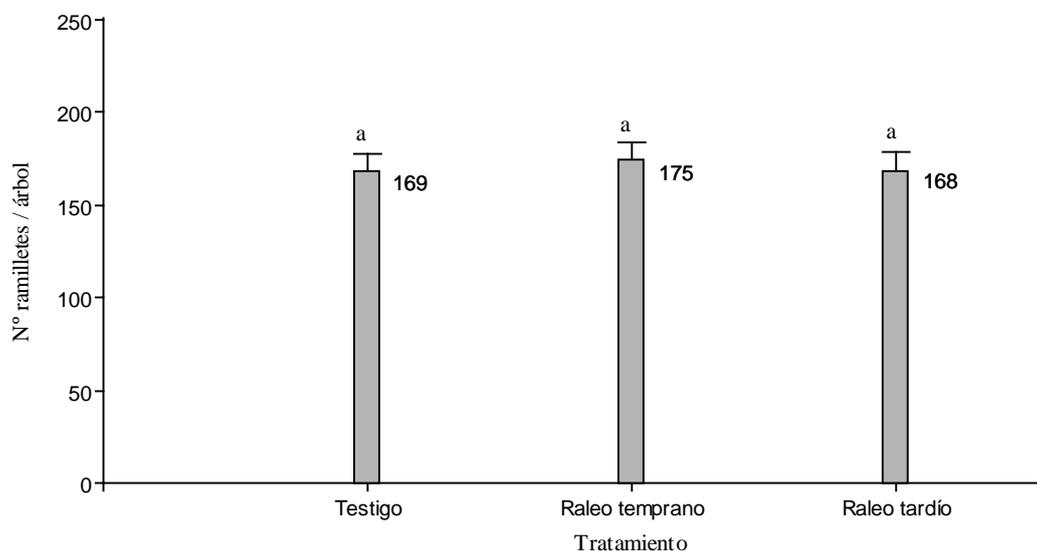


Fig. 4.1. Número medio de ramilletes florales por árbol y desvío estándar para cada tratamiento. ANOVA entre tratamientos. Estadístico LSD Fisher, Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

Se pudo observar que la intensidad de floración fue distinta para cada año de evaluación. En la primera temporada de estudio (2006-2007) se registro un 35 % menos de ramilletes florales por planta, con respecto al año posterior (Figura 4.2).

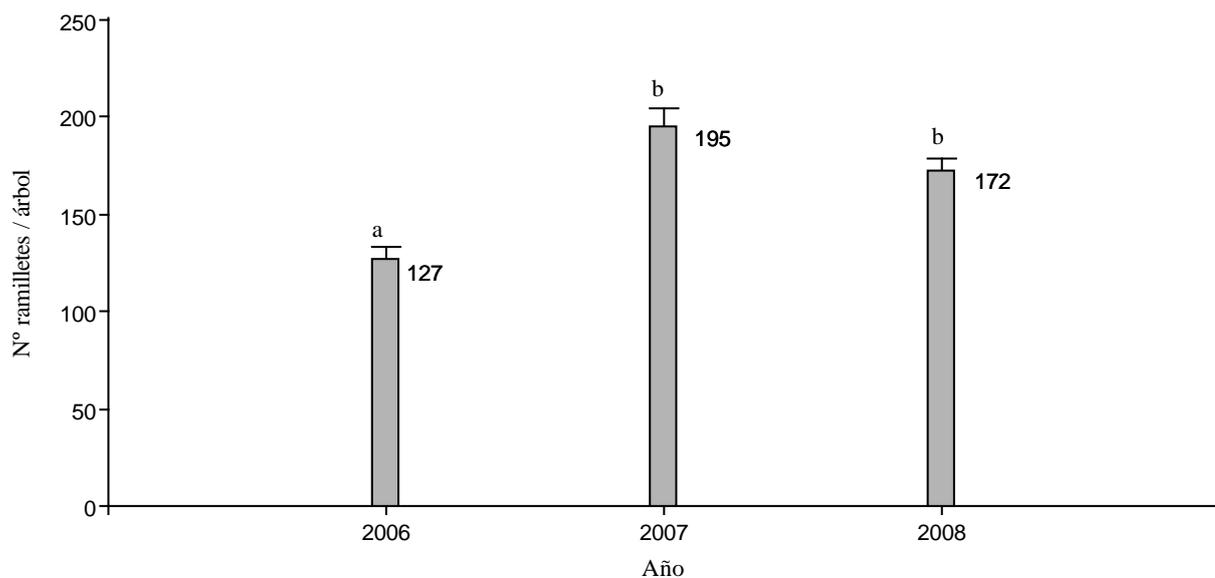


Fig. 4.2. Número medio de ramilletes florales por árbol para tres años consecutivos. ANOVA entre años. Estadístico-LSD Fisher, Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.

CURVAS DE CRECIMIENTO EN LOS PRIMEROS 60 DDPF, NÚMERO DE CÉLULAS y TAMAÑO CELULAR

La respuesta del crecimiento de los frutos al raleo fue diferente para cada temporada de estudio. En el 2006, durante la fase temprana de crecimiento comprendida por los 60 días posteriores a plena floración, el raleo temprano y tardío no afectó la trayectoria del peso de los frutos de tamaño grande. Con respecto a los frutos chicos en los 20 y 30 DDPF se observó un incremento en el peso para el raleo temprano con respecto al testigo. De los 40 a 60 DDPF se mantuvo la misma tendencia pero las diferencias dejan de ser estadísticamente significativas (Figura 4.3).

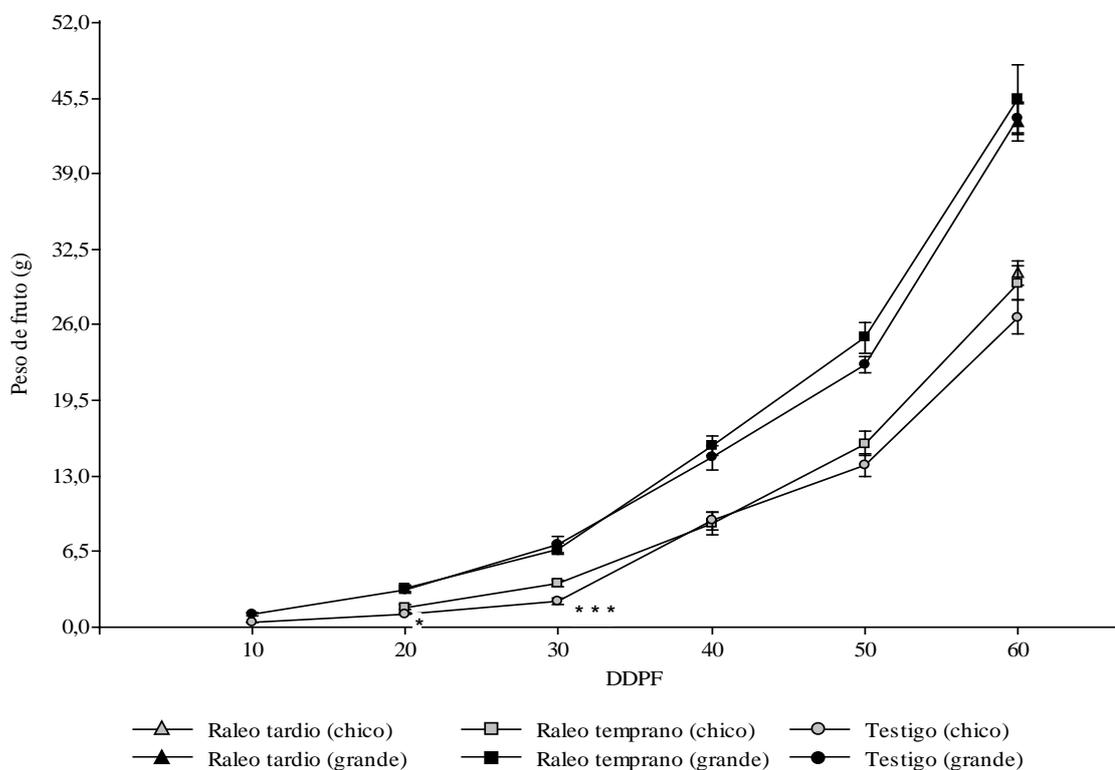


Fig. 4.3 Curva de crecimiento según el peso de los frutos, para los primeros 60 DDPF por tratamiento y categoría de tamaño, año 2006. Valores medios y error estándar. ANOVA *, ** y *** Diferencia significativa al 5, 1 y 0,1 % respectivamente del peso de los frutos entre tratamientos.

La variación del diámetro medio de los frutos presentó la misma respuesta que el peso. A los 60 DDPF, el diámetro, de los frutos chicos con raleo temprano y tardío difiere significativamente del testigo reafirmando la tendencia observada con el peso (Figura 4.4). El diámetro medio de los frutos pertenecientes a los árboles raleados fue 2 mm mayor que los del testigo.

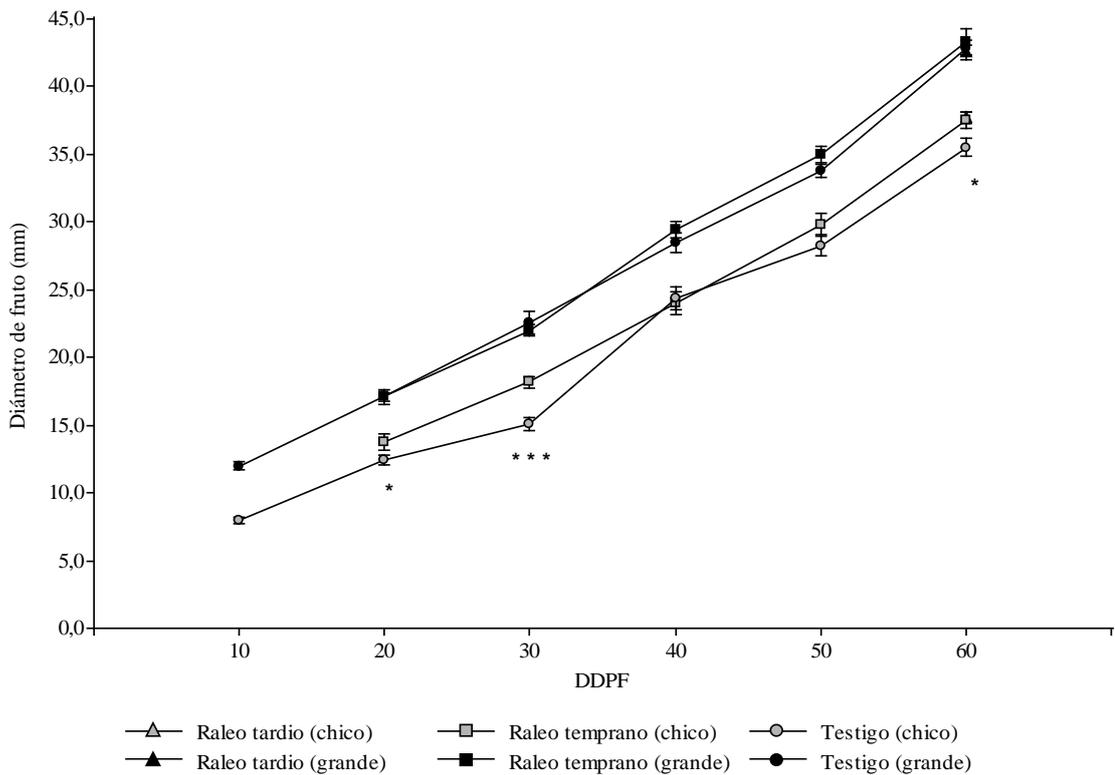


Fig. 4.4 Curva de crecimiento según el diámetro ecuatorial de los frutos, para los primeros 60 DDPF por tratamiento y categoría de tamaño, año 2006. Valores medios y error estándar. ANOVA *, ** y *** Diferencia significativa al 5, 1 y 0,1 % respectivamente del diámetro medio de los frutos entre tratamientos

En el año 2007, del mismo modo que en la temporada anterior, el raleo solo afectó el tamaño de los frutos chicos. Se observó una diferencia altamente significativa entre los frutos del testigo y los que tuvieron un raleo temprano. El raleo tardío que se realiza a 45

DDPF tiene sobre el peso un efecto intermedio entre el testigo y el raleo temprano (Figura 4.5).

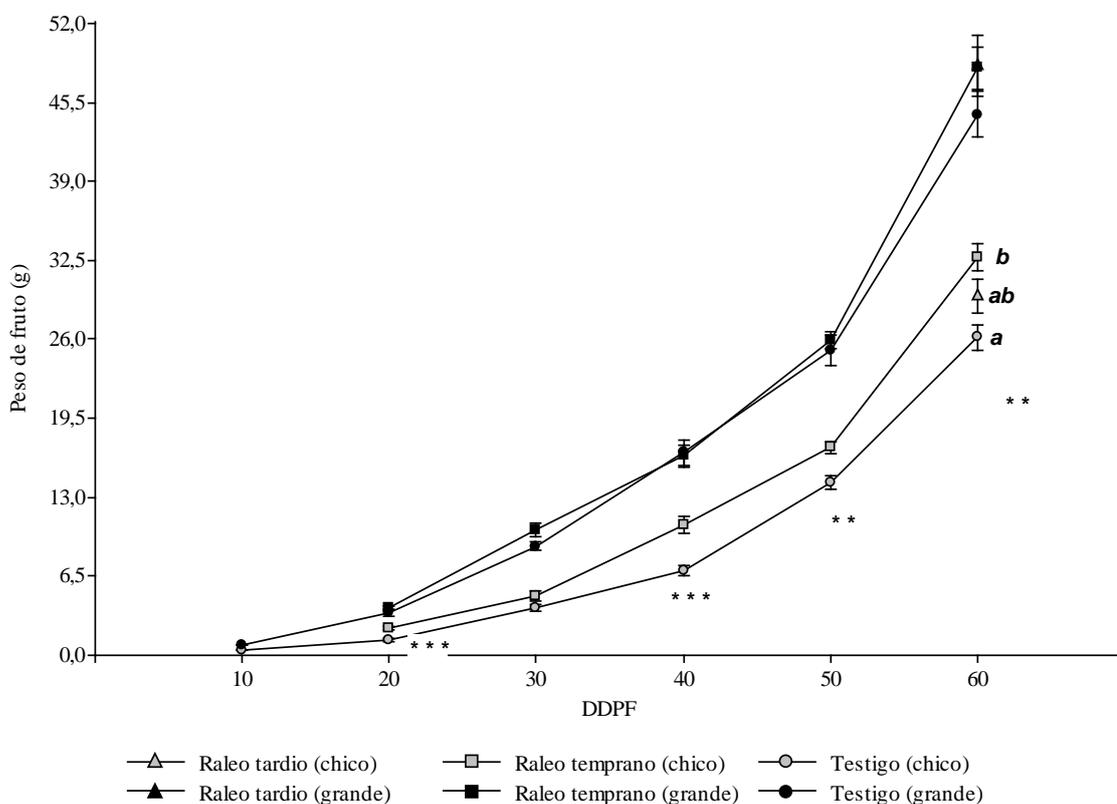


Fig. 4.5. Curva de crecimiento para los primeros 60 DDPF por tratamiento y categoría de tamaño, año 2007. Valores medios y error estándar. ANOVA *, ** y *** Diferencia significativa al 5, 1 y 0,1 % respectivamente del peso de los frutos entre tratamientos.

En cuanto al diámetro, el fruto se comportó del mismo modo que el peso, alcanzando a los 60 DDPF un valor medio de 34,8 mm en el testigo, 37,7 mm con raleo temprano y 36,4 mm con raleo tardío (Figura 4.6).

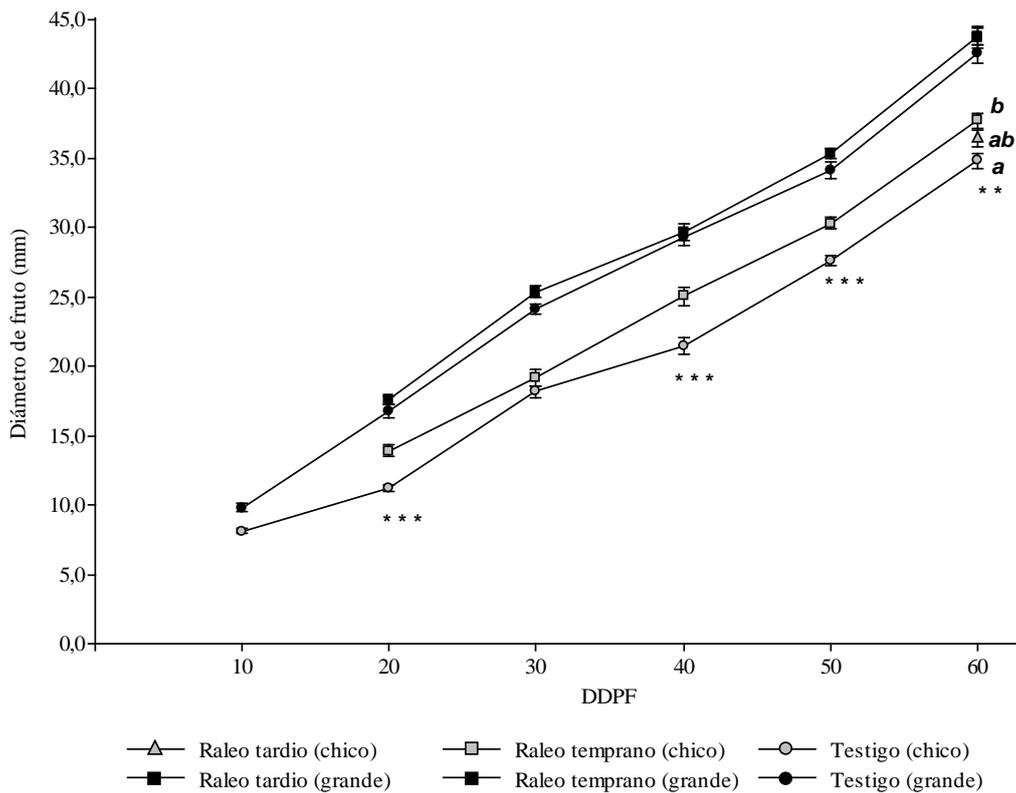


Fig. 4.6. Curva de crecimiento temporada 2007 para cada tratamiento, diámetro ecuatorial del fruto en función de los DDPF. Valores medios y error estándar. ANOVA *, ** y *** Diferencia significativa al 5, 1 y 0,1 % respectivamente del diámetro medio de los frutos entre tratamientos

En el análisis histológico hubo diferencias estadísticas en el número de células en frutos grandes y chicos para el ciclo 2006 y solo para el tamaño chico en el 2007. Los frutos provenientes de plantas con raleo temprano tuvieron mayor número de células que el testigo. Esta diferencia fue notable sobre todo para los frutos de tamaño grande del 2006, en donde el peso medio de los frutos no varía entre tratamientos (Figura 4.7).

Para la temporada 2007 el comportamiento del número de células no presentó una tendencia clara. Sin embargo, a los 60 DDPF se observó un mayor número de células en frutos chicos provenientes del raleo temprano con respecto al testigo y raleo tardío, que coincide con lo observado en el peso y el diámetro (Figura 4.8).

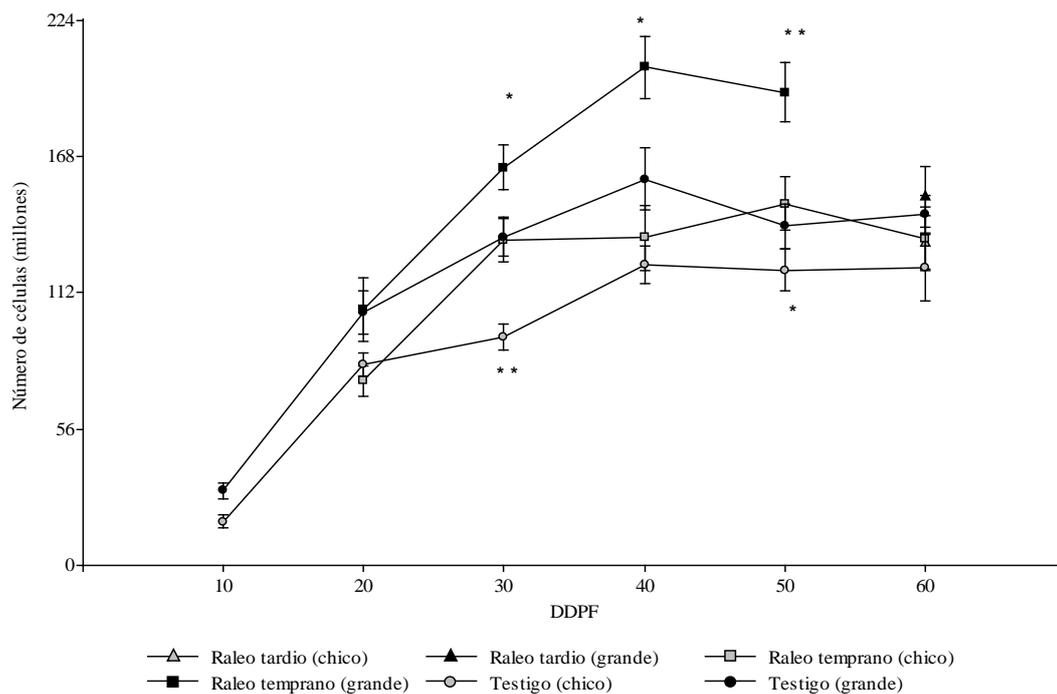


Fig. 4.7 Número de células por fruto para los primeros 60 DDPF por tratamiento y categoría de tamaño, año 2006. Valores medios y error estándar. ANOVA *, ** y *** Diferencia significativa al 5, 1 y 0,1 % respectivamente.

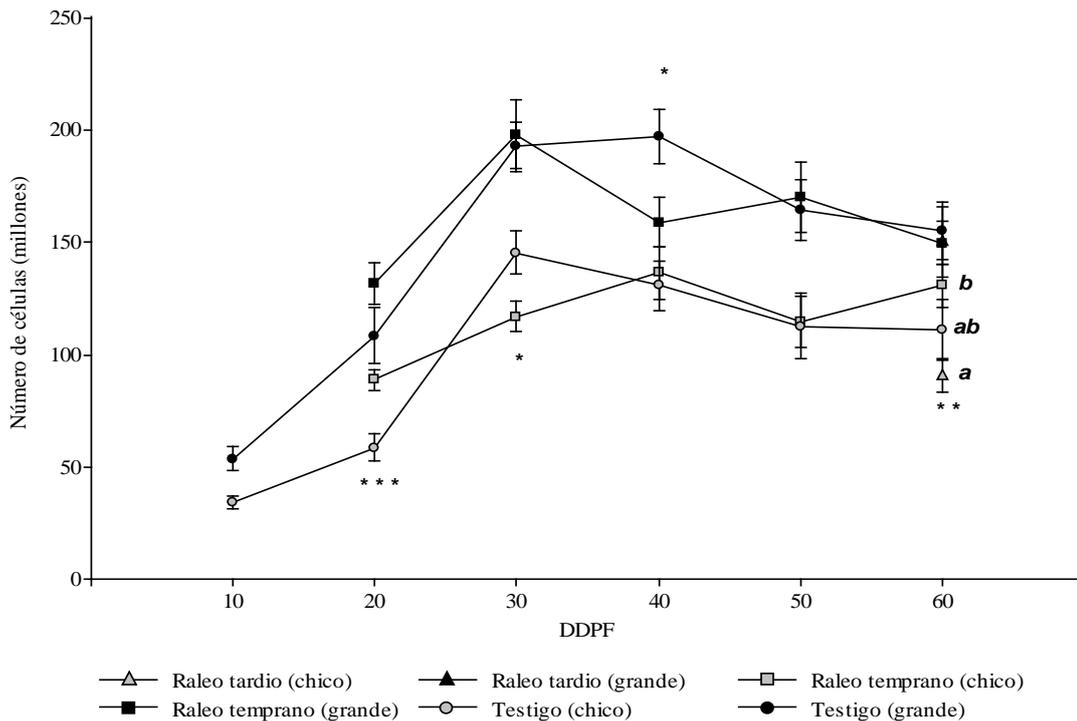


Fig. 4.8 Número de células por fruto para los primeros 60 DDPF por tratamiento y categoría de tamaño, año 2007. Valores medios y error estándar. ANOVA *, ** y *** Diferencia significativa al 5, 1 y 0,1 % respectivamente

En lo que respecta a la expansión celular, en 2006 los frutos grandes del testigo tuvieron mayor volumen celular que los raleados (Figura 4.9), lo que se relaciona directamente con un menor número de células. En 2007, los frutos chicos sometidos a raleo temprano tienen mayor volumen celular que el testigo para un mismo número de células (Figura 4.10).

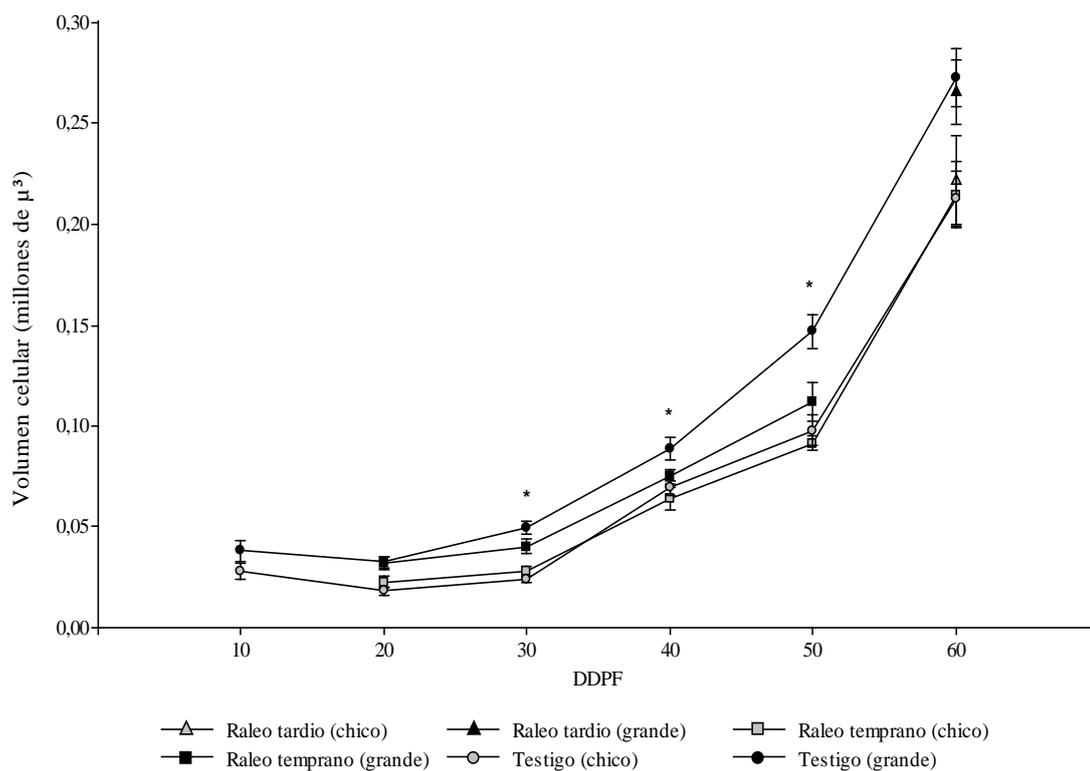


Fig. 4.9 Volumen celular para los primeros 60 DDPF por tratamiento y categoría de tamaño, año 2006. Valores medios y error estándar. ANOVA *, ** y *** Diferencia significativa al 5, 1 y 0,1 % respectivamente

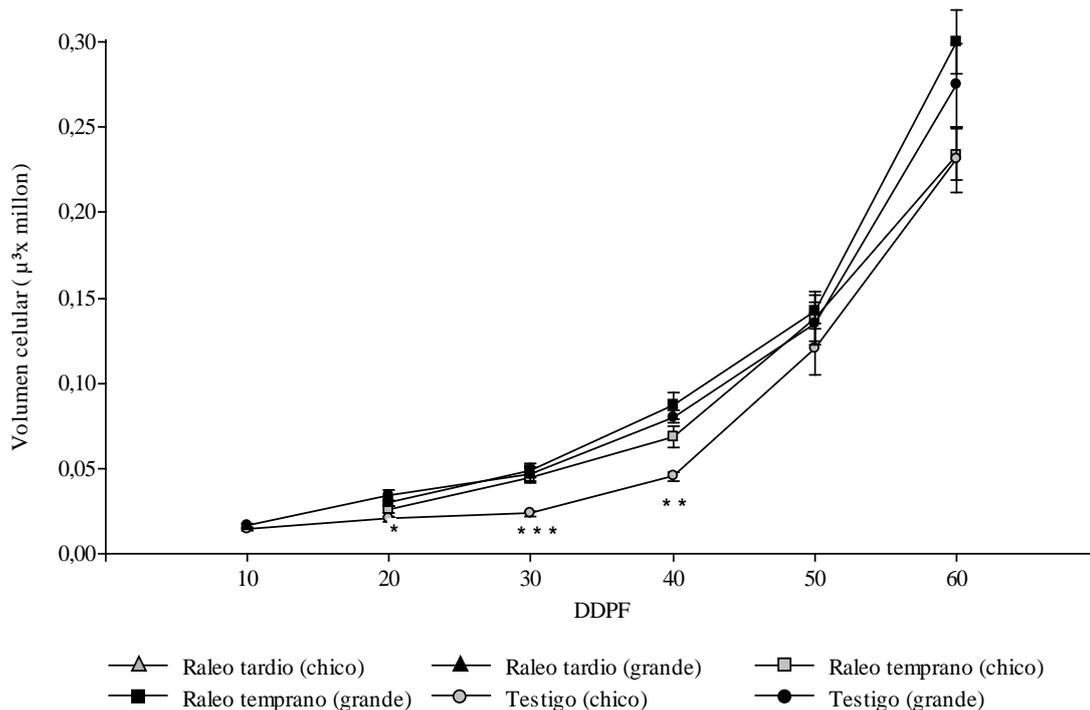


Fig. 4.10. Volumen celular para los primeros 60 DDPF por tratamiento y categoría de tamaño, año 2007. Valores medios y error estándar. ANOVA *, ** y *** Diferencia significativa al 5, 1 y 0,1 % respectivamente

CURVAS DE CRECIMIENTO DURANTE LA FASE DE ELONGACIÓN CELULAR-COSECHA

En el 2006 el raleo temprano favoreció el crecimiento de los frutos de ambas categorías de tamaño, con respecto al testigo y al raleo tardío durante toda la fase de elongación celular (Figura 4.11). A los 100 DDPF frutos chicos de árboles sometidos a un raleo temprano alcanzaron un peso medio de 123 g, mientras que para raleo tardío y el testigo pesaron 109 y 108 g, respectivamente. Esto equivale a un diámetro medio de 58,6 mm para el raleo temprano y de 56 mm para los dos tratamientos restantes. Los frutos de

categoría grande alcanzaron 21,7 g más en su peso medio y su diámetro fue 3 mm mayor con un raleo temprano respecto al testigo (Tabla 4.3).

Tabla 4.3 Peso medio (Pm) y Diámetro ecuatorial medio (Dm) de frutos grandes y chicos a los 100 DDPF para cada tratamiento; testigo, raleo temprano y raleo tardío, en las temporadas 2006 y 2007.

	Chicos		Grandes	
	Pm (g)	Dm (mm)	Pm (g)	Dm (mm)
	2006			
Testigo	108	55,9	164	65
Raleo Temprano	123	58,6	186	68,1
Raleo Tardío	109	56,1	172	66,2
	2007			
Testigo	93,7	53,1	160,1	64,5
Raleo Temprano	102	54,7	159,2	64,4
Raleo Tardío	99,2	54,1	159,6	64,4

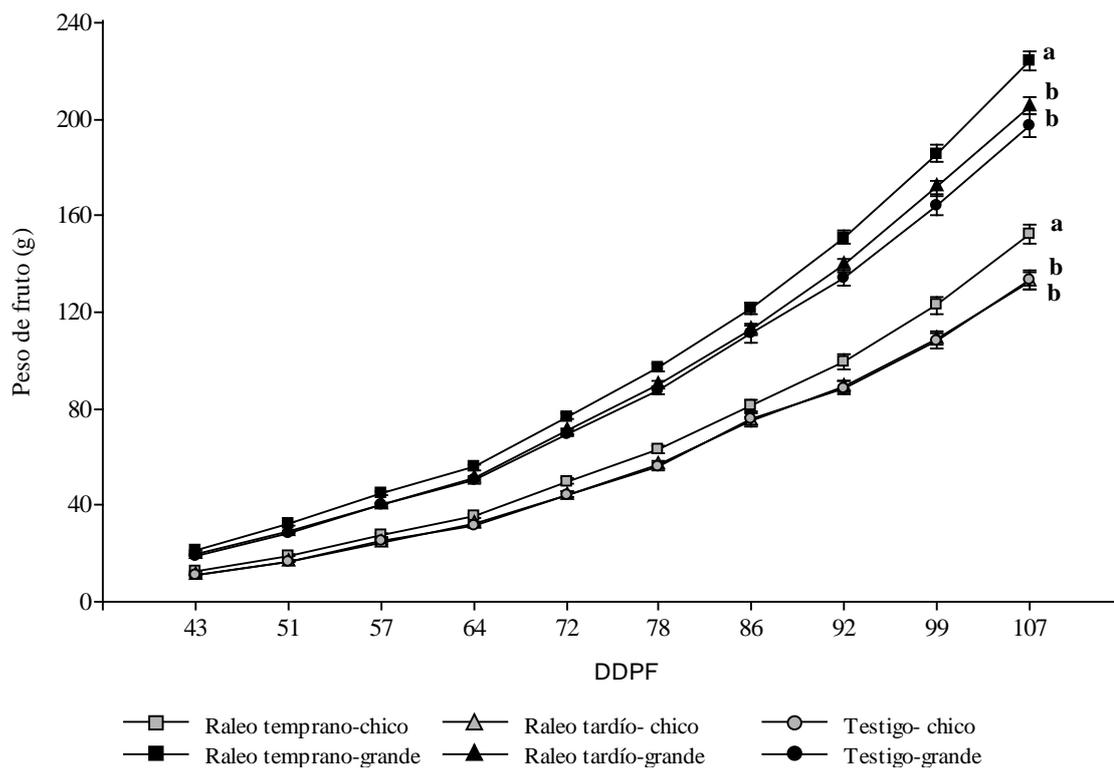


Fig. 4.11 Curva de crecimiento del peso en función de los días transcurridos desde plena floración durante la fase de elongación celular por tratamiento y categoría de tamaño, año 2006. Valores medios y error estándar. ANOVA Letras distintas indican diferencia estadística significativa al 0,1 % entre tratamientos para cada categoría de tamaño.

Para la temporada 2007 el crecimiento de los frutos grandes fue igual para los tres tratamientos. En cambio, los frutos chicos tuvieron mayor crecimiento hasta aproximadamente los 65 DDPF al raleo temprano o tardío (Figura 4.12). El peso de fruto logrado hasta este momento fue de 28 g para el testigo y de 30 g para los dos momentos de raleo.

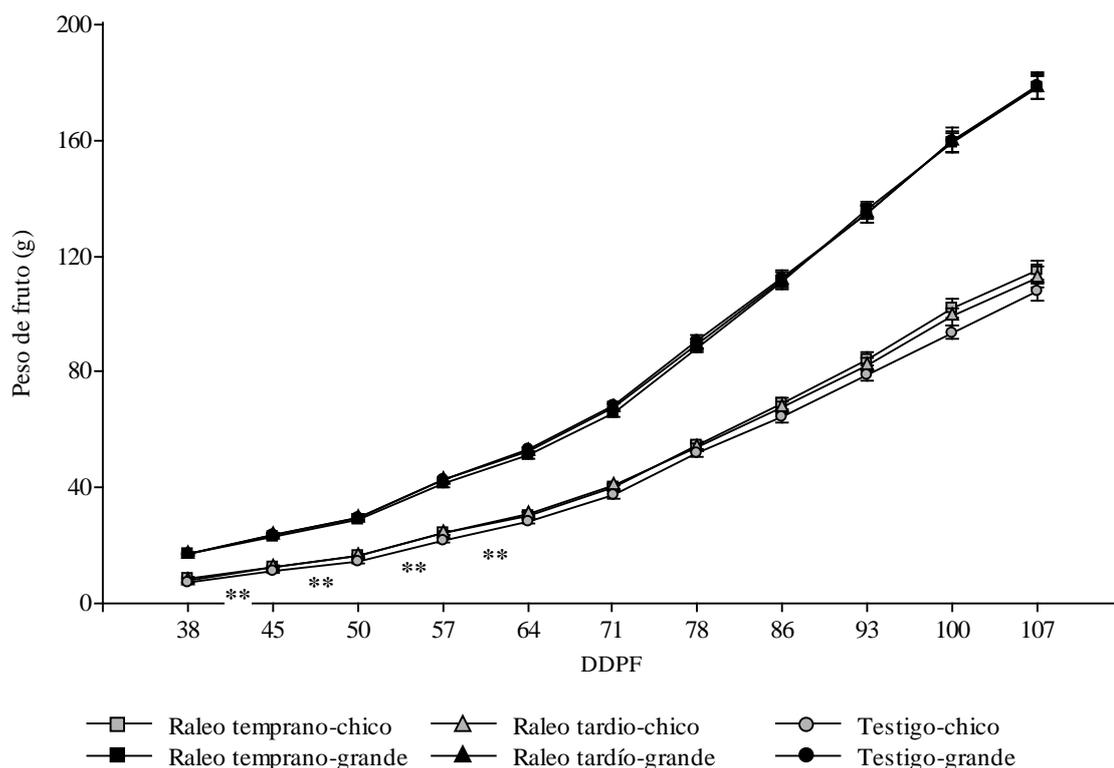


Fig. 4.12. Curva de crecimiento del peso en función de los días transcurridos desde plena floración durante la fase de elongación celular por tratamiento y categoría de tamaño, año 2007. Valores medios y error estándar. ANOVA ** diferencia estadística significativa al 1 % entre tratamientos para cada categoría de tamaño.

Al analizar las tasas de crecimiento se observó que en 2006 sólo los frutos grandes de árboles con raleo temprano, tienen velocidades de crecimiento superiores al resto de los tratamientos. Para los frutos de tamaño chico los dos momentos de raleo incrementaron la velocidad de crecimiento de los frutos (Figura 4.13).

Durante la temporada 2007 los frutos de mayor tamaño mantuvieron sus tasas de crecimiento iguales para cualquiera de los tres tratamientos y resultaron inferiores a las registradas para el tamaño chico. En esta última categoría los frutos afectados por un raleo temprano tuvieron mayor velocidad de crecimiento que los de raleo tardío y testigo, respectivamente (Figura 4.14).

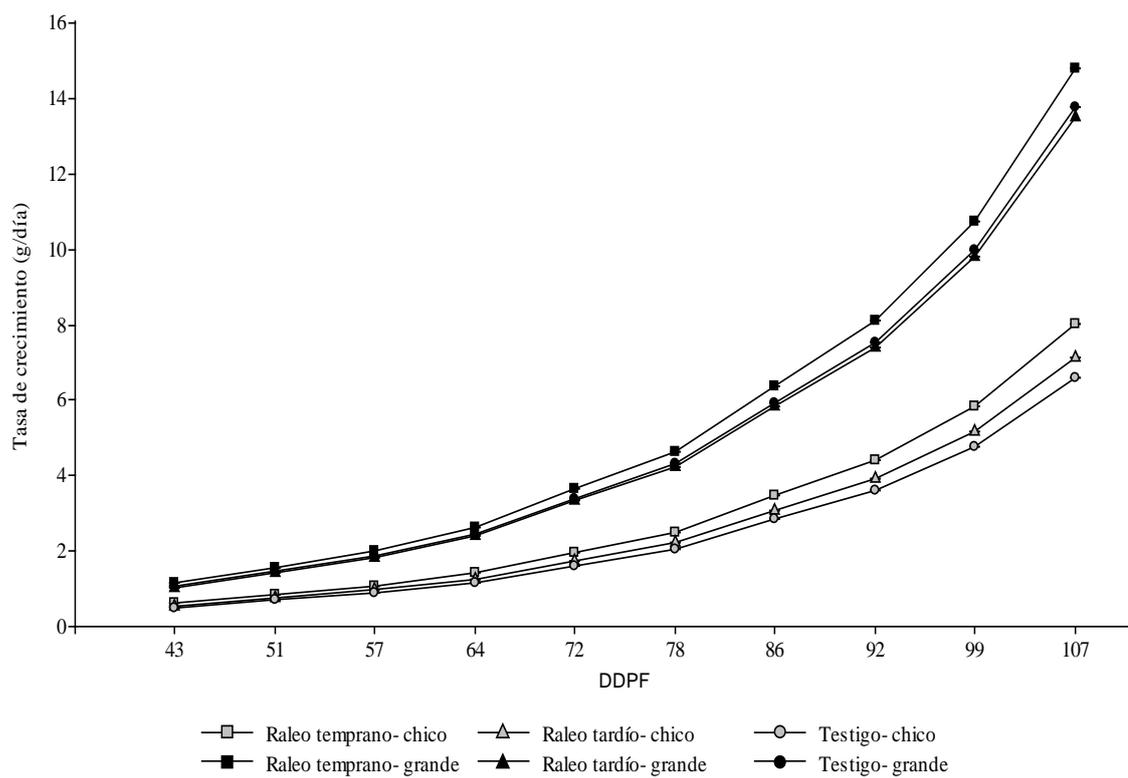


Fig. 4.13. Tasas de crecimiento del peso en función de los días transcurridos desde plena floración durante la fase de elongación celular para cada tratamiento y categoría de tamaño, en el año 2006.

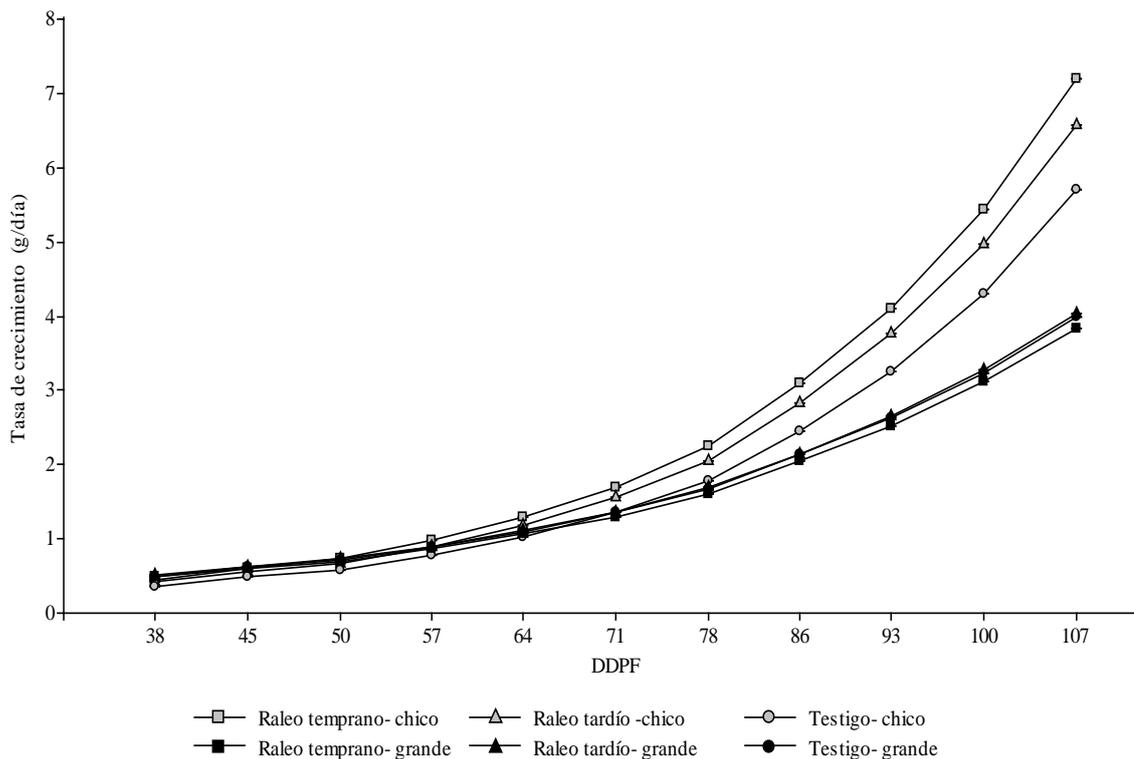


Fig. 4.14. Tasas de crecimiento del peso en función de los días transcurridos desde plena floración durante la fase de elongación celular para cada tratamiento y categoría de tamaño, en el año 2007.

DISTRIBUCIÓN DE CALIBRES A COSECHA

En la cosecha de la temporada 2007-2008, en el tratamiento testigo, se obtuvo un menor número de frutos respecto a la temporada 2006-2007, aproximadamente 16% menos (*p*-valor 0,07). En la Figura 4.15 puede observarse que durante el primer año de evaluación los árboles no raleados presentaron 18 % y 21% más de frutos que los tratamientos de raleo temprano y tardío, respectivamente. Sin embargo, para el ciclo 2007-2008 no se detectaron diferencias entre el testigo y los diferentes tratamientos de raleo.

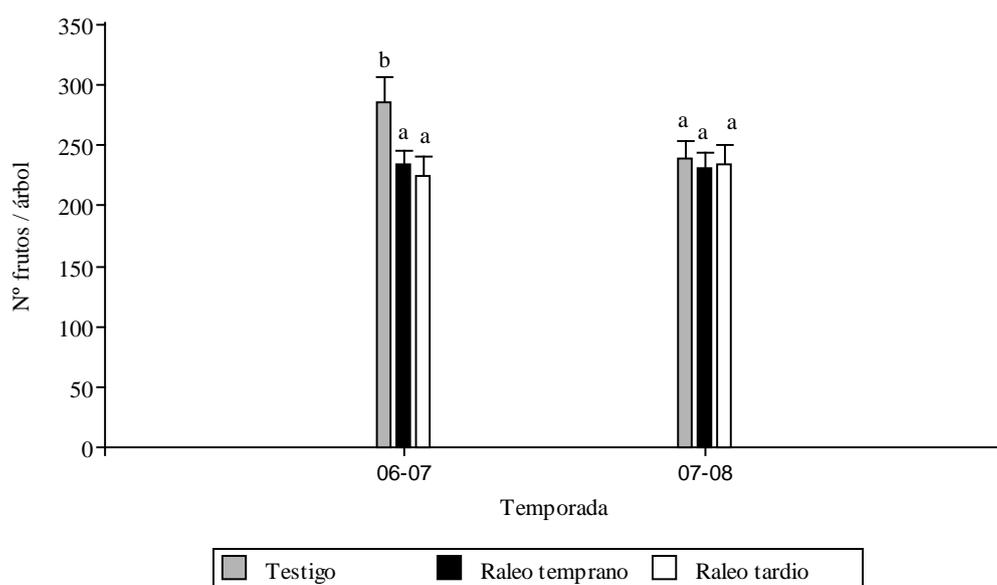


Fig. 4.15. Número medio de frutos por árbol por tratamiento para las dos temporadas de evaluación ANOVA entre tratamientos. Estadístico-LSD Fisher. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas al 5 %.

Si bien durante el ciclo 2007-2008 hubo una buena floración, se observó una disminución cercana al 40 % del número de frutos cosechados en función del número de ramilletes florales iniciales (Tabla 4.4).

Tabla 4.4 Número medio de frutos obtenidos en la cosecha de cada temporada y proporción de frutos con respecto a la floración inicial.

	Número de frutos / árbol	Número de frutos/ número de ramilletes florales
Temporada 2006/07	248 a	2,01 b
Temporada 2007/08	234 a	1,25 a
	<i>p-valor 0,34</i>	<i>P-valor < 0,0001</i>

ANOVA entre años. Estadístico-LSD Fisher. Letras distintas en la columna indican diferencias estadísticas significativas.

Para la primera temporada de evaluación, el testigo tuvo un rendimiento medio de 46 Kg/árbol. El rendimiento para el raleo temprano y tardío fue 6 y 13% menor, respectivamente. Sin embargo en la segunda temporada no se registraron diferencias de rendimiento entre los tratamientos (Figura 4.16).

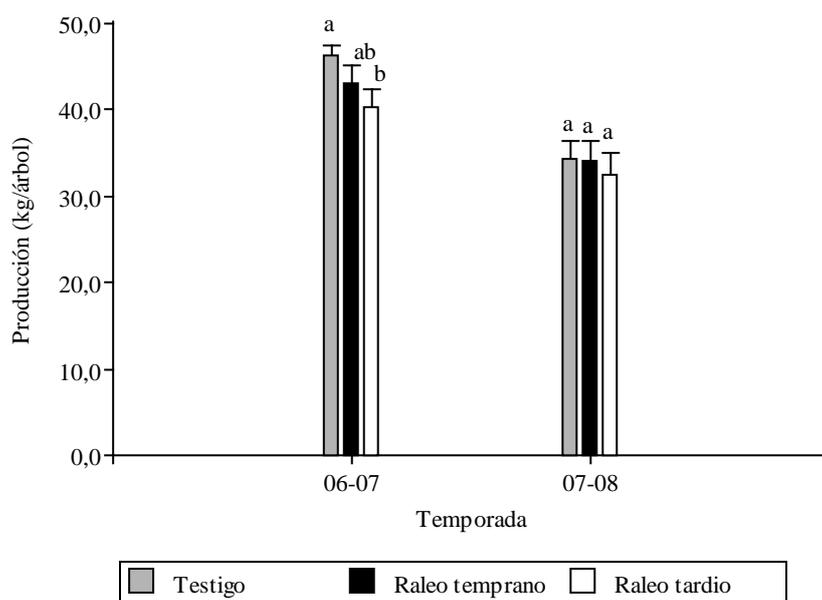


Fig. 4.16. Producción media de frutos por árbol por tratamiento para las dos temporadas de evaluación ANOVA entre tratamientos. Estadístico-LSD Fisher. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas al 5 %.

Los diferentes momentos de raleo no han tenido un efecto importante sobre el rendimiento por planta. Sin embargo, fue notable la diferencia de la producción en cada temporada (Anexo 2). De acuerdo al marco de plantación se obtuvo un rendimiento de 54 Tha^{-1} en la cosecha 2007 y de 42 Tha^{-1} en la cosecha 2008. La producción media por planta fue de 43 Kg en el primer año de evaluación y disminuyó a 34 Kg en el segundo año (Figura 4.17).

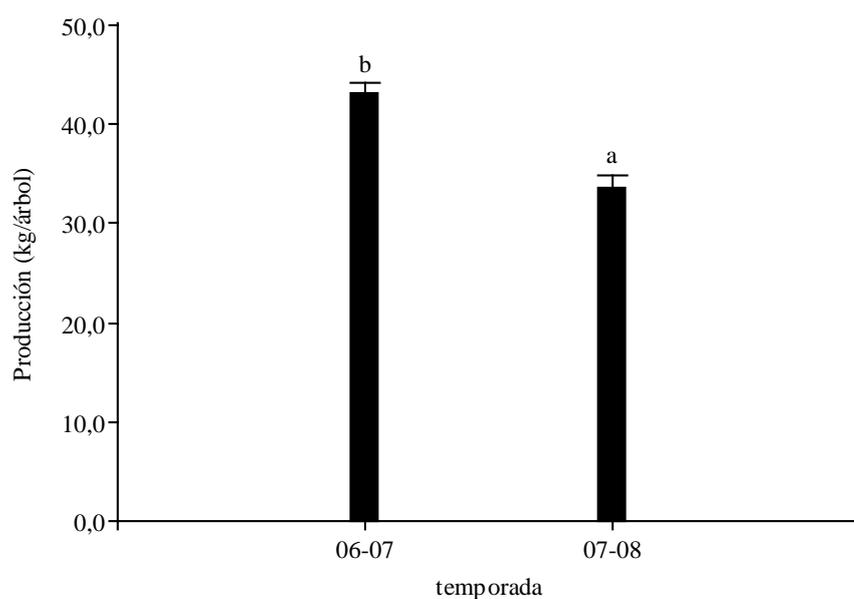


Fig. 4.17. Producción media (kg/árbol) por temporada de evaluación ANOVA entre temporadas. Estadístico-LSD Fisher. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas al 0,1 %.

No se encontró diferencia estadística en el peso medio del fruto por efecto del raleo. Sin embargo, el peso medio de los frutos del segundo año de evaluación fue significativamente menor al obtenido en la primera temporada (Tabla 4.5).

Tabla 4.5. Peso medio de fruto (g) por tratamiento para las temporadas 2006-2007 y 2007-2008.

	Temporada 2006-2007	Temporada 2007-2008
Testigo	172 b	144 a
Raleo Temprano	181 b	147 a
Raleo Tardío	190 b	140 a

ANOVA Léase por columna efecto del tratamiento y por fila diferencias entre temporadas. Estadístico-LSD Fisher. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p_{valor} \leq 0,05$).

El raleo, tanto temprano como tardío, afectó la distribución de calibres a cosecha ($p < 0,0001$). Se observó una clara tendencia de disminución de frutos de calibres inferiores a los 65 mm y un incremento en las categorías mayores a 75 mm (Tabla 4.6 y 4.7). Este comportamiento fue más acentuado en la primera temporada y se atenúa en la segunda. Sin embargo, solo se obtuvo una diferencia estadística significativa entre los tratamientos, para la categoría de 70-75 mm de diámetro en la temporada 2006-2007.

Tabla 4.6. Distribución de la producción (kg/planta) para la temporada 2006-2007 para cada tratamiento de raleo

Categorías de tamaño	Producción (Kg/planta)						Total
	< 60	60-65	65-70	70-75	75-80	>80	
Testigo	1,8	5,0	9,7	18,0	9,3	2,4	46,3
Raleo Temprano	1,4	3,9	7,8	15,1	9,9	4,8	43,0
Raleo Tardío	0,8	3,6	7,7	15,3	10,1	2,8	40,3

Tabla 4.7. Distribución de la producción (kg/planta) para la temporada 2007-2008 para cada tratamiento de raleo

Categorías de tamaño	Producción (Kg/planta)						Total
	< 60	60-65	65-70	70-75	75-80	>80	
Testigo	5,6	10,7	10,7	6,3	1,0	0	34,3
Raleo Temprano	4,8	9,5	10,9	7,5	1,3	0	34,0
Raleo Tardío	5,5	9,8	10,1	6,2	1,0	0	32,6

DISCUSIÓN

La temporada 2006 tuvo un 35 % menos de ramilletes florales que la 2007, sin embargo el número total de frutos a cosecha fue muy similar en los dos años. Podría considerarse que en el 2007 hubo un menor porcentaje de cuaje dado que se registraron fuertes vientos a los 5 y 6 DDPF que provocaron la caída de pétalos anticipada y dificultaron la polinización entomófila. Después del cuaje, ocurrieron vientos intensos (velocidades mayores a 60 kmh^{-1}) entre los 14 y 22 DDPF y a los 50 DDPF que provocaron una fuerte caída de frutos (Anexo 2). Los efectos del raleo en la segunda temporada no se manifestaron o lo hicieron levemente por esta misma razón.

En frutos grandes el raleo temprano, logra incrementar de 2,5 a 17 % el número de células, dependiendo del año, y el tamaño celular disminuye entre 14 y 20 % al finalizar el período de división celular. Por esta razón no se observa aumento en el peso del fruto durante los primeros 60 DDPF. Estos resultados concuerdan con los presentados para manzana donde se demuestra que un raleo temprano, dentro de los 10 primeros DDPF, aumenta el número de células y en consecuencia disminuye el tamaño de las mismas, pero el aumento en el número de células oscila de 8 a 33 % dependiendo de la variedad, mientras que la disminución del volumen celular no supera el 7 % entre raleados y testigos (Martin 1952, citado en Goffinet 1995; Denne, 1960; Westwood *et al.*, 1967; Goffinet *et al.*, 1995 y Link, 2000). El peso medio y el tamaño celular de los frutos chicos, se incrementó debido a la eliminación de frutos de menor tamaño y al mejorar la disponibilidad de recursos.

El raleo realizado en los primeros 10 DDPF permitió obtener frutos de mayor tamaño potencial porque promueve el aumento del número de células (Figura 4.7) o del volumen celular (Figura 4.10), y existió una clara tendencia de aumento en el peso medio de los frutos con respecto al testigo y el tratamiento con raleo tardío, tanto para la categoría grande como chica (Figura 4.3 y 4.5). Stanley *et al.* (2000) sugieren que las intervenciones de manejo realizadas después de los 50 DDPF son mucho menos efectivas para modificar el peso de los frutos a cosecha. Por otro lado, Link (2000) menciona que la relación entre

el sistema fuente-destino y el tamaño de los destinos es regulada durante la fase de división celular.

El aumento de tamaño logrado a cosecha depende de cada temporada, para el año 2006 con el raleo se obtuvo un 4% más de peso en los frutos grandes y en 2007 no hubo diferencias con respecto al testigo (Tabla 4.3).

Los dos momentos de raleo generaron un aumento de la tasa de crecimiento de frutos chicos, con respecto al testigo, durante la fase de elongación celular. En la temporada 2007, este incremento fue muy notable y pudo deberse a una respuesta adaptativa de los mismos dada la disminución del crecimiento de los frutos grandes.

Los árboles testigos presentaron 16 % más de frutos en 2006 que los tratamientos de raleo con un rendimiento de 57 Tha^{-1} , en tanto para el raleo temprano y tardío los rendimientos fueron de 53 y 50 Tha^{-1} , respectivamente. En el 2007 no se superó el valor de 42 Tha^{-1} . La productividad adecuada para este cultivo de acuerdo a su marco de plantación y edad es de 50 Tha^{-1} (com. Pers.). La baja productividad del ciclo 2007-2008 se explica por la alta proporción de frutos de tamaño chico (diámetro menor a 65 mm en el momento de cosecha) que alcanza el 45% de la producción total (Tabla 4.7).

La práctica de raleo mejoró levemente la distribución de calibres a cosecha. En el 2006 la proporción de frutos con diámetros inferiores a 65 mm disminuye de 6 a 8 % y la proporción de frutos mayores a 70 mm aumenta un 9 % (Tabla 4.6). Sin embargo el raleo no fue suficiente para modificar la baja productividad del ciclo 2007-2008. Esto sugiere que parte de la distribución de tamaños estaría explicada por el tamaño potencial del fruto determinado en las fases tempranas de crecimiento de pera Williams y a su vez, la proporción inicial de estas categorías de tamaño, determinada por el vigor inicial de las yemas y luego por la competencia por nutrientes de reserva entre flores y dardos durante los primeros 10 DDPF. Seeley (1990) menciona que en primavera frías el crecimiento de las yemas no es óptimo dado que la temperatura regula la síntesis de hormonas responsables del crecimiento. Goffinet *et al.* (1995), con un raleo realizado en plena floración (sobre manzana “Empire”) obtienen 10 % más de peso de fruto a cosecha que

raleado antes de floración. Estos resultados reforzarían la idea de que la competencia entre estructuras florales es uno de los principales determinantes de la distribución de tamaños. Se debe tener en cuenta que la floración y los primeros estadios vegetativos de los perales dependen casi exclusivamente del nitrógeno almacenado y de los fotosintatos provenientes de hojas de dardos (Sánchez *et al.*, 1990). El nitrógeno de remobilización dura hasta los 40 días después de brotación de acuerdo a trabajos de Millar *et al.* (1998). Esto indica que en pera Williams habría disponibilidad aproximadamente 20 días antes de antesis y 20 días después.

William's es un cultivar de ciclo corto, por lo cual es muy importante la disponibilidad y aprovechamiento de fotoasimilados y nutrientes desde las primeras fases de crecimiento, principalmente entre los 20 y 40 DDPF en donde se determina el tamaño potencial del fruto (Capítulo 3). Michin *et al.* (1997) mencionan que la disponibilidad de nutrientes y fotosintatos influye sobre la distribución de los mismos y condiciona la capacidad de asimilación de los destinos.

CONCLUSIÓN

El raleo realizado a 10 DDPF incrementó el número de células en el mesocarpio del fruto, pero las mismas fueron de menor tamaño. Este aumento depende de cada estación de crecimiento y solo ocurre en los frutos de mayor tamaño.

El raleo efectuado tanto a 10 como a 45 DDPF incrementa la tasa de crecimiento de los frutos de tamaño chico independientemente de la temporada.

Con un raleo a 45 DDPF se logra intervenir sobre la tasa de crecimiento de los frutos, que se incrementan tanto para los tamaños grandes como chicos. Este efecto sobre la velocidad de crecimiento coincide con una tendencia de aumento en el peso medio de los frutos a cosecha si las condiciones climáticas han sido favorables.

El raleo manual efectuado tanto a 10 como 45 DDPF consigue mejorar levemente la distribución de calibres a cosecha. Sin embargo, el patrón de distribución de tamaños de cada temporada parece quedar determinado en las fases tempranas de crecimiento de pera William's.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Bramardi, S.; Tassile V.; Reeb Pablo y De Bernardin F. 2006. Tablas de Raleo. Primera edición. Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Ciencias Agrarias, 24pp.
- Bramardi, S; Castro H. y Zanelli M. 1998. Fruit growth pattern of pear cv Bartlett and Packham`s triumph to improve hand thinning. Acta Hort. 475, 283-293.
- Campana B. 2007. Índices de madurez, cosecha y empaque de frutas. En: Árboles frutales: Ecofisiología, cultivo y aprovechamiento. Sozzi G. Buenos Aires-Argentina. pp. 705-768.
- Castro H. y Tiscornia J. 1967. Predicción del tamaño que alcanzan los frutos de manzanos en la cosecha. Informe Anual Centro Regional Rionegrense, 95-103.
- Denne, P. 1963. Fruit development and some tree factors affecting it. New Zeland J. Bot. 1: 265-294.
- Goffinet M.; Robinson T. y Lakso A. 1995. A comparison of "Empire" apple fruit size and anatomy in unthinned and hand-thinned trees. Journal of Horticultural Science 70 (3) 375-387.
- Gomila T., Calvo G., y Di Masi S. 2005. Análisis de las variables que influyeron en la calidad de la pera Williams. Fruticultura & Diversificación 47, 38-43.
- Link H. 2000. Significance of flower and fruit thinning on fruit quality. Plant Growth Regulation 31, 17-26.
- Minchin P., Thorpe M., Wunsche J., Palmer J. y Picton R. 1997. Carbon partitioning between apple fruit: short- and long-term response to availability of photosynthate. Journal of Experimental Botany, vol. 48, nº 312, pp. 1401-1406.
- Millard P., Wendler R., Hepburn A. y Smith A. 1998. Variations in the amino acid composition of xylem sap of *Betula pendula* Roth. Trees due to remobilization of stored N in the spring. Plant cell and Environment 21: 715-722.
- Podestá L.; Arjona C. y Welkerling E. 1995. Raleo de frutos de peral (*Pyrus communis*, L.) cv. Williams, evaluación de compuestos hormonales, dosis y época de aplicación. Revista de la facultad de ciencias agrarias U.N.Cuyo tomo XXVII- Nº 2.
- Rodríguez R.; Rodríguez A. y Curetti M. 2008. Efecto de la aplicación de Benciladenina en perales cv. Williams sobre el número y tamaño de frutos, en el Alto Valle de Río Negro. XXXI Congreso Argentino de Horticultura, Mar del Plata.

- Sánchez E., Righetti T., Sugar D. y Lombard P. 1990. Seasonal differences, soil texture and uptake of newly absorbed nitrogen in field-grown pear trees. *Journal of Horticultural Science* 65: 395-400.
- Seeley S. 1990. Hormonal transduction of environmental stresses. *HortScience*, vol. 25 (11), 1369-1376.
- Secretaría de Fruticultura de Río Negro. 2009. Marcha del Negocio Frutícola. Boletín n° 10. Disponible en [http:// www.sefrn.gov.ar](http://www.sefrn.gov.ar).
- Stanley C.; Tustin D.; Lupton G.; McCartney S.; Cashmore W. y De Silva H. 2000. Towards understanding the role of temperature in apple fruit growth responses in three geographical regions within New Zealand. *J. of Hort. Sci. and Biotechnology* 74 (4), 413-422.
- Westwood N.; Batjer L. y Billingsley H. 1967. Cell size, cell number, and fruit density of apples as related to fruit size, position in cluster, and thinning method. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 91, 51-62.
- Westwood N. 1982. *Fruticultura de zonas templadas*. Ed. MundiPrensa, Madrid, 461 pp.
- Williams M., Billingsley D., Batjer L. 1969. Early season harvest size predicting of Bartlett pears. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 94: 596-598.
- Zhang C.; Tanabe K.; Tamura F.; Itai A. y Wang S. 2005. Partitioning of ¹³C-photosynthate from spur leaves during fruit growth of three Japanese pear (*Pyrus pyrifolia*) cultivars differing in maturation date. *Annals of Botany* 95, 685-693.

REQUERIMIENTOS TÉRMICOS REGIONALES PARA LA FLORACIÓN DE PERA WILLIAM´S

INTRODUCCIÓN

En el otoño, cuando las temperaturas comienzan a descender, los frutales de pepita y carozo de clima templado frío inician un proceso fisiológico que culmina con la endodormancia. En este periodo las yemas acumulan el frío necesario para desencadenar el proceso de brotación en la primavera siguiente. Una vez satisfecho el requerimiento de frío, las yemas deben sumar horas de calor (grados día) para que se desencadenen los sucesivos estadios fenológicos hasta llegar al momento clave de la floración, que determina en gran medida el potencial productivo del frutal.

Las distintas especies y variedades difieren tanto en exigencias de frío durante el invierno, como en necesidades de calor en la época que antecede a la fase fenológica de floración. La fecha de floración de una variedad en un año y localidad determinada depende de cómo y en qué medida se cumplen estos requerimientos térmicos (Spiegel-Roy y Alston, 1979; Gianfagna y Mehlenbacher, 1985; Couvillon y Erez, 1985; Kay Ryugo, 1988; Citadin *et al.*, 2001).

Las horas de frío constituyen el indicador utilizado tradicionalmente para cuantificar el requerimiento de frío, que se define como la cantidad de horas acumuladas durante el período de descanso en que la temperatura del aire es menor o igual a 7°C. Este nivel térmico de 7°C es universalmente aceptado como límite medio apropiado para el cómputo de horas de frío (Tabuenca, 1964; De Fina & Ravelo, 1975; Pascale & Damario, 2004).

Por otra parte, las necesidades de calor pueden expresarse como unidades de calor o suma de temperaturas efectivas. Las mismas se calculan como grados días tomando como umbral una temperatura determinada que varía entre 4,5°C y 7,2°C (Tabuenca y Herrero, 1966; De Fina & Ravelo, 1975; Pascale & Damario, 2004). En el presente trabajo se ha adoptado asimismo una temperatura umbral de 7°C para realizar el cómputo de las temperaturas efectivas o residuales.

Dada la variabilidad interanual de la fecha de floración que se presenta y su posible relación con el momento en que se desarrolla la fase de división celular en el ciclo de crecimiento de los frutos, es necesario determinar en la región el requerimiento térmico de la pera cv. William's para florecer.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó con información meteorológica y fenológica de la serie histórica 1971-2007 de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Alto Valle (39° 01' de Latitud Sur y 67° 40' de Longitud Oeste), en la provincia de Río Negro.

Para cada año se realizó una estimación diaria de las horas de frío, por debajo de 7°C, en base a las temperaturas máximas y mínimas diarias, por medio del método lineal propuesto por Alonso *et al.* (2001), metodología que conlleva una subestimación cercana al 9 % según los autores. Se evaluó la presencia de errores bajo las condiciones locales y, para corregir la estimación, se realizó una regresión lineal con los valores reales de horas de frío entre mayo y agosto del periodo 2003-2007. El ajuste de esta estimación resulta indispensable para evitar una acumulación de subestimaciones en el cálculo de las horas de frío que conducirían a un sesgo mayor.

La determinación del requerimiento de horas de frío se efectuó siguiendo la metodología expuesta por Romero *et al.* (2006). La misma se basa en que una vez cumplido este requerimiento se estabiliza el número de días necesarios hasta la floración. El ensayo fue llevado a cabo durante el invierno del año 2007. Se realizó la extracción de ramas de un año, a intervalos de tiempo variable durante julio. Para cada fecha, se colocaron 30 estacas de treinta centímetros de longitud en 6 macetas con perlita húmeda en un invernáculo a 18°C. Se realizaron observaciones semanales para determinar el número de días transcurridos hasta la floración (F2).

Los inviernos de la serie histórica de datos climáticos se clasificaron en rigurosos y benignos según la fecha en que acumulaban el requerimiento de horas de frío estimado respecto al valor medio. Las fechas fueron convertidas a días julianos.

Posteriormente, se calculó la suma de temperaturas efectivas desde ese momento hasta la floración, estadio F2 (Fleckinger, 1965), tomando como umbral una temperatura de 7°C (Ecuación 5.1).

$$\text{Temperatura efectiva} = \sum (T_m - 7) \quad (5.1)$$

Donde T_m es la temperatura media diaria de aire.

Para cada año se contabilizaron el número de días necesarios para salir del reposo invernal y los transcurridos desde ese momento hasta la floración.

Se realizaron pruebas t entre los dos tipos de invierno (riguroso y benigno) para:

Fecha de floración

Sumatoria Térmica hasta floración

Longitud del período de reposo invernal

Longitud del período post-reposo-floración

El análisis estadístico se realizó con el programa estadístico *InfoStat*.

RESULTADOS

Se constató, tal como menciona Alonso *et al.* (2001), que la estimación de las horas de frío diarias por el método lineal conlleva una subestimación. La regresión lineal entre los valores estimados y observados de horas de frío (HF) diarias fue utilizada para corregir esta estimación para cada año de la serie histórica (Figura 5.1). Esta corrección logró que la media de los errores se aproximara a cero.

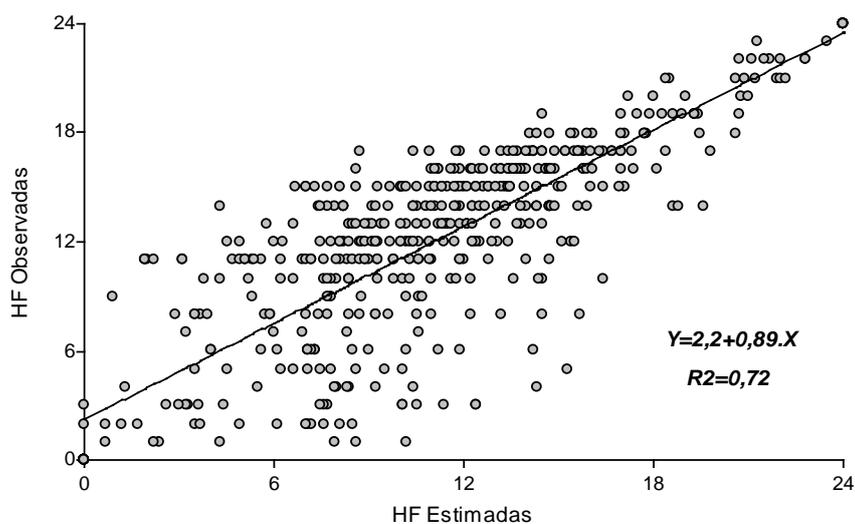


Fig. 5.1. Regresión lineal entre los valores estimados y observados de Horas de Frío diarias durante el periodo mayo –agosto, para la serie 2003-2007.

Como muestra la Tabla 5.1, aproximadamente con una acumulación de 1000 horas de frío el número de días necesarios para la floración del peral cv. William's no disminuye significativamente, indicando que la variedad encuentra satisfecho su requerimiento con esta cantidad de horas de frío.

Tabla 5.1. Número de días necesarios a 18 °C para la floración de peral cv. William's en función de las horas de frío acumuladas.

Fecha de Recolección	Horas de frío	Nº de días necesarios para la floración
02/07	850	43,8 b
11/07	1006	37,0 a
24/07	1208	32,2 a

ANOVA α : 0,05. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas seg únTukey.

En la serie histórica la fecha media de acumulación de estas 1000 horas de frío es el 26 de julio. Esta fecha fue utilizada para separar los inviernos en rigurosos (1000 HF antes 26/07) y benignos (1000 HF después 26/07), de acuerdo a la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Clasificación de los inviernos según la fecha en la que alcanzan las 1000 horas de frío.

Inviernos rigurosos	Inviernos benignos
Fecha media de acumulación de 1000 H F \pm Desvío Estándar	
DJ 200 \pm 6 (18/07)	DJ 218 \pm 6 (05/08)
1971- 1973- 1974- 1976- 1977 1980- 1982- 1983- 1984- 1986 1991- 1992- 1993- 1995- 1996 1999- 2000- 2002- 2004- 2005- 2007	1972- 1975- 1979- 1981- 1985 1987- 1989- 1990- 1994- 1997 1998- 2001- 2003- 2006

De acuerdo a esta clasificación no existiría diferencia entre la cantidad de unidades de calor requeridas por la variedad William's para florecer, una vez que sale del reposo siendo el umbral de grados días necesario de aproximadamente 180° días (Tabla 5.3). La fecha de floración está influenciada significativamente por el régimen térmico invernal, mostrando un retraso de 4 días cuando el invierno es benigno (Tabla 5.3). Con inviernos benignos, el periodo de reposo se extiende 18 días con respecto a los inviernos rigurosos mientras que el periodo necesario para acumular 180° días se acorta en 13 días.

Tabla 5.3 Caracterización de los inviernos

	Tipo de Invierno		Pruebas t
	Riguroso	Benigno	p-valor
Periodo de reposo(días)	79 ± 6	97 ± 6	<0,0001
Periodo post-reposo – floración (días)	67 ± 7	54 ± 7	<0,0001
Sumatoria térmica hasta floración (Grados días)	179 ± 22	181 ± 23	0,77
Fecha de floración (Día Juliano)	268 ± 5 (25/09)	272 ± 3 (29/09)	0,0068

Valores medios ± desvío estándar

DISCUSIÓN

Básicamente el proceso de dormición está controlado por balances hormonales propios de la planta, pero la temperatura es un buen indicador de la finalización de esta fase dentro del ciclo de crecimiento de pera William's. Tabuenca (1964) califica a la variedad William's dentro del grupo de peras más exigentes en frío.

Después de cumplido el reposo invernal las yemas pueden permanecer cerradas exclusivamente por factores climáticos. La velocidad en el cambio de fases está regulada principalmente por la temperatura que juega un rol fundamental sobre la síntesis de auxinas, giberelinas y citocininas (Barceló Coll, 1992; Seeley, 1990). Los períodos de pre-floración fríos en pera William's, con temperaturas medias diarias inferiores a 7°C, enlentecen, el crecimiento de las yemas y, en consecuencia, el cambio de fases hasta llegar a plena floración. Del análisis estadístico de esta serie de 34 años de registros se deduce que inviernos más fríos tienen un período post-reposo más prolongado para acumular 180° días requeridos para florecer, por lo cual la floración ocurre próxima al 25 de septiembre. Al contrario, inviernos más cálidos pueden retrasar la floración hasta en 4 días.

CONCLUSIÓN

La variedad de peral William's requiere para florecer (F2) 180° días después de cumplidas las 1000 horas de frío.

Los inviernos benignos, en los cuales el requerimiento de frío se alcanza más tardíamente, retrasan la fecha de floración de peral cv. William's en 4 días.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Alonso, M; Rodríguez R. y Gómez S. 2001. La utilización de las temperaturas máxima y mínima diarias para la estimación de la disponibilidad de horas de frío. *Revista Facultad de Agronomía*, 21 (3): 261-264.
- Barceló Coll J.; Nicolas R.; Sabater García B. y Sánchez Tamés R. 1992. *Fisiología Vegetal*. 6^{ta} edición, Ed. Pirámides, Madrid, pp 662.
- Citadin I.; Raseira M.; Herter F y Da Silva B. 2001. Heat Requirement for Blooming and Leafing in Peach. *HortScience* 36(2):305-307.
- Couvillon G. y Erez A. 1985. Influence of prolonged exposure to chilling temperatures on bud break and heat requirement for bloom of several fruit species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110 (1), 47-50.
- Dennis F. 1994. Dormancy- what we know and don't know. *HortScience*, 29 (11), 1249-1255.
- Fleckinger J. 1965. Stades reperes des pomaácees. Coll. G. Viennot-Bourgin, I. 45 pp.
- Gianfagna T. y Mehlenbacher S. 1985. Importance of heat requirement for bud break and time of flowering in Apple. *HortScience* 20(25), 909-911.
- InfoStat (2009). InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Kay Ryugo. 1988. *Fruit Culture: Its Science and Art*. University of California Davis, California Copyright.
- Pascale, D. y Damario E. 2004. *Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología*. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- De Fina, A. y Ravelo, A. 1975. *Climatología y fenología agrícolas*. Editorial Universitaria de Buenos Aires, Argentina.
- Romero, M.; Caracoche, C. y Urrutia M. 2006. Necesidades de frío invernal de portainjertos del género *Prunus*. XI Reunión Argentina de Agrometeorología. La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Spiegel-Roy P. y Alston F. 1979. Chilling and post-dormant heat requirement as selection criteria for late-flowering pears. *Journal of Horticultural Science* 54 (2), 115-120.
- Seeley S. 1990. Hormonal transduction of environmental stresses. *HortScience*, vol. 25 (11), 1369-1376.

Tabuenca M. 1964. Necesidades de frío invernal de variedades de albaricoquero, melocotonero y peral. Anales de la estación experimental de Aula Dei 7 (3-4). pp 113-132.

Tabuenca M. y Herrero J. 1966. Influencia de la temperatura en la época de floración de frutales. Anales de la estación experimental de Aula Dei 8 (1-2), pp 115-153.

CONCLUSIONES GENERALES

EFECTO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE SOBRE EL TAMAÑO DEL FRUTO

La temperatura es un factor físico que permite determinar el efecto del calor como regulador del crecimiento en las distintas fases de desarrollo que comprende el ciclo anual de un cultivo perenne como el de pera William's.

Se ha demostrado que la acumulación de horas con temperaturas menores a 7°C es un buen índice biometeorológico para determinar el final de la fase de endodormancia, como así también fue verificado que 1000 horas de frío representa el requerimiento de frío para esta variedad. Posteriormente, se estableció que la fecha de ocurrencia de plena floración es termodependiente y también que 180° días son suficientes para alcanzar dicho estado fenológico. Temperaturas medias diarias inferiores a 7°C en las 2 o 3 semanas previas a floración detienen el desarrollo de las yemas florales.

La floración determina el inicio del crecimiento del fruto y condiciona el proceso hasta el momento de cosecha. La densidad floral del árbol se relaciona con la distribución de calibres a cosecha.

El tamaño potencial del fruto parece estar determinado por un conjunto de factores que se interrelacionan. El número inicial de células es regulado principalmente por la temperatura. Se han registrado importantes aumentos en la tasa de división celular con una mayor frecuencia de temperaturas horarias superiores a 20 °C, o medias diarias mayores a

12,5 °C. Esta relación queda respaldada por la significativa respuesta lineal de las tasas de crecimiento del fruto al aumento de la temperatura en los primeros 30 DDPF. El volumen celular es un buen indicador del tamaño de la célula y, desde muy temprano (10 DDPF), su incremento es de suma importancia en la determinación del tamaño inicial del fruto. El número y / o la dimensión de las células regulan el tamaño potencial de pera William's en los primeros 40 DDPF.

La fase de división celular presenta una longitud de 30 días, y esta duración no depende de la temperatura cuando los frutos tienen buena capacidad competitiva. Los frutos chicos manifiestan cierta capacidad adaptativa y, ante condiciones térmicas menos favorables, disminuyen fuertemente su tasa de división celular, pero alcanzan un número de células máximo (en función de su peso) al extender la fase en aproximadamente una semana.

Frutos con igual cantidad de células pueden alcanzar diferentes categorías de tamaño en función de la capacidad de expansión celular. Es de fundamental importancia el nivel nutricional durante las primeras semanas después de floración para un adecuado desarrollo del fruto de pera William's.

Aproximadamente a partir de los 60 DDPF, la temperatura junto con la velocidad del viento y el déficit de presión de vapor, ejercen el papel regulador sobre la velocidad de crecimiento de los frutos. Este efecto es diferente de acuerdo al tamaño inicial de los mismos. Se ha observado que tanto la velocidad como el momento de ocurrencia de los vientos regionales modifican las condiciones microclimáticas del cultivo afectando su normal desarrollo y crecimiento.

El tamaño final de cada fruto depende del tamaño potencial inicial, determinado básicamente por características histológicas, y de los factores reguladores del crecimiento, entre ellos la temperatura.

La distribución de tamaños a cosecha no solo depende del tamaño potencial del fruto, sino también de la proporción de diferentes categorías de tamaño existentes en la planta. La proporción de frutos en cada categoría de tamaño podría ser determinada en el periodo prefloración, con el desarrollo de las yemas florales, y/o en los primeros 10 DDPF.

EFFECTO DEL RALEO MANUAL SOBRE EL CRECIMIENTO

El raleo en términos generales produjo un aumento en las tasas de crecimiento del fruto, a nivel celular cuando el raleo se realiza a los 10 DDPF, y sobre el peso cuando el raleo es tardío (45 DDPF).

Si bien el raleo aumentó la velocidad de crecimiento, no fue suficiente para incrementar el peso medio de los frutos a cosecha. La eficacia y eficiencia de esta práctica de manejo es fuertemente condicionada por los factores climáticos de cada año.

Bajo las condiciones de este ensayo se logró mejorar levemente la distribución de tamaños a cosecha cuando la temporada se presenta climáticamente favorable.

APLICACIONES PRÁCTICAS Y LÍNEAS INDAGATORIAS

De acuerdo a los resultados de esta investigación, los factores climáticos juegan indudablemente un rol fundamental sobre la producción de pera William's. Determinar umbrales y establecer índices bioclimáticos regionales que permitan evaluar cada fase de crecimiento y desarrollo del fruto, es una herramienta importante para realizar las intervenciones de manejo necesarias en momentos oportunos.

Poder predecir la fecha de floración y anticipar al menos una tendencia de la distribución de tamaños a cosecha a través de los efectos de las condiciones térmicas, puede aportar información valiosa para la diagramación comercial del fruto de pera William's.

De este trabajo surgen nuevos interrogantes acerca de los factores que condicionan la distribución de tamaños cada año productivo. La relación entre la temperatura, la

actividad en pre- y post-floración de las hormonas de crecimiento y la disponibilidad de fotoasimilados no han sido aún muy estudiados, sobre todo en pera Williams.

Por otro lado, la velocidad del viento en combinación con otras variables atmosféricas, se ha identificado como un importante factor meteorológico local que limita el crecimiento. Se conoce relativamente poco aún sobre el efecto fisiológico que promueve a nivel de la actividad fotosintética en cultivos perennes en general y en pera Williams en particular.

ANEXO 1

CONDICIONES MESOCLIMATICAS ZONALES

En este anexo se presentan registros meteorológicos obtenidos en la estación meteorológica Alto Valle para los dos años de estudio correspondientes para cada día después de floración (DDPF) hasta completar el ciclo de crecimiento de los frutos.

CONDICIONES TÉRMICAS

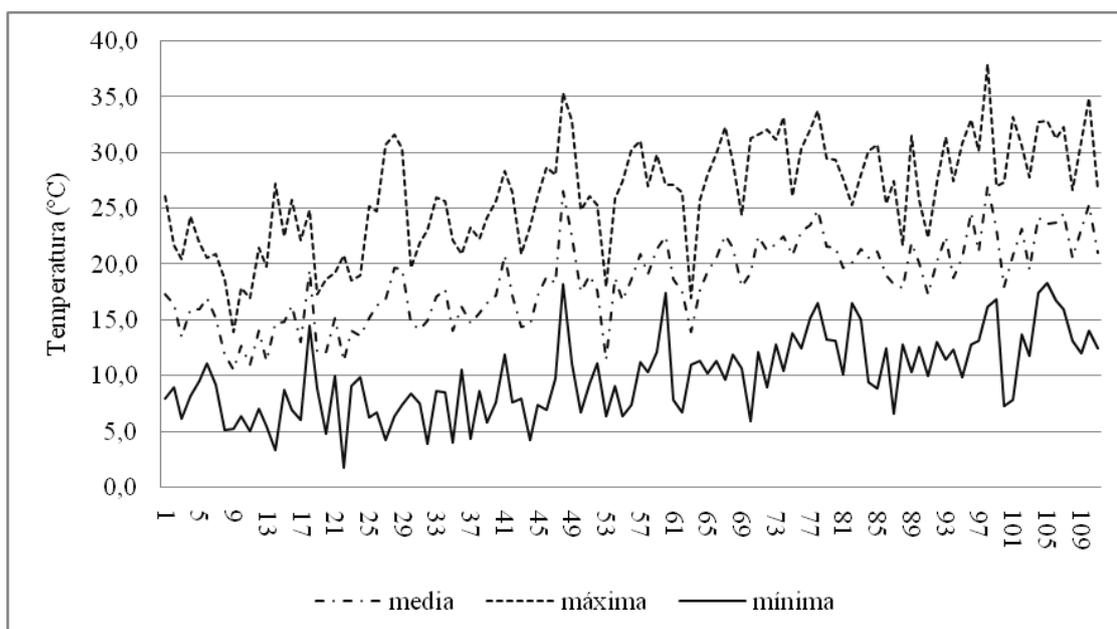


Fig. 1 Temperaturas medias, mínimas y máximas (°C), temporada 2006-2007.

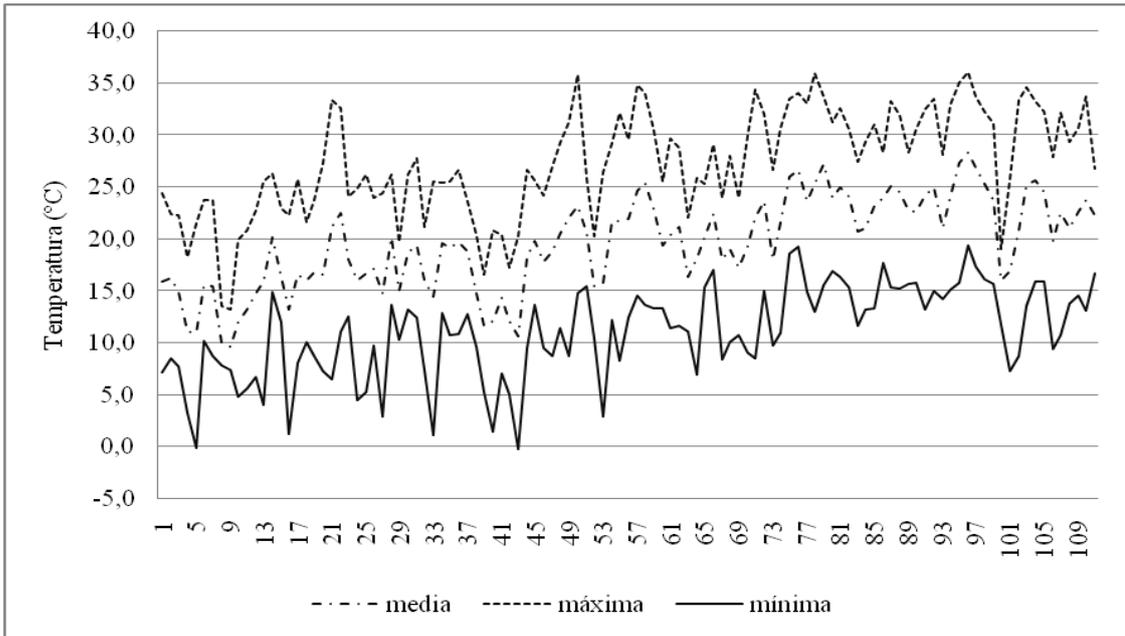


Fig. 2 Temperaturas medias, mínimas y máximas (°C), temporada 2007-2008.

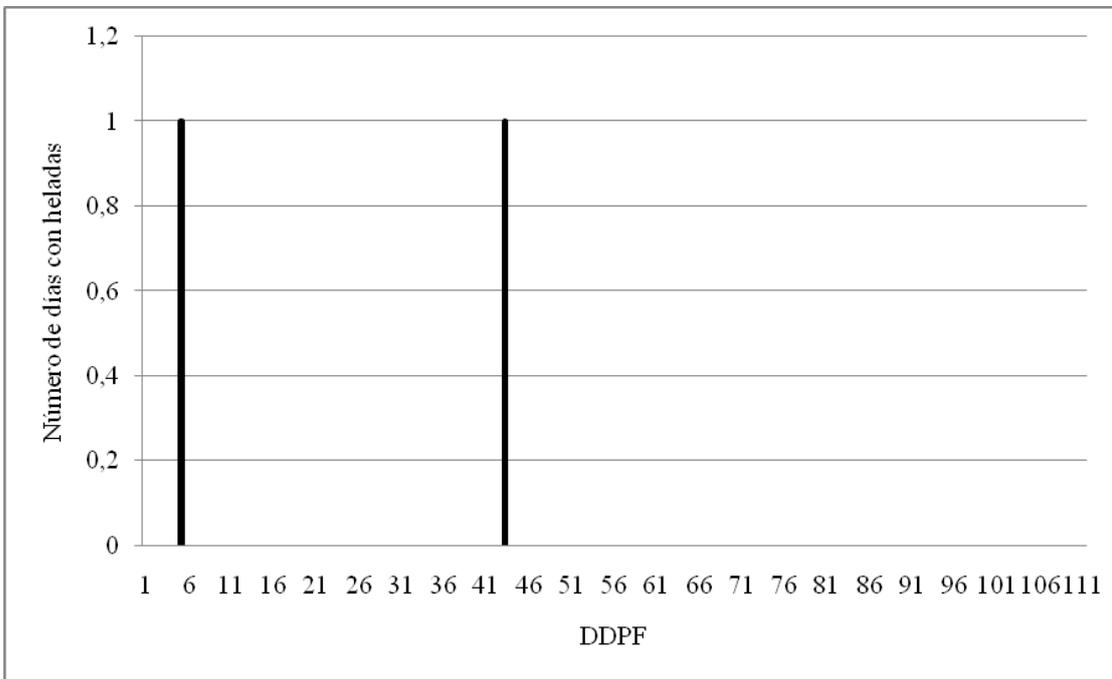


Fig. 3 Heladas ocurridas en el año 2007. (no se registraron heladas en el 2006).

RADIACIÓN SOLAR GLOBAL

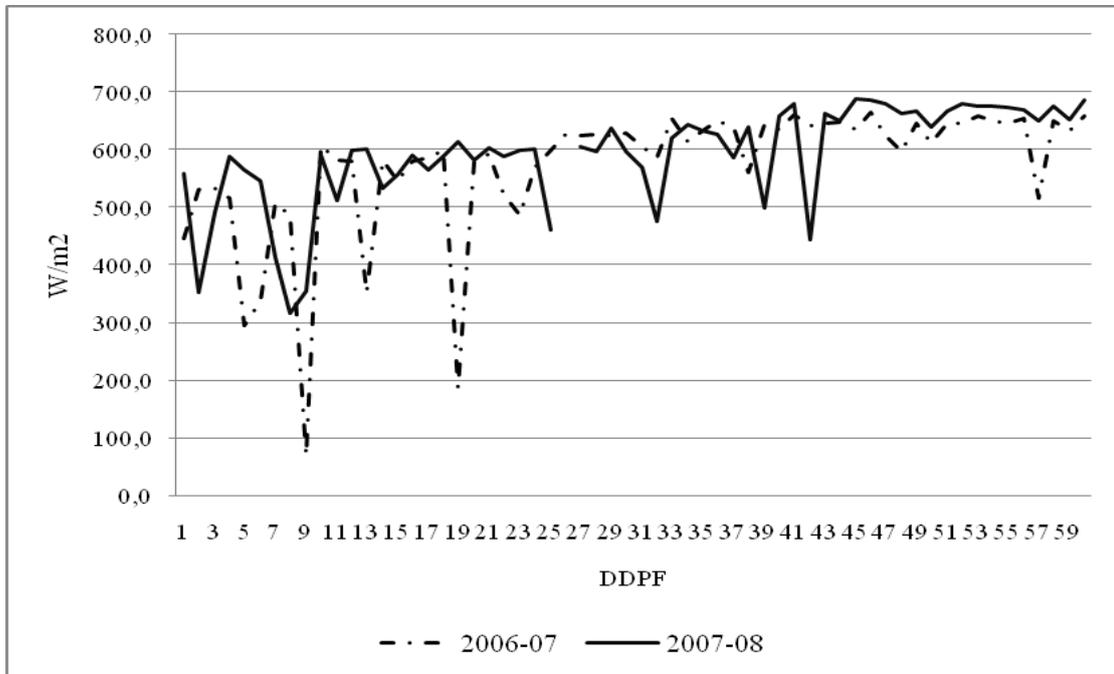


Fig. 4 Radiación solar global (w/m^2), de plena floración hasta los 60 DDPF.

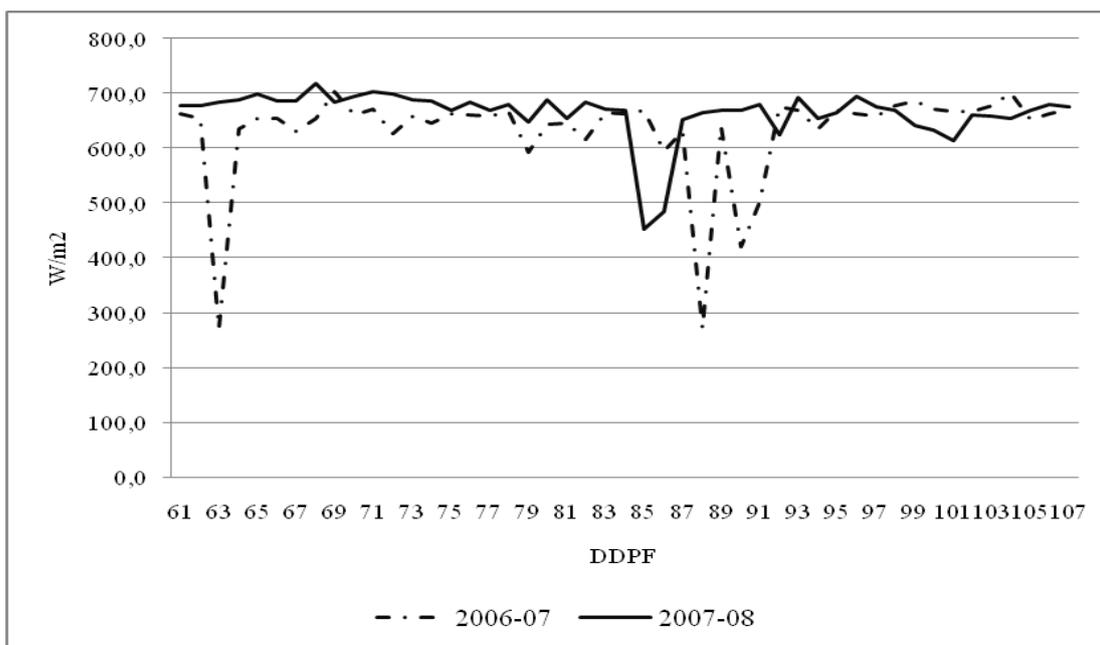


Fig. 5 Radiación solar global (w/m^2), de 60 a 107 DDPF.

VIENTOS

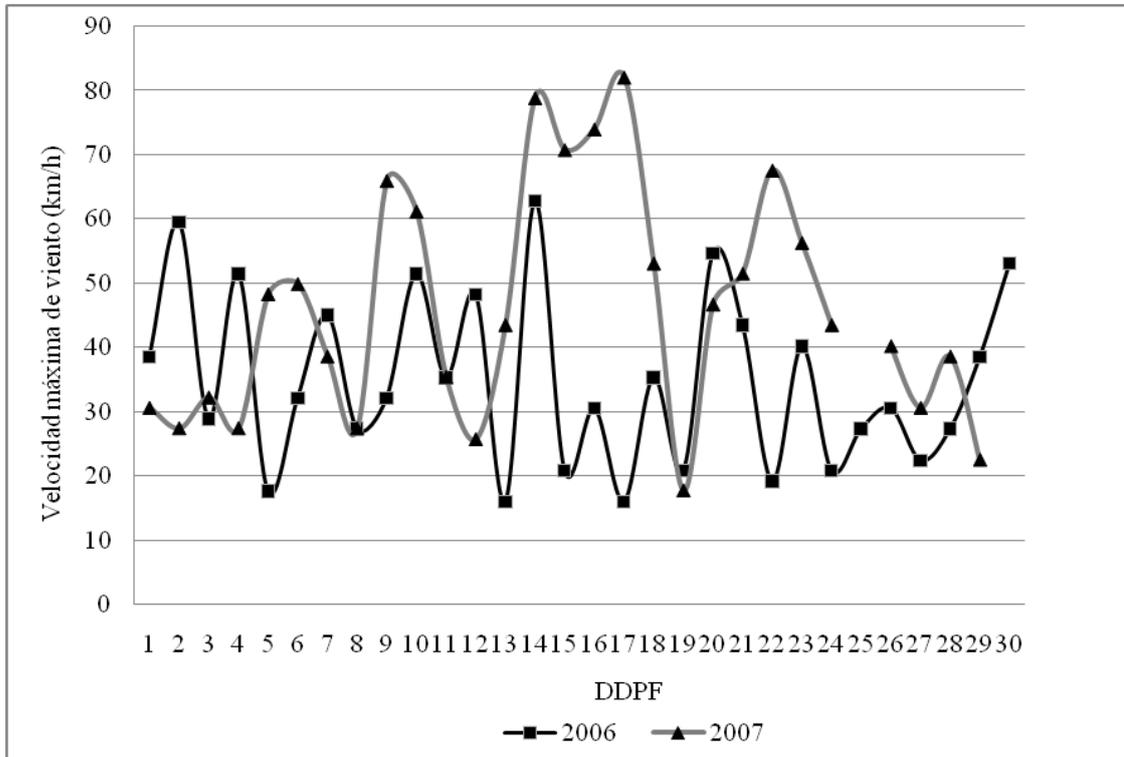


Fig. 6 Velocidad máxima del viento (km/h), desde plena floración hasta 30 DDPF.

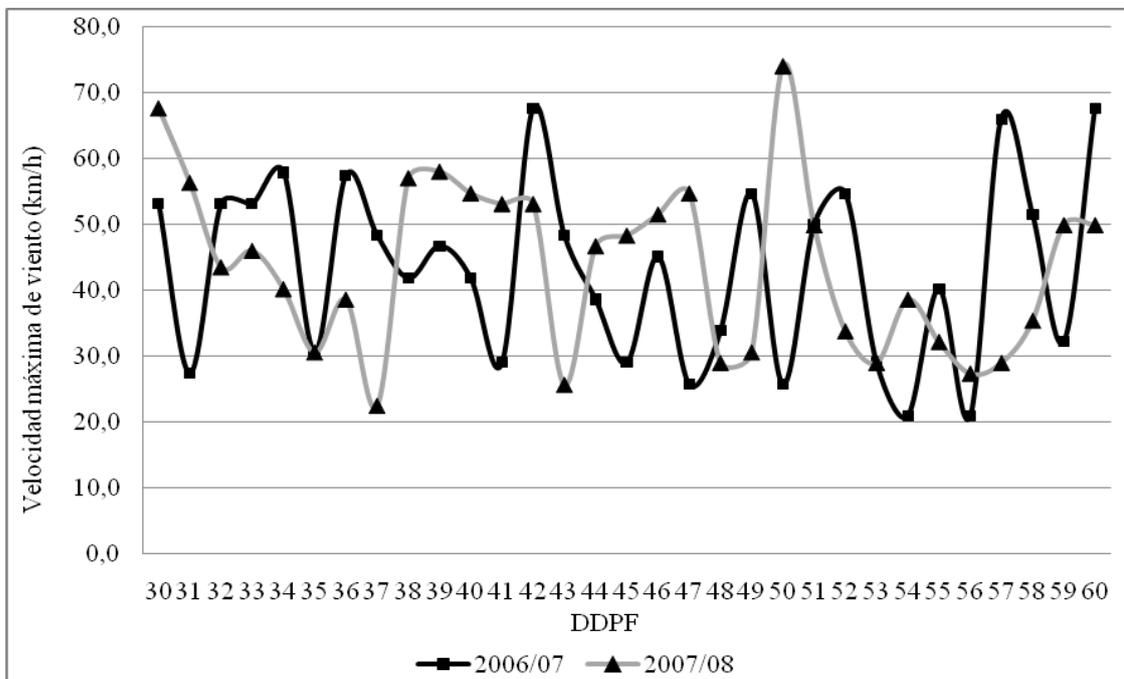


Fig. 7 Velocidad máxima del viento (km/h), de 30 a 60 DDPF.

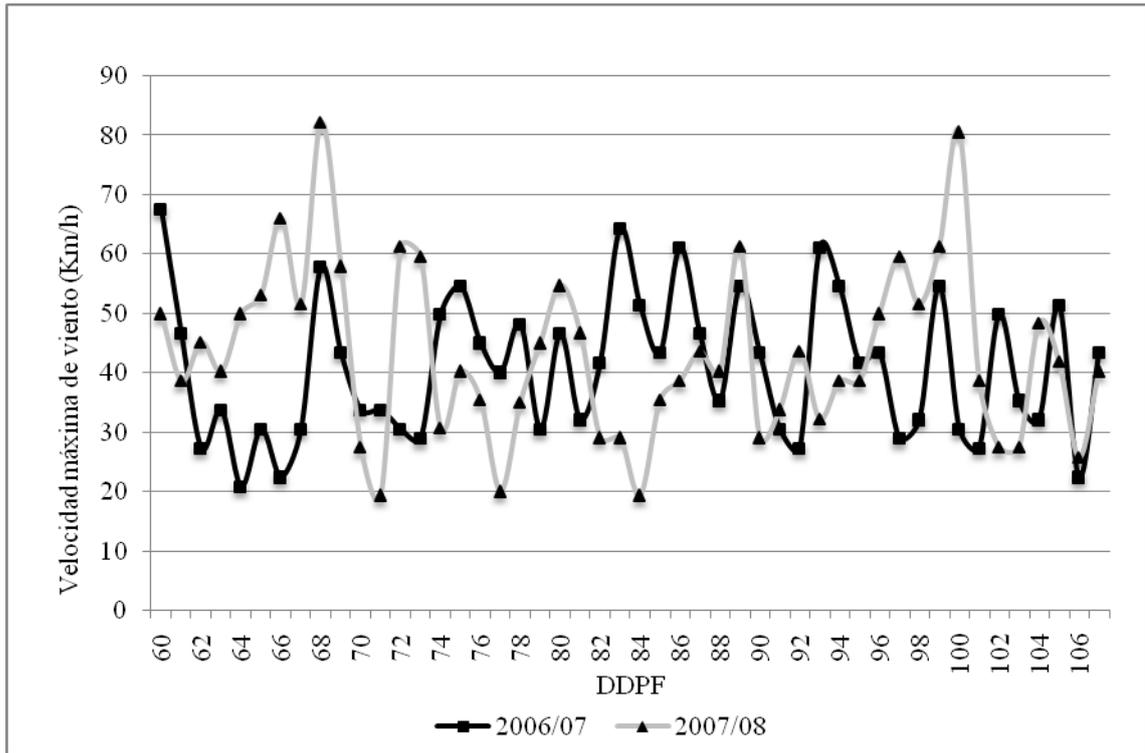


Fig.8 Velocidad máxima del viento (km/h), de 60 a 107 DDPF.

EVAPORACIÓN Y PRECIPITACIONES

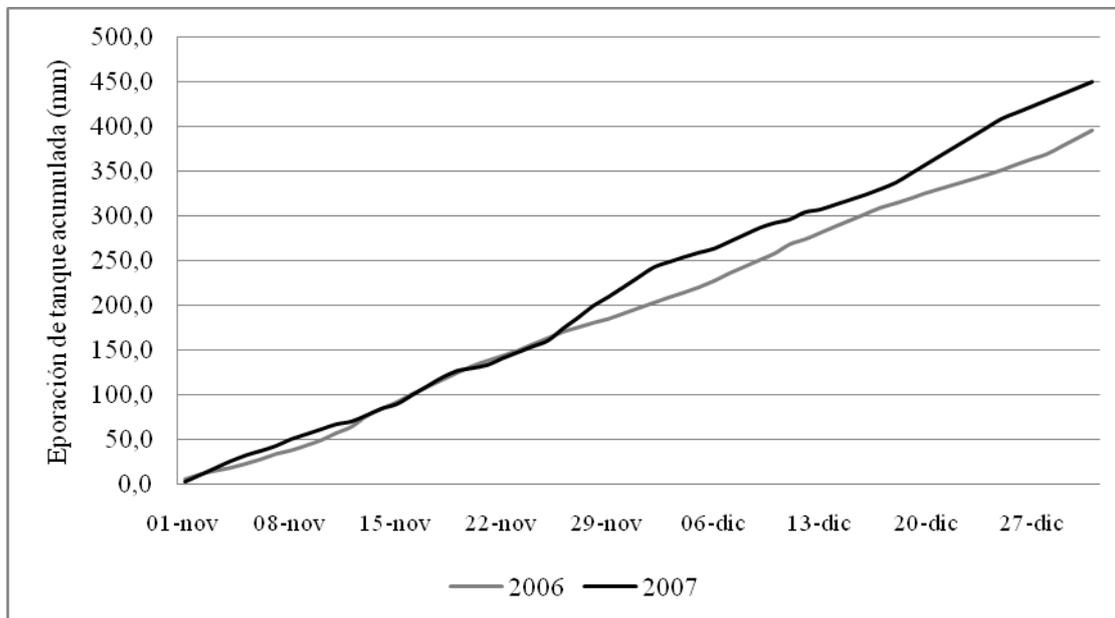


Fig.9 Evaporación de tanque tipo A, acumulada (mm), para el mes de noviembre y diciembre.

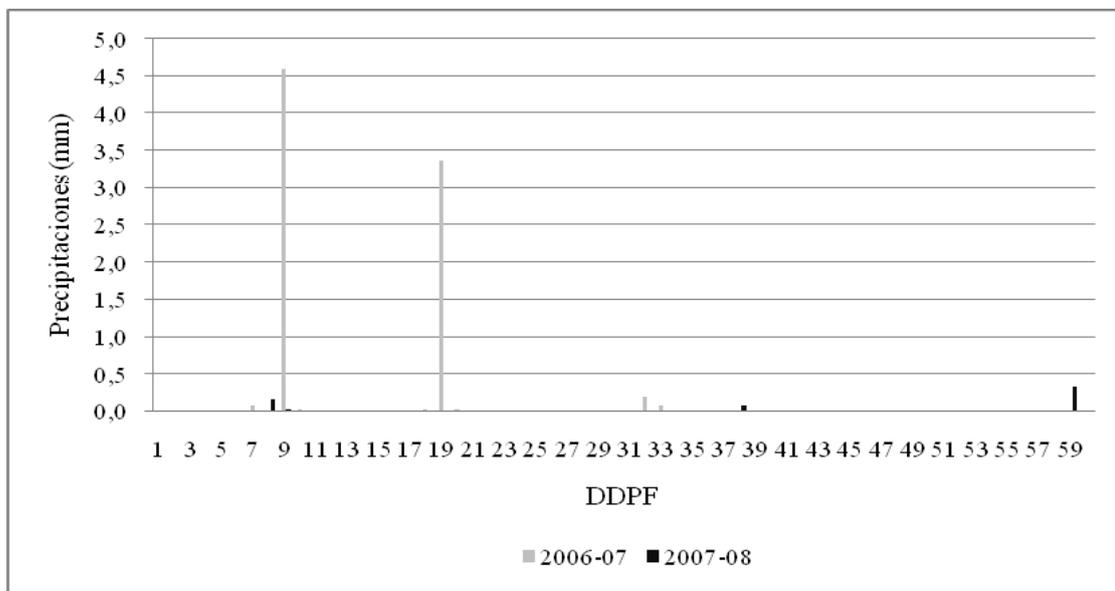


Fig. 10 Lluvias diarias (mm), de plena floración hasta 30 DDPF.

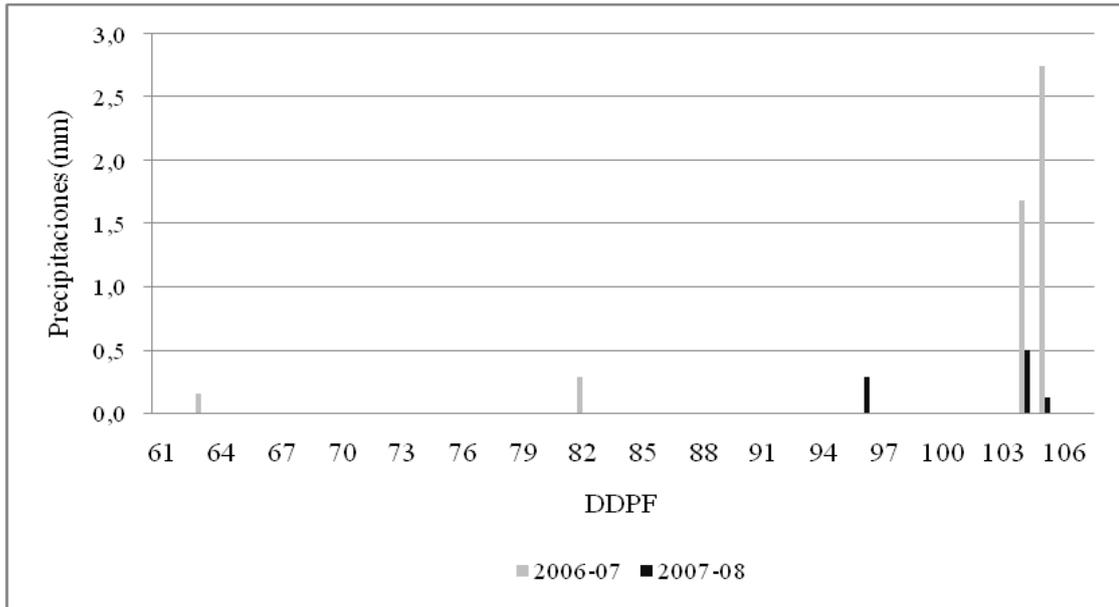


Fig.11 Lluvias diarias (mm), de 60 a 107 DDPF.

ANEXO 2

CRECIMIENTO DEL FRUTO DE PERA CV WILLIAM'S DURANTE LA
FASE DE ELONGACIÓN CELULAR HASTA EL MOMENTO DE
COSECHA

INTRODUCCIÓN

Como se ha comentado en el Capítulo 3, el crecimiento del fruto en perales comprende una fase de extensión celular que finaliza en el momento de la cosecha. La fase de extensión celular cobra mayor importancia a partir de los 45 DDPF y, de acuerdo a las tablas de raleo (Bramardi et al., 2006), frutos con diámetros cercanos a los 30 mm en este momento, tendrán a cosecha los mejores tamaños comerciales (diámetros superiores a 67 mm). Analizar el crecimiento del fruto y las condiciones microclimáticas presentes durante esta fase, facilitó la evaluación de la productividad final del cultivo en cada temporada y la interacción existente con las primeras etapas de crecimiento del fruto de pera cv William's.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para poder relacionar el tamaño de los frutos, obtenido en las primeras fases de crecimiento (hasta los 60 DDPF) y el tamaño final a cosecha, se realizó un seguimiento del crecimiento a través de la medición del diámetro ecuatorial de 100 frutos chicos y 100 grandes en planta. Posteriormente, estos valores se convierten en peso utilizando el modelo propuesto por Bramardi *et al.*, (1998), para obtener las curvas de crecimiento correspondientes (ecuación 1).

$$\text{Peso} = 0,00153 * \text{Diam}^{2,7720} \text{ (ecuación 1)}$$

También se realizó el cálculo de las tasas de crecimiento durante la fase de elongación celular hasta el momento de la recolección. Estos valores se obtuvieron a partir del peso medio de los 100 frutos muestreados por categoría.

Se realizó el análisis de las condiciones microclimáticas durante el período de evaluación de crecimiento de los frutos utilizando los registros meteorológicos provenientes de la estación meteorológica ubicada a 100 metros del cultivo (temperatura, humedad relativa y viento) y de 3 almacenadores de datos con un total de 10 sensores de temperatura. El déficit de saturación del aire se estimó mediante los valores de humedad relativa y temperatura de aire.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 puede observarse el comportamiento de frutos chicos y grandes en función de estos parámetros en los ciclos de producción 2006 y 2007.

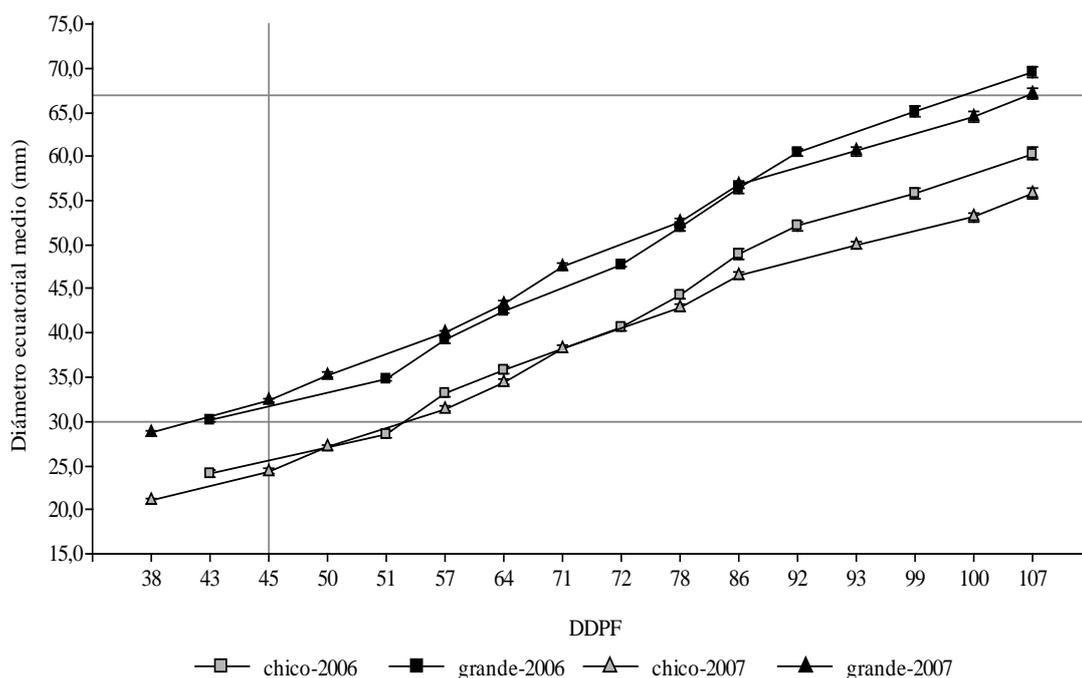


Fig. 1. Curvas de crecimiento del diámetro medio del fruto en función de los días transcurridos desde antesis, para el período de elongación celular hasta cosecha. Frutos de categoría grande y chica en 2006 y 2007.

Existe un comportamiento diferencial entre los frutos grandes y chicos que se mantiene durante toda la fase de elongación, para las dos temporadas. Los frutos que al comienzo de la fase son de tamaño chico, permanecen dentro de esta categoría hasta el momento de cosecha. El incremento del diámetro es igual para frutos grandes y chicos y varía de 0,3 a 0,8 mm/día. Los valores más altos se registraron entre los 80 y 90 DDPF tanto en 2006 como en 2007.

De acuerdo a la fecha de cosecha de la temporada 2007 (100 DDPF), los frutos grandes no alcanzaron el tamaño exigido comercialmente (67 mm). En la temporada 2007 se llega a un valor de 20 libras de presión 5 días antes que en el 2006 (Tabla 1). De esta manera se acorta el ciclo de crecimiento del fruto. Para el año 2007 los frutos de tamaño grande alcanzan el diámetro mínimo exigido por el mercado, una semana después de la autorización de cosecha. A partir de los 80 DDPF el ciclo 2007 presenta condiciones térmicas más cálidas que el 2006 (Tabla 2) y esta puede ser la causa del avance de madurez.

Dado que no hubo diferencias entre los valores de presión de pulpa de las dos categorías de tamaño, una recolección tardía de los frutos chicos (esperando que alcancen el tamaño deseado) implica cosechar frutos de madurez avanzada.

Tabla 1. Presión media de pulpa (libras cm^{-2}) según tamaño de fruto por temporada en cosecha.

	2006-07	2007-08
Frutos Grandes	19,5	20,0
Frutos Chicos	20,4	20,2
Momento de sello (días)	106	100

Sello: momento en que el fruto alcanza las condiciones de madurez óptimas para la cosecha.

El aumento del peso medio de los frutos, estimado a partir del diámetro, se observa en la curva de crecimiento presentada en la Figura 2. El peso y diámetro de los frutos grandes es similar para las dos estaciones hasta los 90 DDPF. A partir de este momento, las diferencias son más evidentes y se observa un aumento importante en el peso de los frutos del ciclo 2006 con respecto a los obtenidos en el 2007, alcanzando a los 110 días valores de 197 y 178 g respectivamente. El diámetro correspondiente fue de 70 y 67 mm, respectivamente.

En frutos chicos también es clara la ventaja en tamaño de la primera temporada a partir de los 80 DDPF.

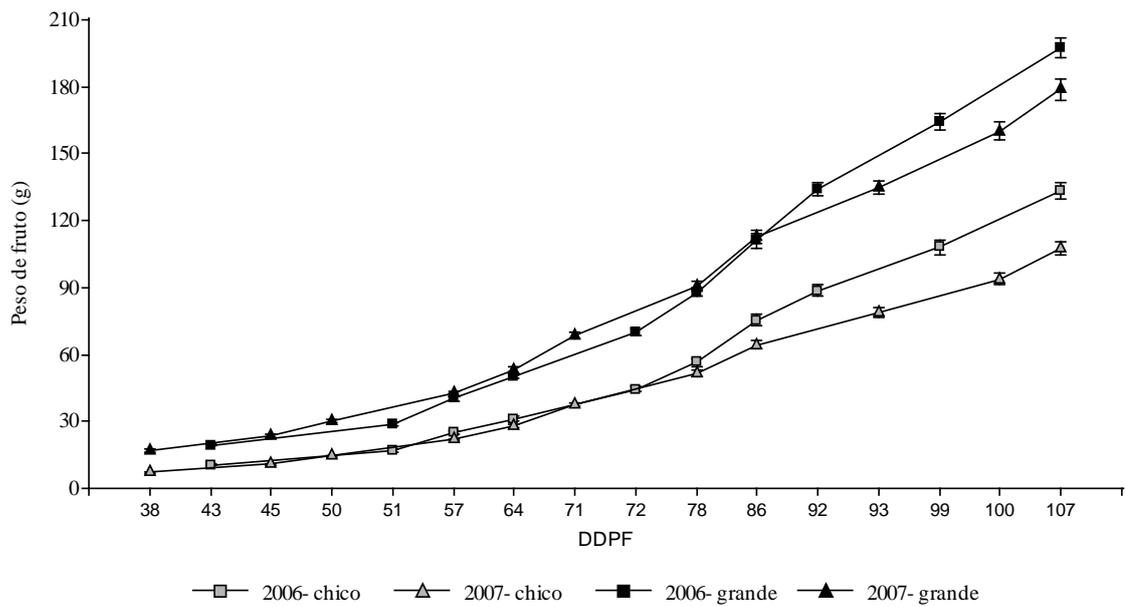


Fig. 2. Curva de crecimiento de peso de fruto en función de los días transcurridos desde antesis, para el período de elongación celular hasta cosecha. Frutos de categoría grande y chica en 2006 y 2007. Valor medio mas desvío estándar.

Este incremento en el peso se observa claramente a través de las tasas de crecimiento. En los últimos 25 días del ciclo 2006 la velocidad de crecimiento aumenta rápidamente en frutos grandes (de 5 a 14 $g\text{día}^{-1}$), siendo superior a los valores obtenidos para la segunda temporada (de 2 a 4 $g\text{día}^{-1}$). Este comportamiento también se observa para los frutos chicos pero en menor medida (Figuras 3 y 4).

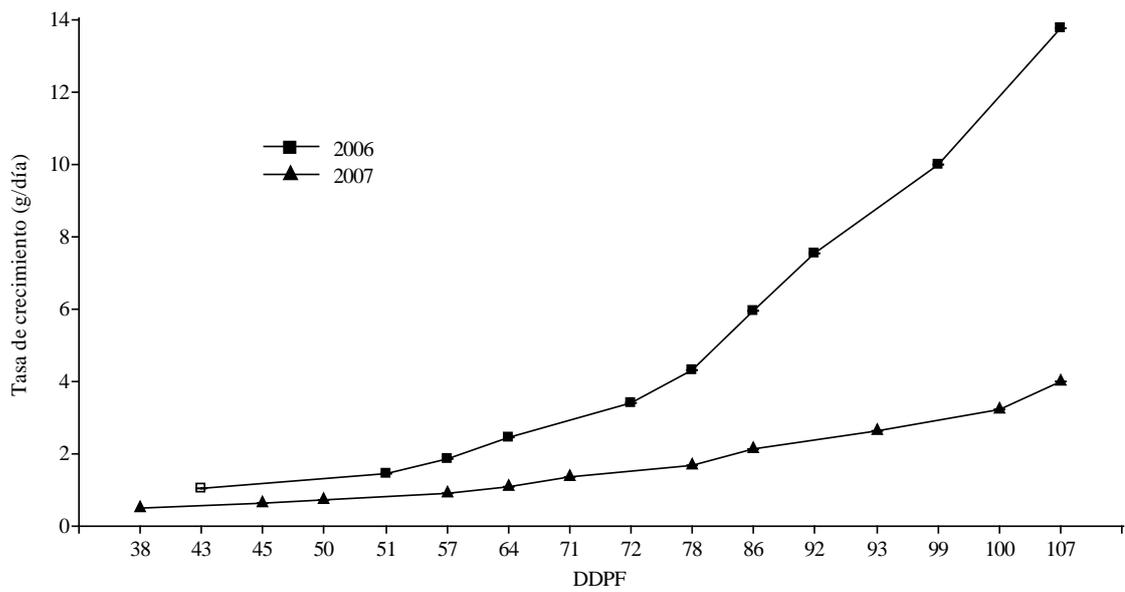


Fig. 3. Tasa de crecimiento del fruto en función de los días transcurridos desde anthesis, para el período de elongación celular hasta cosecha. Frutos de categoría grande en 2006 y 2007.

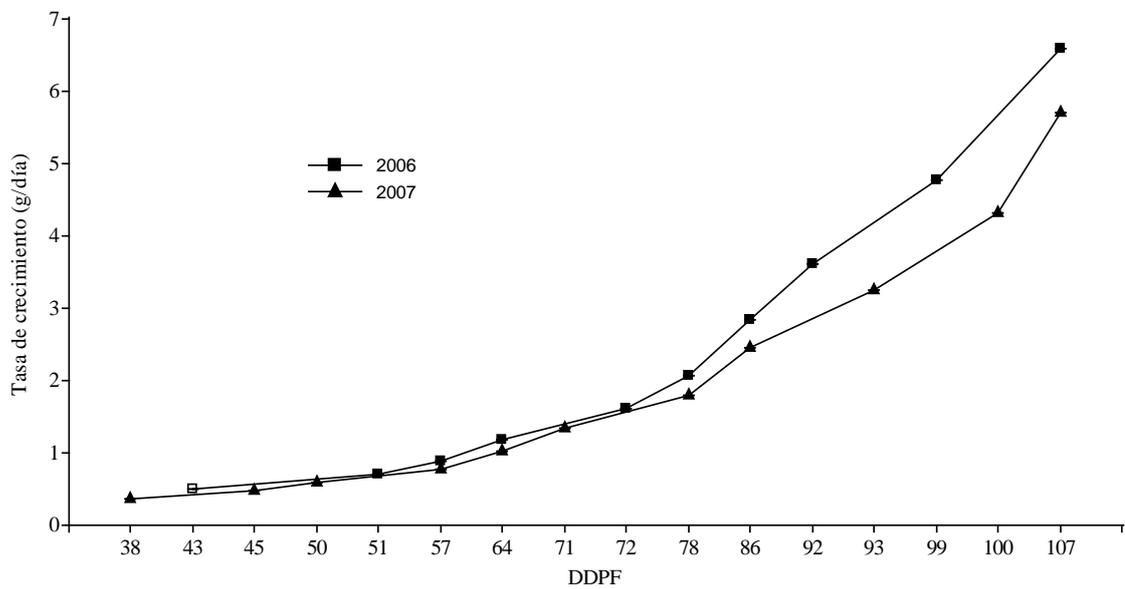


Fig. 4. Tasa de crecimiento del fruto en función de los días transcurridos desde anthesis, para el período de elongación celular hasta cosecha. Frutos de categoría chico en 2006 y 2007.

Durante la fase de elongación celular y hasta madurez comercial de pera William's, la temporada 2006 fue relativamente más fresca que la 2007, excepto en el período de los 60 a 70 DDPF en donde la temperatura media es 2°C superior al 2007 (Tabla 2). Cabe destacar que para este último año el período de los 80 a 90 DDPF fue muy cálido con respecto al año anterior, registrándose temperaturas medias 5,7°C superiores (Figura 5 y 6).

Tabla 2. Valores medios de temperaturas máximas, mínimas y medias de aire dentro de la parcela cada 10 días, desde los 70 a 110 DDPF en 2006 y 2007.

DDPF	Temperatura media (°C)		Temperatura máxima (°C)		Temperatura mínima (°C)	
	2006	2007	2006	2007	2006	2007
70	18,9	16,9	28,1	25,1	8,3	8,3
80	18,4	21,2	26,1	30,7	10,1	5,9
90	14,8	20,5	21,6	28,6	7,1	12,0
100	19,6	20,2	28,9	28,6	10,1	12,3
110	20,4	20,3	28,8	28,8	11,0	9,9

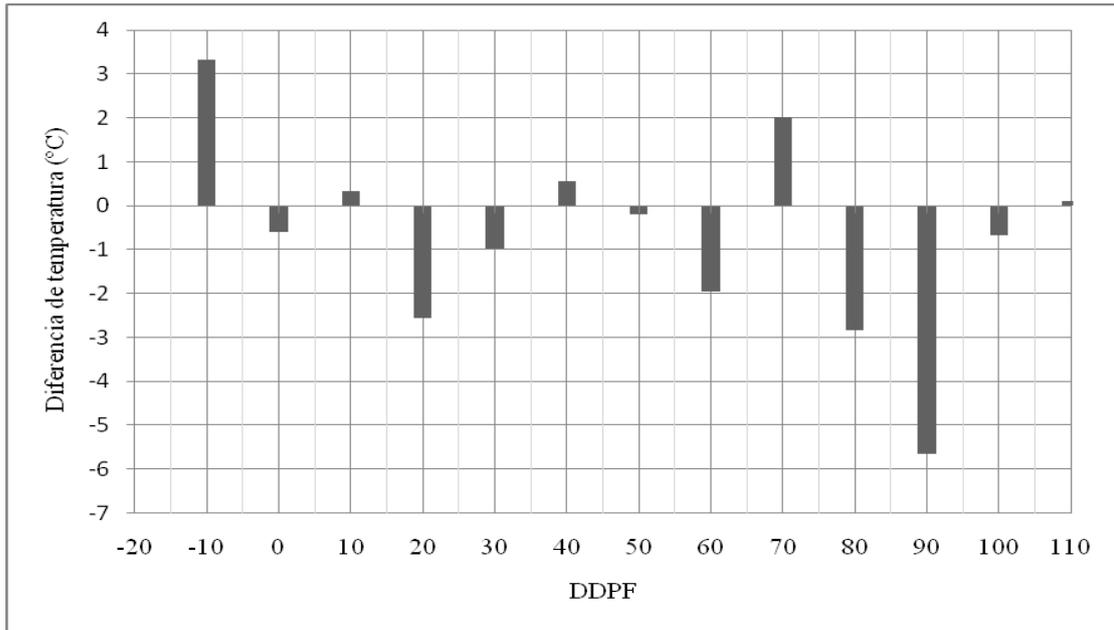


Fig. 5. Diferencia en los valores de temperatura media de aire en lapsos de 10 días para todo el ciclo de crecimiento. Se lee como 2006 con respecto al 2007.

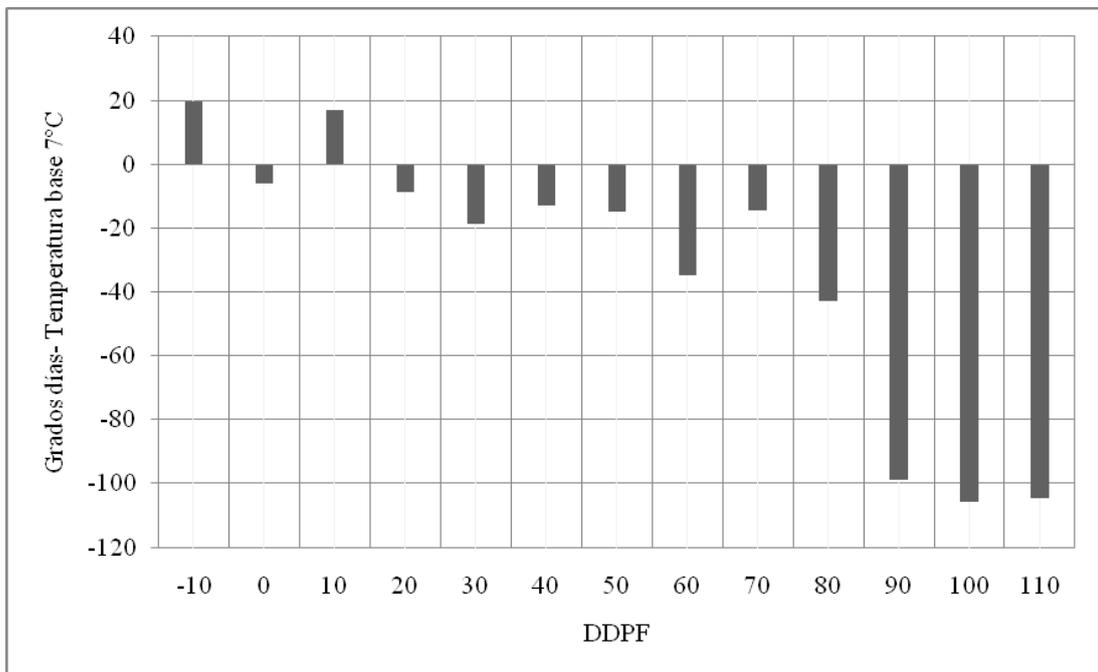


Fig. 6. Diferencia en grados días acumulados en lapsos de 10 días para todo el ciclo de crecimiento. Se lee como 2006 con respecto al 2007.

El ciclo 2007 presenta mayor frecuencia de temperaturas máximas superiores a 30°C, principalmente desde los 80 a 100 DDPF, con respecto a 2006. Durante todo este período los valores de déficit de saturación superan los 2KPa. Al analizar la frecuencia de días con DPV superiores a 3KPa, se observan diferencias marcadas entre las estaciones, desde los 70 a los 100 DDPF, principalmente en los últimos 10 días. A partir de los 80 DDPF en 2007, la tasa de crecimiento se detiene manteniendo valores de 3 a 4 g día⁻¹ (Tabla 3). Estas velocidades de crecimiento son similares a las obtenidas en los frutos de menor tamaño. Valores elevados del DPV pueden ser indicativos de condiciones restringidas de la transpiración que limitan la tasa de crecimiento del fruto.

Tabla 3. Frecuencia relativa de Temperaturas máximas diarias (T_{máx}) superior a 30°C, frecuencia relativa de valores DPV máximos diarios mayores a 2 KPa y 3 KPa, y tasas de crecimiento para frutos chicos (TCC) y grande (TCG) En las Temporadas 2006 y 2007.

DDPF	T _{máx}		DPV > 2KPa		DPV > 3KPa		TCC g día ⁻¹		TCG g día ⁻¹	
	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007
60-70	20	10	90	90	30	20	1,6	1,3	3,4	1,3
70-80	70	90	100	100	70	90	2,0	1,8	4,3	1,7
80-90	30	60	80	100	20	40	3,6	3,3	7,6	2,6
90-100	50	80	90	90	20	80	4,8	4,3	10	3,2
100-110	80	70	90	90	60	60	6,6	5,7	14	4

Frecuencia relativa en %.

Los valores de temperatura y DPV corresponden a los registros de la estación meteorológica ubicada fuera de la parcela experimental.

Las tasas de crecimiento corresponden al máximo de cada período de 10 días.

En presencia de viento pero con temperaturas máximas inferiores a 30°C, los valores de déficit de presión de vapor no superan los 3KPa (Figura 7). Cuando la temperatura supera los 30°C, el DPV supera ampliamente los 3KPa (Figura 8). Esto se explica porque la tensión de saturación (E) crece exponencialmente con la temperatura, de

modo que siendo $DPV = E - e$, (e = tensión real), el incremento térmico da lugar a aumentos significativos del DPV (suponiendo además que e se mantenga constante).

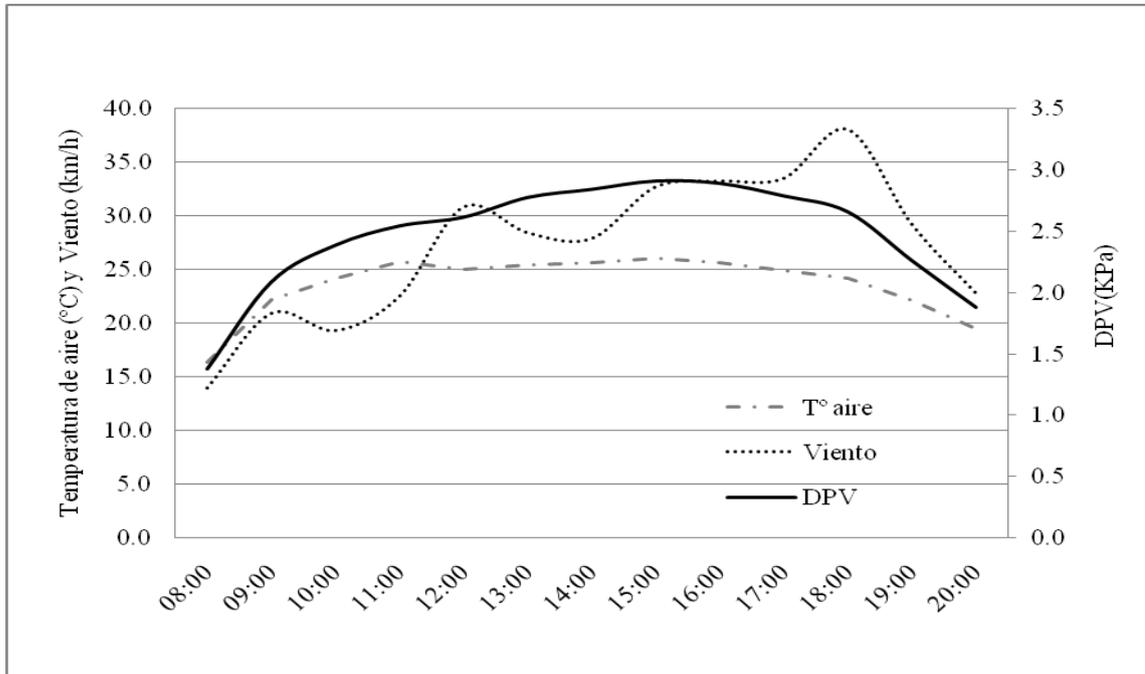


Fig. 7. Régimen diario de la temperatura del aire (valores de hasta 25°C), velocidad de viento y déficit de presión de vapor (DPV) durante un día despejado a partir de los 70 DDPF.

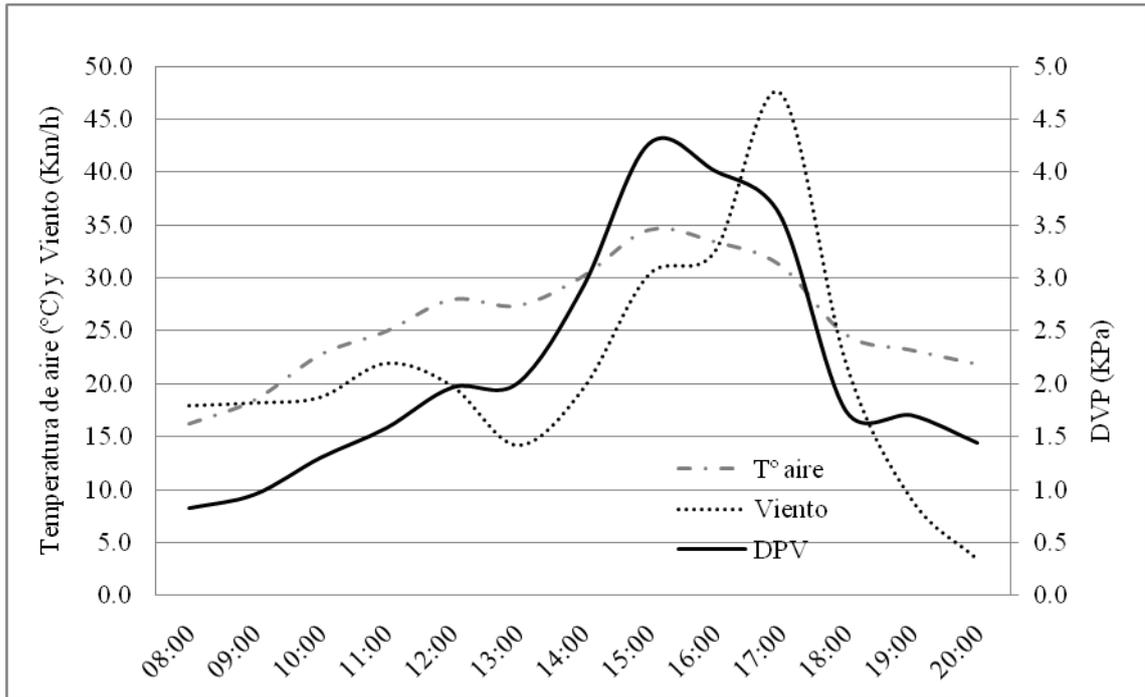


Fig. 8. Régimen diario de la temperatura del aire (valores superiores a 25°C), velocidad de viento y déficit de presión de vapor (DPV) durante un día despejado a partir de los 70 DDPF.

Se ha observado que velocidades crecientes de viento reducen la tasa transpiratoria, reflejando cierre parcial de estomas y se ha demostrado que esta disminución de la conductancia estomática se debe en parte al incremento en el DPV y por otro lado a una mayor concentración de dióxido de carbono en la superficie de la hoja (citado en Kin y Ledent, 2003).

Del análisis comparativo entre las dos temporadas productivas se observa que existe una variabilidad importante en la proporción y distribución de calibres a cosecha. Del total de frutos por planta, en el ciclo 2006-2007 el 20 % corresponde a los tamaños más chicos cuyo diámetro ecuatorial no supera los 65 mm. Para la segunda temporada esta proporción ascendió a 54 % (Figura 9).

Temporada 2006-2007

Temporada 2007-2008

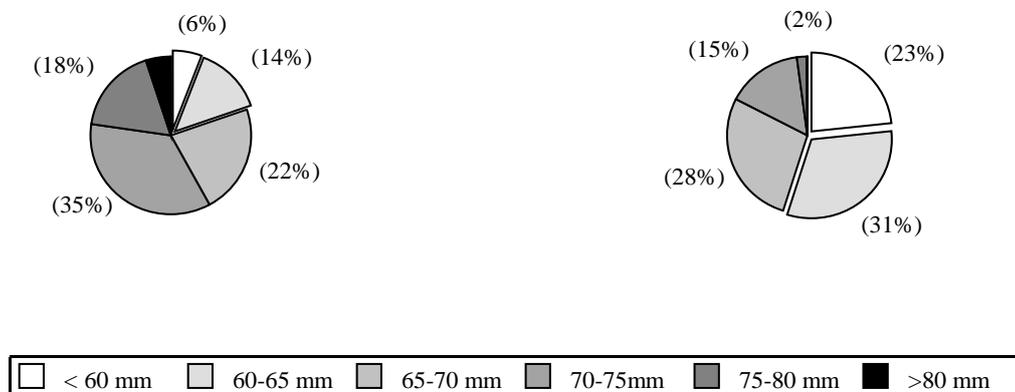


Fig.9. Distribución del número de frutos en cosecha para la temporada 2006-2007 y 2007-2008.

Si se considera que el diámetro mínimo aceptable para la venta al mercado internacional es de 70 mm, en una primera fecha de cosecha se alcanzaría el 68 % de la producción total en el primer año de evaluación, y tan solo un 23 % en el segundo año. (Figura 10).

Temporada 2006-2007

Temporada 2007-2008

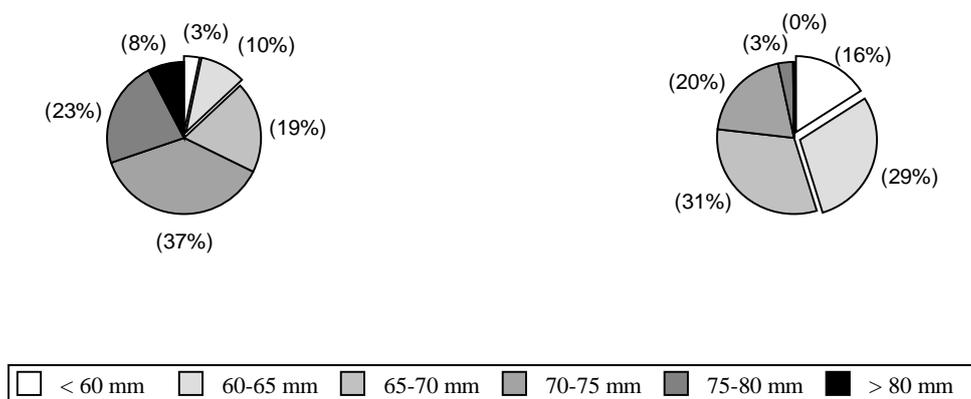


Fig.10. Distribución de la producción (kg/planta) para la temporada 2006-2007 y 2007-2008.

En la Figura 11 puede observarse la distribución de la producción en función del calibre de los frutos y la comparación estadística realizada para ambos ciclos evaluados.

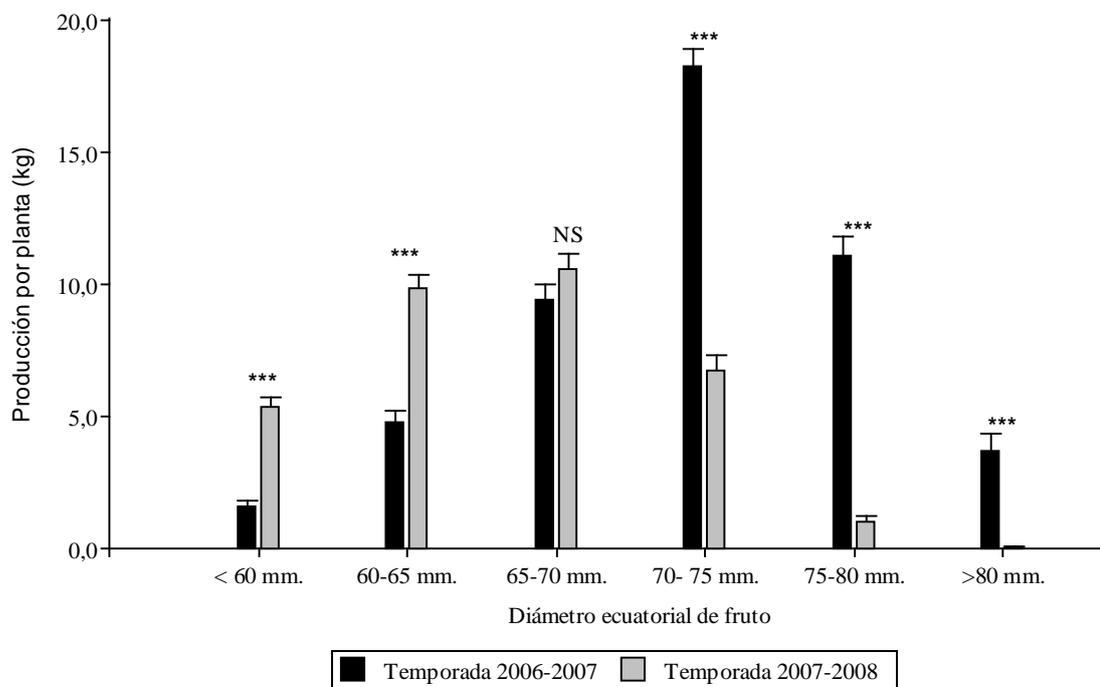


Fig.11. Distribución de la producción (kg/planta) para las temporadas 2006-2007 y 2007-2008. ***diferencia altamente significativa, NS sin diferencia estadística.

El fruto de pera William's tiene un crecimiento medio de $0,5 \text{ mm día}^{-1}$ durante la fase de elongación celular, por lo cual se considera que los frutos de diámetro menor a 70 mm necesitarían entre 1 y 2 semanas adicionales desde la fecha de la primera cosecha para alcanzar tamaños comerciales. Comúnmente en la región se denominan como primera, segunda y tercera pasada a las cosechas realizadas en distintos momentos según el tamaño del fruto. En la Tabla 4 se muestra la proporción de la producción total que podría cosecharse de acuerdo a la distribución de calibres obtenida en cada temporada de estudio. Estas estimaciones permiten apreciar cómo durante el primer año se obtuvo una proporción importante de fruta primicia.

Tabla 4. Proporción de la producción total (kg) que podría cosecharse en cada pasada de acuerdo al tamaño de los frutos. Temporadas 2006-2007 y 2007-2008.

	2006-2007	2007-2008
Primer pasada	68 %	23 %
Segunda pasada	19 %	31 %
Tercer pasada	13 %	45 %

De acuerdo a los datos presentados por Bramardi *et al.*(2006) los años en que la floración se retrasa con respecto a la fecha media, el ciclo de crecimiento del fruto es mas corto. Si el momento de plena floración ocurre antes del 25 de septiembre (fecha media) el ciclo de crecimiento medio es de 110 días y, por el contrario, si ocurre durante la primera semana del mes de octubre el ciclo de crecimiento medio es de 101 días.

El acortamiento del ciclo de crecimiento de la segunda temporada coincide con una menor proporción de tamaños aptos para cosecha en la primera pasada. Durante esta temporada también se estaría trabajando con una mayor proporción de frutos en condiciones de madurez avanzada, dado que la autorización de cosecha se determina cuando se alcanzan los parámetros óptimos de madurez comercial y la recolección propiamente se realiza cuando se alcanza el tamaño adecuado (Tabla 5).

Tabla 5. Fechas de inicio y final del ciclo de crecimiento para las dos temporadas de estudio.

	2006-2007	2007-2008
Plena floración	25 de septiembre	3 de octubre
Autorización de cosecha	10 de enero	10 de enero
Edad del fruto	105	100

Nota. Se considera edad del fruto ó ciclo de crecimiento a los días transcurridos entre el momento de plena floración y el momento de autorización de cosecha.

Los frutos que se cosechan en la segunda y tercera pasadas, en razón de su estado de maduración más avanzado, presentan un menor potencial de conservación.

En este trabajo se ha observado menor velocidad de crecimiento del fruto de pera William's en el ciclo 2007 durante toda la fase de elongación celular. En el análisis de las condiciones climáticas se observa que a partir de los 70 DDPF la disminución en las tasas de crecimiento está asociada a velocidades de viento superiores a 35 km/h y altas temperaturas, con máximas medias superiores a 28 °C. Por el contrario, en períodos de fuertes vientos pero con temperaturas más bajas no se manifiestan tasas de crecimiento reducidas. Lakso (1994) afirma que la fotosíntesis en hojas de manzana no tiene una respuesta concreta a la temperatura porque responde a un rango amplio de 15 a 35°C, sin embargo el óptimo generalmente esta en 30°C y la disminución en las tasas fotosintéticas con temperaturas entre 32 y 35°C se deben a un incremento en el déficit de presión de vapor (DPV) que afecta la actividad estomática. Tukey (1956, citado en Lakso, 1994) encuentra en manzana mayores tasas de crecimiento y desarrollo del fruto con temperaturas de 24°C que con 9°C o 31°C. Williams *et al.* (1969) encuentran que las temperaturas entre 12,7 y 27 °C son ideales para incrementar el volumen del fruto de pera "Bartlett" y que las tasas diarias de crecimiento del fruto disminuyen al incrementarse la evaporación durante el día.

Barceló Coll *et al.* (1992) y Kin y Ledent (2003) mencionan que el viento afecta el desarrollo del fruto. Vientos moderados pero continuos y altas temperaturas aumentan la tasa de transpiración de las hojas ocasionando un déficit hídrico a nivel celular. En estas condiciones el movimiento de agua a los frutos disminuye provocando una disminución en la tasa de crecimiento. El viento produce una serie de efectos en las plantas frutales comúnmente difíciles de cuantificar. Las brisas suaves hasta de 5 kmh^{-1} suelen producir beneficios a nivel fotosintético al mejorar el intercambio gaseoso y regular la temperatura de los órganos (Kin y Ledent, 2003; Rodríguez *et al.*, 2008), pero vientos con velocidades de 10 a 20 kmh^{-1} producen efectos negativos tales como transpiración elevada, deshidratación y menor conductividad estomática inhibiendo la fotosíntesis (Freeman *et al.*, 1982).

Por otro lado, el crecimiento vegetativo de pera William's se completa principalmente a los 60 DDPF, deteniéndose por completo a los 90 DDPF (Requena *et al.*, 1994). A partir de los 60 DDPF se intensifica la fase de crecimiento del fruto dominada por el proceso de elongación celular, principalmente por contar con el desarrollo foliar necesario para la producción de fotosintatos y por la disminución en la competencia por la disponibilidad de los mismos. En pera William's el déficit hídrico a partir de los 90 DDPF provoca una rápida caída en la tasa de crecimiento del fruto y un notable crecimiento compensatorio con el aporte de agua (riego) que puede alcanzar un incremento de $2,3 \text{ g día}^{-1}$ (Requena *et al.*, 1994). Una respuesta similar encuentra Mitchell *et al.*, (1994) al determinar que las peras tienen un máximo requerimiento hídrico 4 semanas antes de cosecha y, en este momento, el déficit hídrico puede disminuir el tamaño del fruto. Esta notable sensibilidad al estrés hídrico durante las últimas semanas de crecimiento del fruto podría manifestarse en las hojas con cierta rapidez.

Bajo estas circunstancias es probable que la disminución de la tasa de crecimiento en frutos de tamaño grande durante la temporada 2007 se deba al efecto conjunto de las altas temperaturas y los vientos intensos y fundamentalmente secos, y se intensifica en la última semana debido a una menor eficiencia en el transporte de agua a las células por la falta de funcionalidad del xilema en este momento del ciclo de crecimiento (Drazeta *et al.*, 2004).

Gran parte del efecto del viento sobre la fisiología de la planta se debe al aumento del DPV, con valores mayores a 2KPa (20 milibares) y temperaturas por encima de los 30°C, comienza a manifestarse la disminución de la conducción estomática y, en consecuencia, el decaimiento de la tasa de fotosíntesis (Lakso, 1994).

Del análisis de los valores de DPV, velocidad del viento y temperatura de aire durante los dos años de estudio se pudo observar que después de los 80 días desde floración la diferencia climática entre temporadas se basa principalmente en la frecuencia de temperaturas máximas superiores a 30°C y valores de DPV por encima de 3 KPa. En la temporada 2007 las menores tasas de crecimiento coinciden con la mayor frecuencia de días con DPV por encima de 3 KPa y temperaturas mayores a 30°C. De acuerdo a las referencias bibliográficas los valores de déficit de saturación atmosféricos registrados en la región de Río Negro provocarían indudablemente el cierre estomático y en consecuencia frenarían la actividad fotosintética. Estos factores ambientales parecen ser en gran parte los responsables de una menor tasa de crecimiento, que se manifiesta con mayor intensidad en frutos grandes pero que también ocurre en los tamaños chicos.

Temperaturas altas cuatro semanas antes de cosecha aceleran el proceso de madurez (Benítez et al., 2005) y condicionan la presión de pulpa del fruto. Una vez desencadenado el proceso de maduración se establece el momento óptimo de cosecha. En este momento finaliza el ciclo de crecimiento del fruto. Durante la temporada 2007 los frutos llegaron a madurez comercial a los 100 DDPF, 6 días antes que en la temporada 2006. Esta menor duración del ciclo de crecimiento es otra de las causas que explica el menor tamaño a cosecha.

Temperaturas superiores a 30°C y valores de déficit de presión de vapor iguales o mayores a 3 KPa, provocan en las últimas 2 o 3 semanas antes de cosecha importantes descensos en las tasas de crecimiento. Los frutos de mayor tamaño son los más afectados.

A partir de los 80 DDPF temperaturas medias mayores a 20°C parecen desencadenar el proceso de madurez. Una menor duración del período de elongación celular, provocada por una floración tardía y el inicio de madurez, es responsable también del menor tamaño del fruto a cosecha.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Barceló Coll J.; Nicolás Rodrigo G.; Sabater García B. y Sánchez Tamés R. 1992. Fisiología Vegetal. Sexta edición, Ed. Pirámides, Madrid. Pp 662.
- Benítez C.; Castro H.; Ricca A.; Vaudagna S. 2005. Peras y Manzanas: Factores que afectan la calidad de los frutos. Ediciones INTA, Buenos Aires. Pp 396.
- Bramardi, S.; Castro H. y Zanelli M. 1998. Fruit growth pattern of pear cv Bartlett and Packham`s triumph to improve hand thinning. *Acta Hort.* 475, 283-293.
- Bramardi, S.; Tassile V.; Reeb Pablo y De Bernardin F. 2006. Tablas de Raleo. Primera edición. Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Ciencias Agrarias, 24pp.
- Drazeta L.; Lang A.; Hall A.; Volz R. y Jameson P. 2004. Causes and Effects of Changes in Xylem Functionality in Apple Fruit. *Annals of Botany* 93: 275-282.
- Freeman B.; Kliewer W. y Stern P. 1982. Influence of windbreaks and climatic region on diurnal fluctuation of leaf water potential, stomatal conductance, and leaf temperature of grapevines. *Amer. J. Enol. Vitic.* 33: 233-236.
- Kin A. y Ledent J. 2003. Efectos del viento sobre las plantas. En: Viento, Suelo y Plantas. Editores: Golberg A. y Kin A. Ed. INTA. Buenos Aires, Argentina. pp. 1-130.
- Lakso A. 1994. Apple. En: Environmental physiology of fruit crops – temperate crops. Schaffer B. y Andersen P. Florida, EE.UU. Pp 1-32.
- Mitchell P., Goodwin I. y Jerie P. 1994. Pear and Quince. En: Environmental physiology of fruit crops – temperate crops. Schaffer B. y Andersen P. Florida, EE.UU. Pp 189-203
- Requena A.; Sánchez E. y Nolting J. 1994. Riego, Capa Freática y Rendimiento del Peral cv William´s en el Alto Valle de Río Negro. *RIA*, 25 (2): 1-9.
- Rodríguez, A; Raffo D; Curetti M. 2008. Asoleado de frutos: Variables Meteorológicas que afectan la temperatura superficial de manzanas cv. Royal gala en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. XII Reunión Argentina de Agrometeorología. AADA (Asociación Argentina de Agrometeorología), San Salvador de Jujuy, Argentina, pp.
- Williams M.; Billingsley H. y Batjer P. 1969. Early season harvest size prediction of “Bartlett” pears. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 94(6), 596-598.