

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA



INGENIERO AGRÓNOMO

**CULTIVO EN INVERNADERO DE UVA DE MESA EN EL
SUDESTE ESPAÑOL**

DIRECTORES:

Dr. D. Juan José Hueso Martín

Dr. Dña. Virginia Pinillos Villatoro

ALUMNA:

Francisca Alonso López

Almería, noviembre de 2012

Agradecimientos

Con este trabajo finalizo mis estudios universitarios y por ello con estas líneas quiero expresar mi más sentido y profundo agradecimiento a quienes con su ayuda, apoyo y comprensión me han alentado a lograr esta realidad, que es para mí la mejor de las fortunas. Concluyo además una etapa profesional dedicada fundamentalmente al cultivo de la uva de mesa, al que me unirá siempre un cariño especial por todo lo que ha significado en mi vida.

En primer lugar, quiero agradecer a Juanjo y Virginia, como directores de este proyecto, los consejos, el tiempo y las aportaciones que habéis hecho para llevar a cabo este trabajo.

Gracias a Jerónimo y Julián, mis mentores y referentes profesionales, por la confianza que siempre han depositado en mí. A Jerónimo, le debo además la oportunidad de haber podido formar parte de “Las Palmerillas”, sin duda fue un sueño hecho realidad. Agradecerle también el cariño y el apoyo que siempre me ha brindado. A Julián quiero darle las gracias por sus enseñanzas, ha sido mi mejor profesor. Gracias además por contagiarme el entusiasmo por la investigación y la fruticultura y por el aprecio que sé que me tiene.

A Mónica, Juanjo y Esteban, compañeros y amigos con mayúsculas. Gracias por tantos y tantos momentos compartidos que son ya recuerdos inolvidables. Siempre fui consciente de estar rodeada de personas excepcionales y agradezco esos años juntos en los que he aprendido a crecer como profesional y a ser mejor persona. Os llevo siempre en mi corazón.

Al equipo humano de las “Palmerillas”, por hacerme pasar una etapa profesional inolvidable.

A mis padres, mis mayores ejemplos de vida, agradeceros vuestro esfuerzo, la educación que me habéis dado y, sobre todo, el amor incondicional que me profesáis cada día. A mis hermanas, mis confidentes. Gracias por vuestras palabras de aliento y ánimo todos estos años de estudio. A Jose Luis, mi tío. Gracias por estar siempre ahí, por los consejos y por ser el primero en animarme e impulsarme a tomar la decisión de dedicarme profesionalmente a trabajar en la uva de mesa.

A Jose Cristóbal, mi compañero de vida. Tu apoyo ha sido decisivo para llegar hasta aquí. A tu lado me siento capaz de todo.

Este trabajo se lo dedico a Clara, mi hija.

INTERÉS Y OBJETIVOS

Índice general

CAPÍTULO 1. INTERÉS Y OBJETIVOS.....	5
1.1. INTRODUCCIÓN.	5
1.2. PROBLEMÁTICA.....	9
1.3. OBJETIVOS.....	10
CAPÍTULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. LA VID: BOTÁNICA, ORGANOGRAFÍA Y CICLO ANUAL.....	11
2.1.1 BOTÁNICA DE LA VID.	11
2.1.2 ORGANOGRAFÍA DE LA VID.	12
2.1.3 CICLO ANUAL DE LA VID.	15
2.2. REPOSO INVERNAL EN LA VID.	22
2.2.1 EL FENÓMENO DEL REPOSO INVERNAL EN LA VID.	22
2.2.2 MECANISMOS IMPLICADOS EN LA SALIDA DEL REPOSO Y PAPEL DEL FRÍO INVERNAL.	24
2.2.3 REQUERIMIENTOS DE HORAS FRÍO.....	26
2.2.4 MEDIOS FÍSICOS Y QUÍMICOS PARA COMPENSAR EL DÉFICIT DE FRÍO INVERNAL.	27
2.2.5 CIANAMIDA DE HIDRÓGENO. MODO DE ACCIÓN. DOSIS Y FECHAS DE APLICACIÓN.	29
2.3. CULTIVO EN INVERNADERO DE UVA DE MESA.	34
2.3.1 EFECTOS DEL CULTIVO EN INVERNADERO SOBRE LA FENOLOGÍA DE LA VID.	35
2.3.2 EFECTOS DEL CULTIVO EN INVERNADERO SOBRE EL CRECIMIENTO VEGETATIVO DE LA VID.....	38
2.3.3 EFECTOS DEL CULTIVO EN INVERNADERO SOBRE LA FERTILIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD DE LA VID.	39
2.3.4 EFECTOS DE FACTORES AMBIENTALES SOBRE LA FISIOLOGÍA DE LA PLANTA.....	40
CAPÍTULO 3. MATERIAL Y MÉTODOS	43
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PARCELA DE ENSAYO.	43
3.1.1 UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.	43
3.1.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y DESCRIPCIÓN DEL INVERNADERO.	44
3.2 DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO.	45
3.2.1 MATERIAL VEGETAL.	45
3.2.2 MANEJO DEL CULTIVO.....	46
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL Y DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS.	48
3.3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL.	48
3.3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS.....	49
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
4.1. EFECTOS DEL CULTIVO EN INVERNADERO Y DISTINTAS DOSIS DE CIANAMIDA DE HIDRÓGENO SOBRE LA BROTACIÓN, LA FERTILIDAD Y LA PRODUCCIÓN.	53

4.1.1 CANTIDAD, UNIFORMIDAD Y ADELANTO DE LA BROTAÇÃO.....	53
4.1.2 FERTILIDAD.....	57
4.1.3 CALIDAD DE LA FLORACIÓN: NÚMERO DE BOTONES FLORALES POR INFLORESCENCIA Y FILAGE....	59
4.1.4 PRODUCCIÓN.....	62
4.2. EFECTO DE DIFERENTES NIVELES DE VENTILACIÓN SOBRE EL MICROCLIMA DEL INVERNADERO Y SOBRE LA FISIOLÓGÍA DE LA PLANTA.....	70
4.2.1 INFLUENCIA DEL RÉGIMEN DE VENTILACIÓN EN EL MICROCLIMA DEL INVERNADERO.....	70
4.2.2 INFLUENCIA DEL RÉGIMEN DE VENTILACIÓN EN LA FISIOLÓGÍA DE LA PLANTA.....	74
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....	81
CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA.....	83

Índice de Imágenes

IMAGEN 1. PANORÁMICA DE LA EXTENSIÓN DE INVERNADEROS EN EL PONIENTE ALMERIENSE.....	5
IMAGEN 2. CUBIERTA PLÁSTICA PARA ADELANTAR LA COSECHA.....	9
IMAGEN 3. CUBIERTA PLÁSTICA PARA RETRASAR LA COSECHA.....	9
IMAGEN 4. LOS LLOROS.....	17
IMAGEN 5. LOS LLOROS.....	17
IMAGEN 6. DESBORRE.....	18
IMAGEN 7. ACROTONÍA EN VARA.....	18
IMAGEN 8. VISTA AÉREA DE LA E.E. DE LA FUNDACIÓN CAJAMAR Y DETALLE DE LA UBICACIÓN DE LA PARCELA DE ENSAYO.....	43
IMAGEN 9. VISTA INTERIOR DEL INVERNADERO. DETALLE DE UNA VENTANA CENITAL.....	45
IMAGEN 10. VISTA INTERIOR DEL INVERNADERO. DETALLE DEL CONTROLADOR DE CLIMA.....	45
IMAGEN 11. VISTA GENERAL DE LA PARCELA DE ENSAYO.....	46
IMAGEN 12. RACIMO DE 'FLAME SEEDLESS'.....	46
IMAGEN 13. APLICACIÓN DE ÁCIDO GIBERÉLICO.....	47
IMAGEN 14. PINZAMIENTO DE RACIMOS.....	47
IMAGEN 15. ASPIRO-PSICRÓMETROS COLOCADOS POR ENCIMA Y POR DEBAJO DEL DOSEL VEGETAL EN EL INVERNADERO.....	52
IMAGEN 16. SENSORES DEL EXTERIOR DEL INVERNADERO.....	52
IMAGEN 17. SENSOR TERMOPAR FIJADO A UNA HOJA EN EL INTERIOR DEL INVERNADERO.....	52
IMAGEN 18. MEDIDAS DE CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA EN HOJA EN EL INTERIOR DEL INVERNADERO.....	52
IMAGEN 19. GUTACIÓN EN UN PÁMPANO DEL INVERNADERO.....	79
IMAGEN 20. RAÍCES ADVENTICIAS EN UN SARMIENTO DEL INVERNADERO.....	79

Índice de figuras

FIGURA 1. PRINCIPALES COMUNIDADES AUTÓNOMAS PRODUCTORAS DE UVA DE MESA EN ESPAÑA.....	7
FIGURA 2. EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS Y LA PRODUCCIÓN DE UVA DE MESA A LO LARGO DEL AÑO.....	8
FIGURA 3. TAXONOMÍA DE LA VID.....	11
FIGURA 4. DIFERENTES ÓRGANOS DE LA VID.....	13
FIGURA 5. YEMARIO DE VID.....	14
FIGURA 6. ESQUEMA DEL DESARROLLO DE UNA FLOR.....	14
FIGURA 7. ESTRUCTURA DE UN FRUTO DE VID.....	15
FIGURA 8. CICLO ANUAL DE LA VARIEDAD 'FLAME SEEDLESS' (<i>VITIS VINIFERA</i> L.).....	16

FIGURA 9. FOTOGRAFÍA (A) Y DIAGRAMA (B) DE UN PÁMPANO.	18
FIGURA 10. DESCRIPCIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS ESTADOS DE LATENCIA DE LAS YEMAS DE VID	23
FIGURA 11. POSIBLE ACCIÓN DEL H ₂ O ₂ EN LA RUPTURA DEL REPOSO DE LAS YEMAS DE VID.....	30
FIGURA 12. DIAGRAMA OMBROTÉRMICO.	444
FIGURA 13. CROQUIS DE LA PARCELA DE ENSAYO CON LA DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.	48
FIGURA 14. EXPRESIONES DE CÁLCULO.	49
FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN DE LA BROTAÇÃO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DE LA YEMA EN LA VARA EN INVERNADERO.....	55
FIGURA 16. EFECTO DE DISTINTAS DOSIS DE H ₂ CN ₂ SOBRE EL ADELANTO Y UNIFORMIDAD DE LA BROTAÇÃO DE LA VARIEDAD ‘FLAME SEEDLESS’ EN INVERNADERO.	56
FIGURA 17. TEMPERATURAS MEDIAS HORARIAS DEL DOS DE FEBRERO AL AIRE LIBRE Y EN EL INTERIOR DEL INVERNADERO.....	60
FIGURA 18. NÚMERO DE RACIMOS POR PARRA OBTENIDOS EN CADA TRATAMIENTO.....	64
FIGURA 19. PESO DEL RACIMO EN CADA TRATAMIENTO	65
FIGURA 20. PESO DE LA BAYA EN CADA TRATAMIENTO.	65
FIGURA 21. TEMPERATURAS DIARIAS DEL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE LA BROTAÇÃO Y LA FLORACIÓN DE LAS PARRAS DEL TRATAMIENTO INVERNADERO 5% H ₂ CN ₂	68
FIGURA 22. TEMPERATURAS DIARIAS DEL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE LA FLORACIÓN Y LA RECOLECCIÓN DE LAS PARRAS DEL TRATAMIENTO INVERNADERO 5% H ₂ CN ₂	69
FIGURA 23. RADIACIÓN GLOBAL (W m ⁻²) AL AIRE LIBRE DURANTE LOS TRES DÍAS DE MEDIDA.	71
FIGURA 24. EVOLUCIÓN DIURNA DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA (°C) ENTRE EL EXTERIOR Y EL INTERIOR DEL INVERNADERO CORRESPONDIENTE A LAS TRES CONFIGURACIONES DE VENTILACIÓN.	72
FIGURA 25. EVOLUCIÓN DIURNA DEL GRADIENTE VERTICAL DE TEMPERATURA (°C) (DIFERENCIAS DE TEMPERATURA ENTRE LA PARTE SUPERIOR E INFERIOR DEL DOSEL VEGETAL DEL CULTIVO) PARA LAS TRES CONFIGURACIONES DE VENTILACIÓN ESTUDIADAS.	73
FIGURA 26. EVOLUCIÓN DIURNA DEL DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR (DPV) (kPa) PARA LAS TRES CONFIGURACIONES DE VENTILACIÓN.	74
FIGURA 27. EVOLUCIÓN DIURNA DE LA DIFERENCIA ENTRE LA TEMPERATURA DE LA HOJA (T _H) Y LA TEMPERATURA DEL AMBIENTE (T _A), EXPRESADA EN °C, PARA LAS TRES CONFIGURACIONES DE VENTILACIÓN.	75
FIGURA 28. RELACIÓN ENTRE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA HOJA-AIRE (°C) Y EL DPV (kPa) PARA LAS TRES CONFIGURACIONES DE VENTILACIÓN ESTUDIADAS.	76
FIGURA 29. CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA MEDIDA DURANTE EL DÍA EN LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS.....	78

Índice de Cuadros

CUADRO 1. EFECTOS DEL CULTIVO FORZADO Y DISTINTAS DOSIS DE H ₂ CN ₂ SOBRE LA BROTAÇÃO.....	53
CUADRO 2. BROTAÇÃO MEDIA POR PARRA, EXPRESADA EN PORCENTAJE, PARA CADA TRATAMIENTO.....	54
CUADRO 3. EFECTOS DEL CULTIVO FORZADO Y DISTINTAS DOSIS DE H ₂ CN ₂ SOBRE LA FERTILIDAD.	58
CUADRO 4. EFECTOS DEL CULTIVO FORZADO Y DISTINTAS DOSIS DE H ₂ CN ₂ SOBRE EL NÚMERO DE FLORES POR INFLORESCENCIA.	59
CUADRO 5. NÚMERO MEDIO DE BOTONES FLORALES POR INFLORESCENCIA EN LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS.....	59
CUADRO 6. EFECTOS DEL CULTIVO FORZADO Y DISTINTAS DOSIS DE H ₂ CN ₂ SOBRE EL <i>FILAGE</i>	61
CUADRO 7. EFECTOS DEL CULTIVO FORZADO Y DISTINTAS DOSIS DE H ₂ CN ₂ SOBRE LA COSECHA COMERCIAL.....	62
CUADRO 8. COSECHA COMERCIAL MEDIA OBTENIDA EN CADA TRATAMIENTO	63
CUADRO 9. EFECTOS DEL CULTIVO FORZADO Y DISTINTAS DOSIS DE H ₂ CN ₂ SOBRE EL NÚMERO DE RACIMOS POR PARRA	63
CUADRO 10. EFECTOS DEL CULTIVO FORZADO Y DISTINTAS DOSIS DE H ₂ CN ₂ SOBRE EL PESO DEL RACIMO Y EL PESO DE LA BAYA..	64
CUADRO 11. PARÁMETROS DEL CLIMA EXTERIOR CORRESPONDIENTES A LOS TRES DÍAS DE MEDIDA.	71

Capítulo 1. Interés y objetivos

1.1. INTRODUCCIÓN.

El cultivo protegido es una orientación frecuente en el sudeste español para satisfacer la demanda de hortalizas fuera de temporada. Concretamente en Almería se da la mayor concentración mundial de invernaderos con cerca de 26.000 ha (Sanjuán, 2007) (Imagen 1). Menos común, aunque cada vez más extendida es la producción de frutas bajo invernadero. Este modelo, puede ser una alternativa interesante y muy rentable con especies frutales de alto valor en áreas en las que la producción hortícola intensiva en invernadero está perdiendo rentabilidad.



Imagen 1. Panorámica de la extensión de invernaderos en el poniente almeriense.

Al hilo de lo anterior, un cultivo interesante para producir en invernadero es la uva de mesa (*Vitis vinifera* L.). Según la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV) la producción mundial de uva de mesa ha experimentado un gran crecimiento en las dos últimas décadas, mientras que la producción de uva para vinificación ha permanecido estancada (OIV, 2010). Este incremento es la respuesta al aumento sostenido que registra su consumo. El volumen de las importaciones mundiales de uva de mesa ha registrado un crecimiento del 50% durante el período 2001-2009, según cifras de la Cámara de Comercio Internacional (ICC), desde 2,5 millones de toneladas a 3,7 millones de toneladas. Los diez principales mercados, que captan alrededor del 70% del volumen de las importaciones mundiales de uva de mesa en este período, están concentrados en los países de mayor desarrollo económico. Sin embargo, los que muestran un mayor dinamismo en su crecimiento

son los mercados emergentes asiáticos, en particular Vietnam, Tailandia, Indonesia y Filipinas, a los que se une Corea. Estos muestran importantes incrementos en sus importaciones, que ya representan en volumen un mercado similar al del Reino Unido. Rusia es otro mercado que presenta un marcado dinamismo en su crecimiento, cuadruplicando su volumen importado en dicho periodo (ICC, 2010).

La producción mundial de uva de mesa está liderada por China, con 4,8 millones de toneladas, seguida por Irán (1,8 Mt), Turquía (1,7 Mt), India (1,6 Mt), Egipto (1,5 Mt), Italia (1,3 Mt), Estados Unidos (0,91 Mt), Chile (0,83 Mt) y Brasil (0,69 Mt). Pero sólo alrededor del 20% de esta producción mundial aparece en los mercados internacionales. China destina la práctica totalidad de su producción al abastecimiento de su demanda interna. Una situación similar presentan Irán, Egipto, India o Brasil, con mercados muy interiorizados, es decir, con importaciones y exportaciones despreciables. De esta forma la comercialización en los mercados internacionales la copan en gran medida cuatro países: Chile, Italia, Estados Unidos y Sudáfrica, con más del 50% de las exportaciones mundiales de uva de mesa (ICC, 2010).

España, según las cifras oficiales, se sitúa en octava posición en cuanto a exportaciones mundiales de uva fresca y en una destacada segunda posición a nivel europeo (ICC, 2010; OIV, 2010). El comercio exterior es muy significativo ya que las exportaciones de uva de mesa representan un 50,5% de la producción, llegando a exportarse 126,787 toneladas de uva fresca (FEPEX, 2010). Según las últimas estadísticas publicadas por el Ministerio de Agricultura, en España hay una superficie de 17.362 hectáreas dedicadas al cultivo de uva de mesa que se traducen en una producción de 251.193 toneladas (MAGRAMA, 2010). Esta producción de uva está concentrada en el levante y sur peninsular. La Comunidad Valenciana aglutina en la comarca del Vinalopó el 45,7% de la superficie nacional dedicada a este cultivo (Fig. 1). El cultivo en esta comarca presenta un modelo de mercado carácter tradicional, poco dinámico, basando su producción en variedades con semilla, de entre las que destacan 'Aledo' e 'Ideal'. Su cultivo está regulado por la "Denominación de Origen uva embolsada del Vinalopó". Le sigue la Región de Murcia con un 31,5% de la superficie dedicada a este cultivo (Fig. 1). Aquí el sector es más moderno e innovador, basando su producción en variedades apirenas (prácticamente el 60% de su superficie) lo que la convierte en una de las comunidades más competitivas, liderando la producción y exportación de este tipo de uva a nivel europeo. Andalucía es la tercera comunidad en importancia, con un 18% de la superficie (MAGRAMA, 2010) (Fig. 1). La mayor parte de la producción andaluza se concentra en las provincias occidentales de Sevilla y Cádiz. En Almería, donde el cultivo de la uva de mesa representó la principal fuente de ingresos de la provincia durante el pasado siglo, tan solo quedan 120 ha.

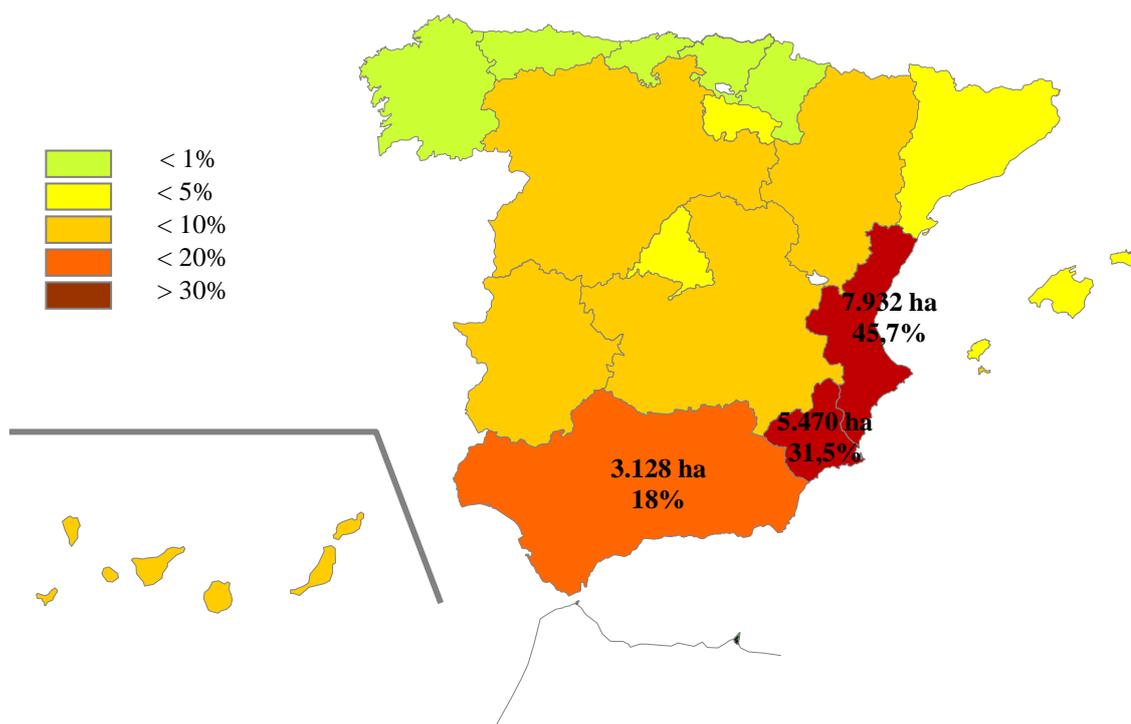


Figura 1. Principales Comunidades Autónomas productoras de uva de mesa en España. Elaboración propia.

Estas cifras, tan poco alentadoras para Almería, conducen a pensar que se trata de un cultivo con escasas posibilidades de futuro en la provincia. Sin embargo esto no es así. Las anteriores estadísticas ya ponen de manifiesto el interés y el potencial de este cultivo. Además existen otros muchos motivos. La recuperación de este sector puede contribuir a la diversificación del actual panorama agrícola de la provincia, muy orientado a la producción hortícola intensiva. También puede favorecer al mantenimiento del paisaje, de gran importancia en las comarcas rurales tradicionalmente productoras. Éstas, hoy en día, tienen un renovado interés turístico y un alto porcentaje de superficie en baldío, por lo que es preciso apostar por la revalorización del terreno con una producción ancestral compatible, además, con la preservación de los recursos naturales y los valores paisajísticos.

No hay que olvidar que Almería cuenta con unas condiciones de suelo y clima idóneas para este cultivo y que su manejo es de sobra conocido por los agricultores. A día de hoy aún persiste una *cultura viva del parral*, un conocimiento profundo de las técnicas de cultivo. No obstante, para que la uva de mesa recupere parte de su esplendor habría que hacer una apuesta clara y decidida por la renovación del cultivo con variedades sin semilla, por la innovación en las técnicas de manejo y por una mejora en la comercialización del producto.

El cultivo en invernadero es un claro ejemplo de innovación tecnológica que puede ser adoptada para el cultivo de uva de mesa en esta provincia. Esta opción puede resultar una alternativa interesante y muy rentable para las zonas en las que la producción hortícola intensiva en invernadero está perdiendo rentabilidad

(Fundación Cajamar, 2011). Con el manejo en invernadero se consigue adelantar y/o retrasar las producciones de uva y ampliar el calendario de oferta, de manera que se podrían cubrir los huecos en los que se obtienen los mejores precios (Fig. 2) y se facilitaría un suministro estable de producto al mercado. Asimismo y no menos importante, el cultivo protegido proporciona un aumento en calidad de la producción al reducir la presión de plagas y enfermedades y las pérdidas por condiciones meteorológicas adversas (lluvia, granizo, viento, etc.).

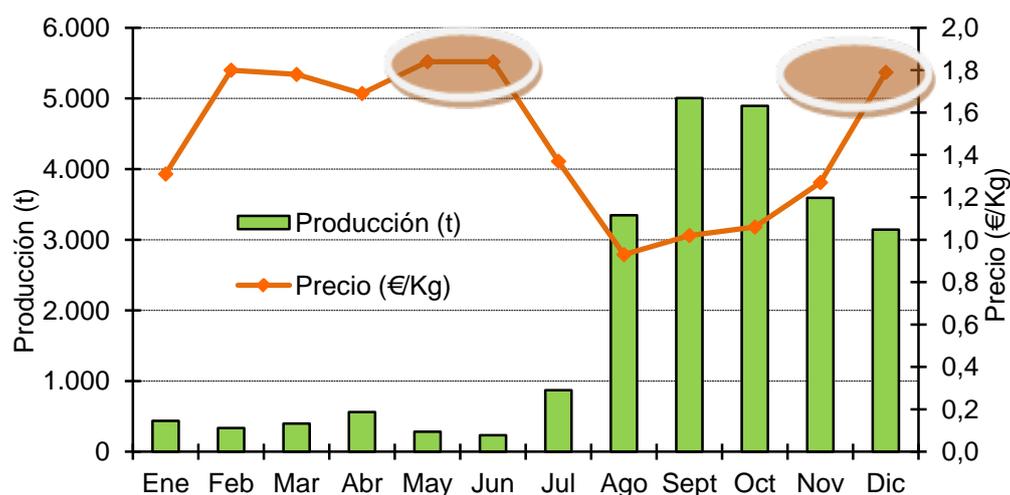


Figura 2. Evolución de los precios y la producción de uva de mesa a lo largo del año. Fuente: www.mercamadrid.es. Elaboración propia.

Pero hasta el momento, el cultivo en invernadero de uva de mesa no es una realidad. La mayor innovación adoptada en este sector en lo que respecta a cultivo protegido es un manejo semiforzado. En Italia, todas las regiones productoras de uva de mesa introdujeron esta innovación hace décadas y en España, lo han hecho más recientemente la Región de Murcia y Andalucía. El cultivo semiforzado de uva consiste en el empleo temporal de una cubierta plástica. La estructura empleada para la sujeción de esta cubierta no es más que otro tejido de alambre situado a 1-1,5 m del tejido que sustenta la vegetación y la cosecha de uva. La diferencia con respecto a éste es que normalmente este tejido no se coloca plano sino que adopta una forma de cubierta multicapilla (*raspa y amagado*) (Imágenes 2 y 3).

La cubierta plástica suele extenderse solamente por el techo de la estructura y no por las bandas. Normalmente también se deja el *amagado* de la cubierta multicapilla sin cubrir a modo de ventanas cenitales, para que junto a las bandas abiertas se consiga una adecuada ventilación y se evite un exceso de temperatura que puede afectar al desarrollo del cultivo (Imagen 2). La fecha de colocación de esta cubierta plástica depende del objetivo buscado. Si se pretende adelantar la cosecha se coloca en enero, mientras que si lo que se quiere es retrasarla se instala a finales de agosto (envero) (Imagen 3).



Imagen 2. Cubierto plástico para adelantar la cosecha.



Imagen 3. Cubierto plástico para retrasar la cosecha.

Este semiforzado del cultivo presenta una serie de inconvenientes respecto al forzado en invernadero cerrado. Aunque la estructura, en principio, es similar a la de un invernadero tipo parral, la retirada anual del plástico supone un aumento de los costes de mano de obra y, dependiendo del año, representaría una pérdida parcial de los beneficios que se podrían conseguir con el cultivo forzado en invernadero cerrado (sobre todo en términos de cosecha precoz).

1.2. PROBLEMÁTICA.

La alternativa al cultivo semiforzado de uva es cultivar en invernadero cerrado disponiendo de sistemas de ventilación natural que permitan gestionar de manera más eficaz la temperatura y la humedad. Sin embargo, existen una serie de condicionantes que determinan el éxito del cultivo de uva de mesa en invernadero. Uno de ellos es su carácter perenne, esto es, su permanencia sobre el terreno largo tiempo. Al contrario de lo que ocurre con las hortalizas, especies anuales en las que la cosecha pone fin al ciclo de cultivo, este frutal cultivado en invernadero permanece 'a priori' bajo abrigo ininterrumpidamente todo el año. Esta circunstancia plantea dificultades de manejo durante el invierno y especialmente durante la primavera y el verano. En el invierno la uva de mesa requiere acumular una cierta cantidad de frío para el correcto abandono del reposo. La cubierta plástica puede dificultar en estas fechas la acumulación de frío y conducir a una brotación escasa e irregular. Este déficit de frío puede ser compensado mediante el uso de cianamida de hidrógeno, un agente de ruptura que permite incrementar y homogeneizar la brotación, además de adelantar la salida del reposo invernal.

Durante la primavera y el verano las elevadas temperaturas que se alcanzan bajo invernadero pueden afectar muy negativamente al desarrollo de las plantas. Hay que tener en cuenta que los invernaderos susceptibles de uso son estructuras

artesanales sencillas de bajo coste con escaso control climático. Además hay que tener en cuenta que estos invernaderos están inicialmente contruidos para albergar a cultivos hortícolas y, por tanto, la altura y el área de ventilación de que disponen pueden no ser los adecuados para el cultivo de la uva.

1.3. OBJETIVOS.

De lo anteriormente expuesto se deriva como objetivo general conseguir cultivar uva de mesa en un invernadero tipo parral para obtener una cosecha precoz y de calidad. Este objetivo general se concreta en los siguientes objetivos a cumplimentar en este proyecto:

1. Determinar la dosis óptima de cianamida de hidrógeno para inducir una brotación mayor, más temprana y homogénea en invernadero.
2. Determinar los efectos del cultivo en invernadero con control climático y distintas dosis de cianamida sobre la brotación, la fertilidad y la producción.
3. Determinar el efecto de diferentes niveles de ventilación sobre el microclima del invernadero y sobre la fisiología de la planta para establecer una adecuada estrategia de ventilación.

Capítulo 2. Revisión bibliográfica

2.1. LA VID: BOTÁNICA, ORGANOGRAFÍA Y CICLO ANUAL.

2.1.1 Botánica de la vid.

La vid (*Vitis vinifera*, L.) pertenece a la familia de las Vitáceas (Fig. 3). Dependiendo de la clasificación botánica adoptada, la familia *Vitaceae* tiene de diez a dieciséis géneros distintos. Destacan los géneros *Ampelocissus*, *Parthenocissus* (del cual proceden las parras vírgenes *P. tricuspidata* y *P. quinquefolia*), *Cissus* y *Vitis* (Heywood, 1985).

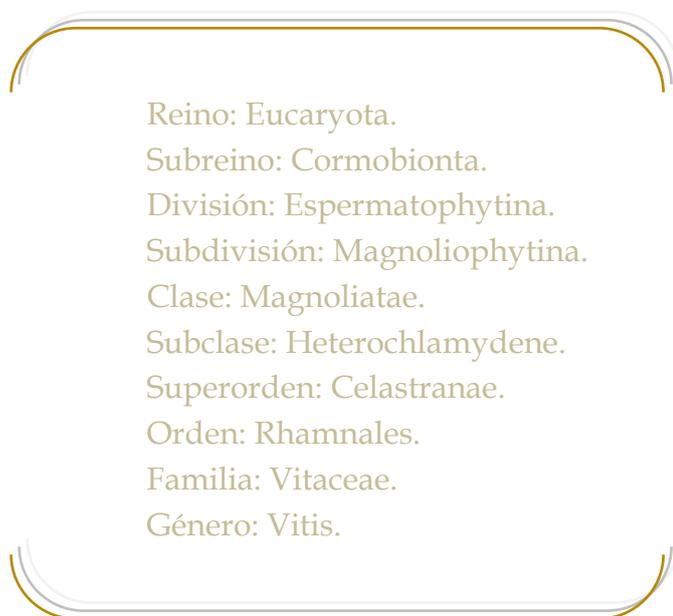


Figura 3. Taxonomía de la vid.

El género *Vitis*, al que pertenecen todas las vides cultivadas, comprende un gran número de especies. Según la clasificación propuesta por Galet en 1980, este género se compone de dos subgéneros: el subgénero *Muscadinea*, que se caracteriza por poseer sarmientos de corteza adherente con lenticelas, no exfoliables, zarcillos simples, racimos cortos y pequeños; y el subgénero *Euvitis*, que se caracteriza por tener sarmientos con corteza fibrosa con estrías longitudinales, exfoliables, zarcillos bifurcados y racimos más alargados. El subgénero *Muscadinea* se compone de varias especies que presentan gran interés para la mejora vegetal, por ser resistentes a numerosas enfermedades de origen fúngico. Por su parte, el subgénero *Euvitis* puede subdividirse en tres grandes grupos: las vides americanas (*V. labrusca*, *V. riparia*, *V. berlandieri*, *V. rupestris*, etc.), que son utilizadas principalmente como patrones; la vid

asiática, *V. amurensis*; y la vid euroasiática, *V. vinifera*, conocida como Vid del Viejo Mundo o Vid europea, que representa un 90% del cultivo mundial de las vides (Reynier, 2002).

El origen del género *Vitis* se remonta a la Era Terciaria, aunque fue más tarde, en el Cuaternario, con las numerosas glaciaciones, cuando este género sufre una gran diversificación, que da lugar a los antepasados de la vid actual (Martínez de Toda, 1991). Fenicios, griegos y romanos expandieron por toda Europa el cultivo de la vid desde sus orígenes en el oeste del Himalaya y las zonas del Cáucaso, convirtiéndolo de este modo en uno de los principales cultivos de la antigüedad. Tanto es así, que ya en la antigua Mesopotamia (5000 a.C.) aparecen los primeros testimonios escritos sobre el consumo de vino. Desde ese momento, la vid pasa a formar, junto con el olivo y el trigo, la denominada *tríada mediterránea*, que constituirá la base de la agricultura occidental durante milenios. Actualmente, la vid se cultiva en amplias zonas del planeta, aunque con algunas diferencias, puesto que en los trópicos es un cultivo que siempre permanece en crecimiento activo (siempre verde), mientras que en las zonas templadas presenta una marcada estacionalidad con reposo invernal.

2.1.2 Organografía de la vid.

Como todas las plantas superiores, la vid está formada por un sistema radical y una parte aérea. El tipo de sistema radical varía dependiendo del origen de éste; si proviene de multiplicación vegetativa, la raíz será fasciculada, mientras que si lo hace de semilla será pivotante (Hidalgo, 1999). Si bien no es muy frecuente, en la vid pueden aparecer raíces adventicias aéreas (Martínez de Toda, 1991). El desarrollo de la raíz es muy variable, dependiendo tanto de factores genéticos como del sistema de cultivo. Las raíces de la vid no llegan a alcanzar una gran profundidad como ocurre con otros frutales. La profundidad a la que se encuentran en la vid varía entre 60 y 150 cm, presentando una mayor densidad entre los 20 y 70 cm. La raíz tiene como función principal la obtención de agua y elementos minerales. Otra función no menos importante es la de soporte de la parte aérea así como la de almacén de sustancias de reserva en el periodo de reposo. El esqueleto de la vid se compone de tronco, brazos, madera de dos años y en esta especie también de la madera de un año. El tronco tiene como principal función el transporte de sustancias. El tronco presenta una capa de corteza exfoliable: el ritidoma, que se forma cada año. La forma, longitud y el número de brazos están en función del tipo de conducción, siendo en las formas libres el tronco bajo y corto, mientras que en las apoyadas, como es el caso del parral que aquí estudiamos, largo y alto (Hidalgo, 1999). La madera de un año o sarmiento es aquella que se ha desarrollado en el transcurso de la primavera y el verano y que, normalmente, se inserta sobre madera de dos años (Fig. 4). Si la inserción del sarmiento tiene lugar sobre madera vieja, entonces se denominan chupones.

Durante la primavera, las yemas situadas en el sarmiento pueden brotar dando lugar a los pámpanos. Éstos están constituidos por una sucesión de entrenudos, entre los cuales aparecen unos engrosamientos, los nudos, en los que se insertan las hojas, zarcillos, inflorescencias y yemas, bien invernantes o prontas. Éstas últimas son las que originan los nietos o brotes anticipados sobre el crecimiento de ese mismo año (Martínez de Toda, 1991) (Fig. 4). Característico del pámpano son su gran contenido en agua, el color verde que los diferencia de la madera de mayor edad, así como su flexibilidad. Al final del periodo vegetativo se produce una lignificación gradual del pámpano denominada agostamiento, que comienza desde la base y hace que el pámpano pase a ser madera de un año o sarmiento (éste se denomina *pulgar* si se poda corto o *vara* si se poda largo).

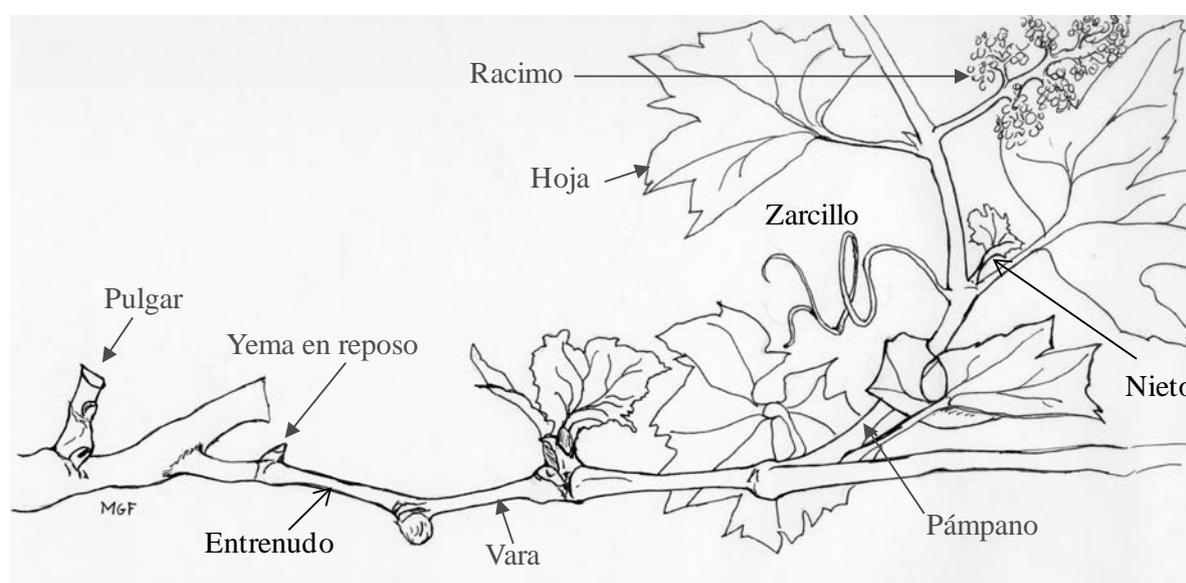


Figura 4. Diferentes órganos de la vid. Fuente: Alonso et al. (2006).

Las yemas de la vid son yemas mixtas (Gil-Albert, 2006), que se agrupan en un yemario (Hidalgo, 1999) y se sitúan en la axila de la hoja. Estas yemas se encuentran protegidas por varias escamas y abundante borra blanquecina. Todas las yemas de la vid son similares, encontrando diferencias entre ellas en función del momento de brotación, que dará lugar a la distinción entre yemas invernantes (que se desarrollan al año siguiente de su formación) y yemas prontas o anticipadas, que tienen la peculiaridad de ser capaces de desarrollarse en el mismo año de su formación (Vidaud, 1993). La yema latente, responsable de la producción de la cosecha, está formada por tres conos vegetativos. En ella nos encontramos un cono principal situado en el centro, responsable de la formación del pámpano portador de racimos, y dos conos secundarios, uno a cada lado, que brotarán si se produce la destrucción del cono principal (Fig. 5) (Winkler, 1974; Martínez de Toda, 1991; Reynier, 2002) y que ocasionalmente lo podrán hacer acompañando al pámpano principal, denominándose entonces como brotes dobles.

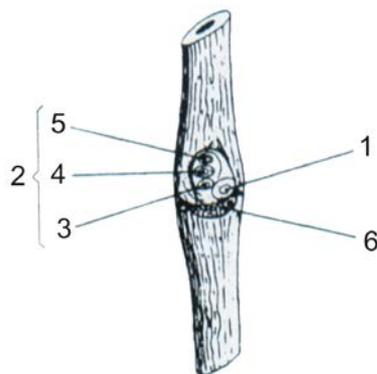


Figura 5. Yemario de vid: 1, yema pronta o anticipada; 2, yema latente; 3, cono secundario; 4, cono principal; 5, cono secundario; 6, inserción de la hoja. Fuente: Hidalgo (1999).

Las flores de la vid son hermafroditas y de simetría pentámera. Las flores son órganos evolucionados a partir de brotes con cinco verticilos de hoja (Gerrath, 1992). Tienen un pequeño cáliz con cinco sépalos verdosos. La corola se compone de cinco pétalos soldados superiormente para formar la caliptra que, cuando tiene lugar la apertura de la flor se abre de forma ínfera dando lugar a un capuchón caedizo (Martínez de Toda, 1991) (Fig. 6). Los estambres, en número de cinco, están compuestos cada uno de ellos por dos tecas. Por último, el pistilo, cuyo extremo (estigma) aparece ensanchado y segrega un líquido azucarado espeso. El interior del gineceo se compone de dos lóculos con dos óvulos por lóculo (Fig. 6). De este modo, la fórmula floral de la vid es:

$$K (5) + C (5) + A (5) + G (2)$$

Las flores de la vid se agrupan en inflorescencias de tipo racimo, compuesto por un eje principal, denominado raquis, raspón o escobajo, del que parten ramificaciones, que a su vez se dividen en otras ramificaciones que son las que portan las flores (Hidalgo, 1999).

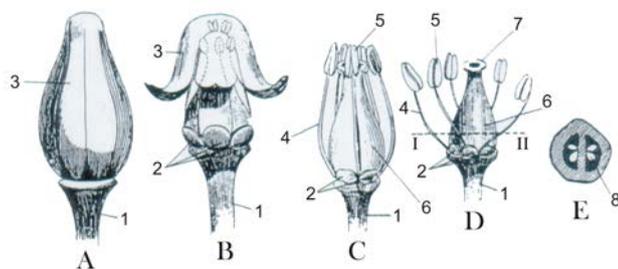


Figura 6. Esquema del desarrollo de una flor. A, flor cerrada. B, flor abriendo. C y D, flor recién abierta con la corola ya caída. E, sección por I-II. 1, pedúnculo. 2, cáliz. 3, corola. 4, filamento del estambre. 5, anteras. 6, pistilo. 7, estigma. 8, óvulo. Fuente: Hidalgo (1999).

Estas flores, una vez fecundadas, dan lugar a la baya o grano de uva. Las bayas son de diversas formas, tamaños y colores, pero tienen una estructura común (Fig. 7). Todas ellas se componen de un hollejo o película exterior, que se corresponde con el epicarpo del fruto, normalmente acompañado de una capa cerosa denominada pruina. El mesocarpo del fruto se corresponde con la pulpa, que se compone de células grandes, que rellenan la uva y poseen un gran contenido en mosto. El endocarpo del fruto es también de consistencia carnosa y está próximo a las semillas o pepitas, procedentes de los óvulos fecundados, por lo que su número nunca es mayor de cuatro. Por último, el pincel es el encargado de nutrir la baya ya que une los vasos conductores del pedúnculo con el fruto (Fig. 7). Otro elemento distintivo en el fruto es el denominado ombligo, que no es más que la cicatriz que queda en el fruto debido a la caída del estilo, situada en la zona opuesta a la inserción del fruto con el pedúnculo (Vidaud, 1993).

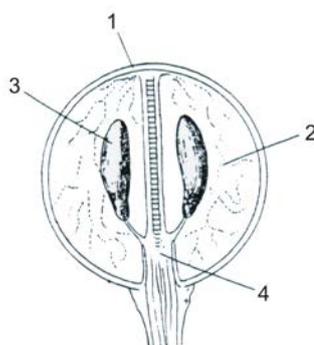


Figura 7. Estructura de un fruto de vid. 1, hollejo; 2, pulpa; 3, semilla; 4, pincel. Fuente: Hidalgo (1999).

La forma y el tamaño de la baya son variables dependiendo de la variedad. Según la forma encontramos bayas elípticas, ovoides, esféricas, etc. Las uvas pueden tener de una a cuatro semillas, aunque excepcionalmente pueden llegar a ser cinco (Huglin y Schneider, 1998). Las variedades que no muestran semillas se denominan apirenas. Estas variedades apirenas son aquellas en las que tras una fecundación aparentemente normal se produce un aborto de la semilla (apirenia estenospermocárpica). Estas semillas, formadas por un embrión pero sin tegumentos, son blandas, rudimentarias y no viables (Reynier, 2002).

La variedad 'Flame Seedless', objeto de este estudio presenta bayas esféricas y apirenas.

2.1.3 Ciclo anual de la vid.

La vid sigue un ciclo anual, debido a su propio hábitat natural de clima templado mediterráneo. Esta situación no se da en las zonas tropicales, en las cuales la vid permanece en continuo crecimiento (Hidalgo, 1999). En este ciclo pueden diferenciarse por una parte una fase vegetativa, y por otra una fase reproductiva, si

bien éstas se dan de forma contemporánea en la planta, tal y como se aprecia en la figura 8.

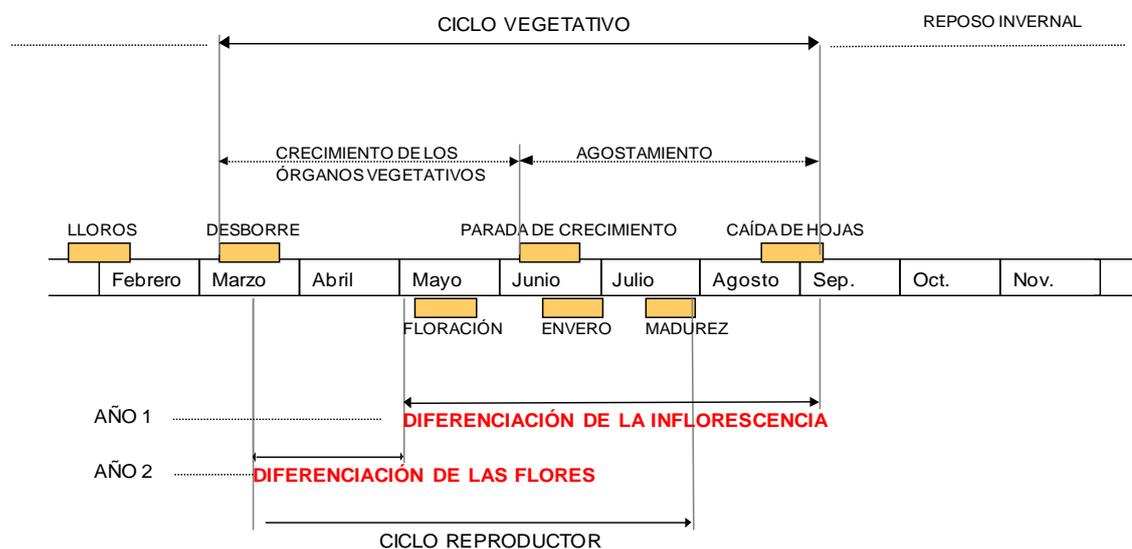


Figura 8. Ciclo anual de la variedad 'Flame Seedless' (*Vitis vinifera* L.). Elaboración propia.

2.1.3.1 Ciclo vegetativo.

Los lloros son la primera manifestación externa de actividad en la vid tras el periodo de reposo invernal (Hidalgo, 1999) (Fig. 9). El nombre de lloros se debe a la exudación que se produce a nivel de heridas de poda a causa de una activación de la respiración celular, la recuperación de la absorción de agua y sales minerales junto con una movilización de reservas y el comienzo de la actividad del sistema radical, motivado por el aumento de la temperatura. El volumen de estos lloros es variable, oscilando entre 0,2 y 3 litros por planta (Reynier, 2002). Aún así estos lloros no llegan a causar debilitamiento alguno en la planta (Martínez de Toda, 1991), pero sí que aumentan su sensibilidad a heladas primaverales y dificultan una correcta cicatrización de las heridas causadas en la poda (Reynier, 2002). El final de este proceso tiene lugar cuando se produce un crecimiento de bacterias que segregan sustancias gomosas que provocan la obturación de los vasos leñosos (Hidalgo, 1999) (Imágenes 4 y 5).

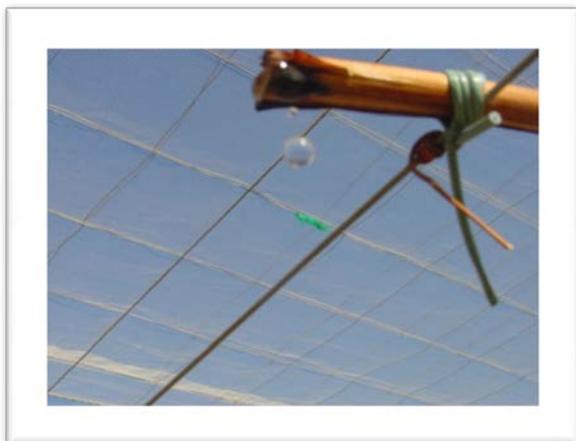


Imagen 4. Los lloros.



Imagen 5. Los lloros.

El desborre en la vid se conoce así porque la yema se hincha y se hace visible la borra que la protege (Imagen 6). Este fenómeno es la primera manifestación visible de la actividad de la yema y se encuentra influenciado por diferentes factores. El principal y más importante es la temperatura del aire (Huglin y Schneider, 1998). La temperatura base de crecimiento aparente comúnmente referenciada para la vid es de 10°C (Winkler, 1949; Morris et al., 1980; Mullins et al., 1992; Chadha y Shikhamany, 1999), aunque puede diferir dependiendo de la variedad (Oliveira, 1998). A partir de esa temperatura el crecimiento del cono vegetativo se hace visible y aparece lo que se denomina punta verde, que es el brote incipiente. El momento de desborre depende también de la variedad (existen variedades precoces y variedades tardías) y de factores biológicos (agostamiento del año anterior, posición de la yema en el sarmiento y en la planta) (Reynier, 2002). También intervienen los factores culturales, como el momento de la poda, el arqueado del sarmiento que sustenta la yema y la aplicación de reguladores del crecimiento como etefón (Lavee et al., 1977; Dokoozlian, 2000), cianamida de hidrógeno (Dokoozlian et al., 1995) y otras sustancias (Dokoozlian et al., 1998; Peppi et al., 2006). No todas las yemas brotan a la vez, sino que en primer lugar lo hacen las apicales, impidiendo con frecuencia que las basales lo hagan por inhibición correlativa (Hidalgo, 1999). Esta acrotonía es manifiesta en la vid y se explica por su carácter de liana (Huglin y Schneider, 1998) (Imagen 7). Como la brotación es escalonada, su determinación fenológica se afirma cuando el 50% de las yemas han alcanzado ese estado (Williams et al., 1985; McIntyre et al., 1987; Reynier, 2002).

Tras la brotación, la vid desarrolla los órganos que se encuentran preformados en los conos vegetativos y crea otros nuevos (Hidalgo, 1999). Este desarrollo es consecuencia de la producción repetitiva de primordios de órganos y de células del tallo. Como consecuencia se repiten estructuras similares que algunos autores han denominado fitómeros (Lebon et al., 2004) (Fig. 9).



Imagen 6. Desborre.



Imagen 7. Acrotonía en vara.

Estos fitómeros están compuestos por un segmento del tallo o entrenudo y un nudo en el que se inserta una hoja con un meristemo axilar capaz de generar un nieto con la misma estructura fitomérica (Roldán y Martínez, 2003). El crecimiento, entendido como la elongación de los brotes, se verifica en longitud y grosor (Winkler, 1974), primero a costa de las reservas y posteriormente, cuando entran en funcionamiento las hojas, nutridos por la savia elaborada por éstas (Hidalgo, 1999; McArtney y Ferree, 1999).

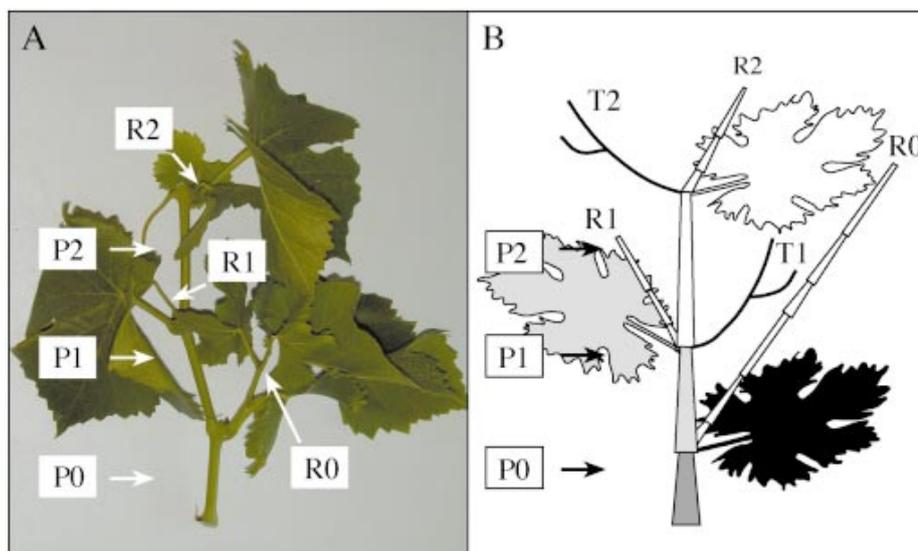


Figura 9. Fotografía (A) y diagrama (B) de un pámpano. P0, P1 y P2 indican la posición de tres fitómeros diferentes. R_i y T_i indican los nietos y los racimos o zarcillos del correspondiente fitómero P_i. Fuente: Lebon et al. (2004).

En condiciones de temperatura y humedad altas pueden aparecer pequeñas gotas de savia en los pámpanos y hojas; este fenómeno recibe el nombre de gutación. La estructura y función de estos exudados no se conoce bien (Mullins et al., 1992). Otra fisiopatías que se dan en la vid son la aparición de quimeras y la fasciación. Las

quimeras, de origen hormonal, son prolongaciones vegetativas de una inflorescencia y la fasciación es un fenómeno de carácter genético y fisiológico que provoca un achatamiento del diámetro del pámpano, haciéndose éste más ancho, llegando incluso a dividirse en dos.

La dinámica del crecimiento del brote sigue un comportamiento sigmoidal, en el cual primero tiene lugar una fase de crecimiento lento, seguida de otra fase de rápido crecimiento con una parada momentánea en el momento de la floración, para culminar con un crecimiento ralentizado, con tendencia a crecimiento cero debido a la competencia establecida con los racimos en desarrollo (Martínez de Toda, 1991). El final de esta fase se corresponde con la parada del crecimiento del brote, que se manifiesta por la marchitez y posterior caída de la yema terminal. Es en este momento cuando se produce el agostamiento, es decir, el pámpano se lignifica, disminuye su contenido hídrico, acumula reservas (principalmente almidón) y se produce un cambio de color de verde a marrón. Este proceso progresa desde la base hacia la zona apical (Vidaud, 1993) y culmina con la formación de una capa de abscisión en la base del peciolo que provoca la senescencia y caída de la hoja (Reynier, 2002).

Durante el otoño, las especies de zonas mediterráneas como la vid, inician un periodo de reposo o latencia que se prolongará durante todo el invierno, de ahí el término de reposo invernal, que puede ser prolongado en ciertas ocasiones hasta bien entrada la primavera (Agustí, 2004). En este momento, las yemas permanecen en un estado de latencia hasta la primavera siguiente (Reynier, 2002).

2.1.3.2 Ciclo reproductivo.

Los órganos reproductivos de la vid se desarrollan progresivamente desde las yemas de la base de los pámpanos hacia el extremo de los mismos (Huglin y Schneider, 1998) y está influenciado por la nutrición mineral de la cepa, el vigor de la misma, la variedad y el clima (Mullins et al., 1992; Hidalgo, 1999).

El proceso de formación de las inflorescencias y flores en la vid se divide en tres etapas bien definidas. La primera de ellas es la formación de un primordio meristemático indiferenciado en el ápice de una yema. Tras esto se sucede la diferenciación del meristemo, que da lugar a la formación de la inflorescencia o del zarcillo y por último la diferenciación de las flores.

Tras la formación del primordio meristemático indiferenciado, en la segunda fase se originan los diferentes pisos de la inflorescencia. Según Cheema et al. (1996b), el máximo nivel de complejidad que se aprecia antes de que la yema entre en estado de reposo en invierno, se corresponde con la aparición de ramificaciones terciarias en el esbozo de la inflorescencia. Además de Cheema et al. (1996b), numerosos autores, en estudios sobre la diferenciación de la inflorescencia, indicaban que ésta se detenía con el reposo de la yema, pero estudios recientes han demostrado que el desarrollo

de la inflorescencia continúa en las yemas latentes. Jones et al. (2009) han observado que la división celular y la diferenciación de la inflorescencia continúan en yemas de vid en estado de endolatenencia. La última etapa de formación y diferenciación de las flores tiene lugar en la siguiente estación, tras el reposo invernal, coincidiendo con el desborre (Srinivasan y Mullins, 1981; Westwood, 1982; Mullins et al., 1992; Huglin y Schneider, 1998; May, 2000; Botelho et al., 2006). También en esta última fase existe controversia sobre el momento en que ocurre la diferenciación floral. De forma general, es aceptada la secuencia de desarrollo que empieza con la iniciación floral en las yemas latentes el año precedente y continúa, después del periodo de dormancia de las yemas, con la diferenciación de las flores en primavera. Sin embargo, algunos autores defienden que las flores se diferencian de la misma manera en dos fases: desde el final del verano y durante el otoño de la estación anterior (período de agostamiento) y desde la primavera hasta la floración (ciclo de crecimiento del pámpano) (Cheema et al., 1996a y Keller et al., 2005). No obstante, hoy en día la mayoría de los autores opinan que la formación de las flores comienza durante el período de desborre (Mullins et al., 1992; Cheema et al., 1996b; Huglin y Schneider, 1998; May, 2000; Dunn y Martin, 2000; Reynier, 2002).

Al hablar del ciclo reproductivo de la vid resulta imprescindible hacer referencia al término fertilidad, entendida ésta como el número de inflorescencias presentes en las yemas dejadas tras la poda (fertilidad potencial) o bien como el número de inflorescencias por yema brotada (fertilidad real) (Huglin y Schneider, 1998). Esta fertilidad es propia de cada variedad, siendo 'Flame Seedless' una variedad de fertilidad alta. Es un hecho conocido que la fertilidad no es igual para todas las yemas de la vara, sino que se distribuye de forma creciente desde las yemas de la base a las de la mitad del sarmiento para después disminuir conforme nos acercamos a las yemas de la zona apical del mismo (Huglin y Schneider, 1998; Hidalgo, 1999).

Una vez ha culminado el desarrollo de las flores en la inflorescencia tiene lugar la floración, hecho que se da al mismo tiempo que el crecimiento del brote o pámpano (Winkler, 1974; Coombe y Dry, 1998). En este momento, se produce la apertura de la corola, que forma un capuchón característico al ser de apertura ínfera (Martínez de Toda, 1991). Esta caliptra cae por dehiscencia y el momento de su caída varía con la variedad, con las condiciones climáticas y con las prácticas culturales. La floración es escalonada y ocurre en unos diez o quince días, viéndose acelerada por la temperatura, cuyo valor mínimo se establece en 15°C (Hidalgo, 1999; Reynier, 2002). Tras esto, sucede la polinización, ya sea con el propio polen de la flor o de otras flores a través de un vector de polinización. En ciertas variedades es necesario llevar a cabo una polinización artificial al ser el polen de éstas no funcional, como ocurre con la variedad 'Ohanes' (Vidaud, 1993; Alonso et al., 2006). Una vez que el polen alcanza el estigma, se adhiere a él y germina para dar lugar a la fecundación. En los distintos cultivares de vid es posible encontrar bayas normales que contienen

semilla; bayas estenospermicas, sin semilla; y por último puede darse lo que se conoce como *millerandage*, que son bayas partenocárpicas desarrolladas gracias a una estimulación polínica (Huglin y Schneider, 1998).

Tras la fecundación se sucede el cuajado del fruto. La tasa de cuajado se entiende como la relación entre el número de bayas que quedan en el racimo y el número de flores que tenía la inflorescencia, expresado en porcentaje. Una vez la flor ha cuajado se produce el desarrollo del fruto. El desarrollo de las bayas consiste en un crecimiento en volumen acompañado de una evolución de sus características físicas y químicas (Huglin y Schneider, 1998). Este crecimiento sigue un comportamiento en forma de doble sigmoide. Se distinguen, por tanto, una primera fase de crecimiento rápido, una segunda de crecimiento lento, casi nulo, y una última de crecimiento rápido, si bien es difícil establecer con claridad el cambio entre las dos últimas fases por la brevedad de la segunda. En la primera fase, también denominada periodo herbáceo, la baya es verde y dura. Su crecimiento se lleva a cabo de forma simultánea con el crecimiento vegetativo, por lo que las bayas se encuentran en competencia con las hojas y los nietos. Al final de esta fase en la baya hay una gran cantidad de ácidos (principalmente ácido málico) y poca presencia de azúcares. En este periodo, el crecimiento de la baya se debe fundamentalmente a la multiplicación celular y se encuentra regulado hormonalmente (Coombe, 1976). El contenido de hormonas de una baya aumenta fuertemente hasta poco antes del envero, momento en que la importante disminución en la síntesis de estas hormonas marca el inicio de la segunda fase de desarrollo de las bayas (Blouin y Guimberteau, 2004). Esta fase de crecimiento lento de la baya se define por una ralentización del crecimiento del fruto causada por el desarrollo del embrión que dura entre 7 y 40 días (Mullins et al., 1992). A ello se une una pérdida progresiva de la clorofila en el fruto. En variedades apirenas esta disminución del crecimiento apenas es apreciable puesto que el embrión aborta poco después del inicio de esta fase produciéndose así una disminución de la concentración auxínica (Winkler, 1974; Huglin y Schneider, 1998; Blouin y Guimberteau, 2004).

Durante el envero tienen lugar una serie de cambios que afectan a la morfología y composición de la baya. En este momento tiene lugar un ablandamiento de la baya causado por una pérdida de turgor en las células del mesocarpo (Hiroshi et al., 2008). También se produce un cambio en la composición del fruto: se inicia una acumulación de azúcares, principalmente hexosas (glucosa y fructosa), y una disminución de la acidez (Coombe, 1992), así como un aumento en la tasa de producción de etileno (Coombe, 1976). Pero sin duda, el hecho más característico de este proceso es el cambio de color que tiene lugar en el fruto. En variedades tintas se produce una acumulación de polifenoles (antocianinas, carotenos y xantofilas) que dan el color característico de cada variedad. El cambio no es simultáneo en todas las bayas, sino que tiene lugar de forma gradual entre ellas.

En la tercera fase, se reanuda el crecimiento, pero sin alcanzar la misma intensidad que en el primer periodo (Laguado et al., 2002). En este caso, el crecimiento está producido principalmente por la expansión de las células de la baya (Shiozaki et al., 1997). En esta fase continúa la acumulación de azúcares y prosigue también la disminución de la acidez. En este momento, la baya alcanza su tamaño máximo (Navarro et al., 2008). Este tamaño será generalmente inferior en bayas apirenas respecto a las pirenas (Shiozaki et al., 1997; Huglin y Schneider, 1998). Al final de esta fase se considera que la baya ha alcanzado la madurez. Esta madurez se produce de forma gradual, por lo que dentro de una misma planta, o incluso de un mismo racimo, podemos encontrar bayas maduras y bayas que aún no lo estén. Es muy importante no anticiparse en la recolección, puesto que contrariamente a lo que ocurre con otros frutos, la madurez del racimo se detiene al separarlo de la planta (Vidaud, 1993). Para llevar a cabo una valoración objetiva del grado de madurez del racimo y no anticiparse o retrasarse en la recolección, se establecen unos índices de madurez para cada variedad basados en el porcentaje de sólidos solubles totales (SST) o en la relación SST/acidez (Luchsinger, 2008). Si la uva se mantiene en la vid le sobreviene un período de sobremaduración durante el cual ésta se pasifica, modifica su composición química y se hace más sensible a ataques por hongos (Reynier, 2002).

2.2. REPOSO INVERNAL EN LA VID.

2.2.1 El fenómeno del reposo invernal en la vid.

El reposo de las yemas se define como un cese temporal del crecimiento, mientras que los procesos metabólicos incluyendo la respiración continúan (Vegis, 1965 cit. por Lavee y May, 1997).

En la vid, este reposo comienza al término del proceso de diferenciación floral, el cual, a su vez ocurre en las yemas ubicadas en las axilas de las hojas después del invierno, durante la fase de maduración de los racimos (Pinto et al., 2003).

Para describir los cambios secuenciales que tienen lugar en las yemas durante el reposo se han empleado varias terminologías. Romberger en 1963 (cit. por Shirazi, 2003) denominó a los tres estados secuenciales como “inhibición correlativa”, “latencia” y “quiescencia”. Por su parte Vegis en 1965 (cit. por Shirazi, 2003) establece tres estados que denominó “latencia impuesta”, “latencia verdadera o inherente” (que incluye a su vez tres subestados) y “latencia relativa”. Lang et al. (1987) describieron la latencia como cualquier suspensión temporal del crecimiento de una estructura de la planta que contiene un meristemo. Estos autores establecieron tres periodos fisiológicamente diferentes que denominaron paralatencia, endolatencia y ecolatencia. Pouget en 1988 propuso una subdivisión más detallada y dinámica de todo el periodo de reposo en las yemas de vid con la

siguiente secuencia: pre-reposo→ entrada en reposo→ reposo→ salida del reposo→ post-reposo (Fig. 10). Esta subdivisión de estados atiende a la consideración de que el reposo en vid pasa de una fase a la siguiente de una forma difusa (Lavee y May, 1997).

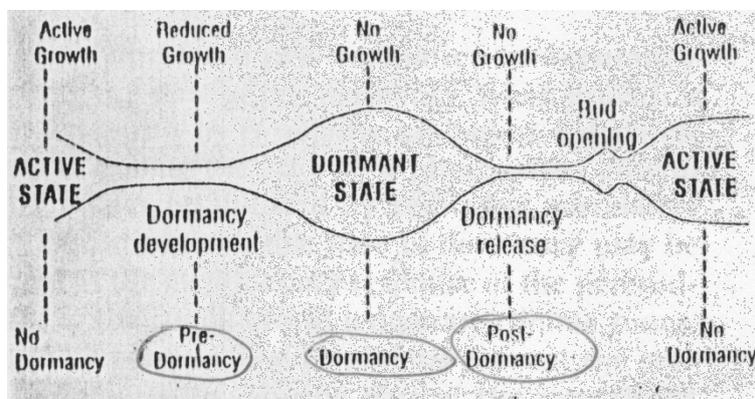


Figura 10. Descripción esquemática de los estados de latencia de las yemas de vid. Fuente: Lavee y May (1997).

La etapa de paralatencia (“pre-latencia”, “latencia impuesta” o “inhibición correlativa”, según el autor) se inicia terminada la diferenciación de cada yema. Durante esta fase gran parte de las yemas, en especial las basales, aún tienen capacidad para brotar pero generalmente permanecen en reposo, debido principalmente a la dominancia ejercida por la yema apical y las yemas anticipadas de los pámpanos aún en crecimiento. Esta capacidad potencial de brotación de la yema mediante el estímulo ambiental se va perdiendo paulatinamente conforme avanza la estación y el pámpano va agostándose (Pinto et al., 2003). En el periodo de 10-15 días la práctica totalidad del sarmiento pasa de un estado fisiológico propicio para el crecimiento a un estado desfavorable en el cual las yemas pierden su capacidad de brotar, entrando definitivamente en la etapa de endolatenia. Aunque no se observen cambios visibles en la planta durante la endolatenia, las yemas se encuentran en un estado fisiológico y bioquímicamente activo y se producen cambios en el contenido de agua y en los niveles de reguladores de crecimiento y otras sustancias químicas (Pinto et al., 2003).

Existe una relación altamente significativa entre la entrada en endolatenia, la parada de crecimiento de los pámpanos y el comienzo del agostamiento. Además la entrada en reposo de las yemas es el resultado de una exposición prolongada a días cortos y/o temperaturas bajas (Dokoozlian et al., 1995). Este estado latente es de origen endógeno (Arora et al., 2003) y está relacionado con un descenso paulatino del contenido de promotores (auxinas, giberelinas y citoquininas) y un aumento progresivo de inhibidores del crecimiento (ácido abscísico) (Agustí, 2004).

La siguiente fase por la que pasa la yema después del periodo de reposo y una vez que se ha acumulado el frío suficiente es la salida de la endolatenia. En esta

etapa las yemas van paulatinamente recuperando su capacidad potencial de brotar. La desaparición de la endolancia puede estar provocada por la acción de diversos agentes físicos y químicos en unas condiciones bien determinadas (Huglin y Schneider, 1998). Conviene destacar como uno de los factores a la desecación; ésta es susceptible de suprimir la endolancia en mayor o menor medida si el porcentaje de pérdida de agua es suficientemente elevado (15-20%) pero inferior al 25%. Temperaturas inferiores a 5-10°C y la exposición a una temperatura de 30°C son otros agentes naturales responsables en gran parte de la ruptura de la endolancia (Huglin y Schneider, 1998).

Resulta muy complejo determinar las fechas correspondientes al comienzo y final del periodo de latencia debido, en gran parte, a la dificultad de examinar analíticamente este estado fisiológico. El método utilizado por Pouget (1963) y Nigond (1967) (citados por Huglin y Schneider, 1998) consiste en controlar el tiempo que necesita la yema para desbrotar. Una prolongación extensa del tiempo de desborre y niveles pobres de brotación se asocian a la entrada de las yemas en la fase de endolancia. La salida de la endolancia se establece usualmente cuando el 50% de las yemas son capaces de brotar (Dennis, 2003).

Una vez superada la salida de endolancia, la yema entra ya en la fase de ecolancia (quiescencia). En dicha fase la yema a pesar de poseer plenamente su capacidad de brotar, permanece en reposo hasta que la temperatura media sea lo suficientemente elevada, asegurando así el normal desarrollo del nuevo brote.

Alonso et al. (2005) siguiendo la metodología propuesta por Lavee y May (1997) determinaron la fecha de salida del reposo de las yemas de 'Flame Seedless', variedad objeto de este trabajo. El aumento en el desborre observado a finales de diciembre en las yemas puso de manifiesto la transición entre los estados de endolancia y ecolancia. De ahí que se estableciera que la salida del reposo en esta variedad ocurre en los últimos días de diciembre. Or et al. (1999) empleando la misma metodología, observaron la salida del reposo de 'Perlette' a mediados de diciembre. Esta variedad es de ciclo corto y, por tanto, precoz en la fecha de cosecha como lo es el cultivar objeto de este estudio. Or et al. (1999) obtienen también unas curvas de evolución del fenómeno de reposo similares a las obtenidas para 'Flame Seedless'.

2.2.2 Mecanismos implicados en la salida del reposo y papel del frío invernal.

Como la mayoría de las yemas de los frutales de zonas templadas, las yemas de la vid requieren de la exposición al frío del invierno para salir de la endolancia y brotar homogéneamente en la primavera. Para conocer con exactitud el papel que juega el frío invernal en la salida del reposo, debemos conocer el metabolismo energético de las yemas de la vid.

Durante mucho tiempo se pensó que el estado de reposo de las yemas estaba regulado hormonalmente, en particular por el ácido abscísico y el etileno. Más tarde se demostró que estos compuestos no eran los responsables de la salida del reposo de las yemas, sino que serían probablemente compuestos precursores o derivados de su síntesis los reguladores del reposo. En la actualidad, todas las hipótesis apuntan a que la ruptura del reposo está asociada con el aumento de la respiración.

Como en todas las plantas superiores, en la vid la respiración mitocondrial en última instancia es la que proporciona la energía y las cadenas carbonatadas para el metabolismo de las diversas etapas de las yemas. Durante la formación de las yemas, esta energía, bajo forma de ATP y NADH⁺, es directamente obtenida por la oxidación de la glucosa en las mitocondrias. Estos requerimientos energéticos son principalmente usados en la división celular, necesaria para la formación de los distintos esbozos de los órganos del futuro brote y al mantenimiento del funcionamiento celular. En efecto, durante este periodo, las yemas de vid son activos centros de consumo de glucosa, lo cual se evidencia por las significativas tasas de respiración observadas en ellas. Estas tasas respiratorias van disminuyendo a medida que las yemas van entrando en la etapa de paratencia y endolencia para terminar en un nivel mínimo durante la endolencia plena. Es oportuno reseñar que una respiración elevada durante la etapa de diferenciación y de paratencia evidencia que durante este periodo las yemas están consumiendo energía tanto para los procesos de crecimiento (mínimos) como para aquellos de mantenimiento. En cambio, durante la endolencia, la baja respiración indica que el consumo energético sería mínimo y en su totalidad estaría destinado a los procesos de mantenimiento. Así un órgano en pleno desarrollo consumirá proporcionalmente más energía para crecimiento que uno en endolencia, el cual consumirá prácticamente toda la energía para mantener sus células viables hasta que las condiciones sean favorables para reiniciar su crecimiento (Pinto et al., 2003). A diferencia de lo que sucede durante la diferenciación y la paratencia, en donde el sustrato respiratorio (glucosa) lo suministra esencialmente la fotosíntesis, durante las etapas de endolencia, ecolencia y desarrollo inicial del brote, éste sustrato lo suministran las reservas de la planta, principalmente constituidas por almidón. El suministro de glucosa a partir de las reservas de almidón continuará durante toda la etapa heterótrofa del brote, la cual dura hasta que sus primeras hojas hayan alcanzado $\frac{3}{4}$ partes de su desarrollo final. En general se estima que a partir de este momento las hojas de vid comienzan a fotosintetizar suficientes asimilados como para suplir sus propias necesidades y las de las hojas en desarrollo de la punta del brote. Bajo tales condiciones se estima que el brote ha alcanzado su autonomía en cuanto a suministro de fotoasimilados y por lo tanto, es autótrofo (Pinto et al., 2003).

El frío, agente natural de la ruptura del reposo, no incrementa la respiración. Los efectos del frío en las yemas estarían mediados por la generación de especies reactivas de O₂ entre las cuales el H₂O₂ sería el más activo. Teniendo en cuenta que

las yemas de vid que se encuentran en estado de endolatenia no tienen actividad fotosintética, es probable que el origen del H_2O_2 en estos tejidos provenga de reacciones catalizadas por peroxidasas cuya actividad podría ser inducida por la exposición al frío o la aplicación de cianamida a las yemas. Este aumento en los niveles de H_2O_2 podría activar directamente la expresión o represión de genes, o bien, activar cambios metabólicos que sean detectados por algún tipo de molécula que active o reprima la expresión de genes, lo cual iniciaría el proceso que tendría como resultado el fin del estado de endolatenia (Pinto et al., 2003).

Recientes estudios a nivel metabólico y de expresión génica, sugieren el desarrollo del estrés respiratorio y oxidativo en la yema como parte del mecanismo de salida de la latencia, y apuntan a la mitocondria como el centro sensitivo potencial para el estímulo de salida del reposo (Pérez et al., 2007; Halaly et al., 2008).

Como ya se ha indicado, cuando los requerimientos de frío se han cumplido y la etapa de endolatenia ha terminado, si las condiciones de temperatura no son favorables para la brotación, las yemas permanecerán en ecolatenia (quiescencia) con requerimientos energéticos bajos similares a los del periodo de endolatenia, aumentando éstos drásticamente cuando se rompe la latencia y se reinicia el crecimiento del nuevo brote (Pinto et al., 2003).

2.2.3 Requerimientos de horas frío.

La vid es uno de los cultivos con mayor variabilidad genética, con una enorme cantidad de variedades existentes en la actualidad y repartidas en los climas más diversos. Esto explica en parte el amplio rango de requerimiento de frío que se le asigna a esta especie, el cual oscila entre las 150 y 1200 horas-frío (Westwood, 1982). Sin embargo, el promedio de sus requerimientos es inferior a la mayoría de los frutales de hoja caduca (Westwood, 1982; Dokoozlian et al., 1995). Las yemas en reposo tienen unos requerimientos de frío que son satisfechos por una corta exposición a bajas temperaturas (Dokoozlian et al., 1995).

Para determinar sus requerimientos de frío invernal, que se asumen característicos de cada variedad, se han efectuado numerosos estudios. Sin embargo, aún hoy existen inexactitudes en la determinación de estos requerimientos debido a factores ambientales característicos de cada localidad, a los diferentes modelos usados en su cálculo, y a sus imprecisas aplicaciones en muchos casos (Pérez et al., 2008; Ben Mohamed et al., 2010).

El modelo más usado para el cálculo de las horas frío ha sido el modelo Utah. Este modelo arroja buenos resultados en zonas de clima templado y frío pero no en zonas de clima subtropical. Esto se debe a la falta de consideración del efecto que provocan las altas temperaturas en la acumulación de frío invernal en zonas con este clima (Pérez et al., 2008). Ya en 1963 Pouget (cit. por Huglin y Schneider, 1998) habla de la posibilidad de que existiese reversibilidad entre estados de latencia debido a

periodos calurosos. Este autor indica que si el periodo para pasar de la fase de endolancia a la fase de ecolancia es interrumpido por un periodo más caluroso hay reversibilidad en el cómputo de horas-frío acumuladas, es decir, el efecto del frío es anulado y el estado fisiológico de las yemas vuelve a las condiciones iniciales. La naturaleza de las reacciones que forman la cadena de eventos que conducen a una reversibilidad de horas-frío en las yemas de vid aún no ha sido caracterizada. Lavee y May (1997) sugieren un proceso metabólico multi-estado basado en estadios reversibles y no reversibles provocados por el calor ($A \leftrightarrow B \rightarrow C \rightarrow \dots$). El paso inicial en la ruta del frío sugerida por estos autores ($A \rightarrow B$) fue descrito como reversible ($A \leftarrow B$) por las altas temperaturas ($>20^\circ\text{C}$). Cuando B excede un nivel crítico es transferido más adelante en la ruta y cualquiera que sea la cantidad que está debajo de ese nivel es degradada o convertida de nuevo en el componente del estado A (Lavee y May, 1997). Esta posibilidad de reversibilidad entre diferentes fases de la latencia, que es además conocida en otras especies, puede jugar un papel importante en regiones vitícolas situadas en climas cálidos o mediterráneos como es nuestro caso.

Para superar la deficiencia del modelo Utah y considerar el efecto de las altas temperaturas se han desarrollado otros modelos como el modelo PCU (Positive Chill Units) o el Modelo Dinámico (Erez et al., 1988; Pérez et al., 2008). El modelo PCU es una modificación del modelo Utah en el que no se consideran las temperaturas negativas. El Modelo Dinámico considera que el frío se acumula de forma irreversible, como *quantum* o Porciones de Frío y según Pérez et al. (2008) resulta ser el mejor para zonas de clima subtropical. Ben Mohamed et al. (2010) trabajando con la variedad 'Superior Seedless' en Túnez obtienen que el modelo que arroja los mejores resultados en el cálculo de los requerimientos de horas frío es el PCU.

Alonso et al. (2005) estimaron los requerimientos de horas-frío de la variedad 'Flame Seedless', mediante el conteo de las horas transcurridas bajo 10°C (Winkler, 1974; Huglin y Schneider, 1998) desde el 1 de noviembre hasta la salida del reposo. Esta primera aproximación de cálculo, aunque no demasiado precisa por lo anteriormente expuesto, dio como resultado que la variedad objeto de este trabajo necesita 154 horas-frío para abandonar el estado de endolancia.

2.2.4 Medios físicos y químicos para compensar el déficit de frío invernal.

La insuficiencia de frío invernal en la vid produce un retraso en la brotación de las yemas y una brotación errática y heterogénea, lo que conduce a una escasa uniformidad en el desarrollo de los racimos y retraso en la maduración de las bayas (Wicks et al., 1984; Dokoozlian et al., 1995). Todo esto se traduce al final en producciones pobres, tardías y de baja calidad (Erez, 1995; Or et al., 1999). Para paliar estos efectos existen medios físicos y químicos que permiten compensar el déficit de frío invernal.

2.2.4.1 Medios físicos.

Siempre que la temperatura de la noche alcance 13°C o menos existe un potencial de acumulación de frío por parte de muchos frutales caducifolios. En muchos lugares subtropicales la temperatura diaria sobrepasa los 19°C normalmente, conduciendo esto a una reversibilidad de las horas frío acumuladas (Erez, 1995). Enfriar las yemas permitiría mejorar la brotación. La evaporación es el único procedimiento práctico de este tipo para “enfriar” las yemas; esta práctica se utiliza en Israel con melocotoneros obteniéndose buenos resultados en lo que a brotación se refiere. La efectividad de este sistema depende de la temperatura y la humedad relativa. Bajo condiciones de calor y poca humedad, esta técnica puede hacer que la temperatura de la yema durante el día baje hasta los 13°C, alcanzando temperaturas mínimas de 5 a 9°C (Erez, 1995). Sin embargo, este sistema queda limitado a zonas donde la humedad relativa sea lo suficientemente baja como para permitir la evaporación. Además, se debe disponer de agua de buena calidad con bajo contenido en sales y de un sistema de aplicación adecuado.

Una alternativa recientemente estudiada es la exposición a un corto periodo de shock térmico. Este método usado en vid en Israel pone de manifiesto que una corta exposición a un shock de calor seco por un periodo de 10 a 30 segundos a una temperatura subletal de 150°C es un poderoso estímulo para provocar la salida del reposo (Halaly et al., 2011). Este corto shock térmico induce la producción de acetaldehído y etileno en las yemas, como la aplicación de cianamida de hidrógeno. Esta similitud sugiere que se activan mecanismos análogos (Halaly et al., 2011).

2.2.4.2 Medios químicos.

Aceites minerales: Este grupo de productos químicos fue el más utilizado comercialmente y gozó de gran aceptación a mediados de los años 40 del siglo XX gracias a sus buenos resultados por separado o en combinación con otros productos. La toma de conciencia respecto a los riesgos de toxicidad humana de muchos de estos productos ha iniciado en las últimas décadas una búsqueda de productos alternativos, aunque los aceites minerales siguen usándose en algunos países (Erez, 1995). La causa del efecto es una condición anaerobia de las yemas. Bajo condiciones normales, el riesgo de fitotoxicidad es bajo, permitiendo la aplicación incluso con las yemas hinchadas próximas a su desborre (Erez, 1995).

Cianamida cálcica: La cianamida cálcica fue el producto químico líder usado para la ruptura del reposo de las yemas de frutales caducifolios antes de que se produjera el descubrimiento de la cianamida de hidrógeno, otra solución más efectiva (Shulman et al., 1983) que será analizada más adelante.

Nitrato potásico: Este producto químico tiene un efecto ligero incluso con una concentración de hasta el 10%. Ha sido utilizado en combinación con otros productos

químicos, sobre todo para aumentar el efecto tan suave que posee por sí solo, el cual parece estar relacionado con su capacidad de penetración en los tejidos (Erez, 1995).

Tiourea: Este producto químico resulta muy efectivo para la ruptura de la latencia, sobre todo en combinación con nitrato potásico y con aceite-DNOC. Sin embargo, su uso fue prohibido debido a la toxicidad que genera en humanos (Erez, 1995).

Reguladores de crecimiento: El ácido giberélico y las citoquininas pueden aplicarse como agentes de ruptura del reposo de las yemas. Las concentraciones que se necesitan son relativamente altas (100 a 400 ppm de GA₃), resultando esta estrategia inviable en el aspecto económico (Erez, 1995).

Retardantes de crecimiento: La introducción de algunos retardantes del crecimiento en árboles frutales mostraron, además de su efecto inhibitor del crecimiento, un efecto específico en la ruptura del reposo de las yemas (Erez, 1995).

Extractos de ajo

Estudios realizados en Japón, Brasil y en los Estados Unidos (California) con extractos de ajo han mostrado tener un efecto positivo en la salida del reposo de las yemas de vid y otras especies frutales (Vasconcelos et al., 2007)

2.2.5 Cianamida de hidrógeno. Modo de acción. Dosis y fechas de aplicación.

La cianamida de hidrógeno (H₂CN₂) es el agente químico que mejores resultados ha arrojado en la ruptura del reposo invernal. Su aplicación se extiende a distintas especies frutales como kiwi, cerezo, peral, melocotonero, ciruelo y otras, donde sus efectos se adaptan a diferentes objetivos productivos (Zeppelín-BASF, 1998). En vid, ha sido ampliamente usada por el adelanto, incremento y homogeneización de la brotación que causa (Saure, 1985; Shulman et al., 1986; Or et al., 1999). Sin embargo, a pesar de su extendido uso comercial, todavía no se conoce del todo bien el mecanismo de acción que provoca la ruptura del reposo (Vergara et al., 2012). Durante mucho tiempo, se ha hipotetizado que la inhibición de la catalasa y el subsecuente incremento de los niveles de H₂O₂ eran los principales cambios metabólicos producidos por la cianamida de hidrógeno que explicaban el efecto de la ruptura del reposo en las yemas de vid (Shulman et al., 1983; Pérez y Lira, 2005; Or et al., 2002).

Shulman et al. (1986) demostraron que tanto el frío como algunos agentes químicos que provocaban la ruptura del reposo, entre ellos la cianamida de hidrógeno, reducen la actividad de catálisis en los tejidos vegetales. A continuación, el aumento en los niveles de H₂O₂ provocaría alteraciones respiratorias transitorias inhibiendo enzimas de la glicólisis y del ciclo de los ácidos tricarbónicos, favoreciéndose de este modo la vía fermentativa y provocando además una reorientación del flujo de carbono hacia el ciclo de las pentosas. Todas estas alteraciones metabólicas tendrían como consecuencia un aumento en los niveles de

relación AMP/ATP intracelular que induciría la expresión de proteína-quinasas del tipo SNF, las cuales formarían parte del sistema de transducción de la señal que pondría término al reposo de las yemas (Fig. 11).

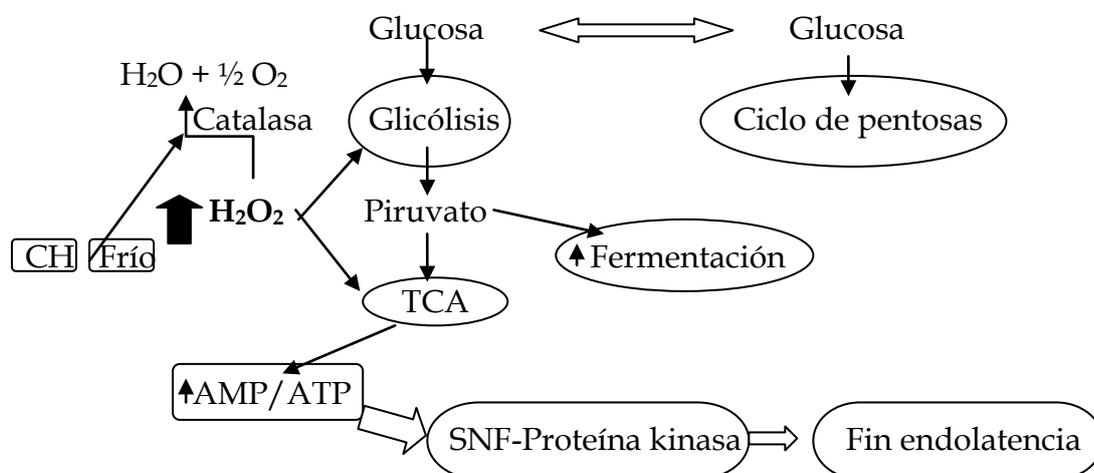


Figura 11. Posible acción del H₂O₂ en la ruptura del reposo de las yemas de vid. CH: cianamida de hidrógeno; TCA: ácido tricarbóxico; SNF: tipo de proteína quinasa; AMP: adenosín monofosfato; ATP: trifosfato de adenosina.

Recientes estudios genómicos indican que en las yemas de vid, tras la aplicación de cianamida de hidrógeno, se produce una regulación “up or down” de la expresión (sobreexpresión o regulación por inhibición, respectivamente) de un conjunto de genes (Halaly et al., 2008; Pérez et al., 2009) y se han propuesto posibles conexiones no pareadas entre la actividad mitocondrial, la hipoxia y la ruta de señales del etileno (Pérez et al., 2009). En las plantas, niveles bajos de O₂ y la inhibición de la respiración mitocondrial reconfiguran el metabolismo central del carbono para compensar la producción limitada de ATP y la regeneración de NAD⁺ incrementando la glicólisis y la ruta fermentativa respectivamente (Vergara et al., 2012).

La cianamida de hidrógeno como compuesto de ruptura de la latencia estimula la ruta fermentativa en yemas de vid; el incremento de esta ruta con bajos niveles de oxígeno, es una respuesta metabólica conservada en la mayoría de organismos incluidos las plantas. La hipoxia acelera la salida de la endolencia de las yemas de vid. Además tanto la cianamida como la hipoxia, inducen la expresión de los genes responsables de la hipoxia (VvADH, VvPDC, VvSUSY, VvnsHbs) y de un factor de transcripción Locus T de Floración (VvFT), un homólogo de Arabidopsis Locus T de Floración, que en vid se ha relacionado con la salida del reposo (Pérez et al., 2011). Estas evidencias apoyan la hipótesis de que es necesario un estrés respiratorio para iniciar la respuesta de desborre en la vid (Vergara et al., 2012).

En general, los cambios observados a nivel metabólico y de expresión génica, sugieren el desarrollo del estrés respiratorio y oxidativo en la yema como parte del mecanismo de salida del reposo, y apuntan a la mitocondria como el centro

sensitivo potencial para el estímulo de salida de la dormancia (Halaly et al., 2008; Pérez et al., 2007). Para un análisis más extenso de esta aseveración, se llevó a cabo un examen comparativo, en el cual la respuesta de la yema al NaN_3 , un inhibidor bien conocido de la respiración Mitocondrial, fue comparado a la de la cianamida de hidrógeno. Los resultados sugieren que la privación de oxígeno debido a los efectos inhibidores del NaN_3 y la H_2CN_2 en la respiración mitocondrial, disparan reajustes que conducen a un incremento de la generación de ATP mediante glicólisis y fermentación en el citosol, lo cual parece un paso necesario para la activación de los mecanismos subsiguientes de la salida del reposo (Pérez et al., 2009).

El efecto de la H_2CN_2 depende, no obstante, de la variedad, fecha de aplicación y dosis (Lavee y May, 1997) así como de la zona climática donde se vaya a emplear. En este sentido, han sido numerosísimos los trabajos realizados. Todos ponen de manifiesto la efectividad de la H_2CN_2 para producir una mayor brotación, más temprana, rápida y homogénea (Shulman et al., 1986; Or et al., 1999; Pires et al., 1999; Alonso et al., 2005; Ben Mohamed et al., 2010).

Para Or et al. (1999) el principal factor limitante en la aplicación de cianamida de hidrógeno es la dificultad de decidir el momento de aplicación, ya que una mala elección puede conducir al daño de las yemas y como consecuencia a pérdidas de cosecha. Este autor afirma que se debe hacer una evaluación local para la elección de la fecha más idónea. En este sentido, Or et al. (1999) evaluaron durante tres años consecutivos el efecto de distintas fechas de aplicación de Dormex® (52% de H_2CN_2) en plantaciones de uva de mesa de la variedad 'Perlette' situadas en el valle del Jordán, en Israel, sin encontrar diferencias significativas en la uniformidad de la brotación. Sin embargo, observaron una influencia notable de las fechas de aplicación sobre el número de racimos, su tamaño y producción. Según Or et al. (1999), la aplicación tardía de cianamida de hidrógeno provoca daños en la brotación. Por el contrario, una aplicación temprana no tendrá efectos negativos sobre la brotación, pero sí una influencia negativa en la parte reproductiva de los racimos, lo que llevará a la obtención de un menor número de racimos, que además serán de menor tamaño, efecto que podría explicarse por las siguientes hipótesis:

1. La cianamida de hidrógeno obligaría a brotar a yemas inmaduras en las que la parte reproductiva se encuentra tan solo parcialmente desarrollada.
2. Una brotación temprana podría exponer a la parte reproductiva a temperaturas desfavorables para su desarrollo.
3. Daños químicos de la cianamida de hidrógeno sobre la parte reproductiva, ya que este órgano es más sensible.
4. Destrucción total o parcial del cono primario del yemario, lo cual llevaría al desarrollo del cono secundario o terciario disminuyendo así el rendimiento.

Los resultados obtenidos por Or et al. (1999) indican que la aplicación de Dormex® cinco o seis semanas antes de la brotación natural no tiene efectos estimulantes, mientras que la aplicación nueve o diez semanas antes de la brotación natural produce un adelanto de la maduración de la uva de aproximadamente dos semanas gracias a una brotación más temprana y regular.

Las conclusiones obtenidas sobre ensayos realizados por la empresa BASF en 1998 en Chile sobre 'Cavernet Sauvignon', indican que cuanto más temprano se aplica Dormex®, en torno a 60 días (ocho semanas y media), mayor es el adelanto de la brotación que se obtiene y por el contrario, cuando no se desea que la brotación se adelante, las aplicaciones deben realizarse entre 25 y 30 días antes de la fecha normal de inicio de brotación, para conseguir en este caso una mayor uniformidad.

Igualmente en ensayos realizados en el suroeste de Francia sobre distintas variedades de uva de mesa, donde se aplicó cianamida de hidrógeno de seis a ocho semanas antes de la brotación natural, se produjeron adelantos en el desborre de dos semanas. Estos adelantos pueden evidentemente propiciar daños en la plantación en zonas expuestas a heladas de primavera, siendo, no obstante, una técnica muy interesante para la producción precoz de uva de mesa bajo plástico. Todo ello reitera la necesidad de ensayos locales que integren las características microclimáticas de la zona y el manejo del cultivo (Cartabellotta et al., 1994).

Precisamente, en este sentido, Alonso et al. (2005) llevaron a cabo experiencias en la Costa de Almería sobre 'Flame Seedless' para determinar la fecha óptima de aplicación de cianamida de hidrógeno. A pesar de que las distintas fechas de aplicación (desde principios de noviembre a comienzos de marzo) no arrojaron diferencias significativas en el desborre, se observó un mayor nivel de brotación con la aplicación de mediados de enero. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Or et al. (1999) sobre 'Perlette'. Otro resultado a destacar de ambos trabajos es que el efecto de la H_2CN_2 sobre la brotación no se produce en ningún caso hasta transcurridas tres semanas de su aplicación.

Tal y como se apuntó antes, el efecto de la cianamida también depende de la dosis aplicada. Zelleke y Kliwer (1989) aplicando concentraciones de un 1% y 2% sobre 'Thompson Seedless' obtuvieron un más temprana brotación y un mayor porcentaje de yemas brotadas con la dosis más elevada. Por su parte, Cartabellotta et al. (1994) aplicaron dosis del 4% y 6% de H_2CN_2 combinándolas con distintas fechas de aplicación sobre 'Matilde' e 'Italia' cultivadas al aire libre y en invernadero. Como resultados obtuvieron que la mayor concentración (6%) siempre proporcionaba valores más altos de yemas no brotadas (dañadas) y en muchos casos valores de fertilidad más bajos, debido a esta menor brotación. La recomendación final de estos autores es la aplicación de una dosis del 4% 45-50 días antes de la fecha prevista de brotación. Lavee y May (1997) también apuntan que la aplicación de altas concentraciones de H_2CN_2 puede dañar las yemas y provocar un retraso de la brotación. Estos autores aplicando dosis de 2,5% y 5% de H_2CN_2 sobre las yemas de

'Perlette' unos 30 días antes del desborre, observaron que las yemas tratadas con la segunda aplicación vieron retrasada su brotación. Estos resultados contrastan con los obtenidos por la empresa BASF en los que se observa como la brotación de las yemas de la variedad de vid 'Cavernet Sauvignon' es más uniforme y precoz cuanto mayor es la dosis empleada, siendo la óptima el 5%, ya que permite el inicio más o menos simultáneo de la brotación de todas las yemas de la vara, anulando el efecto de dominancia apical. Esta misma empresa sobre la variedad 'Merlot', obtiene una mayor cosecha de uva empleando una dosis del 5% respecto a otra del 3%, debido al aumento del porcentaje de brotación. De ahí que las recomendaciones de esta empresa para vid sean la aplicación de una dosis de 5% de H_2CN_2 25-30 días antes del desborre (Zeppelín-BASF, 1998). En cualquier caso, todos estos trabajos ponen de manifiesto la necesidad de realizar ensayos específicos para cada variedad.

En la Estación Experimental de la Fundación Cajamar se ha analizado el efecto de la aplicación de cianamida de hidrógeno (empleada 30 días antes de la fecha estimada de desborre a una dosis del 5%) en parras cultivadas en un invernadero. El resultado fue un adelanto de 75 días en la recolección de 'Flame Seedless' (Morata, 2004). El uso conjunto de ambas estrategias presenta efectos sinérgicos, ya que el anticipo logrado en recolección es superior al derivado de sumar el uso exclusivo de la cubierta plástica (43 días) y la aplicación de cianamida (8 días). Además, el empleo de cianamida supuso mejoras en la uniformidad de brotación y en el porcentaje de yemas brotadas. Las plantas cultivadas bajo plástico sin la aplicación de cianamida mostraron un menor porcentaje de desborre como consecuencia de la ausencia de brotación de las yemas situadas en la base de las varas (primeros tres nudos) y además se observó una mayor heterogeneidad en la brotación. Sin embargo, la precoz entrada en actividad de la planta tuvo efectos negativos sobre el nivel de cosecha, al obtenerse racimos más pequeños y con un menor número de bayas (Morata, 2004). Esta pérdida de cosecha bajo plástico podría ser consecuencia de un excesivo atemperamiento en el forzado de las yemas de la planta (Or et al., 1999) y también ha sido observada por numerosos autores (Manzo y Ruggieri, 1986; Colapietra y Cavuto, 1993).

Como última consideración, destacar que los tratamientos de cianamida de hidrógeno sobre las variedades apirenas, como es el caso, cobran un especial interés debido a que una mayor uniformidad de su brotación en respuesta a su aplicación va a favorecer el efecto de los posteriores tratamientos con ácido giberélico (aclareo y engorde de baya), al encontrarse un mayor número de racimos en el mismo estado fenológico.

Ante la reciente prohibición de la cianamida de hidrógeno en la UE, será necesario encontrar productos alternativos que compensen la falta de frío invernal y favorezcan una más temprana, rápida y homogénea salida del reposo, más aún cuando trabajamos con cultivo forzado.

2.3. CULTIVO EN INVERNADERO DE UVA DE MESA.

La uva de mesa comenzó a cultivarse bajo abrigo en Inglaterra y Francia a mediados del siglo XIX. En esta época se empezaron a comercializar en Inglaterra uvas procedentes de cultivo protegido. En Bélgica, durante las décadas de los 50 y los 60 del siglo XX, se dedicaban miles de pequeñas unidades de invernadero al cultivo forzado de uva de mesa (Wittwer y Castilla, 1995). A finales de los 60 se realizaban en Japón los primeros estudios encaminados a lograr una doble cosecha anual de uva de mesa en invernadero (Morinaga, 2001). Desde entonces el cultivo bajo plástico de uva de mesa se ha difundido notablemente. En Italia, hace tres décadas que se introdujo esta innovación en todas las regiones productoras de uva de mesa y en España, recientemente lo han hecho la Región de Murcia y Andalucía.

Esta expansión a nivel mundial se debe a que, con el cultivo protegido se consiguen adelantar y/o retrasar las producciones y ampliar el calendario de oferta, cubriendo los huecos en los que se obtienen los mejores precios. Además, la producción aumenta en cantidad y calidad, al mejorar el microclima en el entorno del cultivo y reducir la presión de plagas y enfermedades y las pérdidas por condiciones meteorológicas adversas (lluvia, granizo, viento, etc.)

En las áreas de producción de clima cálido, lo que normalmente se realiza es un semiforzado del cultivo, ya que se emplea temporalmente una cubierta plástica, que además no suele cubrir toda la estructura de soporte. La estructura empleada para la sujeción de esta cubierta no es más que un tejido de alambre situado a 1-1,5 m del tejido que sustenta la vegetación y la cosecha de uva. La diferencia con respecto a éste último es que no se coloca plano sino que adopta una forma de cubierta multicapilla (*raspa y amagado*). De esta manera se reduce el riesgo de colapso de la estructura ante una granizada, se evita el rajado y las podredumbres de la uva provocadas por la caída del agua de lluvia en la zona de racimos y se mejora la captación de luz.

Como se ha comentado, la cubierta plástica suele extenderse solamente por el techo de la estructura y no por las bandas, salvo para adelantar la cosecha. Normalmente también se deja el *amagado* de la cubierta multicapilla sin cubrir a modo de ventanas cenitales, para que junto a las bandas abiertas se consiga una adecuada ventilación y se evite un exceso de temperatura que puede afectar al desarrollo del cultivo. El plástico comúnmente empleado es un film de polietileno térmico incoloro de 50,8 micras, aunque en Italia también es frecuente emplear un film de polietileno de mayor espesor que se recoge en los amagados tras la recolección y que sirve para varias campañas. La fecha de colocación de esta cubierta plástica depende del objetivo buscado. Si se pretende adelantar la cosecha se coloca en enero, mientras que si lo que se quiere es retrasarla se instala a finales de agosto (envero).

Las variedades de uva que se cultivan bajo plástico en España son en su mayoría apirenas tempranas como 'Sugraone' o 'Flame Seedless' y de media estación-tardías como 'Crimson Seedless' o 'Autumn Royal'. El sistema de conducción más empleado es el parral con el dosel de vegetación dispuesto en plano horizontal a 2 m aproximadamente del suelo. Los marcos de plantación suelen ser de 3,5 x 3,5 m, 3 x 4 m o 3 x 4,5 m (~ 800 parras ha⁻¹).

El cultivo forzado de uva de mesa presenta notables diferencias respecto a su cultivo al aire libre. La más evidente es la modificación que el invernadero causa en el medio natural. Las principales modificaciones físicas que ocasiona son el aumento de la temperatura y la humedad y la disminución de la radiación y la velocidad del viento (Castilla, 2005). En un invernadero la reducción de radiación respecto al exterior implica una reducción de las necesidades de riego al disminuir la evapotranspiración. Esto, unido a un aumento de las producciones, permite hacer un uso más eficiente del agua de riego, de especial relevancia en regiones de escasos recursos hídricos (Castilla, 2005). La humedad es mayor en el interior del invernadero debido a su estanqueidad y a la casi nula presencia de viento. Sin embargo, el factor que más afecta a las plantas es la temperatura, y es precisamente este parámetro el que sufre una mayor modificación. La acción de la temperatura sobre la vid afecta a su ciclo fenológico y a la regulación de los procesos del crecimiento vegetativo y del ciclo reproductivo (Antonacci et al., 2000).

2.3.1 Efectos del cultivo en invernadero sobre la fenología de la vid.

El estudio de los estados fenológicos, que hacen referencia a momentos concretos del crecimiento y desarrollo de órganos vegetativos y reproductivos, reflejan que su manifestación y sucesión es consecuencia de la interacción del genotipo con el medio ambiente, pudiendo modificarse su expresión temporal con las prácticas culturales (Coombe y Dry, 1998). Bajo iguales condiciones de material vegetal y manejo agronómico, la fenología estudia como las condiciones climáticas afectan al desarrollo del ciclo anual de la vid. En particular, la temperatura es el factor climático que más influye sobre la fenología (Mullins et al., 1992; Coombe y Dry, 1998; Oliveira, 1998; Antonacci et al., 2000; Keller et al., 2005). Un incremento de la temperatura provoca, en general, un adelanto del ciclo fenológico del cultivo (Fanizza y Ricciardi, 1991; Novello et al., 1997; Di Lorenzo, 1999; Jones y Davis, 2000). En este sentido, el cultivo en invernadero supone una notable alteración de las condiciones ambientales, sobre todo de la temperatura, que provoca cambios profundos en la fenología y fases de la misma (Huglin y Schneider, 1998; Colapietra, 2004).

El ciclo fenológico de un cultivar estándar de uva de mesa al aire libre se extiende una media de 193 días, aunque varía con la climatología y la latitud de la zona de cultivo (Jones y Davis, 2000). En el caso concreto de 'Flame Seedless' se

determinó que, en nuestra latitud y condiciones de clima y cultivo al aire libre, la duración media del ciclo desde desborre a maduración es de 117 días. En términos de integral térmica esta duración se traduce en una media de 1120 grados día (Alonso et al., 2010). Cuando las condiciones de cultivo son el forzado o semiforzado con cubiertas plásticas, existe controversia en los resultados de duración del ciclo. Schiedeck (1996) constató que el ciclo de la planta era más corto cuando se cultivaba bajo abrigo (144 días) que cuando se cultivaba al aire libre (169 días) algo también observado por Morata (2004). Otros autores constatan duraciones de ciclo similares en ambos casos (Di Lorenzo et al., 1999; Alonso et al., 2003; Colapietra, 2004), mientras que, en experiencias todavía no publicadas, el ciclo desde desborre a maduración de 'Flame Seedless' en invernadero resultó ser de una duración mayor que al aire libre (130 días *vs.* 117 días) en cuatro años consecutivos. Hay que destacar que a pesar de esta mayor duración del ciclo en días, las necesidades de grados día fueron inferiores a las requeridas al aire libre (datos no publicados). Esta paradoja está por explicar.

A pesar de estas divergencias en la duración del ciclo, todos los autores ponen de manifiesto la existencia de un adelanto del ciclo anual como consecuencia de un adelanto de la brotación bajo plástico. La brotación precoz es estimulada por una poda invernal temprana (Royo et al., 2000) seguida de un aumento de la temperatura ambiental bajo invernadero (Dunn y Martin, 2000).

Como ya se ha comentado, en cultivo protegido la vid brota con anterioridad al cultivo en el exterior (Fanizza y Ricciardi, 1991; Di Lorenzo et al., 1999; Schiedeck, 1996; Alonso et al., 2003; Colapietra, 2004). En función del manejo se han constatado adelantos en la fecha de desborre de entre 18 días (Colapietra, 2004) y 29 días (Morata, 2004). A partir de ese momento las distintas fases fenológicas duran aproximadamente igual (Di Lorenzo et al., 1999; Colapietra, 2004; Morata, 2004; Usero, 2007) o incluso algunas fases requieren más tiempo bajo invernadero que en el cultivo al aire libre (Tomasi et al., 1994; Alonso et al., 2003; Lebon et al., 2005). Cuanto más próxima al óptimo es la temperatura en cada fase, menor tiempo invierte la vid en completarla y pasar a la siguiente y viceversa. Así, intervalos cortos indican temperaturas óptimas para el crecimiento y el desarrollo de la vid (Jones y Davis, 2000).

Las diferencias entre cultivar al aire libre o en invernadero se establecen fundamentalmente en el periodo desborre-floración. Este hecho puede explicarse por la importante influencia que tiene el clima sobre ambos estados, mientras que el envero y la maduración son más estables y predecibles por su mayor dependencia del genotipo (Calò et al., 1994; Tomasi et al., 1994). Precisamente es esta influencia del ambiente en la brotación la que permite el forzado del cultivo mediante un invernadero para adelantar las fechas de desborre a la época del año deseada (Antonacci, 1986; Colapietra y Cavuto, 1993; Di Lorenzo et al., 1999; Alonso et al., 2003).

Un aspecto de gran importancia en el cultivo forzado es decidir el momento de cubrir con la cubierta plástica (colocar el plástico en el caso de cultivo semiforzado o cerrar ventanas en el caso de invernadero). Los resultados obtenidos por Colapietra y Cavuto (1993) con cultivo semiforzado muestran que el periodo comprendido entre la fecha de cubierta y la brotación presenta cierta variabilidad, de un mínimo de 11 días a un máximo de 26. En los años en que la cubierta se colocó más tarde, se observó una mayor rapidez de brotación, ocurriendo en tan solo 11-12 días en lugar de los 18-20 días de media. Alonso et al., (2003) y Morata (2004) obtuvieron resultados similares en cultivo con invernadero. Si el forzado de las yemas se realizaba en fechas muy tempranas (finales de noviembre) el periodo comprendido entre la fecha de cubierta y la brotación resultaba muy extenso. La brotación de yemas se retrasaba y resultaba muy heterogénea. Estos resultados indican la existencia de déficit de frío invernal. La sustitución de las necesidades de frío juega aquí un papel clave. En experiencias más recientes todavía no publicadas, en las que se forzaron las yemas más tarde (finales de diciembre), se observó una mayor rapidez de brotación.

Entre los numerosos ensayos realizados con cultivo protegido en uva de mesa cabe destacar algunos de ellos. Los trabajos llevados a cabo por Antonacci (1986) muestran el efecto sobre la fenología del cultivo de una cubierta total (invernadero cerrado) y una cubierta parcial (solo techo), comparando ambas con un testigo al aire libre. Este autor concluye de su estudio que no hay diferencias en las fechas en las que ocurren los distintos estados fenológicos, tanto con una cubierta total como con una parcial, consiguiéndose con ambas un adelanto en la maduración de unos 16 días.

Más próximas y recientes son las experiencias con cultivo en invernadero de 'Flame Seedless' en la Costa de Almería. Los resultados obtenidos por Alonso et al. (2003) comparando la fenología de la variedad 'Flame Seedless' bajo cubierta plástica y al aire libre muestran un adelanto de la recolección en torno a un mes. Señalar que el invernadero en esta experiencia permaneció cerrado desde finales de noviembre a finales de mayo, momento en que se retiró la cubierta plástica porque se superaban reiteradamente los 30°C. El adelanto conseguido en cosecha se debe, fundamentalmente, a un aumento en la precocidad del periodo desborre-floración, tal y como apuntan numerosos autores. Coincidiendo también con algunos de esos autores, durante el periodo floración-envero se observó una ralentización en la sucesión de los estados fenológicos de las parras bajo cubierta plástica, lo que provocó una pérdida de precocidad. Este retraso se relaciona con las altas temperaturas que ocasionalmente se obtuvieron en el interior del invernadero (máx. 38°C) y que provocaron paradas en el desarrollo normal de las plantas. En cualquier caso, la duración total del ciclo fue similar en ambos tratamientos existiendo una diferencia de 10 días (116 días en aire libre *vs.* 106 días en invernadero).

Fenología de los estados más representativos del cv. 'Flame Seedless' en invernadero y al aire libre.

Estados fenológicos (BBCH)	Días desde el 1 de enero		
	Invernadero	Aire libre	Adelanto
Desborre (09)	55	73	18
Floración (65)	107	133	26
Envero (81)	147	167	20
Maduración (89)	161	189	28

Un estado fenológico se alcanza cuando el 50% de las yemas llega a dicho estado (Reynier, 2002).

Una experiencia posterior llevada a cabo en el mismo invernadero, pero esta vez dotado de ventilación lateral y en el que no se retiró el plástico, mostró un adelanto en la recolección de 43 días en la cosecha de 'Flame Seedless'. El desborre se adelantó 29 días respecto al aire libre y en floración el adelanto aumentó hasta los 43 días y permaneció más o menos estable en estos términos hasta la recolección. Nuevamente se pone de manifiesto que precocidad en recolección se debe al adelanto conseguido en el periodo desborre-floración. Destacar que la cosecha fue más precoz en esta experiencia respecto a la anterior (43 *vs.* 28). Las parras cultivadas al aire libre invirtieron 120 días en completar el ciclo desde el desborre hasta la maduración, mientras que las cultivadas en invernadero invirtieron 106 días. En invernadero además de acortarse el ciclo también se adelantó (Morata, 2004).

2.3.2 Efectos del cultivo en invernadero sobre el crecimiento vegetativo de la vid.

Los factores climáticos que mayor influencia tienen sobre el crecimiento vegetativo en la vid son la temperatura, la luz y la humedad. Pero sin duda, la temperatura es el factor que más afecta al crecimiento de la vid en invernadero.

Entre 10°C (umbral de crecimiento aparente) y 30°C, el crecimiento de la parra aumenta con la temperatura. La temperatura media a partir de la cual se inicia el desborre está entre los 10°C y los 12°C, con un óptimo en torno a los 12-15°C (Colapietra, 2004). Durante el crecimiento del pámpano el óptimo se sitúa alrededor de los 25-30°C y por encima de los 30-32°C el crecimiento se ralentiza, deteniéndose hacia los 38°C (Buttrose, 1969b; Buttrose, 1970; Lakso y Kliewer, 1975; Baldini, 1992; Reynier, 2002; Sánchez y Dokoozlian, 2005; Kadir, 2006).

En general, las parras cultivadas bajo plástico son más vigorosas que las cultivadas al aire libre, debido al incremento de las temperaturas bajo plástico (Novello et al., 1998; Novello, 2000; Colapietra, 2004). Keller et al. (2005) han constatado que breves episodios de calor durante el período de desborre bastan para estimular enérgicamente el crecimiento vegetativo de la vid, y de forma menos acusada su ciclo reproductivo. Los mismos autores han encontrado diferencias significativas en la longitud del pámpano, el número de entrenudos, el número de

hojas y el número de nietos entre el cultivo de la vid bajo plástico y el cultivo al aire libre, a favor del primero. En las experiencias llevadas a cabo con cultivo en invernadero de 'Flame Seedless' en la Costa de Almería se obtienen resultados similares. Los pámpanos de las parras cultivadas en invernadero eran más largos y más finos que los del exterior y presentaban un mayor número de hojas y una mayor longitud de los entrenudos. La consecuencia era un ritmo de crecimiento más rápido en el invernadero que al aire libre, sobre todo durante las semanas que precedían a la brotación debido a las altas temperaturas de ese momento. El área foliar, sin embargo, resultaba ser inferior (la mitad) a la obtenida al aire libre (Morata, 2004).

En una experiencia posterior, en la que se dotó de ventilación cenital al invernadero no se observaron diferencias significativas en el crecimiento vegetativo entre tratamientos. Aún así, los pámpanos siguieron siendo ligeramente más largos en invernadero que al aire libre y el índice de área foliar fue algo inferior en invernadero (Usero, 2007).

2.3.3 Efectos del cultivo en invernadero sobre la fertilidad y la productividad de la vid.

Durante el período de crecimiento de la vid, en las yemas latentes tienen lugar los procesos de inducción floral y la formación de las inflorescencias que darán lugar a la siguiente cosecha. Por tanto, todos los factores que actúan sobre el vigor de las plantas en el transcurso del periodo que sigue a la floración, tienen la facultad de influir de manera positiva o negativa en la fertilidad de las yemas, si bien, son la luz y la temperatura los factores climáticos que juegan un papel determinante en la inducción y diferenciación de la inflorescencia.

La influencia de ambos factores sobre la fertilidad de las yemas ha sido objeto de numerosos estudios, muchos de ellos de hace más de 30 años. Todos muestran una correlación directa entre la fertilidad de la yema y la exposición de ésta a la luz y a la temperatura (Sánchez y Dookoozlian, 2005).

Un aumento en la iluminación de las yemas incrementa su fertilidad y viceversa. En invernadero, se produce una reducción de la radiación solar y además, como se ha visto anteriormente, el invernadero promueve un desarrollo mayor del dosel vegetal. Esto influye negativamente a la inducción floral, no sólo por la competencia que genera el propio crecimiento vegetativo, sino por el sombreado que ocasiona sobre las yemas (Buttrose, 1969a; Palma y Jackson, 1981; Rives, 2000; Sánchez y Dokoozlian, 2005).

En lo que respecta a la temperatura, la bibliografía afirma que las bajas temperaturas son desfavorables para la formación de las inflorescencias (Srinivasan y Mullins, 1980) mientras que las temperaturas elevadas promueven la fertilidad de las yemas (Sánchez y Dokoozlian, 2005). En invernadero, en el período en el que ocurren la inducción y la diferenciación de las inflorescencias, las temperaturas son elevadas.

Mientras que la tasa de desarrollo floral aumenta con la temperatura (Buttrose, 1969a; Winkler, 1974; Lebon et al., 2005), las bajas temperaturas durante el desborre incrementan el número de flores (Dunn y Martin, 2000; May, 2000). El efecto de estas bajas temperaturas iniciales sobre el número de flores es muy importante porque la cantidad de flores determina el potencial de cosecha. El cuajado también se ve favorecido por temperaturas moderadamente elevadas (Keller et al., 2005a), al igual que el desarrollo, la maduración y el peso de las bayas se ven beneficiados por temperaturas crecientes (Winkler, 1974; Lakso y Kliewer, 1975; Keller et al., 2005). Sin embargo, si las temperaturas son demasiado altas se produce una alteración en la distribución de azúcares, lo que conduce a una disminución de la producción (Novello, 2000).

Son numerosas las experiencias que si bien documentan una mejora de la precocidad bajo cubierta plástica también hablan de pérdidas importantes de producción (Antonacci, 1986; Manzo y Ruggieri, 1986; Di Lorenzo et al., 1995; Di Lorenzo y Sottile, 1995; Novello et al., 1998; Di Lorenzo et al., 1999; Novello, 2000; Colapietra y Amico, 2000; Cicala y Malfa, 2001). Las pérdidas productivas se debieron en la mayoría de los casos a la concurrencia de menos racimos, menos bayas por racimo y/o a un menor peso de la baya.

En trabajos previos a éste también se obtuvieron cosechas precoces pero con una disminución dramática de la cosecha dentro del invernadero en comparación con la del aire libre (Navarro, 2003; Morata, 2004). Esta reducción de la cosecha se debió en ambas experiencias a un menor peso del racimo, que a su vez se debió a un menor número de bayas, ya que el número de racimos por parra no se vio afectado. Todos los indicios apuntaban a que el menor número de bayas estuvo motivado por un menor número de botones florales en antesis, y no por un menor cuajado o un aclareo más intenso, algo que fue corroborado en experiencias posteriores, todavía no publicadas, en las que se obtuvieron inflorescencias más pequeñas (de menos longitud y por tanto menos pisos) y con menos botones florales.

2.3.4 Efectos de factores ambientales sobre la fisiología de la planta

En el crecimiento de una planta las principales funciones fisiológicas implicadas son la absorción de agua y de elementos minerales por la raíces, la transpiración de vapor de agua por las hojas, junto con la fotosíntesis y la respiración. La conductancia estomática regula muchos de estos procesos (asimilación de CO₂, respiración, transpiración) y por ello puede ser empleada para determinar el estado hídrico de la planta y la respuesta de la misma a factores climáticos (Montague et al., 2008).

La vid es hipoestomática, es decir, que presenta estomas solo en el envés, cuya frecuencia y distribución, depende de factores genéticos, condiciones

ambientales y estado de desarrollo. Como media una hoja tiene una densidad de 10.000 a 15.000 estomas por centímetro cuadrado, de una longitud de 10 a 13 micras y hasta 5 micras de anchura de acuerdo con su grado de apertura (Sepúlveda y Kliwer, 1986). Además la anatomía de las hojas de vid es heterobárica: cierres estomáticos no uniformes. Al no ser uniforme la apertura estomática en toda la superficie de la hoja, tampoco es uniforme el intercambio gaseoso, es lo que se conoce como patchiness (Düring y Loveys, 1996). En general, las hojas de vid tienen totalmente abiertos los estomas cuando los valores de conductancia estomática están por encima de los $0,20 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

En el funcionamiento de los estomas intervienen mecanismos fotoactivos, hidroactivos e hidropasivos. Los movimientos estomáticos dependen de cambios en la presión de turgencia en el interior de las células oclusivas y de las células epidérmicas adyacentes. La actividad fotosintética y el transporte activo de solutos son los responsables de las diferentes turgencias. La luz y la concentración de CO_2 controlan la apertura estomática en relación con la demanda fotosintética de CO_2 por la planta. La luz y las bajas concentraciones de CO_2 intercelular estimulan la apertura estomática. En relación con el suministro de agua, por lo menos dos señales controlan dicha apertura: el déficit de presión de vapor (DPV) y el ácido abscísico. Otros factores que afectan a la regulación estomática son la temperatura foliar, el estado hídrico de la planta y el potasio. En ausencia de limitaciones hídricas, la conductancia estomática está fuertemente correlacionada con el microclima luminoso y térmico de las hojas.

Son numerosos los estudios sobre la respuesta estomática a factores ambientales y a menudo han conducido a resultados contradictorios. En relación a la temperatura hay autores que observan cierre estomático al aumentar ésta, mientras que otros autores observan lo contrario, que los estomas se abren, incluso se ha encontrado máxima apertura estomática a temperaturas intermedias. Las interacciones entre la temperatura y la humedad pueden ser responsables en parte de estos resultados contradictorios (Sepúlveda y Kliwer, 1986). El óptimo de temperatura para conductancia se suele situar entre $30\text{-}32^\circ\text{C}$ (Kriedemann y Smart, 1971).

Sepúlveda y Kliwer (1986) en ensayos de estrés térmico sobre 'Chenin Blanc', 'Cardinal' y 'Chardonnay' obtuvieron que la conductancia estomática aumentaba al hacerlo la temperatura. La apertura de estomas a altas temperaturas ha sido observada en otras muchas especies de plantas y está asociada con una mayor actividad refrigerativa de las hojas para reducir el riesgo de daño térmico en los tejidos. Sin embargo, como en la mayoría de las plantas, los estomas abren en respuesta a la temperatura solamente hasta un cierto umbral de temperatura (que varía con cada especie) tras el cual se cierran. A temperaturas extremadamente altas (40°C) la conductancia estomática desciende. Este descenso se debe directamente a: cambios en el estado hídrico de la hoja resultantes de las altas tasas de transpiración;

a niveles crecientes de CO₂ intercelular por la inhibición de la fotosíntesis con las altas temperaturas; a cambios en los niveles endógenos de ABA resultantes del estrés hídrico de la planta (Sepúlveda y Kliewer, 1986). Carbonneau et al. (1992) afirman que si la temperatura del aire es elevada se puede producir un desequilibrio entre el estado hídrico de la hoja y el flujo de transpiración, de manera que si la demanda evapotranspirativa supera a la absorción por las raíces, los estomas se cierran y se frena el intercambio gaseoso.

La respuesta estomática a otro factor ambiental clave, la humedad del aire, ha sido menos estudiada de manera directa, son más los estudios que relacionan este factor a la fotosíntesis. De manera general, si la humedad es alta, próxima a la de saturación (DPV entre 0,1 y 0,3 kPa), los estomas permanecen abiertos. La fotosíntesis está activa y la planta transpira poco. En cambio, si la humedad es baja (DPV entre 1,5 y 2,2 kPa) los estomas permanecerán abiertos hasta que la cantidad de agua transpirada supere la absorbida por las raíces, momento en el que se producirá el cierre de los estomas por estrés hídrico.

Capítulo 3. Material y métodos

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PARCELA DE ENSAYO.

3.1.1 Ubicación y caracterización climática.

El trabajo de investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental de la Fundación Cajamar (Imagen 8), ubicada en el término municipal de El Ejido, en la provincia de Almería. Las coordenadas geográficas de la Estación son 36° 47' 40" de latitud Norte y 2° 43' 10" de longitud Oeste y está a una altitud de 151 m sobre el nivel del mar. La Estación se encuentra enclavada en una extensa zona agrícola costera, a unos 11 km de la línea de costa. Esta situación determina que la zona esté prácticamente libre de heladas, si bien se encuentra muy expuesta a los vientos dominantes, que son de componente Este-Noroeste, con rachas máximas que ocasionalmente pueden superar los 100 kmh⁻¹.



Imagen 8. Vista aérea de la E.E. de la Fundación Cajamar y detalle de la ubicación de la parcela de ensayo.

El área de ensayo presenta un clima mediterráneo semiárido subtropical. Este tipo de clima se caracteriza por presentar temperaturas suaves a lo largo del año, que oscilan entre 15 y 21°C, y precipitaciones bajas que se sitúan entre los 250 y 400 mm anuales. El régimen térmico de la zona se caracteriza por una temperatura media anual de 18,5°C, con inviernos suaves, en los que la temperatura media es de 12°C. Los meses más fríos son diciembre y enero, sin embargo, las mínimas rara vez

descienden de los 5°C. Durante los meses de verano la temperatura media es de aproximadamente 22°C, siendo agosto el mes más caluroso. La temperatura media máxima durante este periodo es de 28°C y rara vez se superan los 40°C (Fig. 12). La distribución de las precipitaciones es irregular y presentan una marcada estacionalidad. La media anual es de 251,9 mm, siendo la época lluviosa el periodo comprendido entre los meses de octubre a mayo, destacando la sequía el resto de meses (Fig. 12). La humedad relativa media anual oscila entre el 67% y el 73%, siendo máxima en invierno y mínima en julio y agosto (Capel, 1990). La evaporación es muy acusada en el periodo estival, presentando su valor máximo en el mes de julio con 270 mm y el mínimo en enero con 60 mm. El número de horas de sol anual es elevado, alcanzando 3273 horas de media.

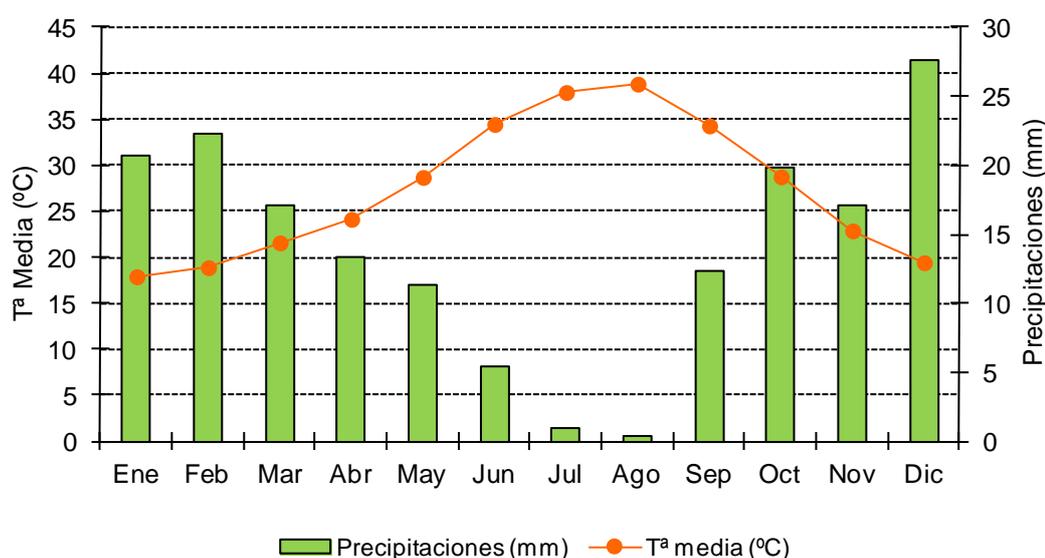


Figura 12. Diagrama ombrotérmico. Datos referidos a medias históricas entre los años 1990 y 2011. Fuente: E. E. de la Fundación Cajamar.

3.1.2 Caracterización física y descripción del invernadero.

La parcela de 1900 m² posee una estructura tipo parral tradicional que consta de un emparrillado plano de alambre a una altura de 2,10 m sobre el suelo para soporte de la vegetación y cosecha de las parras. Esta parcela está dividida en dos módulos de 800 m², uno de ellos al aire libre y el otro lo constituye un invernadero igual al empleado para el cultivo de hortalizas en esta zona. La estructura de este invernadero es tipo parral plano con cubierta plástica de polietileno térmico incoloro difuso de 200 micras de espesor. Esta cubierta está situada a 1,4 m sobre el dosel vegetal. El invernadero dispone de cuatro ventanas cenitales de tipo abatible orientadas de forma alterna (Este-Oeste) y dos ventanas laterales enrollables con orientación Norte y Sur, todas ellas con apertura y cierre automatizado mediante un equipo de control de clima tipo Mithra Clima (Priva) (Imágenes 9 y 10).

El suelo de la parcela es de textura franco-arcillo-arenosa (49,64% arena, 26,43% limo, 23,93% arcilla) en el horizonte comprendido entre los 10-70 cm de profundidad, zona en que se encuentran concentradas las raíces de la vid. Atendiendo a la conductividad eléctrica del extracto de saturación ($1,13 \text{ dSm}^{-1}$) se trata de un suelo no salino apto para cultivo. El pH de 8,2 lo convierte en un suelo ligeramente básico. El contenido en materia orgánica (0,47%) es bajo, si bien el fósforo total según el método Olsen y la caliza activa se sitúan en niveles considerados normales. Los niveles de cloruros y sodio del extracto de saturación son bajos, de ahí la baja conductividad eléctrica. Del mismo modo, los sulfatos, potasio, calcio y magnesio también presentan valores inferiores a los considerados como normales. Al ser los valores de sodio, calcio y magnesio bajos, el SAR también lo es ($\text{SAR}=1,79$).



Imagen 9. Vista interior del invernadero. Detalle de una ventana cenital.



Imagen 10. Vista interior del invernadero. Detalle del controlador de clima.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO.

3.2.1 Material vegetal.

El proyecto se ha llevado a cabo sobre una plantación adulta de uva de mesa de la variedad 'Flame Seedless' injertada sobre patrón 161-49 Courderc, establecida en 1999 en un marco real de 3,5 x 3,5 m.

La variedad 'Flame Seedless' fue obtenida por John H. Weinberger en Fresno (California) en el año 1961, a partir de un cruce complejo entre distintas variedades y se distribuyó rápidamente por las principales regiones productoras, estableciéndose como una de las principales variedades rojas apirenas (García de Luján y Lara-Benítez, 1998), por las características que ahora se resumen. 'Flame Seedless' es una variedad sin semillas muy precoz que madura normalmente en la segunda quincena de julio (Martínez Cutillas, 1988). Además de su precocidad presenta otras

características muy interesantes como su alta fertilidad y elevada productividad. Sus bayas son de atractivo color rojo, tamaño pequeño, sabor neutro y pulpa crujiente (Martínez-Cutillas, 1988), siendo muy apropiada para su consumo en fresco. Presenta racimos de buen aspecto, tamaño medio a grande, forma cónico-piramidal y compacidad media (Alonso, 2002) (Imágenes 11 y 12). Como ocurre con la mayoría de las variedades apirenas, en esta variedad es necesario llevar a cabo una serie de intervenciones encaminadas a mejorar la calidad de la cosecha: aclareo de racimos, aplicaciones de ácido giberélico y pinzamientos de parte de los racimos (hombros y cola).

El patrón 161-49C es un híbrido procedente del cruce de *Vitis riparia* x *Vitis berlandieri* y fue obtenido en 1988 (Galet, 1980). Este portainjerto proporciona un vigor medio a la planta y acorta su ciclo vegetativo, promoviendo un ligero adelanto en la maduración de sus bayas (Reyner, 2002). Su respuesta al estaquillado es media y responde mejor al injerto en campo que en taller. A este patrón se le atribuye una buena resistencia a la caliza (25% de caliza activa). Por el contrario, es sensible a la sequía y tolerante a la humedad (Martínez y Serrano, 1991).



Imagen 11. Vista general de la parcela de ensayo.

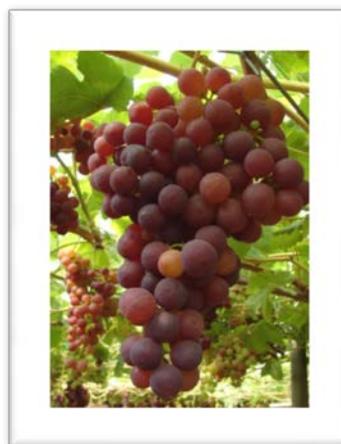


Imagen 12. Racimo de 'Flame Seedless'.

3.2.2 Manejo del cultivo.

El manejo agronómico fue homogéneo en toda la parcela de ensayo, difiriendo solamente la ejecución de las operaciones en el tiempo en función de los tratamientos. Sobre el material vegetal se realizó una poda mixta. En cada planta se dejaron 9 varas de 10 yemas cada una y un mínimo de 4 pulgares de 2 yemas por planta, lo que supuso una carga aproximada de 8 yemas/m². En las parras cultivadas en invernadero la poda tuvo lugar el 2 de diciembre, mientras que en los tratamientos al aire libre se retrasó al 23 de ese mismo mes. Posteriormente, se realizó un arqueado de varas para favorecer la brotación de las yemas basales.

La cianamida de hidrógeno (H_2CN_2), Dormex® (52% de H_2CN_2), se aplicó el 16 de diciembre en las parras cultivadas en invernadero y el 21 de enero en las cultivadas al aire libre. Estas fechas de aplicación se establecieron atendiendo a: las especificaciones del fabricante (45 y 60 días antes de la fecha prevista de desborre), experiencias anteriores en las que se determinó la fecha óptima de aplicación para esta variedad (Alonso et al., 2005) y la integral térmica media de la variedad, calculada también en años anteriores.

En todas las parras se realizó un aclareo de racimos en prefloración. En esta variedad se hace necesaria, además, la aplicación de ácido giberélico (GA_3). En floración se realizó un tratamiento pulverizando los racimos con GA_3 a 10 ppm para el aclareo de flores. Posteriormente se realizó un segundo tratamiento cuando las bayas alcanzaron un tamaño de 6-7 mm a una dosis de 30 ppm para favorecer el engorde de las bayas. Con el mismo fin, una semana más tarde se realizó un tercer tratamiento a igual dosis (Imagen 13). Por último se llevo a cabo un pinzamiento de racimos cuando las bayas estaban en tamaño guisante para dar una forma más adecuada al racimo (Imagen 14).



Imagen 13. Aplicación de ácido giberélico.



Imagen 14. Pinzamiento de racimos.

El control fitosanitario se realizó según los tratamientos habituales en la zona y las incidencias puntuales que se presentaron. En primer lugar, se aplicó un aceite de verano para el control de formas invernantes de *Pseudococcus citri* (melazo) y para el control de ácaros, *Tetranychus urticae* y *Panonychus ulmi*. El control del oidio (*Uncinula necator*) se realizó con tratamientos a base de azufre y con productos sistémicos en los estados fenológicos más sensibles, mientras que el control de mildiu (*Plasmopara viticola*) se realizó con productos cúpricos. Al final del ciclo, una vez recolectada la uva, se realizaron tratamientos fitosanitarios en varias ocasiones para el control del melazo y el mosquito verde (*Empoasca spp*).

El aporte de agua y fertilizantes en la parcela se llevo a cabo mediante riego localizado con goteros autocompensantes de 4 lh^{-1} de caudal nominal, separados 0,75

m. Se colocaron un total de 6 goteros por planta. Las aportaciones de agua de riego se realizaron en función de la ETc quincenal, siendo las aportaciones anuales de 4730 m³ha⁻¹ en la subparcela al aire libre y de 3150 m³ha⁻¹ en el invernadero. La fertilización se realizó junto al riego, siendo las aportaciones anuales de 65 UF N, 80 UF P₂O₅, 150 UF K₂O y 6 Kg de formulado de micronutrientes. El 70% de la aportación anual de nitrógeno se repartió desde antes de desborre hasta floración y tras una pausa en este estadio, el 30% de abono restante se aplicó desde que las bayas tenían tamaño guisante hasta envero. Los aportes de fósforo se repartieron desde principios de febrero hasta finales de octubre de forma proporcional al riego. El potasio se aplicó desde desborre hasta finales de agosto, pero concentrando cerca del 40% de los aportes desde que las bayas tenían tamaño guisante hasta envero y de forma proporcional al riego.

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL Y DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS.

3.3.1 Diseño experimental.

En este ensayo se llevó a cabo un diseño experimental en split-plot con dos factores. El factor principal fue el tipo de cultivo: invernadero o control al aire libre. El segundo factor lo constituyó la dosis de cianamida de hidrógeno aplicada. Los tres niveles de este segundo factor fueron concentraciones de 2,5%, 5% y un control sin tratar. Cada combinación de tratamientos tuvo tres repeticiones y tres parras por repetición (Fig. 13).

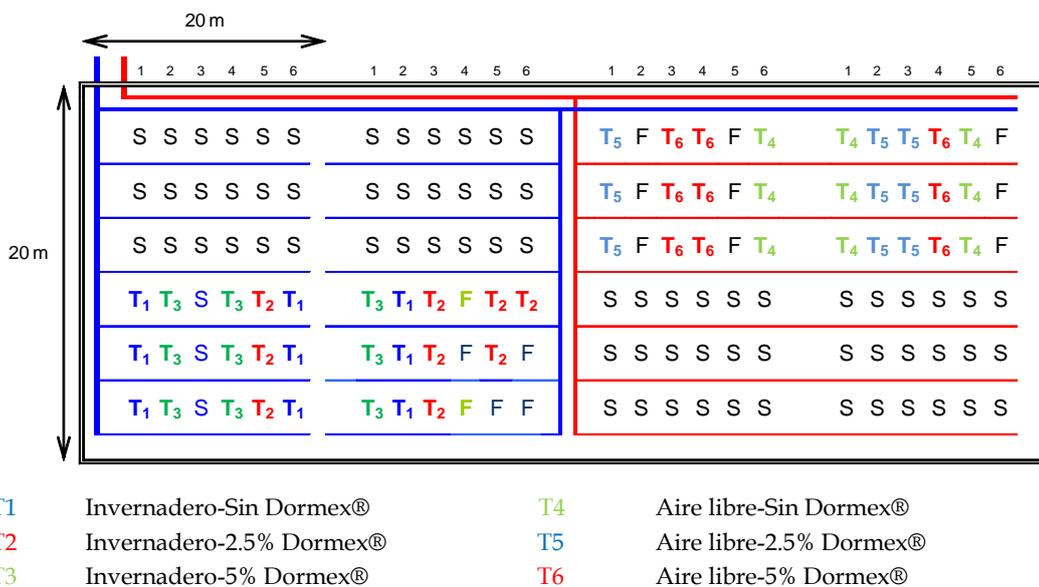


Figura 13. Croquis de la parcela de ensayo con la distribución de los tratamientos.

3.3.2 Descripción de los ensayos.

3.3.2.1. Efectos del cultivo en invernadero y distintas dosis de cianamida de hidrógeno sobre la brotación, la fertilidad y la producción.

Para determinar la influencia del cultivo en invernadero y de las distintas dosis de cianamida sobre la brotación se determinaron: el porcentaje de brotación, calculado como cociente entre el número de yemas brotadas y el número de yemas dejadas en la poda (Fig. 14) y el adelanto de la brotación y la uniformidad, cuantificando semanalmente el porcentaje de yemas que alcanzaban el desborre.

Para ello se seleccionaron tres varas por parra, resultando un total de nueve varas por repetición, 27 varas por tratamiento. Sobre estas varas se realizó un seguimiento semanal de la fenología de cada una de las yemas atendiendo a la escala BBCH propuesta por Lancashire et al. (1991). De esta forma se determinó con precisión el estado fenológico de desborre (09). La toma de datos comenzó cuando se observó el estado 03 (yemas hinchadas) en el tratamiento más avanzado. En las parras bajo invernadero este hecho se produjo el 18 de enero y en las parras al aire libre el 16 de febrero. Se consideró que un estado fenológico se alcanza cuando el 50% de las yemas lo hacen (Williams et al., 1985; Mc Intyre et al., 1987; Reynier, 2002).

Para poder valorar los efectos de los tratamientos sobre la fertilidad se determinaron tanto la fertilidad real, obtenida como la relación entre el número de inflorescencias y el número de yemas brotadas, como el *filage*, calculado como cociente entre el número de zarcillos con botones florales y el número de yemas brotadas (Fig. 14).

$$\text{Brotación}(\%) = \frac{n^{\circ} \text{ yemas brotadas}}{n^{\circ} \text{ yemas dejadas en poda}} \times 100$$

$$\text{Fertilidad real} = \frac{n^{\circ} \text{ inflorescencias}}{n^{\circ} \text{ yemas brotadas}}$$

$$\text{Filage}(\%) = \frac{n^{\circ} \text{ zarcillos con botones florales}}{n^{\circ} \text{ yemas brotadas}} \times 100$$

Figura 14. Expresiones de cálculo.

También se determinaron las distribuciones de la brotación y de la fertilidad real a lo largo de la vara y para ello se siguieron todas las yemas de todas las varas y de los pulgares de cada parra de ensayo.

La toma de datos necesaria para la determinación de estos parámetros se realizó cuando las inflorescencias presentes en el pámpano comenzaban a agrandarse pero presentaban los botones florales aún aglomerados (estado 53). Además de

diferenciar entre el tipo de sarmiento en varas y pulgares, tal y como recomiendan Huglin y Schneider (1998), también se diferenció entre nudos numerándolos como nudo 0 (basal), nudo 1, nudo 2 y así sucesivamente hasta el final de la vara o pulgar.

Finalmente, se consideró necesario analizar también los efectos de los tratamientos sobre el tamaño de la inflorescencia y el número de flores por inflorescencia. Estos parámetros se midieron en una muestra de dos inflorescencias por parra, resultando un total de seis inflorescencias por repetición y 18 por tratamiento.

Todos estos datos fueron sometidos a un análisis de varianza y separación de medias mediante test de Tukey cuando hubo diferencias significativas, usando el paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS (los datos en porcentaje fueron sometidos previamente a una transformación angular).

Para poder establecer la fecha de recolección en cada tratamiento se realizó un seguimiento de la maduración a partir del enero con periodicidad semanal (Vidaud et al., 1993; Blouin y Guimberteau, 2004). Este seguimiento se hizo sobre una muestra de 60 bayas por repetición, recogidas del mayor número posible de racimos con color de cada parra (20 bayas por parra) que constituía la repetición y de todas las partes del racimo (cola, centro y hombros). En laboratorio se obtuvo el mosto de cada muestra mediante un pasapurés manual, posteriormente se centrifugó durante seis minutos a 4000 rpm en una centrífuga P-SELECTA modelo CENTRONIC-BL. Tras la centrifugación se procedió a la medida del contenido en sólidos solubles totales (SST) (°Brix) con un refractómetro electrónico SHIBUAYA. La acidez se midió mediante una valoración con NaOH 0,1N hasta pH 8,2 (Vidaud et al., 1993). Se utilizó fenolftaleína como indicador. La acidez se expresó en g/l de ácido tartárico según la expresión:

$$\text{Acidez (g/l) ácido tartárico} = \frac{7,5 \times \text{Volumen NaOH} \times 0,1N}{\text{Volumen de mosto}}$$

El Índice de Maduración (IM) se obtuvo a partir de los SST y acidez. Si este índice es igual o mayor a 18 se considera que se puede iniciar la recolección (Vidaud et al., 1993).

$$IM = \frac{SST \left(\frac{g}{l}\right)}{\text{Acidez} \left(\frac{g}{l}\right)}; \quad \text{si } IM \geq 18 \quad \text{entonces recolección}$$

Por último y para evaluar la influencia de los tratamientos sobre la producción se determinó la cantidad de cosecha por parra en cada tratamiento. La recolección se hizo cosechando racimos con color comercial por pasadas, pesando en cada una de ellas la cosecha individualizada. En cada pasada se realizó el conteo de racimos comerciales y el peso total de éstos en cada una de las parras, de manera que se pudiera obtener también el peso medio del racimo, otro componente de cosecha objeto de estudio. Señalar que se consideró como destrío los racimos mal formados, con deficiencias serias de coloración de las bayas o con peso inferior a 100 g. Añadir para finalizar, que en la pasada más representativa se determinó el peso medio de la baya. Para ello se pesaron muestras de 100 bayas por repetición en cada uno de los tratamientos.

3.3.2.2. Efecto de diferentes niveles de ventilación sobre el microclima del invernadero y sobre la fisiología de la planta.

Para establecer una adecuada estrategia de ventilación del invernadero, se realizó un ensayo en el que se compararon diferentes niveles de ventilación. Para ello se seleccionaron tres días del mes de mayo (17, 18 y 20), momento en que las plantas se encontraban en el periodo crítico de floración-verano. Estos días se escogieron lo más próximos posible para tener condiciones de clima similares. En el primer día todas las ventanas (cenitales y laterales) permanecieron completamente abiertas. En el segundo día, solo se abrieron las dos ventanas laterales. En el último día se mantuvieron cerradas todas las ventanas del invernadero. En el interior del invernadero se tomaron medidas de temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (%) con dos aspirópsicrómetros ventilados con sondas de temperatura Pt-100. Uno de los aspirópsicrómetros se ubicó en el centro del invernadero, justo debajo del dosel vegetal a una altura de 1,20 m sobre el suelo y el otro se colocó sobre el dosel vegetal, a una altura de 2,80 m sobre el suelo (Imagen 15). Durante el periodo de medida los sensores registraban datos cada minuto y se realizó el promedio cada cinco minutos. Los valores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y DPV (kPa) (calculada a partir de temperatura y humedad relativa) se han obtenido como media de los valores registrados por ambos sensores. En el invernadero también se midieron dos parámetros fisiológicos, la temperatura de hoja ($^{\circ}\text{C}$) y la conductancia estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). La temperatura de hoja se midió mediante sensores tipo termopar fijados a las hojas con pinzas (Imagen 17). Se emplearon un total de seis sensores, tres de ellos ubicados en hojas plenamente expuestas a la luz, y otros tres en hojas plenamente sombreadas. Los registros de cada sensor eran cada minuto, así que se promediaron para periodos de cinco minutos. Finalmente, la temperatura de hoja ($^{\circ}\text{C}$) se obtuvo como media de los valores de los seis sensores. La conductancia estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) se midió con un medidor portátil de fotosíntesis (LI-COR modelo LI-6200) (Imagen 18) en hojas completamente expandidas, bien iluminadas y expuestas al sur (Fanizza y Ricciardi,

1991) a las 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 y 16:00 horas solares. Las medidas se realizaron sobre dos hojas por parra, en tres parras por tratamiento, resultando seis hojas por tratamiento.

Simultáneamente en el exterior se registraron medidas de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%) y velocidad (m s^{-1}) y dirección del viento ($^{\circ}$) (Imagen 16).



Imagen 15. Aspiró-psicrómetros colocados por encima y por debajo del dosel vegetal en el invernadero.



Imagen 16. Sensores del exterior del invernadero.



Imagen 17. Sensor termopar fijado a una hoja en el interior del invernadero.



Imagen 18. Medidas de conductancia estomática en hoja en el interior del invernadero.

Capítulo 4. Resultados y discusión

4.1. EFECTOS DEL CULTIVO EN INVERNADERO Y DISTINTAS DOSIS DE CIANAMIDA DE HIDRÓGENO SOBRE LA BROTAÇÃO, LA FERTILIDAD Y LA PRODUCCIÓN.

4.1.1 Cantidad, uniformidad y adelanto de la brotación.

En el invierno la uva de mesa requiere acumular cierta cantidad de frío para el correcto abandono del reposo. La cubierta plástica del invernadero puede dificultar en estas fechas la acumulación de frío y conducir a una brotación escasa e irregular. Este déficit de frío puede ser compensado mediante el uso de cianamida de hidrógeno, sustancia que permite incrementar y homogeneizar la brotación, además de adelantar la salida del reposo invernal. No obstante, sus efectos dependen entre otros aspectos, de la dosis aplicada, por lo que uno de los objetivos de este trabajo fue determinar la dosis óptima de cianamida de hidrógeno.

Los resultados muestran que el cultivo en invernadero disminuyó significativamente la brotación de yemas. En las parras cultivadas bajo plástico se produjo la brotación del 59% de las yemas frente al 73% que lo hicieron al aire libre. La cianamida de hidrógeno (H_2CN_2), en cambio, incrementó la brotación, de manera que el porcentaje de yemas brotadas fue mayor cuanto mayor fue la dosis aplicada (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efectos del cultivo forzado y distintas dosis de H_2CN_2 sobre la brotación.

	Brotación (%)
Aire libre	73,3 a
Invernadero	59,1 b
p	** 1
5% H_2CN_2	70,7 a
2,5% H_2CN_2	68,5 ab
Sin H_2CN_2	59,0 b
p	**
Interacción	ns ²

¹ Separación de medias según test de Tukey (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

² ns: diferencias no significativas.

Aunque la H_2CN_2 produjo un aumento de la brotación al aire libre, su efecto fue mayor en invernadero (Cuadro 2). Al aire libre, independientemente de la aplicación o no de H_2CN_2 , se obtuvieron porcentajes de brotación en torno a un 70%-75%. En cambio, en invernadero la brotación estuvo por debajo del 70%, aunque únicamente el tratamiento sin H_2CN_2 fue significativamente diferente al resto de tratamientos. Sin H_2CN_2 más de la mitad de las yemas de la parra no brotaron. En cambio, los tratamientos con un 2,5% y un 5% de H_2CN_2 presentaron porcentajes de brotación de un 62% y un 66% respectivamente, por lo que la dosis del 5% incrementó la brotación en un 18% respecto al tratamiento sin H_2CN_2 y la dosis del 2,5% lo hizo en un 14% (Cuadro 2).

Cuadro 2. Brotación media por parra, expresada en porcentaje, para cada tratamiento.

	Brotación (%)
Aire libre 5% H_2CN_2	75,0 a
Aire libre 2,5% H_2CN_2	74,6 a
Aire libre sin H_2CN_2	69,3 a
Invernadero 5% H_2CN_2	66,3 a
Invernadero 2,5% H_2CN_2	62,3 ab
Invernadero sin H_2CN_2	48,6 b

Separación de medias según test de Tukey.

Cuando se analiza la brotación de las yemas según su posición en la vara, se observa que la aplicación de cianamida de hidrógeno disminuyó la marcada acrotonía de la vid, que resultó más acentuada en el cultivo en invernadero. Con la dosis del 5%, se obtuvo un porcentaje de brotación mayor al 50% desde el primer nudo de la vara y del 43% de las yemas ciegas (nudo 0). Estos niveles de brotación se consiguieron con la dosis del 2,5% a partir del nudo 2. Sin embargo sin la aplicación de H_2CN_2 , no se alcanzó un 50% de yemas brotadas hasta el nudo 6 (Fig. 15). En este último tratamiento el porcentaje de brotación al final de la vara estuvo en torno al 80%, lo que supone aproximadamente un 15% menos que en los tratamientos con H_2CN_2 .

Las pendientes de las rectas de regresión obtenidas para cada tratamiento ponen igualmente de manifiesto esta situación de marcada dominancia apical de la vid en el invernadero. Cuanto mayor es la pendiente, mayor es la acrotonía, o lo que es lo mismo, menor es el número de yemas de la base de la vara que brotan (Fig. 15). El tratamiento que no recibió H_2CN_2 y el tratamiento con una dosis del 2,5% obtuvieron rectas de regresión muy similares y de pendiente más elevada en ambos casos (7,4%) que la obtenida con la dosis del 5% de H_2CN_2 que resultó ser del 4%. En este último tratamiento, el porcentaje de yemas brotadas en la base de la vara no fue muy diferente al obtenido en la zona media y zona terminal de la misma (Fig. 15).

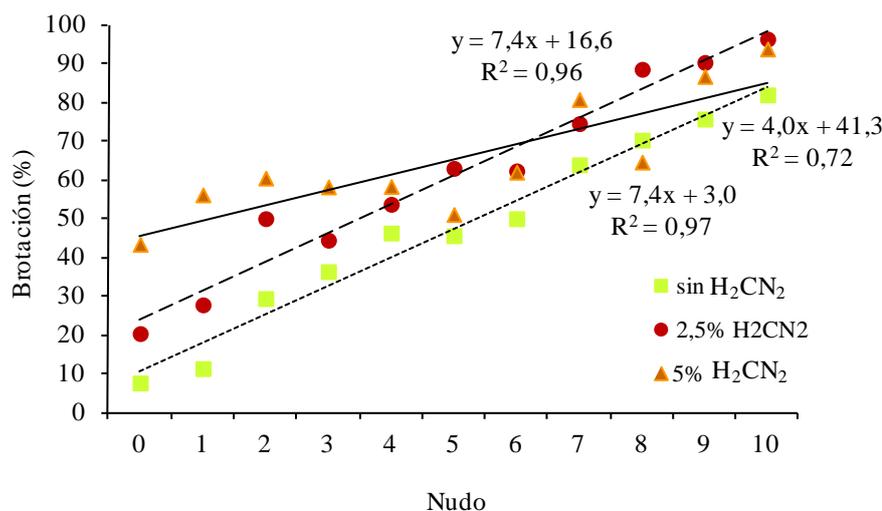


Figura 15. Distribución de la brotación en función de la posición de la yema en la vara en las parras cultivadas en invernadero.

Pero la aplicación de cianamida de hidrógeno en invernadero no solo mejoró la brotación de las yemas basales de las varas, sino que además, anticipó la brotación y la hizo más compacta (Fig. 16). La dosis del 5% fue la que mejores resultados arrojó en este sentido, ya que más de la mitad de las yemas de la parra alcanzaron el estado de desborre transcurridos aproximadamente 36 días desde la fecha de aplicación de H₂CN₂ (16 de diciembre). Este mismo nivel de brotación se alcanzó una semana más tarde con la dosis del 2,5%. En cambio, sin H₂CN₂ la brotación en invernadero fue más tardía y heterogénea, ya que no se observó un 50% de yemas en desborre hasta cinco semanas después (Fig. 16). La dosis del 2,5% de H₂CN₂ produjo un adelanto en el desborre de un mes respecto al tratamiento sin H₂CN₂, precocidad que fue superada con la dosis del 5% ya que en este caso el adelanto fue de cinco semanas (Fig. 16).

En experiencias previas con la misma variedad cultivada en invernadero se observaron resultados muy similares a los aquí presentados. La brotación de las varas fue mayor al aire libre que bajo cubierta plástica, además las diferencias en la brotación fueron más notables entre los tratamientos con H₂CN₂ y sin H₂CN₂ que entre los tratamientos plástico-aire libre (Morata, 2004). En este trabajo previo también se observó que las plantas cultivadas en invernadero que no recibieron aplicación de H₂CN₂ mostraron un menor porcentaje de desborre como consecuencia de la ausencia de brotación de las yemas situadas en la base de las varas (primeros tres nudos). Por tanto, coincidiendo con estos resultados la aplicación de cianamida de hidrógeno parece ser el principal estimulante de la brotación.

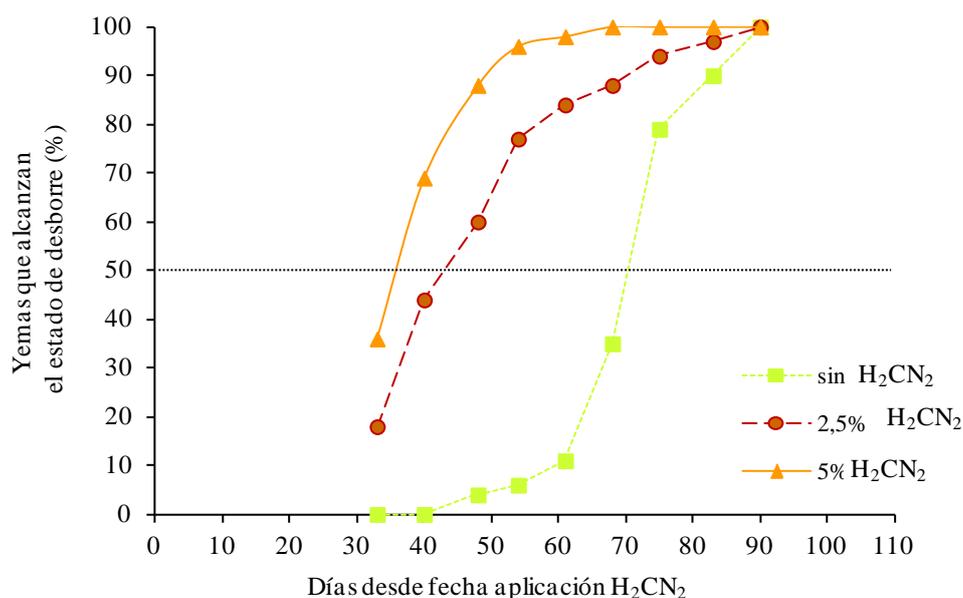


Figura 16. Efecto de distintas dosis de H₂CN₂ sobre el adelanto y uniformidad de la brotación de la variedad 'Flame Seedless' cultivada en invernadero.

Según Alonso et al. (2005) la salida del reposo (endolatenia) de 'Flame Seedless' en nuestras condiciones ocurre a finales de diciembre. El forzado del cultivo se realizó el día 27 de ese mes, momento en que se cambiaron las consignas de ventilación del invernadero para que las ventanas se cerrasen y conseguir así el régimen de temperaturas óptimo que favoreciese el desborre las yemas (16°C). Aún así, la brotación de las parras del invernadero fue inferior a la observada en las parras cultivadas al aire libre, a pesar de que la aplicación de cianamida de hidrógeno consiguió aumentar la brotación. En el invernadero muchas yemas no brotaron y en el tratamiento sin H₂CN₂ la brotación fue todavía más escasa e irregular. Es posible que en el momento en que se realizó el cultivo forzado las yemas se encontraran aún en reposo (endolatenia) y no hubieran acumulado suficiente frío invernal para alcanzar el estado de ecolatenia. El desborre irregular y escaso es la consecuencia de un déficit de frío invernal. Hay que señalar además que no todas las yemas de una parra se encuentran en el mismo nivel de reposo (Erez, 1995; Lavee y May, 1997), lo que aumenta el riesgo de escasa e irregular brotación (Alonso et al., 2005).

Teniendo en cuenta que el principal objetivo del cultivo en invernadero es la obtención de una cosecha precoz (a finales de mayo o principios de junio) no es posible realizar un forzado más tardío. El adelanto y el aumento de la brotación que proporciona la aplicación de cianamida de hidrógeno es de vital importancia para conseguir una cosecha precoz sin detrimento de la productividad. Además, como ya se ha visto, su aplicación proporciona una mayor uniformidad. Esta uniformidad

resulta además de especial interés en variedades apirenas que precisan de operaciones especiales sobre los racimos (tratamientos con ácido giberélico, pinzado, etc...) para mejorar la calidad, ya que casi la totalidad de los mismos se encontrarán en el mismo estado fenológico.

Con estos resultados se ratifica la efectividad de la cianamida de hidrógeno para producir una mayor brotación, más temprana, rápida y homogénea, tal y como apuntan numerosos autores (Saure, 1985; Shulman et al., 1986; Or et al., 1999; Pires et al., 1999; Alonso et al., 2005; Ben Mohamed et al., 2010).

Ahora bien, la respuesta de la cianamida de hidrógeno depende también de la dosis empleada. En este sentido, Lavee y May (1997) apuntan que la aplicación de altas concentraciones de H_2CN_2 pueden dañar las yemas y provocar un retraso de la brotación. Estos autores aplicando dosis de 2,5% y 5% de H_2CN_2 sobre las yemas de 'Perlette' unos 30 días antes del desborre, observaron que las yemas tratadas con la segunda aplicación vieron retrasada su brotación. Estos resultados contrastan con los obtenidos por la empresa BASF (1998) con las variedades 'Cavernet Sauvignon' y 'Merlot'. La brotación de las yemas de la variedad 'Cavernet Sauvignon' fue más uniforme y precoz cuanto mayor fue la dosis empleada, siendo la óptima el 5%. Con la variedad 'Merlot', nuevamente obtienen una brotación mayor empleando una dosis del 5% de H_2CN_2 respecto a otra del 3%. De ahí que las recomendaciones para vid sean la aplicación de una dosis del 5% de H_2CN_2 25-30 días antes del desborre (Zeppelín-BASF, 1998). En cualquier caso, la variabilidad de resultados obtenidos en estos y otros trabajos refleja la necesidad de realizar ensayos específicos para cada variedad. En este sentido, nuestros resultados con 'Flame Seedless' indican que la dosis del 5% de H_2CN_2 proporcionó mejores resultados en cuanto a cantidad, uniformidad y adelanto de brotación respecto a la dosis menor del 2,5%. La dosis mayor proporcionó un mayor porcentaje de brotación y permitió el inicio más o menos simultáneo de la brotación de la mayoría de las yemas de la vara, anulando el efecto de dominancia apical. Además, la dosis del 5% proporcionó el mayor adelanto del desborre. Destacar que estos resultados están en contraposición a los obtenidos por Lavee y May (1997), a pesar de emplear las mismas dosis en ambos casos y de que las variedades estudiadas sean muy similares ('Perlette' y 'Flame' son cultivares de uva de mesa apirena y además de ciclo corto).

4.1.2 Fertilidad.

Para poder valorar los efectos de los tratamientos sobre la fertilidad de las yemas se determinó la fertilidad real, obtenida como la relación entre el número de inflorescencias y el número de yemas brotadas.

Ni el cultivo bajo plástico ni la aplicación de cianamida de hidrógeno afectaron a la fertilidad, ya que la mayoría de las yemas brotadas fueron portadoras de inflorescencias en toda circunstancia (Cuadro 3). Los valores de fertilidad obtenidos

en todos los tratamientos estuvieron en torno a la unidad, coincidiendo con lo esperado para esta variedad de fertilidad alta (mayor o igual a 1 inflorescencia/yema brotada) (Alonso, 2002).

Cuadro 3. Efectos del cultivo forzado y distintas dosis de H_2CN_2 sobre la fertilidad.

	Fertilidad real (n° inflorescencias/yemas brotadas)
Aire libre	0,98
Invernadero	1,03
p	ns
5% H_2CN_2	0,98
2,5% H_2CN_2	0,95
Sin H_2CN_2	1,08
p	ns
Interacción	ns

ns: diferencias no significativas.

La ausencia de efectos de los tratamientos sobre la fertilidad de las yemas era de esperar. La inducción floral de una variedad dada viene determinada por las condiciones ambientales (temperatura e iluminación, fundamentalmente) y de manejo del cultivo del año anterior. Durante el período de crecimiento de la vid del año precedente y coincidiendo con la floración, tienen lugar los procesos de inducción e iniciación floral y la formación de las inflorescencias en las yemas latentes (Cheema et al., 1996b; Reynier, 2002; Botelho et al., 2006). Aún así también existía la posibilidad de observar efectos negativos sobre la fertilidad derivados del manejo del cultivo del año en curso. Or et al. (1999) apuntan que una aplicación precoz de cianamida de hidrógeno puede afectar a la fertilidad. Este efecto se explica porque la cianamida de hidrógeno podría obligar a brotar a yemas inmaduras en las que la parte reproductiva se encuentra tan solo parcialmente desarrollada. También podría ocurrir que una brotación temprana expusiera a la parte reproductiva a temperaturas desfavorables para su desarrollo. Además cabe la posibilidad de que alguna de las dosis provocara daños químicos sobre la parte reproductiva, al ser este órgano más sensible, o incluso que se produjera una destrucción total o parcial del cono primario del yemario, lo cual llevaría al desarrollo del cono secundario o terciario, menos fértiles, disminuyendo así el rendimiento en cosecha. De todas formas, los resultados obtenidos en este trabajo, en lo que respecta a la fertilidad, no muestran ningún efecto negativo de la cianamida de hidrógeno en este sentido.

4.1.3 Calidad de la floración: número de botones florales por inflorescencia y filage.

Si se analizan los resultados obtenidos en lo que concierne al número de flores por inflorescencia, la aplicación de cianamida de hidrógeno no produjo ningún efecto sobre el número de botones florales. Sin embargo, el cultivo en invernadero lo afectó muy negativamente (Cuadro 4). Las inflorescencias de las parras cultivadas bajo plástico mostraron un número de botones florales casi tres veces inferior al mostrado en las parras cultivadas al aire libre. Además las inflorescencias fueron de longitud más reducida (19 cm en cultivo en invernadero *vs.* 26 cm en cultivo al aire libre).

Cuadro 4. Efectos del cultivo forzado y distintas dosis de H_2CN_2 sobre el número de flores por inflorescencia.

Número de botones florales/inflorescencia	
Aire libre	1056 a
Invernadero	388 b
P	**1
5% H_2CN_2	807
2,5% H_2CN_2	654
Sin H_2CN_2	704
p	ns ²
Interacción	ns

¹Separación de medias según test de Tukey (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

²ns: diferencias no significativas.

En los tratamientos al aire libre, el número medio de botones florales por inflorescencia estuvo entre los 900 y 1288, algo normal en esta variedad, frente a los 327-427 botones florales/inflorescencia obtenidos en los tratamientos con cultivo en invernadero (Cuadro 5).

Cuadro 5. Número de botones florales por inflorescencia en los distintos tratamientos.

Número de botones florales/inflorescencia)	
Aire libre 5% H_2CN_2	1288 a
Aire libre 2,5% H_2CN_2	899 a
Aire libre sin H_2CN_2	982 a
Invernadero 5% H_2CN_2	327 b
Invernadero 2,5% H_2CN_2	409 b
Invernadero sin H_2CN_2	427 b

De forma general, es aceptado por la mayoría de los autores que la formación de las flores comienza durante el período de desborre (Mullins et al., 1992; Cheema et

al., 1996b; Huglin y Schneider, 1998; May, 2000; Reynier, 2002). La temperatura en este momento resulta un factor clave que condiciona el desarrollo floral. Bajas temperaturas durante el desborre incrementan el número de flores (Dunn y Martin, 2000; May, 2000). Sin embargo, en este período de crecimiento, las temperaturas en el interior de un invernadero están por encima del óptimo (12-15°C) ya que las máximas superan los 25°C y existe además una gran amplitud térmica diaria. Las temperaturas registradas bajo plástico desde desborre hasta la aparición de la 3ª inflorescencia en el pámpano favorecen el desarrollo vegetativo en detrimento de la diferenciación floral (Pouget, 1981; Huglin y Schneider, 1998). De ahí que el exceso de temperatura y el amplio salto térmico observados en el invernadero puedan ser la causa principal de este menor número de flores por inflorescencia. La figura 17 ilustra las condiciones de temperatura que había en el interior del invernadero el día 2 de febrero, 12 días después del desborre de las parras del tratamiento invernadero con 5% de H₂CN₂.

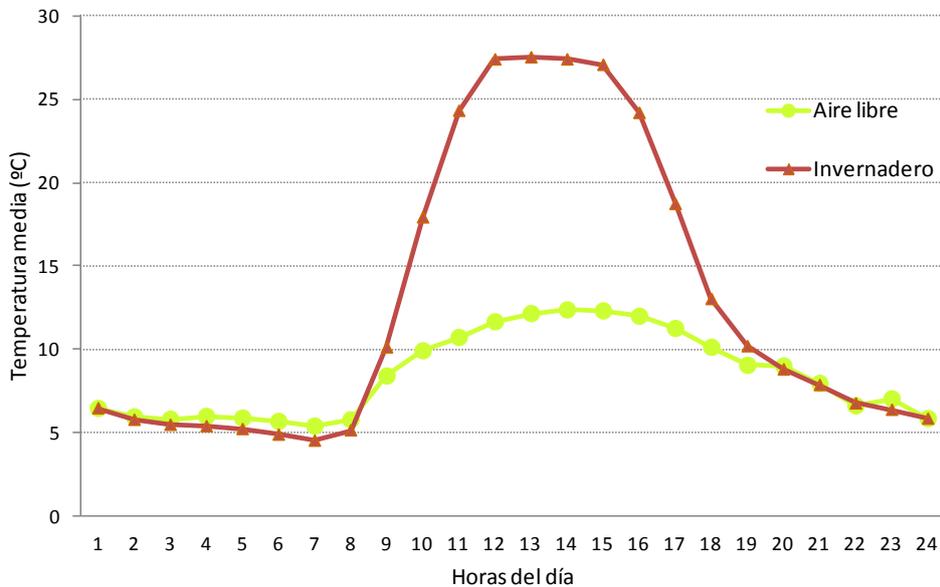


Figura 17. Temperaturas medias horarias del 2 de febrero (12 días después de la fecha de desborre del tratamiento invernadero 5% de H₂CN₂) al aire libre y en el interior del invernadero.

El menor tamaño de las inflorescencias del invernadero respecto a las del aire libre podría tener como explicación el haber provocado una salida prematura del reposo (endolancia). Or et al. (1999) apuntan que aplicaciones tempranas de cianamida de hidrógeno conducen a la obtención de inflorescencias de menor tamaño debido a la brotación de yemas inmaduras, en las que la parte reproductiva se encuentra tan solo parcialmente desarrollada. Estudios recientes han demostrado que el desarrollo de la inflorescencia continúa en las yemas latentes. Jones et al. (2009) han observado que la división celular y la diferenciación de la inflorescencia continúan en yemas de vid en estado de endolancia. Por tanto, una salida

prematura del reposo podría estar haciendo “despertar” a yemas que no han podido completar su desarrollo.

En experiencias anteriores a este trabajo, estudiando la fertilidad de las yemas de esta misma variedad cultivada en invernadero, se observó una presencia de *filage* aparentemente inusual por su elevada cantidad (Morata, 2004), de manera que en este ensayo se consideró conveniente cuantificarlo y analizarlo. Para poder cuantificarlo se calculó el cociente entre el número de zarcillos con botones florales (*filage*) y el número de yemas brotadas. Efectivamente, el cultivo bajo plástico produjo un aumento espectacular del *filage* (32% versus 9%) (Cuadro 6). La cianamida de hidrógeno también incrementó el *filage*. El tratamiento con un 5% de H₂CN₂ presentó el valor más alto, un 30%, seguido de la dosis del 2,5% de H₂CN₂ con un 20% de incidencia de *filage*. Hay que señalar además la existencia de interacción significativa entre las dos fuentes de variación en la incidencia del *filage* (Cuadro 6). Esta interacción se debe a que bajo cubierta plástica el *filage* se incrementó con la dosis de H₂CN₂, mientras que al aire libre su incidencia fue casi nula con independencia de la dosis de H₂CN₂. Bajo plástico, el 5% de H₂CN₂ produjo un 50% de *filage* frente al 32% y 16% obtenidos con la dosis del 2,5% y el control sin tratar.

Cuadro 6. Efectos del cultivo forzado y distintas dosis de H₂CN₂ sobre el *filage*.

	<i>Filage</i> (%)
Aire libre	9,3 b
Invernadero	32,3 a
p	**
5% H ₂ CN ₂	30,0 a
2,5% H ₂ CN ₂	20,2 ab
Sin H ₂ CN ₂	12,3 b
p	**
Interacción	*

¹ Separación de medias según test de Tukey (* p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001).

² ns: diferencias no significativas.

La presencia de flores solitarias en el extremo de zarcillos ha sido observada previamente en invernadero de cristal (Boss y Thomas, 2000). El *filage* se considera una pérdida de fertilidad de las yemas y su aparición se debe a la competencia por reservas y citoquininas establecida entre brotes en crecimiento y flores en vías de diferenciación (Huglin y Schneider, 1998). El aumento del *filage* observado bajo invernadero es coherente con la disminución en el número de flores por inflorescencia observada bajo estas mismas circunstancias. Sin embargo, ya se ha visto anteriormente que la fertilidad no se vio afectada, por tanto resulta difícil entender estos resultados de *filage* como una pérdida de fertilidad. Otra posibilidad

es que las temperaturas que había en el interior del invernadero en el momento de la inducción y diferenciación de las inflorescencias en la pasada campaña favoreciesen la transición de más meristemos vegetativos a meristemos reproductivos (de zarcillos a inflorescencias) y que, posteriormente las altas temperaturas observadas en el desborre, cuando está teniendo lugar la diferenciación de los botones florales en las yemas, actuaran en detrimento de la formación de una verdadera inflorescencia. De esta forma el elevado porcentaje de *filage* observado en invernadero habría que contemplarlo como una relativa mejora de la fertilidad, aunque no aprovechable en términos productivos.

El efecto positivo de la cianamida de hidrógeno sobre el *filage* podría explicarse por el aumento de la brotación que provoca esta sustancia. Probablemente con la aplicación de cianamida de hidrógeno estemos forzando a brotar a un mayor número de yemas portadoras de *filage*.

4.1.4 Producción.

La cosecha comercial no se vio afectada ni por el cultivo en invernadero ni por la aplicación de cianamida de hidrógeno fuese cual fuese la dosis aplicada (Cuadro 7). La cosecha estuvo por encima de los 20 kg por parra tanto en el invernadero como al aire libre.

Cuadro 7. Efectos del cultivo forzado y distintas dosis de H_2CN_2 sobre la cosecha comercial.

	Cosecha comercial (kg/parra)
Aire libre	25,2
Invernadero	20,7
P	ns
5% H_2CN_2	21,7
2,5% H_2CN_2	23,8
Sin H_2CN_2	23,2
P	ns
Interacción	ns

ns: diferencias no significativas.

A pesar de la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos, hay que señalar que la separación de medias por tratamientos pone de manifiesto un rendimiento de cosecha más bajo en el cultivo en invernadero con 5% de H_2CN_2 en comparación con los obtenidos en el resto de los tratamientos (Cuadro 8). En los otros dos tratamientos situados en invernadero la cosecha media fue de 22,3 kg por parra. Al aire libre este valor fue aún mayor ya que el rendimiento medio fue de 25 kg por parra. Esto supone en torno a 3 kg más por parra con respecto a los

tratamientos 2,5% y control del invernadero y 8 kg más por parra con respecto al tratamiento con una dosis del 5% de H_2CN_2 (Cuadro 8).

Cuadro 8. Cosecha comercial obtenida en cada tratamiento.

	Cosecha comercial (kg/parra)
Aire libre 5% H_2CN_2	26,2
Aire libre 2,5% H_2CN_2	25,0
Aire libre sin H_2CN_2	24,2
Invernadero 5% H_2CN_2	17,2
Invernadero 2,5% H_2CN_2	22,6
Invernadero sin H_2CN_2	22,1

Del análisis del número de racimos por parra se desprende la ausencia de diferencias entre el cultivo en invernadero y el cultivo al aire libre. La aplicación de cianamida de hidrógeno, en cambio, produjo diferencias entre tratamientos, aunque la significación estadística estuvo muy próxima a 0,05 (Cuadro 9). Hay que destacar que la aplicación de un 5% de H_2CN_2 produjo un efecto positivo incrementando significativamente el número de racimos respecto al control sin H_2CN_2 (un 22% más de racimos con la dosis del 5% respecto al control sin tratar) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efectos del cultivo forzado y distintas dosis de H_2CN_2 sobre el número de racimos por parra.

	Número de racimos/parra
Aire libre	68
Invernadero	61
p	ns
5% H_2CN_2	71 a
2,5% H_2CN_2	65,8 ab
Sin H_2CN_2	58 b
p	*(0,049)
Interacción	ns

¹Separación de medias según test de Tukey (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

²ns: diferencias no significativas.

El mayor número de racimos por parra obtenido con la aplicación de un 5% de H_2CN_2 se debe al aumento de la brotación que proporcionó esta dosis. El tratamiento que menor número de racimos mostró fue el de cultivo en invernadero sin H_2CN_2 con 54 racimos por parra (Fig. 18). Este resultado hay que atribuirlo en general a que la brotación en este tratamiento fue la menor. El tratamiento que mayor número de racimos presentó fue el de aire libre 5% de H_2CN_2 con un total de 75 racimos por

parra. El resto de tratamientos estuvieron en torno a los 65 racimos por parra (Fig. 18).

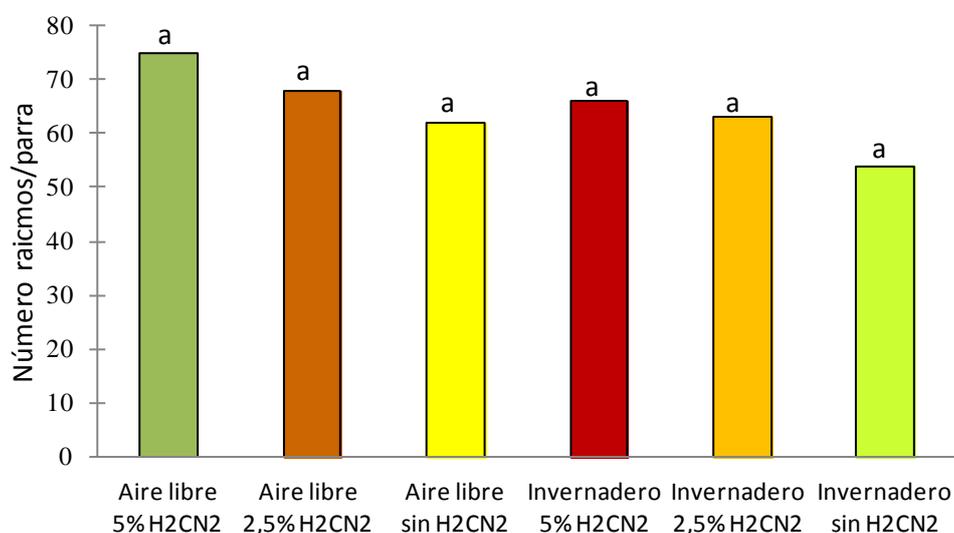


Figura 18. Número de racimos por parra obtenidos en cada tratamiento.

Otro componente de la cosecha, el peso del racimo, tampoco se vio afectado por el cultivo en invernadero, ya que el análisis de la varianza muestra la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 10). Sin embargo, la cianamida de hidrógeno produjo un efecto, esta vez negativo, sobre el peso del racimo. Los racimos con H₂CN₂ fueron significativamente más pequeños que los obtenidos en el control sin H₂CN₂ (Cuadro 10).

Cuadro 10. Efectos del cultivo forzado y distintas dosis de H₂CN₂ sobre el peso del racimo y el peso de la baya.

	Peso del racimo	Peso de la baya
Aire libre	364,8	2,32
Invernadero	347,0	2,36
p	ns	ns
5% H₂CN₂	303,4 a	2,37
2,5% H₂CN₂	362,4 a	2,51
Sin H₂CN₂	402 b	2,14
p	**	ns
Interacción	**	ns

¹Separación de medias según test de Tukey (* p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001).

²ns: diferencias no significativas.

Los resultados de la separación de medias por tratamientos (Fig. 19) muestran que únicamente el tratamiento invernadero con 5% de H_2CN_2 se diferencia del resto de tratamientos, de ahí la interacción significativa entre ambas fuentes de variación que se observa en el cuadro 10. La combinación del cultivo en invernadero y una aplicación del 5% de H_2CN_2 proporcionaron el peso de racimo más bajo (258 g), en comparación con el resto de tratamientos (peso de racimo por encima de 350 g en todos los casos). El tratamiento que mayor peso de racimo mostró fue el invernadero sin H_2CN_2 (Fig. 19).

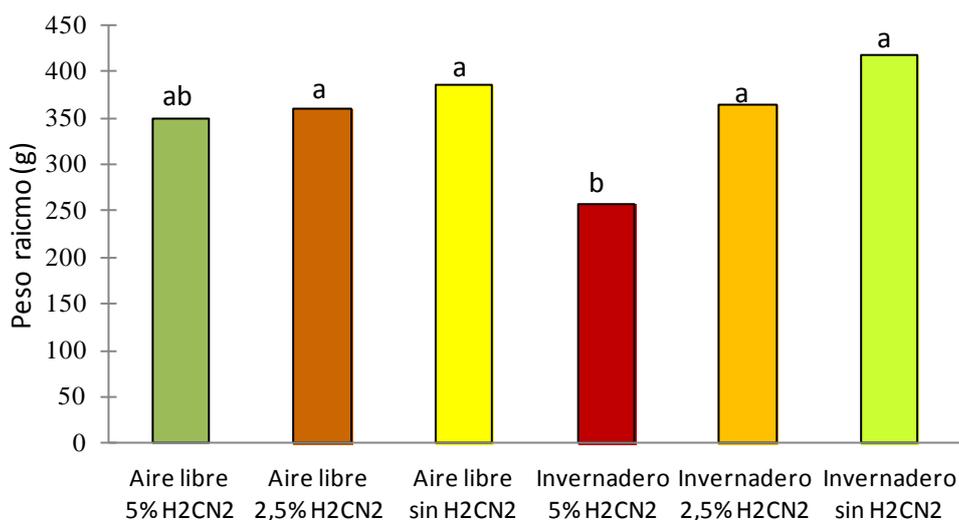


Figura 19. Peso del racimo en cada tratamiento.

En lo que respecta al peso de la baya, en el cuadro 10 se aprecia la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos. El peso de la baya fue similar en todos los tratamientos. Los valores obtenidos estuvieron en torno a los 2-3 g (Fig. 20) y se corresponden con lo esperado para esta variedad.

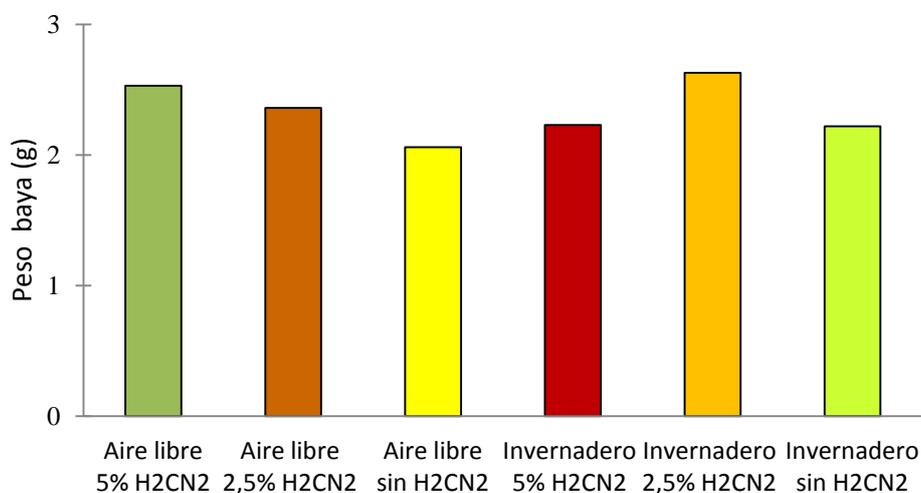


Figura 20. Peso de la baya en cada tratamiento.

El hecho de que se obtuvieran cosechas comerciales similares en todos los tratamientos se debe a que el menor peso del racimo observado en algunos tratamientos fue compensado con un mayor número de los mismos y viceversa.

Los tratamientos situados al aire libre produjeron cosechas acordes al rendimiento esperado. Teniendo en cuenta que la plantación todavía no ha alcanzado su máximo potencial productivo cabría esperar unos 20.000 kg/ha, para lo que sería necesario obtener una media de 24,5 kg por parra. En el invernadero, las cosechas de los tratamientos 2,5% H₂CN₂ y sin H₂CN₂ estuvieron próximas a este valor (22,6 y 22,1 respectivamente). Sin embargo el tratamiento con una dosis del 5% de H₂CN₂ con un valor de 17,2 kg por parra estaría por debajo de la cosecha media necesaria para obtener el rendimiento esperado. La causa de esta menor cosecha no fue el número de racimos, ya que la cifra obtenida en el invernadero con 5% de H₂CN₂ fue de 66 racimos y, por tanto, está incluso por encima de la cantidad necesaria para conseguir una media de 24,5 kg por parra (serían necesarios 61,5 racimos por parra considerando un peso medio de racimo de 400 g). El motivo de que la combinación del cultivo en invernadero y una aplicación del 5% de H₂CN₂ proporcionaran la menor cosecha fue el reducido peso de los racimos en este tratamiento (258 g). Este peso es fruto de un menor número de bayas y no de un menor peso de las mismas, ya que todas presentaron pesos similares (en torno a los 2-3 g). Por lo tanto, la causa debe ser que las inflorescencias de las que procedían estos racimos resultaron ser las que menor número de botones florales presentaban (327 flores/inflorescencia, véase cuadro 5) en comparación con el resto de tratamientos y también las más pequeñas en tamaño. Tal y como se explicó anteriormente, las elevadas temperaturas registradas bajo plástico desde desborre hasta la aparición de la 3ª inflorescencia en el pámpano puedan ser el detonante principal de este menor número de flores por inflorescencia. Cabría pensar que el menor número de bayas por racimo se debió a un menor cuajado por problemas de índole climático dentro del invernadero. Sin embargo, el cuajado se ve favorecido por temperaturas moderadamente elevadas (Keller et al., 2005a) como las que se dan en invernadero, al igual que el desarrollo, la maduración y el peso de las bayas también se ven favorecidos por temperaturas crecientes (Winkler, 1974; Lakso y Kliewer, 1975; Keller et al., 2005)..

De todas formas, a pesar de este bajo peso de racimo, según la relación de categorías establecidas por la UE en el reglamento (CE) nº 1221/2008 de la comisión de 5 de diciembre de 2008 en lo que atañe a las normas de comercialización de uva de mesa, los racimos obtenidos en el tratamiento cultivo en invernadero 5% de H₂CN₂ estarían considerados como categoría 1ª (peso medio mínimo: 250 g). Los racimos del resto de tratamientos serían considerados de categoría extra (peso medio mínimo: 300g), aunque el mercado exige racimos más grandes (400-600 g).

Por otro lado, el mayor peso de los racimos del tratamiento invernadero sin H_2CN_2 respecto al resto de tratamientos fue consecuencia de que este tratamiento fue el que mostró el menor número de racimos.

En experiencias anteriores a ésta, Navarro (2003) y Morata (2004) observaron igualmente que en invernadero el peso medio del racimo era menor al obtenido al aire libre. En ambos casos, indicaron que la causa era un menor número de bayas, ya que el número medio de racimos por parra no se veía afectado. Todos los indicios apuntaban a que el menor número de bayas estaba motivado por un menor número de botones florales en anthesis, y no a un menor cuajado o un aclareo más intenso, algo que vendría a corroborarse en este trabajo.

A pesar de la evidente pérdida de producción obtenida en el tratamiento invernadero 5% de H_2CN_2 habría que considerar que ésta podría compensarse con el mayor precio a percibir en el mercado, teniendo en cuenta que este tratamiento proporcionó la cosecha más precoz (2 de junio). La recolección en el tratamiento invernadero 2,5% de H_2CN_2 se realizó el 9 de junio y el día 21 de junio en el tratamiento invernadero sin aplicación de H_2CN_2 . A pesar de los mayores rendimientos en cosecha obtenidos al aire libre, la recolección de la uva en todos los tratamientos fue mucho más tardía que en invernadero. La madurez de los racimos al aire libre se alcanzó en la misma fecha en todos los tratamientos (8 de julio) independientemente de la aplicación o no de cianamida de hidrógeno y de la dosis empleada. Esta fecha de cosecha coincide con la caída de precios en el mercado como consecuencia del aumento de la oferta.

Son numerosas las experiencias que si bien documentan una mejora de la precocidad bajo cubierta plástica también hablan de pérdidas importantes de producción (Antonacci, 1986; Manzo y Ruggieri, 1986; Di Lorenzo y Sottile, 1995; Di Lorenzo y Sottile, 1995; Novello et al., 1998; Di Lorenzo et al., 1999; Novello, 2000; Colapietra y Amico, 2000; Cicala y Malfa 2001). En los trabajos de Navarro (2003) con cultivo semiforzado con plástico y Morata (2004), con un invernadero dotado únicamente de ventilación lateral, se obtuvieron cosechas precoces pero éstas fueron de cantidades muy inferiores a las obtenidas al aire libre. En este trabajo estos efectos negativos en la cosecha del invernadero ya no son tan significativos. Uno de los principales motivos es que el microclima del invernadero (sobre todo en lo relativo a temperaturas) fue más adecuado para el desarrollo del cultivo que el generado en años anteriores. Las figuras que se exponen a continuación ilustran esta situación. La figura 21 muestra el régimen de temperaturas diarias del periodo que abarca la brotación y la floración de las parras del tratamiento invernadero con un 5% de H_2CN_2 . De ella se desprende que ningún día se rebasó la temperatura de 30°C. Es a partir de 30-32°C cuando el crecimiento se ralentiza y hacia los 38°C cuando se detiene (Buttrose, 1969b; Buttrose, 1970; Lakso y Kliewer, 1975; Baldini, 1992; Reynier, 2002; Sánchez y Dokoozlian, 2005; Kadir, 2006). Las temperaturas mínimas estuvieron comprendidas entre los 5-10°C hasta principios de marzo, a partir de este

momento este rango de temperaturas se situó entre los 10-15°C. Este régimen de temperaturas estaría dentro del rango óptimo de crecimiento y desarrollo del aparato vegetativo. Keller et al. (2005) han constatado además que breves episodios de calor durante el período de brotación bastan para estimular energícamente el crecimiento vegetativo de la vid y de forma menos acusada su ciclo reproductivo. Tanto es así que, como se apuntaba en párrafos anteriores, el menor número de botones florales por inflorescencia observados en el invernadero puede deberse a la fuerte competencia que se establece entre el crecimiento vegetativo y el reproductivo.

Teniendo esto último en cuenta, cabe plantearse la necesidad de mejorar el régimen de temperaturas en el periodo de desborre-floración (disminuir las temperaturas máximas y atenuar el salto térmico diario) para no afectar al número de flores por inflorescencia.

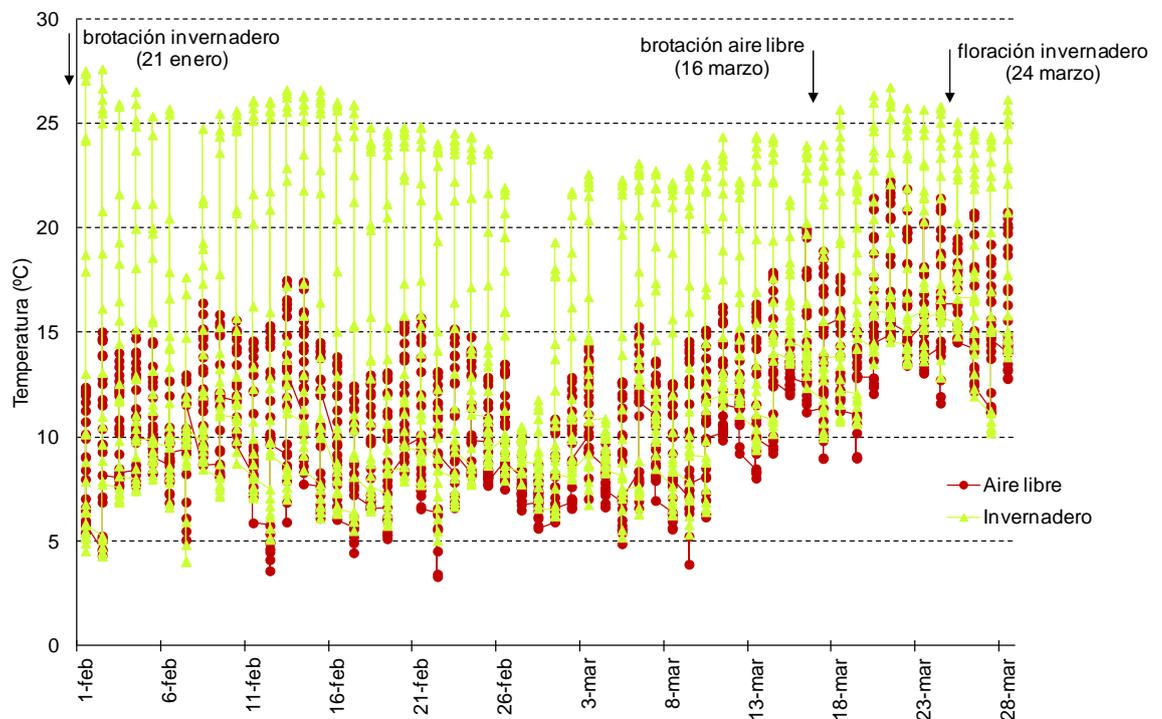


Figura 21. Temperaturas diarias del periodo comprendido entre la brotación y la floración de las parras del tratamiento invernadero 5% H_2CN_2 .

La figura 22 muestra el régimen de temperaturas diarias del periodo comprendido entre la floración y la recolección de las parras del tratamiento invernadero con un 5% de H_2CN_2 . Tan solo en tres días se rebasó la temperatura umbral de 30°C (días 9, 20 y 31 de mayo) y uno de esos días, el 20 de mayo, es el día en que el invernadero permaneció completamente cerrado porque se realizó el ensayo de distintos niveles de ventilación. En general, el régimen térmico en el invernadero fue muy similar al obtenido al aire libre y estuvo dentro del óptimo para el crecimiento, desarrollo y maduración de los racimos, de ahí que no se observaran efectos del cultivo en invernadero sobre ningún componente de cosecha. Solo varía la

amplitud térmica, que es mayor durante la maduración, lo que favorece el color de la baya en variedades rojas como es el caso.

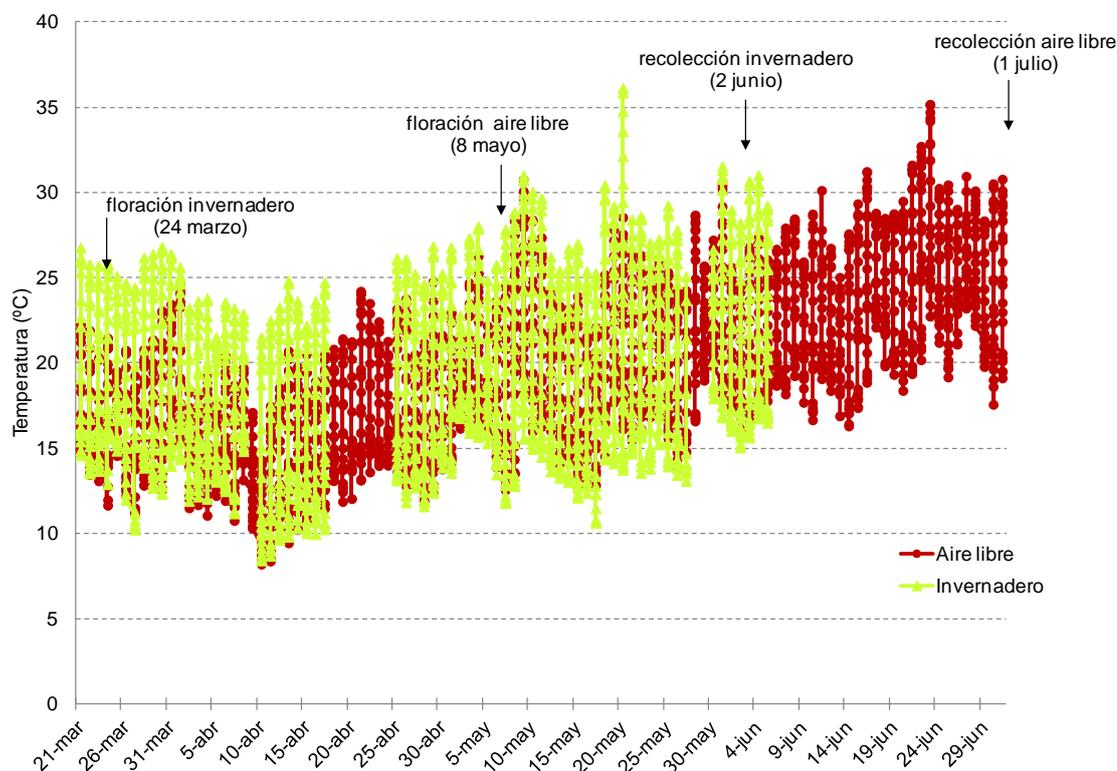


Figura 22. Temperaturas diarias del periodo comprendido entre la floración y la recolección de las parras del tratamiento invernadero 5% H_2CN_2 .

Para finalizar este apartado resulta conveniente recordar que el objetivo general de este ensayo es conseguir cultivar uva de mesa en un invernadero para obtener una cosecha precoz sin comprometer la productividad y la calidad. Del análisis global de los resultados se desprende que este objetivo se consiguió con la dosis del 2,5% de H_2CN_2 . Aunque inicialmente los resultados de brotación apuntaron a la dosis del 5% de H_2CN_2 como la mejor, posteriormente los datos de cosecha y de peso de racimo obtenidos con este tratamiento fueron peores a los obtenidos con la dosis del 2,5%.

El tratamiento invernadero 5% de H_2CN_2 modificó notablemente la fenología de las parras y adelantó la recolección más de un mes (36 días) respecto a los tratamientos situados al aire libre. Esta precocidad justificaría la elección de la dosis del 5% como la más adecuada. Sin embargo, como se ha dicho, el nivel de cosecha estuvo por debajo del obtenido con el resto de tratamientos (17,2 kg) y el peso del racimo también resultó inferior (categoría 1ª vs. categoría extra). En cambio, la dosis del 2,5% de H_2CN_2 en invernadero proporcionó resultados similares a los obtenidos con la dosis del 5% en lo que respecta a la brotación y fertilidad y además, los resultados de rendimiento de cosecha y calidad de racimos fueron mejores. La madurez de los racimos en este tratamiento se alcanzó una semana más tarde que en

el tratamiento con la dosis del 5% de H_2CN_2 (como consecuencia de una brotación menos homogénea). Cabría valorar si esta diferencia en precocidad supondría una diferencia en precio tan significativa como para decantarse por la dosis del 5%.

Sin la aplicación de H_2CN_2 en el invernadero no fue posible conseguir una cosecha tan precoz como las anteriores. El adelanto respecto a los tratamientos ubicados al aire libre fue de tan solo 18 días. Este resultado fue consecuencia de una brotación tardía y heterogénea provocada, a su vez, por un déficit de frío invernal. Además se acentuó la acrotonía de la vid y el porcentaje de brotación fue inferior al 50%, algo que puede comprometer futuras cosechas. Por consiguiente, la aplicación de H_2CN_2 en invernadero resulta esencial para obtener una cosecha precoz y niveles de producción adecuados.

Ante la reciente prohibición del uso de H_2CN_2 en vid, será necesario experimentar con otros productos alternativos que compensen la falta de frío invernal y favorezcan una más temprana, rápida y homogénea salida del reposo.

4.2. EFECTO DE DIFERENTES NIVELES DE VENTILACIÓN SOBRE EL MICROCLIMA DEL INVERNADERO Y SOBRE LA FISIOLOGÍA DE LA PLANTA.

El último de los objetivos de este trabajo fue determinar el efecto de diferentes niveles de ventilación sobre el microclima del invernadero y sobre la fisiología de la planta. De esta manera se pudo establecer una adecuada estrategia de ventilación en el invernadero usado, un invernadero tipo parral, que inicialmente está diseñado para albergar a cultivos hortícolas.

Para poder determinar la mejor configuración de ventilación, se realizó un ensayo en el que se compararon diferentes niveles de ventilación. Para ello se seleccionaron tres días del mes de mayo (17, 18 y 20), momento en que las plantas se encontraban en el periodo de floración-verano. Estos días se escogieron lo más próximos posible para tener condiciones de clima similares. En el primer día todas las ventanas (cenitales y laterales) permanecieron completamente abiertas. En el segundo día, solo se abrieron las dos ventanas laterales. En el último día se mantuvieron cerradas todas las ventanas del invernadero.

4.2.1 Influencia del régimen de ventilación en el microclima del invernadero.

Los parámetros de clima exterior correspondientes a los tres días de ensayo muestran la similitud entre los dos primeros días de medida, cuando el invernadero presentaba las ventanas abiertas (Cuadro 11). Esta semejanza entre ambos días se produjo incluso para la velocidad y dirección de viento, parámetros de especial importancia por tener un efecto significativo sobre la tasa de ventilación (Cuadro 11). En el tercer día, cuando se mantuvo el invernadero completamente cerrado, el clima

exterior fue también similar a los días anteriores, salvo en la temperatura que resultó ser más elevada y en la humedad relativa que fue más baja, proporcionando así valores de DPV mayores (Cuadro 11).

Cuadro 11. Parámetros del clima exterior correspondientes a los tres días de medida.

Día	T ¹	Temperatura del aire (°C)			Humedad Relativa (%)			Déficit presión vapor (DPV) (kPa)			Velocidad Viento (ms ⁻¹)			Dirección del viento (°)		
		Media	Max	Min	Media	Max	Min	Media	Max	Min	Media	Max	Min	Media	Max	Min
17 mayo	L-C ²	18,1	22,4	12,1	45,3	66,8	29,5	1,2	1,8	0,5	3,3	7,2	0,2	195,6	358,0	0
18 mayo	L ²	20,3	25,6	13,9	40,3	70,0	23,3	1,5	2,5	0,5	2,3	4,8	0,1	154,1	357,0	6
19 mayo	No ²	21,9	28,8	14,9	28,9	53,7	15,5	1,9	3,3	1,0	2,2	6,0	0,0	235,8	357,0	0

¹T: tratamiento

²L-C: Ventilación lateral y cenital; L: ventilación lateral; No: sin ventilación

Los datos de radiación global (Fig. 23) reflejan como los primeros dos días estuvieron completamente despejados, mientras que en el tercer día hubo una cobertura parcial de nubes hasta el mediodía solar. Sin embargo, este tercer día las ventanas del invernadero permanecieron cerradas, por tanto, el intercambio de aire con el exterior fue muy bajo y limitado a la infiltración del invernadero, de acuerdo a lo descrito por López et al. (2000) para estructuras tipo parral. A mediodía y por la tarde, el cielo se despejó, por lo que los valores de radiación fueron similares a los de los días anteriores, de forma que las medidas pudieron ser comparadas.

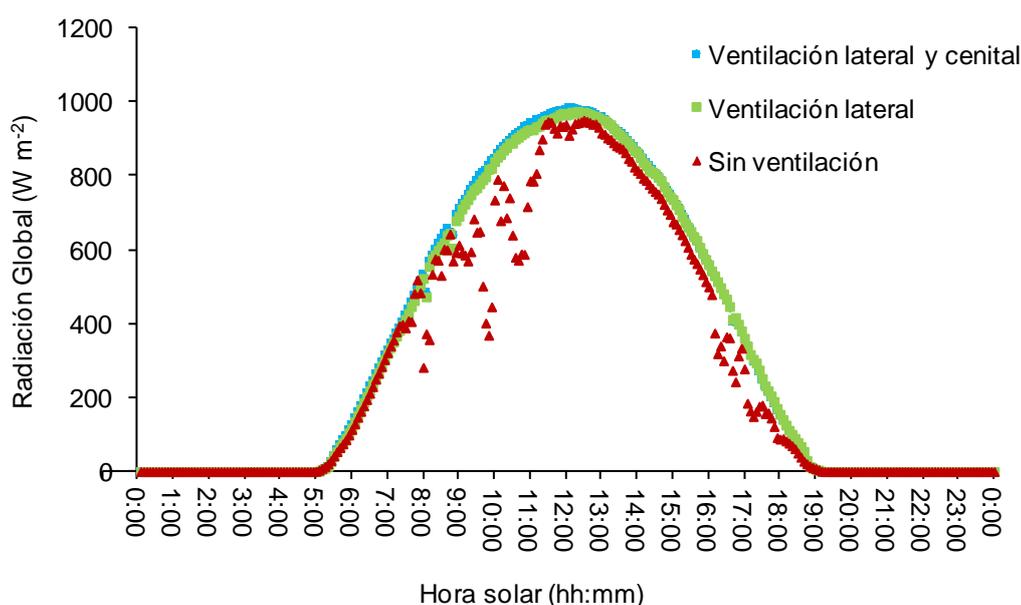


Figura 23. Radiación global (W m⁻²) al aire libre durante los tres días de medida.

Como era de esperar, la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del invernadero (salto térmico) fue menor con la combinación de ventilación lateral y cenital (Fig. 24). Con esta configuración los valores máximos de salto térmico (al mediodía) no superaron los 4°C. Estos resultados coinciden con los observados en trabajos previos realizados en invernaderos tipo parral, en los que la apertura conjunta de ventanas laterales y cenitales proporcionó los valores más altos de intercambio de aire por ventilación natural frente a la apertura única de ventanas laterales o de ventanas cenitales (Pérez-Parra et al., 2004). La evolución de los valores de salto térmico interior-externo correspondientes a la configuración en que solamente se abrieron las ventanas laterales muestra en general un comportamiento semejante al obtenido con la configuración anterior pero con valores más fluctuantes sobre todo desde primeras horas de la mañana hasta el mediodía. Este hecho indica que el flujo de ventilación establecido en el invernadero con ventilación lateral es menos homogéneo que el conseguido con ventilación lateral y cenital combinada (Pérez-Parra et al., 2004). Con la configuración de ventilación lateral se obtuvieron valores de salto térmico interior-externo de hasta 6°C durante las horas centrales del día (Fig. 24). En invernaderos comerciales de mayor anchura que el invernadero experimental (distancia entre ventanas laterales ≥ 45 m) se producen saltos térmicos más elevados en el centro del invernadero si solamente se abren las ventanas laterales. Esto se debe a la pérdida relativa de su contribución al intercambio de aire en comparación con las cenitales (Pérez-Parra et al., 2004). Por tanto, para mantener valores de temperatura aceptables dentro del invernadero, especialmente en primavera y verano, es aconsejable combinar ventilación lateral y cenital.

Cuando se mantuvieron las ventanas del invernadero completamente cerradas, los valores de salto térmico llegaron a ser de hasta 9°C, es decir, 5°C por encima de los valores obtenidos con la combinación de ventilación lateral y cenital (Fig. 24).

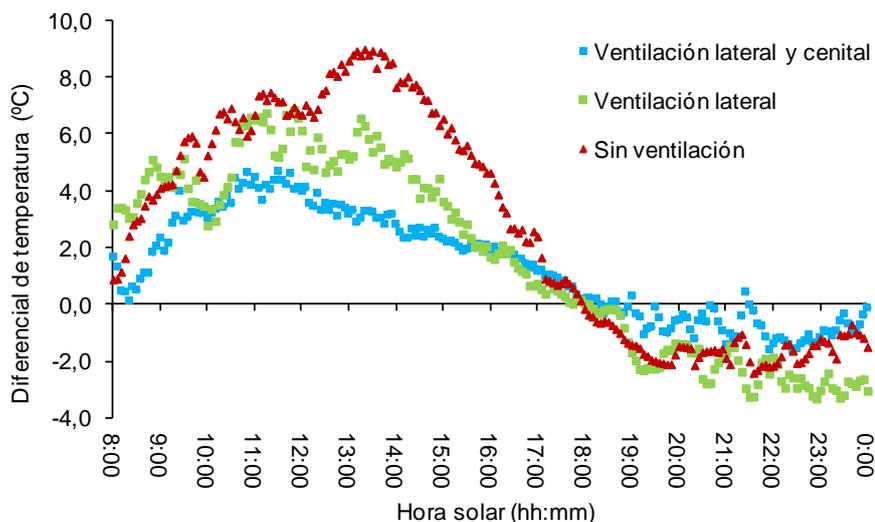


Figura 24. Evolución diaria de la diferencia de temperatura (°C) entre el exterior y el interior del invernadero correspondiente a las tres configuraciones de ventilación.

Debido a la disposición del dosel vegetal del cultivo, que en este caso es horizontal y se situó a 2 m de altura sobre el suelo, se consideró conveniente analizar la magnitud de la diferencia entre la temperatura superior e inferior a esta masa foliar. En las tres configuraciones estudiadas se observó un notable gradiente vertical de temperatura confirmando que la circulación de aire entre las dos zonas separadas por la masa foliar es más limitada que la que se produce con cultivos conducidos de forma vertical (la mayoría de cultivos hortícolas). Dicho gradiente iba incrementándose a lo largo de la mañana hasta alcanzar su máximo al mediodía, para descender a primeras horas de la tarde (Fig. 25). La combinación de ventilación lateral y cenital proporcionó el menor gradiente de temperatura. La diferencia de temperatura entre el volumen situado por encima del dosel vegetal del cultivo y el situado por debajo fue inferior a 6°C, lo que indica un intercambio de aire aceptable entre ambas zonas y entre éstas con el exterior. Por el contrario, con la configuración de ventilación lateral se obtuvieron las mayores diferencias (de hasta 10°C) entre ambas zonas separadas por la masa foliar (Fig. 25). El ambiente situado bajo las hojas era satisfactoriamente refrigerado por las ventanas laterales, pero el espacio sobre el dosel vegetal estaba mucho más caliente debido al pobre intercambio de aire entre ambas zonas. Además de la ventilación hay que considerar que el dosel vegetal actúa como pantalla de sombreado natural sobre la zona bajo las hojas reduciendo la temperatura. El tratamiento correspondiente al invernadero cerrado presentó un mejor resultado de gradiente vertical en comparación al tratamiento con ventilación lateral (8°C de máximo *vs.* 10°C) (Fig. 25). Este hecho es debido a que la estanqueidad del invernadero proporcionó una mayor homogeneidad de temperatura entre ambas zonas separadas por el dosel vegetal. Pero en ambas zonas las temperaturas fueron más elevadas que las obtenidas con la configuración lateral.

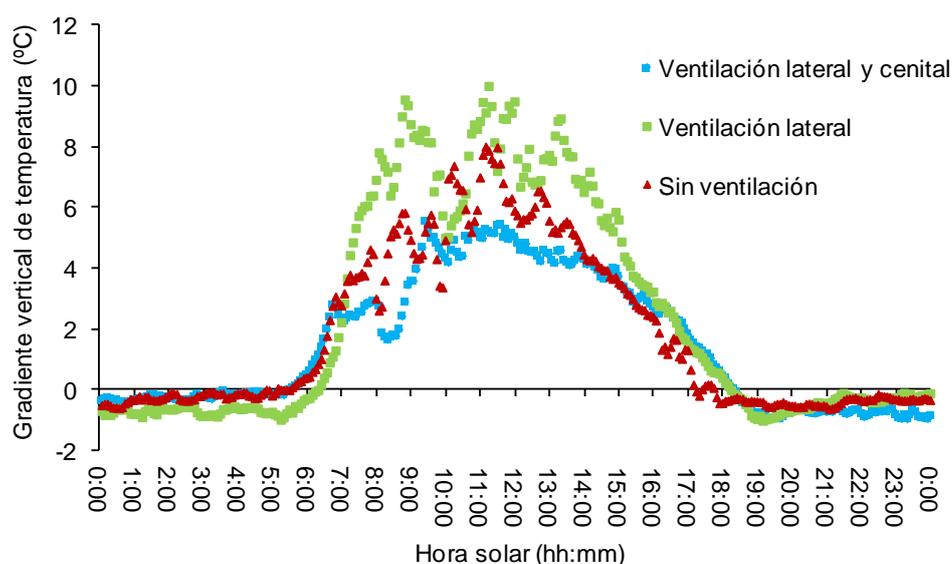


Figura 25. Evolución diurna del gradiente vertical de temperatura (°C) (diferencias de temperatura entre la parte superior e inferior del dosel vegetal del cultivo) para las tres configuraciones de ventilación estudiadas.

El régimen de ventilación afecta sobremanera a la evolución diurna del DPV (Fig. 26). Solamente la apertura conjunta de ventanas laterales y cenitales proporcionó valores de DPV que no excedieron de los 2 kPa, mientras que en las otras dos configuraciones (solamente ventilación lateral e invernadero cerrado) se alcanzaron valores próximos a 2,5 kPa. Además, se observó que durante las primeras horas de la mañana, los valores de DPV obtenidos con ventilación lateral eran incluso mayores que los obtenidos con el invernadero cerrado. Este hecho se debió a la mayor humedad relativa en el invernadero cerrado. Cuando la temperatura del plástico de cubierta del invernadero fue suficientemente baja, se produjo condensación y los valores de DPV se igualaron para ambas configuraciones. Por la tarde, de 14:00 horas solares (hs) a 18:00 hs el DPV también es mayor con la ventilación lateral, y de 20:00 hs a 0:00 hs el DPV es mayor con la configuración lateral y cenital.

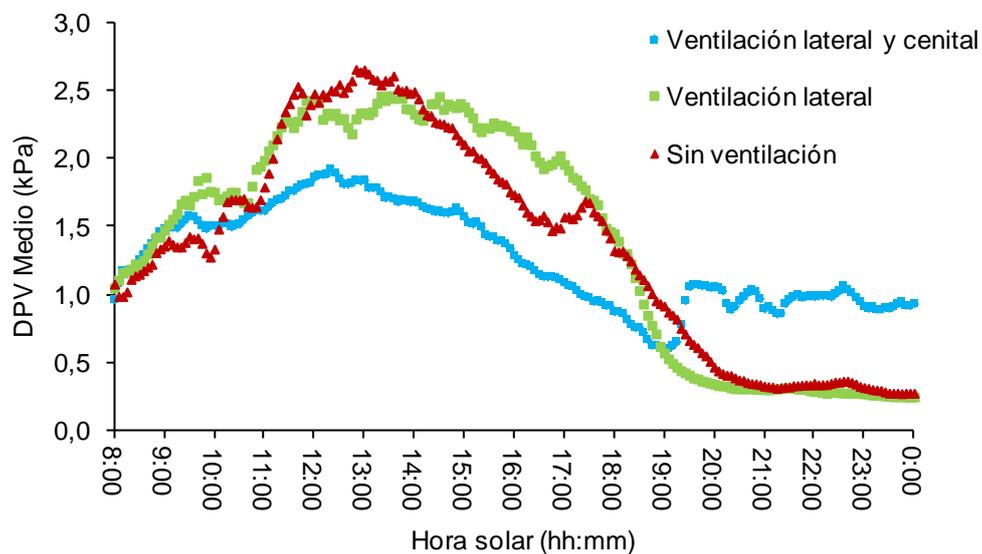


Figura 26. Evolución diurna del déficit de presión de vapor (DPV) (kPa) para las tres configuraciones de ventilación.

Hasta el momento, todos los parámetros climáticos analizados individualmente muestran que la configuración de ventilación lateral y cenital proporcionó el microclima más adecuado para el desarrollo del cultivo. Sin embargo, para poder confirmar esta conclusión será necesario analizar previamente los resultados obtenidos en lo que respecta a los parámetros fisiológicos de la planta.

4.2.2. Influencia del régimen de ventilación en la fisiología de la planta.

Durante el periodo diurno, las hojas disipan calor, es decir, se refrigeran principalmente gracias a la transpiración. Valores de temperatura de hoja inferiores o similares a la temperatura ambiental nos informan de que la tasa de transpiración es la adecuada y que el estado hídrico de la planta es bueno. La única configuración de

ventilación capaz de proporcionar tal condición fue la combinación de ventilación lateral y cenital (Fig. 27). Esta configuración fue, por tanto, la única capaz de provocar un flujo de aire que contribuyera a un intercambio convectivo aire-hoja eficiente para la refrigeración evaporativa de las hojas, evitando, por tanto, las situaciones de estrés. En las otras dos configuraciones, la temperatura de hoja se mantuvo por encima de la temperatura ambiente (Fig. 27), lo que indica que las hojas no podían refrigerarse lo suficiente mediante la transpiración. Los valores de temperatura de hoja en estos tratamientos (solo ventilación lateral e invernadero cerrado) estuvieron próximos a los 35°C y 40°C respectivamente. Con la configuración de ventilación lateral y cenital combinada, los valores rondaron los 25°C (datos no mostrados en la figura).

La bibliografía documenta que los óptimos de temperatura de hoja para fotosíntesis se suelen situar entre 25 y 35°C (Kriedemann y Smart, 1971). Por lo tanto, los valores de temperatura foliar obtenidos en la configuración de ventilación lateral y cenital resultarían adecuados, al igual que presumiblemente lo serían los valores de temperatura de hoja obtenidos en el tratamiento de ventilación lateral. Y esto a pesar de que las hojas no podían refrigerarse lo suficiente mediante la transpiración.

En experiencias previas, Morata (2004) en un invernadero dotado solamente de ventilación lateral también observó cómo la temperatura de la hoja en invernadero era considerablemente mayor que la temperatura ambiental en fechas similares a las aquí estudiadas. La temperatura máxima, obtenida a mediodía llegó a alcanzar los 35°C en los meses de abril, mayo y junio.

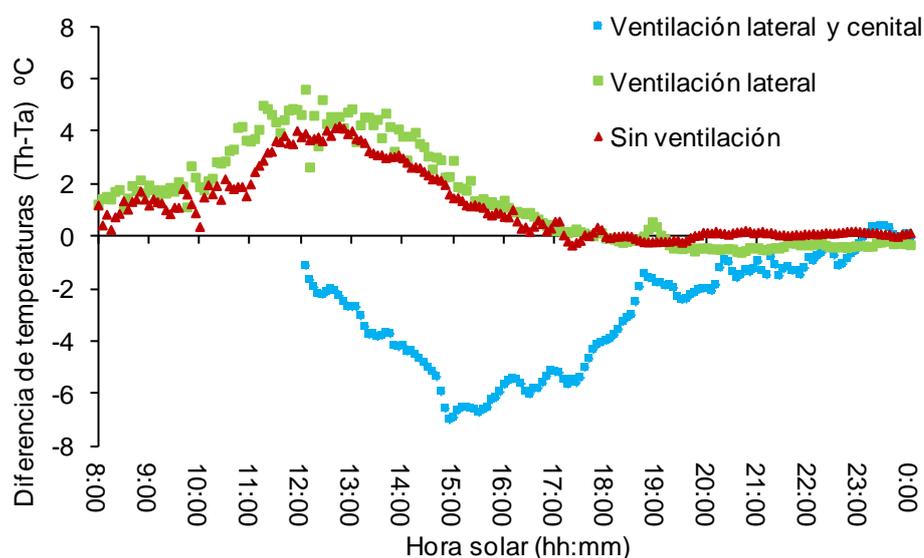


Figura 27. Evolución diaria de la diferencia entre la temperatura de la hoja (T_h) y la temperatura del ambiente (T_a), expresada en °C, para las tres configuraciones de ventilación.

La relación entre la diferencia de temperatura hoja-ambiente y el DPV corrobora que, en las configuraciones de solo ventilación lateral e invernadero cerrado, las hojas estaban por encima de la temperatura ambiente y no podían refrigerarse lo suficiente sea cual fuere el valor de DPV (Fig. 28). La relación entre el DPV y la diferencia de temperatura hoja-ambiente, en ambos casos, fue lineal. Sin embargo, para la ventilación combinada (lateral y cenital) se observaron dos comportamientos distintos. Para valores bajos de DPV, la refrigeración de la hoja aumentó a medida que lo hacía el DPV hasta que se alcanzó un valor umbral (de aproximadamente 1,5 kPa). Por encima de este valor, las hojas pierden eficiencia en la transpiración (refrigeración), y la diferencia de temperatura entre las hojas y el ambiente se hace menor (aunque permanece negativa para cualquier valor de DPV). Estos resultados muestran que un buen flujo de ventilación natural atravesando el cultivo favorece tanto la transpiración como el intercambio de calor convectivo hoja-ambiente, permitiendo una adecuada refrigeración del cultivo.

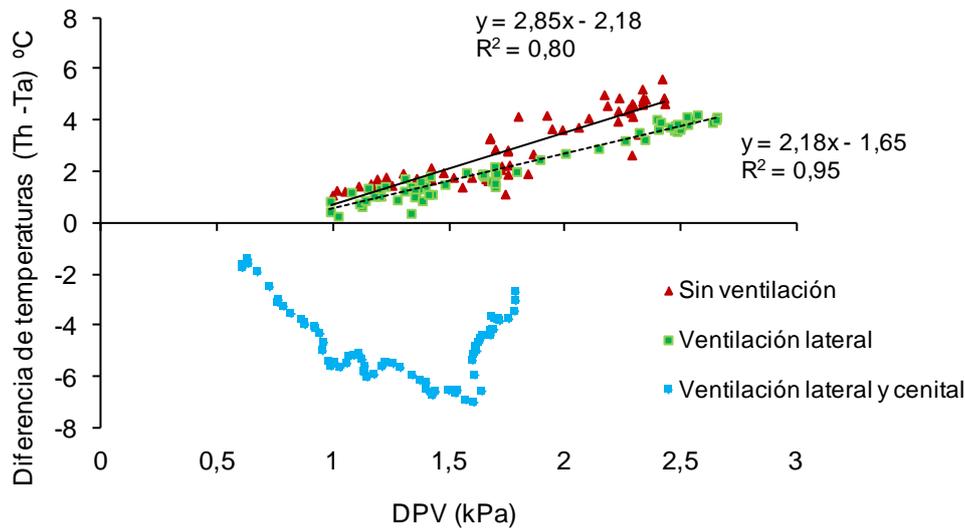


Figura 28. Relación entre la diferencia de temperatura hoja-aire (°C) y el DPV (kPa) para las tres configuraciones de ventilación estudiadas.

El comportamiento de la conductancia estomática a lo largo del día fue muy similar en todas las configuraciones de ventilación estudiadas (Fig. 29). El modelo diario de conductancia estomática observado en todas ellas obedece a un comportamiento normal y es semejante al descrito por Smart y Robinson (1991). Según estos autores la apertura estomática comienza al amanecer con muy bajas intensidades de luz, de tal forma que cuando se alcanzan los $0,20 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ los estomas están completamente abiertos. Este aumento que se produce a primeras horas de la mañana se debe principalmente a la luz (Düring y Loveys, 1996). A medida que avanza el día, la iluminación y la temperatura aumentan, y la humedad relativa desciende, provocando que la planta aumente el nivel de transpiración. Si en

estas condiciones la planta es incapaz de translocar el agua suficiente para cubrir unas necesidades crecientes, cerrará total o parcialmente los estomas. Avanzada la tarde, si las condiciones ambientales vuelven a ser propicias, la planta abrirá de nuevo sus estomas. Por último, al atardecer, como consecuencia de la caída de la luz, los estomas se cerrarán y permanecerán en esa situación durante toda la noche.

Las configuraciones de ventilación lateral y cenital conjunta y solo ventilación lateral reflejaron valores de conductancia estomática muy similares, sobre todo desde las 10:00 hs hasta las 16:00 hs (Fig. 29). A las 08:00 hs los estomas ya estaban completamente abiertos (valores de conductancia superiores a $0,20 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en ambas configuraciones. La ventilación conjunta arrojó un valor de $0,20 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y la ventilación lateral un valor superior de $0,31 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. A medida que avanzó el día, entre las 10:00 hs y las 12:00 hs, la conductancia estomática siguió proporcionando valores ligeramente por encima del umbral de apertura estomática, por lo que a estas horas los estomas permanecían abiertos permitiendo que las hojas transpiraran y realizaran la fotosíntesis. A partir del mediodía los valores de conductancia estomática fueron descendiendo hasta llegar a valores mínimos situados por debajo de los $0,10 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a las 16:00 hs. Esto refleja que los estomas se fueron cerrando en respuesta a niveles de radiación cada vez más bajos (Fig. 29).

Con el invernadero cerrado la conductancia estomática fue mayor a la observada en los anteriores tratamientos, excepto para las medidas obtenidas a las 8:00 hs y las 10:00 hs (Fig. 29). A las 8:00 hs el valor de conductancia fue de $0,26 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, indicando que los estomas estaban completamente abiertos al igual que ocurrió con las anteriores configuraciones. En cambio el valor de $0,22 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ correspondiente a las 10:00 hs se debió a la presencia de nubes que cubrían parcialmente el cielo (véase Fig. 23). Los altos valores de conductancia estomática obtenidos el resto de horas en este tratamiento de invernadero completamente cerrado (Fig. 29) están relacionados con valores elevados de temperatura y humedad relativa (Sepúlveda y Kliever, 1986; Fanizza y Ricciardi, 1991).

Ante un ascenso de temperatura, las plantas responden con un incremento en la transpiración medible en un ascenso en la conductancia estomática, para mediante este mecanismo refrigerar los tejidos y minimizar los efectos negativos del estrés térmico. Sin embargo, a pesar de los elevados valores de conductancia estomática observados en todos los tratamientos, ni el tratamiento de ventilación lateral ni el tratamiento sin ventilación pudieron procurar una transpiración suficiente que desencadenara una adecuada refrigeración de la planta (véase Fig. 27).

Sepúlveda y Kliever (1986) estudiaron el efecto del estrés térmico en 'Chenin Blanc', 'Cardinal' y 'Chardonnay' y observaron que los estomas de las hojas de la vid se abren a elevadas temperaturas. Fanizza y Ricciardi (1991) observaron en la variedad de uva de mesa 'Regina dei Vigneti' cultivada en un invernadero, que grandes diferencias de temperatura entre hojas y ambiente estimulan a los estomas a permanecer abiertos para promover el efecto de refrigeración evaporativa de las

hojas, reduciendo por tanto el daño térmico al tejido celular, algo que coincide con nuestros resultados.

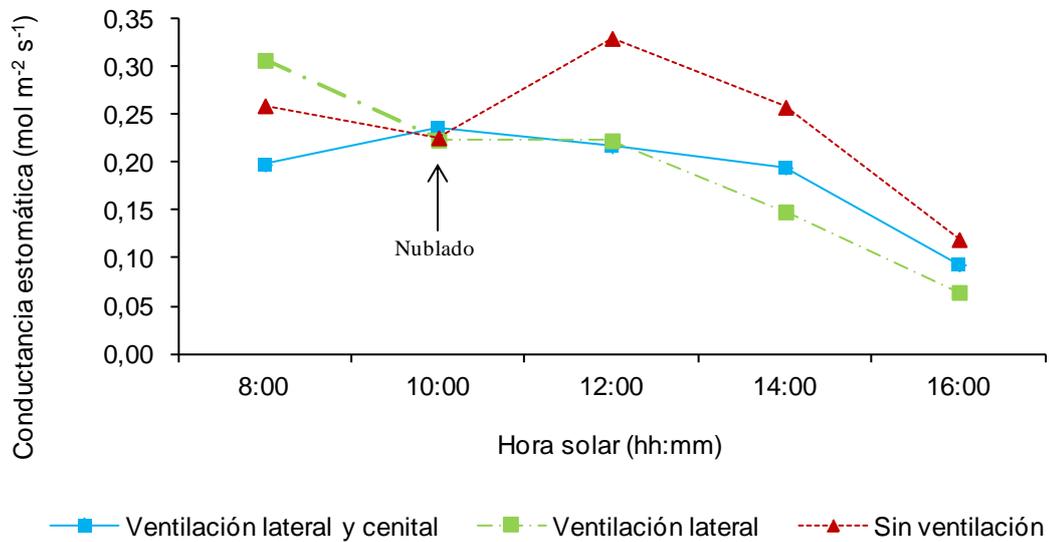


Figura 29. Conductancia estomática medida durante el día en los distintos tratamientos.

Por último, señalar como apreciación, la presencia de gotas perdidas de origen xilemático en los pámpanos, peciolo y nervadura de las hojas de manera más evidente en el invernadero que en el exterior. La aparición de estos exudados xilemáticos ha sido documentada en condiciones de elevada temperatura y humedad relativa y elevados ritmos de transporte xilemático (Mullins et al., 1992). Este fenómeno recibe el nombre de gutación (Imagen 19). Además, como algo anecdótico, apuntar que en los años previos a este trabajo, coincidiendo con que el invernadero no estaba dotado todavía de ventilación lateral y cenital conjunta, se pudo observar la aparición de raíces adventicias en bastantes sarmientos de las parras cultivadas en el invernadero (Imagen 20). Probablemente su aparición estaba muy relacionada con las condiciones de temperaturas y alta humedad relativa existentes en el invernadero. En años posteriores este fenómeno ha dejado de observarse.

Para finalizar, del análisis global de los resultados correspondientes a los parámetros fisiológicos se desprende que la mejor configuración fue la que combinó ventilación lateral y cenital. Esta conclusión la soportan fundamentalmente los valores de diferencia de temperatura hoja-ambiente y la relación de ésta con el DPV. Ambos parámetros muestran como la ventilación conjunta fue la única que proporcionó una adecuada refrigeración del cultivo.

Teniendo en cuenta la corta duración que tuvieron estos ensayos (un día cada tratamiento), sería conveniente mantener estas configuraciones de ventilación durante un periodo de tiempo más prolongado y así corroborar estos resultados.

Como consideración final, los resultados obtenidos en este trabajo ponen de manifiesto el éxito del cultivo de uva de mesa en este tipo de invernadero a pesar de que éste estaba inicialmente diseñado para albergar especies hortícolas. Aún así, sería conveniente diseñar un tipo de invernadero que proporcionase las características adecuadas para el cultivo de esta especie. Para su diseño sería conveniente contemplar que ofreciese versatilidad dada la posibilidad de adelantar o retrasar las cosechas en función de la fecha de cubierta.



Imagen 19. Gutación en un pámpano del invernadero.



Imagen 20. Raíces adventicias en un sarmiento del invernadero.

Capítulo 5. Conclusiones

En este capítulo se exponen las conclusiones más relevantes de este trabajo que son:

- 1) El cultivo en invernadero disminuyó significativamente la brotación de yemas. En las parras cultivadas bajo plástico se produjo la brotación del 59% de las yemas frente al 73% que lo hicieron al aire libre.
- 2) La cianamida de hidrógeno (H_2CN_2), en cambio, incrementó la brotación, de manera que el porcentaje de yemas brotadas fue mayor cuanto mayor fue la dosis aplicada. Aunque la H_2CN_2 produjo un aumento de la brotación al aire libre, su efecto fue mayor en invernadero.
- 3) La dosis del 5% de H_2CN_2 proporcionó los mejores resultados en cuanto a cantidad, uniformidad y adelanto de brotación en invernadero.
- 4) Ni el cultivo bajo plástico ni la H_2CN_2 afectaron a la fertilidad, ya que la mayoría de las yemas brotadas fueron portadoras de inflorescencias en toda circunstancia.
- 5) El tratamiento invernadero 5% de H_2CN_2 adelantó la recolección más de un mes (36 días) respecto a los tratamientos situados al aire libre. Sin embargo, el nivel de cosecha estuvo por debajo del obtenido con la dosis del 2,5% (17,2 vs. 22,6 kg/parra) y el peso del racimo resultó inferior (categoría 1ª vs. categoría extra).
- 6) El tratamiento invernadero 2,5% de H_2CN_2 proporcionó resultados similares a los obtenidos con la dosis del 5% en lo que respecta a la brotación y fertilidad. Además, los resultados de rendimiento de cosecha y calidad de racimos fueron mejores que los obtenidos con la dosis del 5%. La madurez de los racimos en este tratamiento se alcanzó una semana más tarde que en el tratamiento con un 5% de H_2CN_2 .
- 7) En el invernadero, la dosis del 2,5% de H_2CN_2 proporcionó los mejores resultados para obtener una cosecha precoz sin comprometer la productividad y la calidad.

8) Sin H_2CN_2 en invernadero no fue posible conseguir una cosecha tan precoz como las anteriores. El adelanto respecto a los tratamientos ubicados al aire libre fue de tan sólo 18 días. Este resultado fue consecuencia de una brotación tardía y heterogénea provocada, a su vez, por un déficit de frío invernal. Además se acentuó la acrotonía de la vid y el porcentaje de brotación fue inferior al 50%, algo que puede comprometer futuras cosechas.

9) Todos los parámetros climáticos analizados individualmente muestran que la configuración de ventilación lateral y cenital proporcionó el microclima más adecuado para el desarrollo del cultivo.

10) La única configuración que proporcionó una adecuada refrigeración del cultivo fue la que combinó ventilación lateral y cenital. Esta conclusión la soportan fundamentalmente los valores de diferencia de temperatura hoja-ambiente y la relación de ésta con el DPV.

Capítulo 6. Bibliografía

- Agustí, M. 2004. Fruticultura. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 493 pp.
- Alonso, F., Cuevas, J., Hueso, J.J., Marzo, B., Pérez, J.J. y Sánchez, A. 2006. La uva de Almería. Dos siglos de cultivo e historia de la variedad *Ohanes*. Ed. Caja Rural Intermediterránea - Fundación Cajamar. Almería. 214 pp.
- Alonso, F., Hueso, J.J. y Cuevas, J. 2002. Variedades apirenas de uva de mesa. Documentos técnicos. Ed. Caja Rural Intermediterránea. Almería. 11 pp.
- Alonso, F., Hueso, J.J., González, M. y Cuevas, J. 2010. Calculation of growing degree days for the management of 'Flame Seedless' table grape cultivated in a parral greenhouse. Book of abstract of the 28th International Horticultural Congress. Lisboa, Portugal, 715-715.
- Alonso, F., Hueso, J.J., González, M., Extremera, D. y Cuevas, J. 2005. El fenómeno de latencia en el cv. de uva de mesa 'Flame Seedless'. Efectos compensatorios de la cianamida de hidrógeno en la producción bajo abrigo. V Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas - IV Congreso Iberoamericano de Ciencias Hortícolas. Actas Portuguesas de Horticultura 6:338-343.
- Alonso, F., Hueso, J.J., Navarro, J.L. y Cuevas, J. 2003. Efectos de la cobertura plástica sobre la precocidad del cultivar de uva de mesa apirena 'Flame Seedless'. Actas de Horticultura 39:444-446.
- Antonacci, D. 1986. L'uva da tavola in coltura protetta. Frutticoltura 2:19-25.
- Antonacci, D., Ramos, J.C. y Dalla, J.E. 2000. Influence of the thermic availability on the phenological show of vine in the area of table grape production placed in the two hemispheres. Comparison with the table vine-growing from Argentine. En: 4th International Symposium on Table Grape, pp. 11. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. La Serena.
- Arora, R., Rowland, L.J. y Tanino, K. 2003. Induction and release of bud dormancy in woody perennials: A science comes of age. HortScience 38:911-921.

- Baldini, E. 1992. Arboricultura general. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 384 pp.
- Barceló, J., Nicolás, G., Sabater, B. y Sánchez, R. 2001. Fisiología Vegetal. Ed. Pirámide. Madrid. 566 pp.
- Ben Mohamed H., Vadel, M.A. y Khemira, H. 2010. Estimation of chilling requirement and effect of hydrogen cyanamide on budbreak and fruit characteristics of 'Superior Seedless' table grape cultivated in a mild winter climate. Pakis. J. Bot. 42:1761-1770.
- Behnke, H. 1992. Experience with the application of hydrogen cyanamide on fruit trees in Latin America. Acta Horticulturae 310:97-98.
- Boss, P.K. y Thomas, M.R. 2000. Tendrils, inflorescences and fruitfulness: a molecular perspective. Aust. J. Grape Wine Res. 6:168-174.
- Botelho, R.V., Pires, E.J. y Terra, M.M. 2006. Desenvolvimento de gemas férteis em videiras cv. Itália no estado de Sao Paulo. Bragantia, Campinas 65:297-302.
- Blouin, J. y Gimberteau, G. 2004. Maduración y madurez de la uva. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 151 pp.
- Buttrose, M.S. 1969a. Fruitfulness in grapevines: effects of light intensity and temperature. Botanical Gazette 130:166-173.
- Buttrose, M.S. 1969b. Vegetative growth of grapevine varieties under controlled temperature and light intensity. Vitis 8:280-285.
- Buttrose, M.S. 1970. Fruitfulness in grape-vines: the response of different cultivars to light, temperature and daylength. Vitis 9:121-125.
- Calò, A., Tomasi, D., Costacurta, A., Biscaro, S. y Aldighieri, R. 1994. The effect of temperature threshold on grapevine (*Vitis sp.*) bloom: an interpretative model. Riv. Vitic. Enol. 47:3-14.
- Cámara de Comercio Internacional (ICC). 2010. www.iccspain.org
- Capel, J. 1990. Climatología de Almería. Cuadernos monográficos 7. Ed. Instituto de estudios almerienses de la Diputación de Almería. Murcia. 160 pp.

- Cartabellotta, D., Di Lorenzo, R., Giuffrida, S. y Sottile, I. 1994. Ulteriori risultati sull'uso della hidrógeno-cianamida nella viticoltura da tavola. *Rivista di Frutticoltura* 10:61-65.
- Castilla, N. 2005. Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 462 pp.
- Chadha, K.L. y Shikhamany, S.D. 1999. The grape. Improvement, production and post-harvest management. Malhotra Publishing House. Nueva Delhi. 579 pp.
- Cheema, S.S., Torregrosa, L., Domergue, P. y Carbonneau, A. 1996b. Évolution de la différenciation inflorescentielle durant l'organogenèse des bourgeons latents de *Vitis vinifera* cv. Syrah. *Progrès Agricole et Viticole* 113:257-262.
- Cicala, A., La Malfa, S. y Sarraceno Meli, P. 2001. Survey of the protected cultivation industry of table grapes for earlier production in Sicily. *Acta Hort.* 559:55-60.
- Colapietra, M. 2004. L'uva da tavola. La coltura, il mercato, il consumo. Ed. Edagricole. Bologna. 382 pp.
- Colapietra, M. y Amico, G. 2000. Scelta varietale delle uve da tavola: avanzo le apirene precoci. *Frutticoltura* 3:18-26.
- Colapietra, M. y Cavuto, S. 1993. Prove di anticipazione dell'epoca di raccolta commerciale sull'uva da tavola cultivar "Cardinal". *L'informatore Agrario* 29:47-54.
- Coombe, B.G. 1976. The development of fleshy fruits. *Annual Review of Plant Physiology* 27:207-228.
- Coombe, B.G. 1992. Research on development and ripening of the grape berry. *American Journal of Enology and Viticulture* 43:101-109.
- Coombe, B.G. y Dry, P.R. 1998. *Viticulture. Volume 1. Resources.* Adelaide. Australia. 211 pp.
- Dennis, F.G. 2003. Problems in standarizing methods for evaluating the chilling requirements for the breaking of dormancy in buds of woody plants. *HortScience* 38:347-350.

- Di Lorenzo, R. y Sottile, I. 1995. La coltura protetta dell'uva da tavola per l'ampliamento del calendario di offerta. *Fruticultura* 5:19-25.
- Di Lorenzo, R., Giuffrida, S., Ferrante, S. y Collesano, G. 1999. Study on vegetative and productive behaviour of table grape cv. "Matilde" under greenhouse. *GESCO* 99:744-750.
- Dokoozlian, N.K., Ebisuda, N.C. y Neja, R.A. 1995. Chilling exposure and hydrogen cyanamide interact in breaking dormancy of grape buds. *HortScience* 30:1244-1247.
- Dokoozlian, N.K., Ebisuda, N.C. y Neja, R.A. 1998. Surfactants improve the response of grapevines to hydrogen cyanamide. *HortScience* 33:857-859.
- Dokoozlian, N.K. 2000. Plant growth regulator use for table grape production in California. En: 4th International Symposium on Table Grape. 122-136. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. La Serena.
- Dunn, G.M. y Martin, S.R. 2000. Do temperature conditions at budburst affect flower number in *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon? *Austral. J. Grape Wine Res.* 6:116-124.
- Düring, H. y Loveys, B.R. 1996. Stomatal patchiness of field grown of field grown Sultana leaves: diurnal changes and light effects. *Vitis* 35:7-10.
- Erez, A. 1995. Means to compensate for insufficient chilling to improve bloom and leafing. *Acta Hort.* 395: 81-95.
- Erez, A., Fishman S., Gat, Z. y Couvillon, G. A. (1988) Evaluation of winter climate for breaking bud rest using the dynamic model. *Acta Hort.* 232:76-89.
- Fanizza, G. y Ricciardi, L. 1991. The effect of vineyard overhead plastic sheet covering on some morphological and physiological characteristics in the table grape cv. Regina dei Vigneti (*Vitis vinifera* L.). *Agr. Med.* 121:239-243.
- Federación Española de Asociaciones de Productores y Exportadores de Frutas, Hortalizas, Flores y Plantas vivas. 2010. <http://www.fepex.es>
- Fundación Cajamar. 2011. Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2010/2011. Informes y monografías 35. 86pp

- Galet, P. 1980. A practical ampelography. Grapevine identification. 2nd edition. Cornell University Press. Londres. 248 pp.
- García de Luján, A. y Lara-Benítez, M. 1998. Variedades de uva de mesa en Andalucía. Monografías 20/98. Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla. 247 pp.
- Gerrath, J.M. 1992. Developmental morphology and anatomy of grape flowers. Hort. Rev.:315-337.
- Gil-Albert, F. 2006. Tratado de arboricultura frutal. Vol. 1. Aspectos de la morfología y fisiología del árbol frutal. 4^a Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 107 pp.
- González-Real, M.M. y Baille, A. 2006. Plant response to greenhouse cooling. Acta Hort. 719:427-438.
- Greaver, T.L. y Herbert, T.J. 2004. Heterogeneous reflected light influences asymmetry in leaf anatomy and gas exchange. Am. J. Bot. 91:1998-2003.
- Halaly, T., Pang, X., Batikoff, T., Crane, O., Keren, A., Venkateswari, J., Ogradovitch, A., Sadka, A., Lavee, S. y Or, E. 2008. Similar mechanisms might be triggered by alternative external stimuli that induce dormancy release in grape buds. Planta 228:79-88.
- Halaly, T., Zion, B., Arbel, A., Regev, R., Barak, M. y Or, E. 2011. Short exposure to sublethal heat shock facilitates dormancy release in grapevines. Am. J. Enol. Vitic. 62:106-112.
- Heywood, V.H. 1985. Las plantas con flores. Ed. Reverté. Barcelona. 332 pp.
- Hidalgo, L. 1999. Tratado de viticultura general. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 1172 pp.
- Hiroshi, W., Shackel, K.A. y Matthews, M.A. 2008. Fruit ripening in *Vitis vinifera*: apoplastic solute accumulation accounts for pre-veraison turgor loss in berries. Planta 227:1351-1361.
- Huglin, P. y Schneider, C. 1998. Biologie et écologie de la vigne. 2^a Edición. Ed. Lavoisier Tec & Doc. París. 370 pp.

- Jones, G.V. y Davis, R.E. 2000. Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. *Am. J. Enol. Vitic.* 51:249-261.
- Jones, J.E., Menary, R.C. y Wilson, F.J. 2009. Continued development of *Vitis vinifera* inflorescence primordia in winter dormant buds. *Vitis* 48:103-105.
- Kadir, S. 2006. Thermostability of photosynthesis of *Vitis aestivalis* and *V. vinifera*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 131:476-483.
- Keller, M., Mills, L.J., Tarara, J.M. y Ferguson, J.C. 2005. Effects of budbreak temperature on seasonal shoot and fruit growth in grapevines. *Acta Hort.* 689:183-188.
- Kriedemann, P.E. y Smart, R.E. 1971. Effects of irradiance, temperature and leaf water potential on photosynthesis of vine leaves. *Photosynthetica* 5:6-15.
- Lakso, A.N. y Kliewer, W.M. 1975. The influence of temperature on malic acid metabolism in grape berries. *Plant Physiol.* 56:370-372.
- Laguado, N., Marín, M., Arenas de Moreno, L., Araujo, F., Castro de Rincón, C. y Rincón, A. 2002. Crecimiento del fruto de guayaba (*Psidium guajaba*, L.) del tipo criolla roja. *Revista de la Facultad de Agronomía (Luz)* 19:273-283.
- Lancashire, P.D., Bleiholder, H., Van der Boom, T., Langeluddeke, P., Stauss, R., Webber, E. y Witzemberger, A. 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Ann. App. Biol.* 119:561-601.
- Lang, G.A., Early, J.D., Martin, G.C. y Darnell, R.L. (1987). Endo-, Para-, and Ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience* 22:371-377.
- Lavee, S., Erez, A. y Shulman, Y. 1977. Control of vegetative growth of grapevines (*Vitis vinifera* L.) with chloroethylphosphonic acid (Ethepon) and other growth inhibitors. *Vitis* 16:89-96.
- Lavee, S. y May, P. 1997. Dormancy of grapevine buds-Facts and speculation. *Aust. J. Grape. Wine Res.* 3: 31-46.

- Lebon, E., Pellegrino, A., Tardieu, F. y Lecoer, J. 2004. Shoot development in grapevine (*Vitis vinifera*) is affected by the modular branching pattern of the stem and intra- and inter-shoot trophic competition. *Ann. Bot.* 93:263-274.
- Luchsinger, L. 2008. Tecnología postcosecha de uva de mesa. II Curso Internacional de Tecnología Postcosecha y Procesado Mínimo Hortofrutícola. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena. Murcia.
- Manzo, P. 1976. Copertura con materie plastiche, per anticipare la maturazione dell'uva 'Cardinal' e per ritardare la raccolta dell'uva 'Italia'. *Vignevini* 11-12:21-24.
- Manzo, P. y Ruggieri, L.M. 1986. Prime prove di forzatura dell'uva da tavola precoce "Matilde". *Colture protette* 3:47-52.
- Martínez, A. y Carreño, J. 1988. Variedades de uva de mesa sin semilla. Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca. Hojas Divulgadoras 5/88. Murcia. 27 pp.
- Martínez, I. y Serrano, L. 1991. El portainjerto, esencial para el cultivo de la vid. Consejería de Agricultura y Cooperación de la Comunidad de Madrid. Madrid. 83 pp.
- Martínez de Toda, F. 1991. Biología de la vid. Fundamentos biológicos de la viticultura. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 346 pp.
- May, P. 2000. From bud to berry, with special reference to inflorescence and bunch morphology in *Vitis vinifera* L. *Aust. J. Grape. Wine Res.* 6:82-98.
- Mc Artney, S.J. y Ferree, D.C. 1999. Root and cane pruning affect vegetative development, fruiting, and dry-matter accumulation of grapevines. *HortScience* 34:617-621.
- Mc Intyre, G.N., Kliewer, W.M. y Lider, L.A. 1987. Some limitations of the degree day system as used in viticulture in California. *Am. J. Enol. Vitic.* 39:128-132.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2010. Anuario de estadística. <http://www.magrama.es/es/estadistica/temas/anuario-de-estadistica>
- Montague, T., Hellman, E. y Krawitzky, M. 2008. Comparison of greenhouse grown, containerized grapevine stomatal conductance measurements using two differing

- porometers. Proceedings of the 2nd Annual National Viticulture Research Conference. University of California, Davis. 58:59.
- Morata, J. 2004. Optimización del cultivo bajo plástico de la variedad de uva de mesa apirena 'Flame Seedless'. Seguimiento estacional de la temperatura de hoja, conductancia estomática y fotosíntesis. Proyecto fin de carrera. Universidad de Almería. 98 pp.
- Morinaga, K. 2001. Grape production in Japan. En: Grape production in the Asia-Pacific Region (M.K. Papademetriou y F.J. Dent, eds.), pp. 38-52. F.A.O. Corporative Document Repository. Bangkok. 104 pp.
- Morris, J.R., Cawthon, D.L., Spayd, S.E., May, R.D. y Bryan, D.R. 1980. Prediction of 'Concord' grape maturation and sources of error. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105:313-318.
- Mullins, M.G., Bouquet, A. y Williams, L.E. 1992. Biology of the grapevine. Cambridge University Press. Cambridge. 239 pp.
- Navarro, J.L. 2003. Mejora de la precocidad de uvas apirenas tempranas mediante su cultivo forzado: respuesta productiva de "Sugraone" y "Red Flame". Proyecto fin de carrera. Universidad de Almería. 120 pp.
- Navarro, S., León, M., Roca-Pérez, L., Boluda, R., García-Ferriz, L., Pérez-Bermúdez, P. y Gaviria, I. 2008. Characterisation of 'Bobal' and 'Crujidera' grape cultivars, in comparison with 'Tempranillo' and 'Cabernet Sauvignon': evolution of leaf macronutrients and berry composition during grape ripening. Food Chemistry 108:182-190.
- Novello, V. 2000. Use of plastic sheet covering to advance ripening and to delay harvesting of table grape. En: 4th International Symposium on Table Grape, pp:167-178. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. La Serena.
- Novello, V., de Palma, L. y Tarricone, L. 1998. Viticultura da mensa in coltura protetta: influenza di due materiali di copertura sul parametri microambientali, data di raccolta e caratteristiche produttive. Revista di frutticoltura 11:57-60.
- Novello, V., de Palma, L. y Tarricone, L. 1999. Influence of cane girdling and plastic covering on leaf gas exchange, water potential and viticultural performance of table grape cv. Matilde. Vitis 38:51-54.

- Novello, V., de Palma, L. Tarricone, L. y Vox, G. 1997. Effect of different plastic sheet coverings on microclimate and berry ripening of table grape cv. "Matilde". Int. Sci. Vigne Vin 34:49-55.
- Oliveira, M. 1998. Calculation of budbreak and flowering base temperatures for *Vitis vinifera* cv. Touriga Francesa in the Douro region of Portugal. Am. J. Enol. Vitic. 49:74-78.
- Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV). 2011. World statistics. 9th General Assembly of the OIV. Oporto. <http://www.oiv.com>
- Or, E., Nir, G. y Vilozy, I. 1999. Timing of hydrogen cyanamide application to grapevine buds. Vitis 38:1-6.
- Or, E., Vilozy, I., Fennell, A., Eyal, Y. y Ogrudovitch, A. 2002. Dormancy in grape buds: isolation and characterization of catalase cDNA and analysis of its expression following chemical induction of bud dormancy release. Plant Science 162:121-130.
- Palma, B.A. y Jackson, D.I. 1981. Effect of temperature on flower initiation in grapes. Botanical Gazette 142:490-493.
- Pérez Parra J.J., Baeza, E., Montero, J.I. and Bailey, B.J. 2004. Natural ventilation of 'Parral' greenhouses. Biosystems Engineering 87:89-100.
- Pérez, F.J. y Lira, W. 2005. Possible role of catalase in post-dormancy bud break in grapevines. J. Plant Physiology 162:301-308.
- Pérez, F.J., Rubio, S. y Ormeño-Núñez, J. 2007. Is erratic bud-break in grapevines grown in warm-winter areas related to disturbances in mitochondria respiratory capacity and oxidative metabolism?. Funct. Plant Biol. 34:624-632.
- Pérez, F.J., Ormeño-Núñez, J., Reynaert, B. y Rubio, S. 2008. Use of the dynamic model for the assessment of winter chilling in a temperate a subtropical climatic zone of Chile. Chilean Journal of Agricultural Research 68:198-206.
- Pérez, F.J., Vergara, R. y Or, E. 2009. On the mechanism of dormancy release in grapevine-buds: a comparative study between hydrogen cyanamide and sodium azide. Plant Growth Regul. 59:145-152.

- Peppi, M.C., Fidelibus, M.W. y Dokoozlian, N. 2006. Abscisic acid application timing and concentration affect firmness, pigmentation, and color of 'Flame Seedless' grapes. *HortSci*. 41:1440-1445.
- Pinto, M., Lira, W., Ugalde, H. y Pérez, F. 2003. Fisiología de la latencia de las yemas de vid: hipótesis actuales. Universidad de Chile. 16 pp. <http://www.gie.uchile.cl>
- Pires, E.J.P., Pommer, C.V., Terra, M.M., Passos, I.R.S. 1999. Effects de la cyanamide de calcium et de la cyanamide hidrogené sur la levee de dormance des bourgeons, le debourrement et la productivité du cepage Niagara Rosé dans la region de Jundiai, Etat du Sao Paulo, Brésil. *Bulletin de l'OIV* 72:456-485.
- Pouget, R. 1981. Action de la température sur la différenciation des inflorescences et des fleurs durant les phases de pré-débourrement et de post-débourrement des bourgeons latents de la vigne. *Connaissance de la Vigne et du Vin* 15:65-79.
- Reglamento (CE) nº 1221/2008 de la comisión de 5 de diciembre de 2008. *Diario Oficial de la Unión Europea*. 13/12/2008. L 336:1-80.
- Reynier, A. 2002. *Manual de viticultura*. 6ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. Barcelona. 497 pp.
- Rives, M. 2000. Vigor, pruning, cropping in the grapevine (*Vitis vinifera* L.). I. A literature review. *Agronomie* 20:79-91.
- Roldán, M. y Martínez, J.M. 2003. Floración y su control ambiental. En: *Fundamentos de Fisiología Vegetal*, pp. 451-464. Ed. McGraw-Hill Interamericana. Madrid.
- Royo, J.B., Laquidain, M.J., González, J. y Molina, A. 2000. Daños y síntomas producidos en la vid por accidentes meteorológicos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 86 pp.
- Sanjuán, J.F. 2007. Detección de la superficie invernada en la provincia de Almería a través de imágenes Aster. FIAPA, Almería.
- Saure, M. C. 1985. Dormancy release in deciduous fruit trees. *Hort. Rev.* 3:239-299.
- Sánchez, L. 1992. Use of hydrogen cyanamide in deciduous fruit trees in Chile. *Acta Horticulturae* 310:123-126.

- Sánchez, L.A. y Dokoozlian, N.K. 2005. Bud microclimate and fruitfulness in *Vitis vinifera* L. Am. J. Enol. Vitic. 56:319-329.
- Schiedeck, G. 1996. Ecofisiologia da videira e qualidade da uva "Niagara Rosada" conduzida sob estufa de plástico. Proyecto fin de carrera. 112 pp. Universidade Federal do Rio Grande, Brasil.
- Schurr, U., Walter, A. y Rascher, U. 2006. Functional dynamics of plant growth and photosynthesis -from steady-state to dynamics -from homogeneity to heterogeneity. Plant, Cell and Environment 29:340-352.
- Sepúlveda, G. y Kliewer, M. 1986. Stomatal response of three grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.) to high temperature. Am. J. Enol. Vitic. 37: 44-52.
- Shiozaki, S., Miyagawa, T., Ogata, T., Horiuchi, S. y Kawase, K. 1997. Differences in cell proliferation and enlargement between seeded and seedless grape berries induced parthenocarpically by gibberellin. Journal of Horticultural Sciences 72:705-712.
- Shirazi, A.M. 2003. Standardizing methods for evaluating the chilling requirements to break dormancy in seeds and buds (including geophytes): introduction to the workshop. HortScience 38: 334-335.
- Shulman, Y., Nir, G., Fanberstein, L. y Lavee, S. 1983. The effect of cyanamide on the release from dormancy of grapevine buds. Scientia Horticulturae 19:97-104.
- Shulman, Y., Nir, G. y Lavee, S. 1986. Oxidative processes in bud dormancy and the use of hydrogen cyanamide in breaking dormancy. Acta Hort. 179:141-148.
- Smart, R. y Robinson, M. 1991. Sunlight into wine: a handbook for winegrape canopy management. Winetitles, Adelaide, Australia. 88 pp.
- Srinivasan, C. y Mullins, M.G. 1980. Effect of temperature and growth regulators on formation of anlagen, tendrils and inflorescences in *Vitis vinifera* L. Ann. Bot. 45:439-446.
- Tomasi, D., Calò, A., Costacurta, A., Biscaro, S. y Sansone, L. 1994. Studio della dinamica delle fenofasi nella *Vitis vinifera* L.: Interazione genotipo x condizioni termiche. Italus Hortus 1:62-70.

- Usero, A. 2007. Caracterización del ciclo anual de cv. de uva de mesa 'Flame Seedless' (*Vitis vinifera*, L.) en invernadero. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Almería. 96 pp.
- Vasconcelos, R., Pozzobom, A., Paioli, E., Monteiro, M. y Lopes, M. 2007. Effects of chilling and garlic extract on bud dormancy release in Cabernet Sauvignon grapevine cuttings. *Am. J. Enol. Vitic.* 58:402-404.
- Vergara, R., Rubio, S. y Pérez, J.F. 2012. Hypoxia and hydrogen cyanamide induce bud-break and up-regulate hypoxic responsive genes (HRG) and VvFT in grapevine-buds. *Plant Mol. Biol.* 79:171-178.
- Vidaud, J., Charmont, S. y Wagner, R. 1993. Le raisin de table. Centre Technique interprofessionnel des fruits et légumes. Ed. Lavoisier Tec & Doc. París. 264 pp.
- Vincent, G. 2006. Leaf life span plasticity in tropical seedlings grown under contrasting light regimes. *Ann. Bot.* 97:245-255.
- Westwood, M. 1982. Fruticultura de zonas templadas. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 464 pp.
- Wicks, A.S., Jonson, J.O., Bracho, E., Jensen, F.L., Neja, R.A., Lider, L.A. y Weaver, R.J. 1984. Induction of early and more uniform budbreak in *Vitis vinifera* L. cvs. "Perlette", "Flame Seedless" and "Thompson Seedless" grapes with hydrogen cyanamide. pp. 48-58. En: Proceedings of bud dormancy in grapevine: Potential and practical use of hydrogen cyanamide on grapevine. University of California, Davis.
- Williams, D.W., H.L. Andris, R.H. Beede, D.A. Luvisi, M.V.K. Norton y Williams, L.E. 1985. Validation of a model for the growth and development of the Thompson Seedless grapevine. II. Phenology. *Am. J. Enol. Vitic.* 36:283-289.
- Winkler, A.J. 1949. Maturity test for table grapes. The relation of heat summation to time of maturing and palatability. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 295-298.
- Winkler, A.J. 1974. Viticultura. C.E.C.S.A. México D.C. 792 pp.
- Wittwer, S.H. y Castilla, N. 1995. Protected cultivation of horticultural crops worldwide. *HortTech.* 5:6-23.

- Zelleke, A. y Kliewer, W.M. 1989. The effects of hydrogen cyanamide on enhancing the time and amount of budbreak in young grape vineyards. *Am. J. Enol. Vitic.* 40:47-51.
- Zeppelin - BASF. 1998. Uso de Dormex en viñas. Departamento Técnico BASF Chile S. A. <http://www.basfagro.com>

