

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL



TRABAJO MONOGRÁFICO

**FACTORES ENDÓGENOS QUE CONTROLAN EL
CRECIMIENTO DEL BROTE Y LA FLORACIÓN
DEL NÍSPERO JAPONÉS (*Eriobotrya japonica* Lindl.)
cv. 'Algerie' EN RESPUESTA AL RIEGO
DEFICITARIO.**

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN HORTOFRUTICULTURA Y
JARDINERÍA.

Alumno:

Joaquín Jiménez Jiménez
González.

Director:

Julián Cuevas

Almería, Junio 20

Agradecimientos

En primer lugar darle las gracias a Julián Cuevas González, director del proyecto, por ayudarme a poner en buen puerto dicho proyecto y por dar respuesta a las infinitas preguntas planteadas, así como por los conocimientos aportados y los buenos ratos pasados juntos. Gracias por todo Julián.

Gracias a la Fundación Cajamar “Las Palmerillas” por haberme permitido realizar este proyecto en sus instalaciones; en especial quiero dar las gracias a Juan José, Mónica, Paqui, Alexia, Virginia, Marisa, José Luis, Laura... por resolver mis dudas y problemas, además de los buenos ratos pasados juntos.

Agradecerle al Departamento de Hidrogeología y Química Analítica de la Universidad de Almería y en especial a M^a del Mar Gómez Ramos y Amadeo Rodríguez Fernández-Alba, así como, a Nilda Ersoy y Öner Tatli del Laboratorio de Control de Izmir (Turquía) por la colaboración prestada para ayudar a resolver algunas de las cuestiones del proyecto.

Gracias a todos esos amig@s y compañer@s de carrera que han hecho que estos años en Almería hayan sido tan buenos e inolvidables. Sin haberos conocido esto no hubiese sido lo que ha sido y seguirá siendo.

No puedo olvidarme de mi familia, entre ellos mis padres gracias a los cuales este proyecto es una realidad, sin su ayuda, esfuerzo y consejos no llegaría a ser quien ahora soy; estos agradecimientos son escasos para lo que les debo y se merecen. Gracias José Ignacio y Jesús por apoyarme en los malos y buenos momentos.

No me puedo olvidar de ti Inma, la persona que día tras día “siempre ha estado conmigo”, apoyándome en este y otros momentos.

GRACIAS A TODOS POR CONTRIBUIR A QUE ESTO SEA UNA REALIDAD

INDICE

1. Interés y objetivos

1.1 Origen y Distribución	11
1.2 Interés del cultivo en España y en el Mundo.....	12
1.3 Economía del cultivo	14
1.4 Problemática del cultivo.....	19
1.5 Objetivos.....	21

2. Revisión bibliográfica

2.1 Origen y Taxonomía del níspero japonés.....	23
2.2 Ecología y morfología del níspero japonés.....	26
2.3 Ciclo anual del cultivo.....	32
2.4 Fase vegetativa del níspero japonés.....	35
2.5 Crecimiento del brote	37
2.6 Reposo de la yema y su regulación hormonal.....	43
2.6.1 Regulación hormonal del reposo.....	46
2.7 Fase reproductiva del níspero japonés.....	49
2.4.1 Salida del reposo.....	49
2.4.2 Transición a flor.....	50
2.8 Riego deficitario controlado.....	54

3. Materiales y métodos

3.1 Descripción de la parcela de ensayo.....	58
3.2 Climatología de la parcela de ensayo.....	58
3.3 Descripción del suelo.....	59
3.4 Material vegetal.....	60
3.5 Diseño experimental y tratamientos.....	63
3.6 Parámetros.....	65
3.6.1 Crecimiento del brote.....	65
3.6.2 Balance hormonal.....	68

4. Resultados

4.1 Año 2009.....	77
4.1.1 Crecimiento del brote.....	77
4.1.2 Emisión de hoja nueva en un brote modelo.....	78
4.1.3 Reposo.....	79
4.2 Año 2010.....	81
4.2.1 Crecimiento del brote.....	81
4.2.2 Emisión de hoja nueva en un brote modelo.....	83
4.2.3 Longitud del brote.....	86
4.2.4 Crecimiento de la hoja.....	87
4.2.5 Reposo del brote. Establecimiento, duración y salida.....	91
4.3 Balance hormonal.....	95
4.3.1 Año 2009.....	95
4.3.2 Año 2010.....	98

5. Discusión

5.1 Dinámica de crecimiento vegetativo del brote.....	102
5.2 Reposo.....	107
5.3 Balance hormonal.....	109

6. Conclusiones

6. Conclusiones.....	115
----------------------	-----

7. Bibliografía

7. Bibliografía.....	118
----------------------	-----

8. Anejos

8.1 Tratamientos fitosanitarios.....	127
8.2 Plan de fertilización anual.....	128
8.3 Dotación de riego.....	129
8.4 Análisis de agua.....	130
8.5 Análisis de suelo.....	131

Relación de figuras

1. Interés y objetivos

Figura 1. Distribución mundial del cultivo del níspero japonés.

Figura 2. Distribución por países de la superficie mundial y producción mundial de níspero japonés.

Figura 3. Representación de las zonas de cultivo del níspero según fechas de recolección para floración el 15 de noviembre.

Figura 4. Evolución de la superficie y producción dedicada al cultivo de níspero japonés en España.

Figura 5. Superficie y producción dedicada al cultivo de níspero japonés en Andalucía.

Figura 6. Evolución y comparativa de precios entre níspero japonés, manzana y melocotón.

Figura 7. Evolución de la producción y de los precios del níspero japonés durante la campaña 2008/2009.

Figura 8. Evolución de la producción y de los precios del níspero japonés durante los años 2005-2009.

2. Revisión bibliográfica

Figura 9. Níspero europeo (*Mespilus germanica*).

Figura 10. Origen y expansión del cultivo del níspero japonés por el mundo.

Figura 11. Árbol de níspero japonés injertado en membrillero de Provence.

Figura 12. Descamado del níspero japonés (*Eriobotrya japonica* Lindl).

Figura 13. Panícula de níspero japonés.

Figura 14. Polinización en níspero japonés.

Figura 15. Frutos de níspero partenocárpico triploides.

Figura 16. Representación del ciclo anual del níspero japonés.

Figura 17. Estados fenológicos tipo del níspero japonés.

Figura 18. Meristemo apical de un brote.

Figura 19. Meristemo apical de una raíz.

Figura 20. Fitómero de una planta.

Figura 21: Curvas de crecimiento del brote nuevo del níspero japonés de acuerdo a diferentes autores.

Figura 22. Esquema del probable mecanismo de acción de las auxinas y de las giberelinas en el crecimiento en longitud de los brotes.

3. Materiales y métodos

Figura 23. Vista aérea de la Estación Experimental de la Fundación Cajamar “Las Palmerillas”.

Figura 24. Abancalamiento de la parcela.

Figura 25. Árbol de níspero japonés cv. ‘Algerie’.

Figura 26. Distribución de la parcela y selección de árboles muestreados.

Figura 27. Formación en vaso del níspero japonés.

Figura 28. Etiquetado de los tratamientos RDC y Control.

Figura 29. Hoja en desarrollo, hoja joven y hoja adulta.

Figura 30. Medida del largo y ancho de una hoja.

Figura 31. Aspecto de la yema triturada.

Figura 32. Homogeneizado mediante vortex.

Figura 33. Equipo de extracción consistente en bomba de vacío y cartuchos de extracción SPE.

Figura 34. Centrifugadora y sedimentos obtenidos después de centrifugar.

Figura 35. pHmetro y ácido acético glacial (100%).

Figura 36. Diferentes vistas de la separación de fases: arriba las fitohormonas con el dietil-eter; abajo agua.

Figura 37. Evaporado del dietil-eter con nitrógeno.

Figura 38. Equipo de cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas.

4. Resultados

Figura 39. Evolución del número de hojas del brote en respuesta a los tratamientos de riego. Año 2009.

Figura 40. Evolución del número de hojas en un brote modelo. Tratamiento control; año 2009.

Figura 41. Fecha de entrada en reposo del brote. Tratamiento control; año 2009.

Figura 42. Duración en semanas del periodo de reposo del brote. Tratamiento control; año 2009.

Figura 43. Fechas de salida del reposo. Tratamiento control; año 2009.

Figura 44. Evolución del número de hojas en el brote en respuesta a los tratamientos de riego. Año 2010.

Figura 45. Evolución del número de hojas por brote en respuesta a los tratamientos de riego. Año 2010. Moda.

Figura 46. Evolución del número de hojas en un brote modelo. Tratamiento control. Año 2010.

Figura 47. Evolución del número de hojas en un brote modelo. Tratamiento RDC. Año 2010.

Figura 48. Análisis de la longitud del brote en RDC (azul) y en Control (rojo). Año 2010.

Figura 49. Evolución de la longitud de una hoja. Año 2010.

Figura 50. Evolución de la anchura de una hoja. Año 2010.

Figura 51. Evolución de la emisión de hoja en el brote del tratamiento control y RDC. Año 2010.

Figura 52. Dinámica de emisión de hoja nueva versus crecimiento de la hoja inferior. Año 2010; tratamiento RDC.

Figura 53. Ejemplos de una aparición escalonada de hojas nuevas en relación al crecimiento de la hoja inferior. Año 2010; tratamiento control.

Figura 54. Ejemplos de una aparición retrasada de hojas nuevas en relación al crecimiento de la hoja inferior. Año 2010; tratamiento control.

Figura 55. Entrada del reposo. Tratamiento control; año 2010.

Figura 56. Duración del reposo en semanas. Tratamiento control; año 2010.

Figura 57. Salida del reposo. Tratamiento control; año 2010.

Figura 58. Entrada del reposo. Tratamiento RDC; año 2010.

Figura 59. Duración del reposo en semanas. Tratamiento RDC; año 2010.

Figura 60. Salida del reposo. Tratamiento RDC; año 2010.

Figura 61. Cuantificación del nivel de GA₁₉. Año 2009.

Figura 62. Evaluación de la concentración de Ácido Abscísico. Año 2009.

Figura 63. Evaluación de la concentración de Zeatina. Año 2010.

Figura 64. Evaluación de la concentración de Ácido Abscísico. Año 2010.

Figura 65. Evaluación de la concentración de Ácido Salicílico. Año 2010.

5. Discusión

Figura 66. Esbozo gemario de níspero japonés.

Figura 67. Hipótesis sobre el balance hormonal que controla el reposo y la transición a flor.

❖ Relación de cuadros

Cuadro 1. Clasificación de la latencia y sus posibles términos.

Cuadro 2. Esquema comparativo de dos modelos que participan en la inducción floral de una planta anua/bienal y de las plantas perennes, enumerando factores decisivos en el proceso de inducción floral.

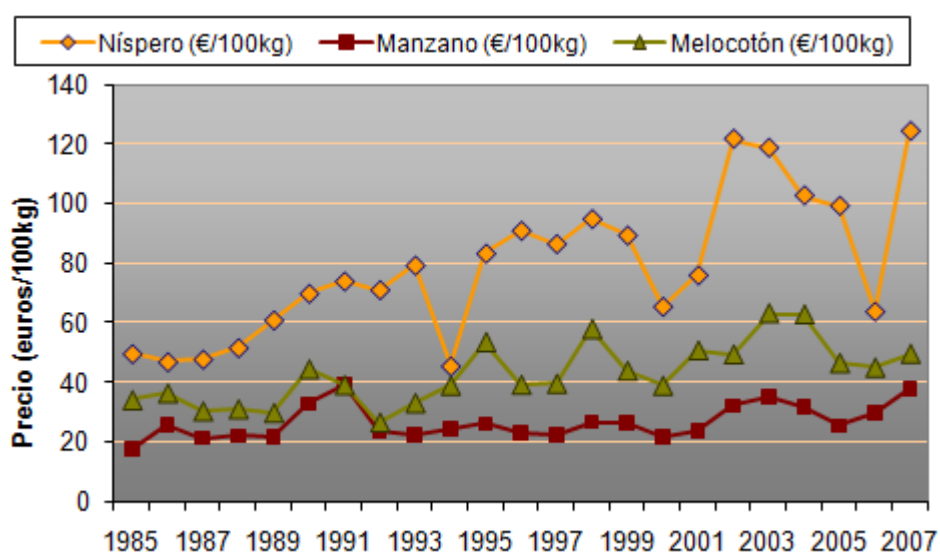
Cuadro 3. Estado de los brotes en las diferentes fechas y tratamientos.

Cuadro 4. Evolución del plastocrono (hojas/día).

Cuadro 5. Balance hormonal resultante que de acuerdo a la hipótesis de trabajo gobierna el estatus de la yema en diferentes fechas de muestreo

Cuadro 6. Calendario de tratamientos fitosanitarios en níspero japonés.

INTERÉS Y OBJETIVOS



1. Interés y objetivos

1.1 Origen y Distribución

El níspero japonés (*Eriobotrya japonica* Lindl) es una especie nativa de la región media y baja del río Dadu y de las montañas Gongga en el Sudeste de China (Badenes et al., 2009), del que existe evidencias de más de 2000 años de cultivo (Sima, 100 a.C. cit. por Lin et al, 2007). El níspero japonés pertenece a la familia Rosaceae, subtribu Pyrinae (anteriormente subfamilia Maloideae; Potter et al., 2007), y es por ello un frutal de pepita con fruto en pomo. El níspero es un frutal singular, tiene un carácter subtropical y es de hoja perenne, pero florece concentradamente en otoño, mientras que sus frutos se desarrollan durante el invierno y maduran en la primavera temprana (Llácer et al., 2002; Badenes et al., 2006). Aunque originario de China, el níspero llegó a Europa procedente de Japón. La entrada en Europa se realizó en el siglo XVIII inicialmente como árbol ornamental. Fueron los padres jesuitas, quienes lo llevaron desde Japón a Isla Mauricio y desde allí a Francia, al Jardín de las Plantas de París.

En el siglo XIX se inició el consumo de sus frutos en toda el área mediterránea, donde se adaptó muy bien a las zonas de cultivo de los cítricos (Calabrese, 2006). Aunque ya desde entonces, fue frecuente en jardines y huertos familiares, el cultivo intensivo no empezó a desarrollarse hasta finales de la década 1961-70, cuando comenzaron a implantarse las variedades y técnicas de cultivo actualmente utilizadas. La mayor parte de la producción de nísperos se comercializa para su consumo en fresco, aunque los frutos también se presentan en almíbar, y se elaboran mermeladas y zumos (Gisbert et al., 2007). La miel uniflora del níspero es muy apreciada en las zonas de cultivo (Llácer y Soler, 2001).

En España, fueron marinos mercantes los que introdujeron este cultivo en la zona de Sagunto hace unos 200 años. Desde allí, el níspero japonés se expandió por el Sudeste de la Península Ibérica (Rodríguez, 1983). La mayor difusión del níspero se ha realizado en la zona costera mediterránea, aunque algunas plantaciones dispersas se pueden encontrar en zonas del interior de la Península Ibérica.

En el mundo, el níspero se cultiva en áreas localizadas entre los paralelos 25° y 38° Norte y Sur, destacando países como China, Japón, India, Pakistán, Estados Unidos, Brasil, Venezuela, Australia y en países del Mediterráneo como Argelia, Marruecos, España, Italia, Turquía, Grecia, Israel y Portugal. A pesar de esta amplia distribución, este cultivo tiene mayor importancia en China, Japón y en el área mediterránea (Fig. 1).

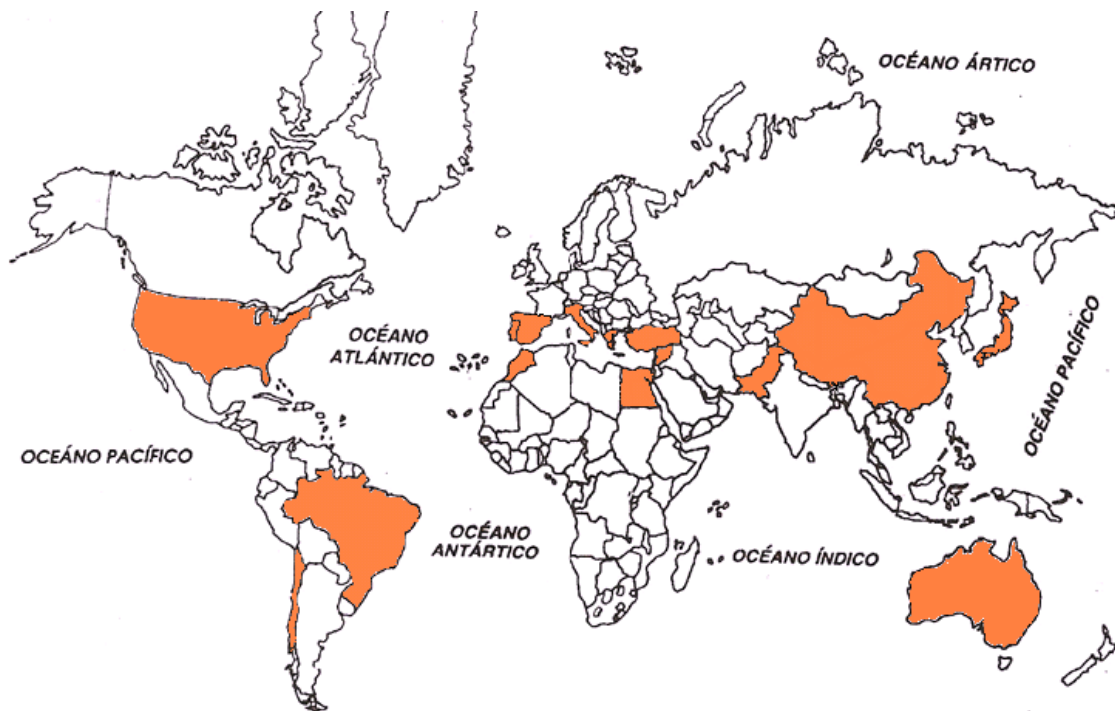


Figura 1. Distribución mundial del cultivo del níspero japonés. Elaboración propia.

1.2 Interés del cultivo en España y en el Mundo

Debido a los requisitos medioambientales del níspero, la producción principal en España está en mayor medida concentrada en el Levante, representando esta zona el 60% de la producción nacional. La provincia de Alicante es la principal productora, encontrándose entre los valles del río Algar y Guadalest su mayor producción. La segunda área de importancia nacional de este cultivo es Andalucía, que representa el 39% de la producción total en España. Las principales zonas de cultivo en Andalucía se localizan en Granada y Málaga.

Las variedades de mayor difusión en España son ‘Golden Nugget’, ‘Algerie’ ‘Tanaka’ y ‘Magdal’. En Andalucía, la variedad más importante del níspero japonés (80% de la producción) es ‘Golden Nugget’ procedente de California (Caballero y Fernández, 2004). El cultivar ‘Algerie’, que como su nombre indica es oriundo de Argelia (aunque obtenido por españoles), ofrece buenas características y representa con sus variaciones y mutaciones (‘Cardona’, ‘Buenet’, ‘Cayetana’, ‘Amadeo’), el 95% de la producción alicantina (Caballero y Fernández, 2004). El resto corresponde a ‘Golden Nugget’, ‘Magdal’, ‘Peluche’ y ‘Nadal’. ‘Tanaka’ era una variedad importante en el pasado, pero actualmente está en descenso, y apenas presente de modo importante en la provincia de Castellón, con frecuencia como cultivo asociado a los cítricos (Llácer et al., 2004). En Almería, es cultivado por su precocidad, buen tamaño y agradable sabor. ‘Tanaka’, de origen japonés, tradicionalmente cultivada en zonas de Sagunto (Valencia) y Segorbe (Castellón), es una variedad tardía, productiva, de buen tamaño y muy buenas características organolépticas (Martínez-Calvo et al., 2000). ‘Magdal’ es una variedad autóctona procedente de Andalucía, muy precoz, puede presentar problemas de heladas en estados iniciales del fruto; su fruto es considerado demasiado ácido (Martínez-Calvo et al., 2000).

El cultivo del níspero en España se realiza principalmente en huertos familiares con altas densidades de plantación, caracterizándose por el uso de riego por goteo. La producción es de alta calidad, de acuerdo con la demanda del mercado, lo cual requiere unas grandes inversiones. El coste de mano de obra representa el 66% de los costes totales del cultivo (Soler et al., 2007). Aunque algunos agricultores comercializan su propia producción, la mayoría de los productores están asociados mediante cooperativas. Los agricultores llevan el producto a las cooperativas ya clasificado y empaquetado. Una vez en las cooperativas en producto es examinado y reclasificado para cumplir con los estándares de calidad.

1.3 Economía del cultivo

El principal productor mundial de níspero japonés es China con 453.600 toneladas anuales y con una superficie de cultivo de 118.000 ha, que representan el 65% de la superficie mundial (Lin, 2007). En China, el aumento de la producción de níspero ha

sido exponencial desde 1970. Actualmente, el níspero se cultiva en 20 de las 32 provincias chinas, casi todas por debajo de la latitud 35° N. La provincia líder del cultivo del níspero en China es Sichuan. Las fechas de fructificación se extienden desde diciembre en el caso del cultivo bajo invernadero hasta julio ya al aire libre (Wang et al., 2007). Otros países con superficie de cultivo extensa son España, Japón, India y Pakistán, en el apartado de otros países podemos encontrar países como Turquía, Italia, Marruecos, Israel, Grecia, Brasil, Portugal o Chile (Lin, 2007) (Fig. 2).

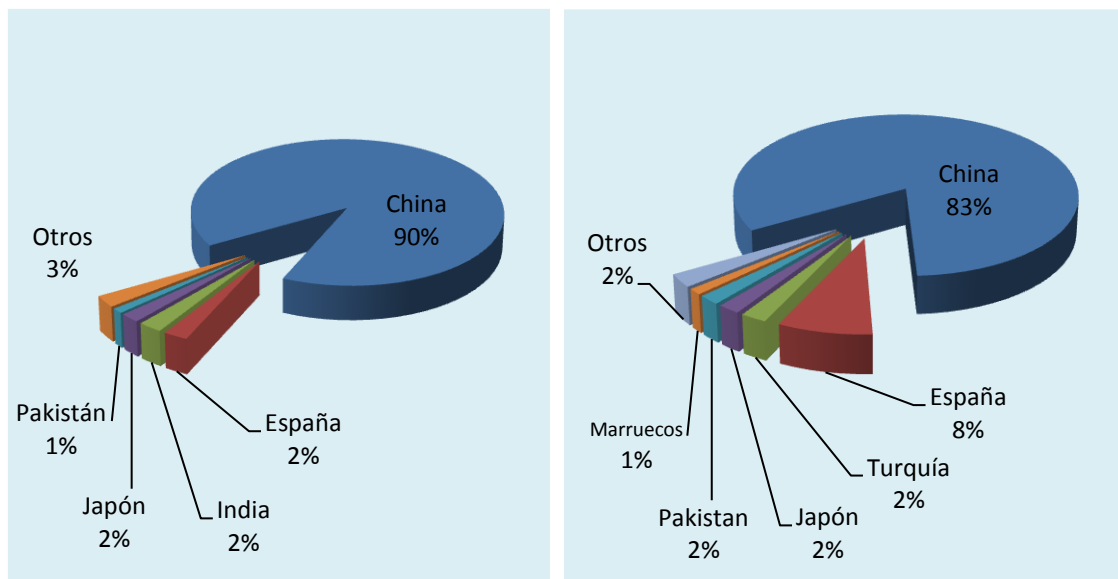


Figura 2. Distribución por países de la superficie mundial (derecha) y producción mundial (izquierda) de níspero japonés. Fuente: Lin (2007).

España es el segundo país productor después de China (Lin, 2007). Sin embargo, España realiza el 84% del comercio internacional. La comercialización internacional del níspero, no obstante, es muy baja, ya que sólo representa un 7,4% del total de la producción mundial (Caballero and Fernández, 2004). Hasta hace poco tiempo el níspero sólo era conocido en las regiones en las que se producía, y su difusión lejos de estas zonas era escasa debido a su poca resistencia al transporte. Sin embargo, a finales del siglo pasado, surgió un nuevo interés en España sobre este cultivo que contribuyó decisivamente al desarrollo del mercado internacional, sobre todo europeo. Actualmente el cultivo del níspero junto a otros cultivos subtropicales se presenta como una alternativa de diversificación de cultivos en zonas costeras donde el clima es más benigno para estos cultivos, entre estas zonas podemos destacar el campo almeriense, donde se producen los nísperos más precoces de España (Hueso et al., 2003).

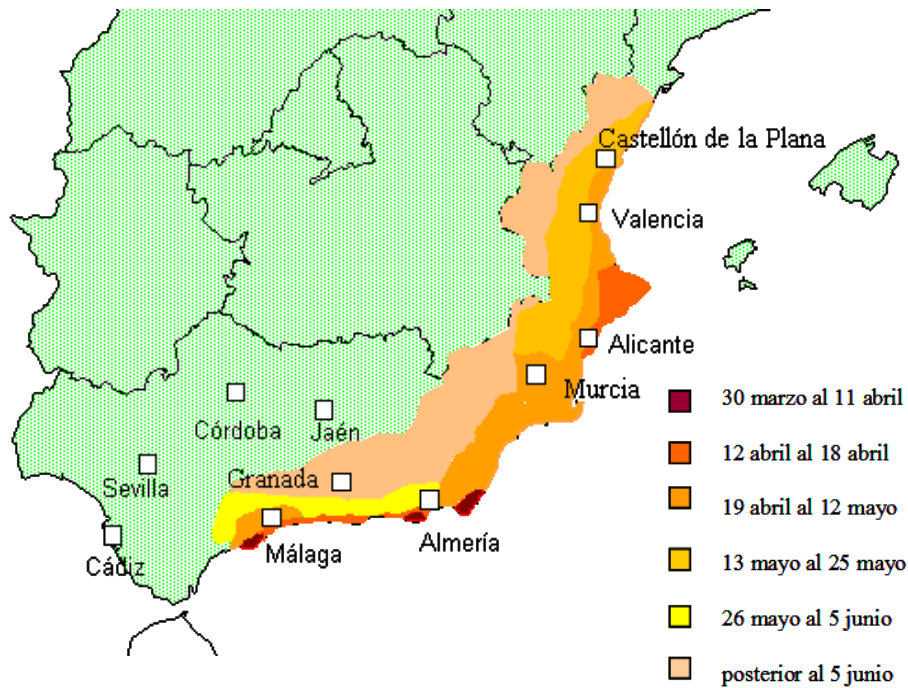


Figura 3. Representación de las zonas de cultivo del níspero según fechas de recolección para floración el 15 de noviembre. Fuente: Hueso et al. (2003).

La comercialización del níspero japonés en China se realiza en los denominados “free wet markets” o “mercados Nong-Mao”, mercados al aire libre en los que la relación productor-consumidor se desarrolla sin la necesidad de intermediarios. En los últimos años y debido a la notoriedad alcanzada por este comercio directo, la opción mayorista ha perdido relevancia. Un nuevo formato de comercio directo al por menor son los supermercados, que sustituyen en no pocas ciudades a los tradicionales mercados comunales. Esta práctica ha derivado en mejoras en la infraestructura destinada a la distribución del níspero y otros frutos. La estructuración de las cadenas comerciales, justifica en parte la inexistencia de datos estadísticos oficiales respecto a producción y precios del níspero en China (Beijing Seabridge Marketing, 2005). La previsible modernización de la cadena comercial china supondrá en el futuro una fuerte competencia a la producción española. Actualmente, el níspero japonés alcanza precios de hasta 10 yuan/kg (1.2 €/Kg) en China (Zheng et al., 2007).

En España la mayor parte del níspero se comercializa a través de cooperativas. Las exportaciones de España representan entre el 36 y el 47% de la producción total. A

pesar de que el níspero se exporta a muchos países, más del 80% de las exportaciones están destinadas a Italia, Portugal y Francia (Soler et al., 2007).

La superficie de producción de níspero japonés en España prácticamente se ha mantenido constante en los últimos años, aunque se observa un ligero descenso en los últimos años (Fig. 4). En el año 2005 se produjo un descenso muy acusado en la producción debido a las bajas temperaturas registradas durante el mes de febrero. La producción parece haberse recuperado algo en los últimos años, recuperándose algunas plantaciones que se abandonaron por el boom turístico y residencial en los alrededores de Benidorm.

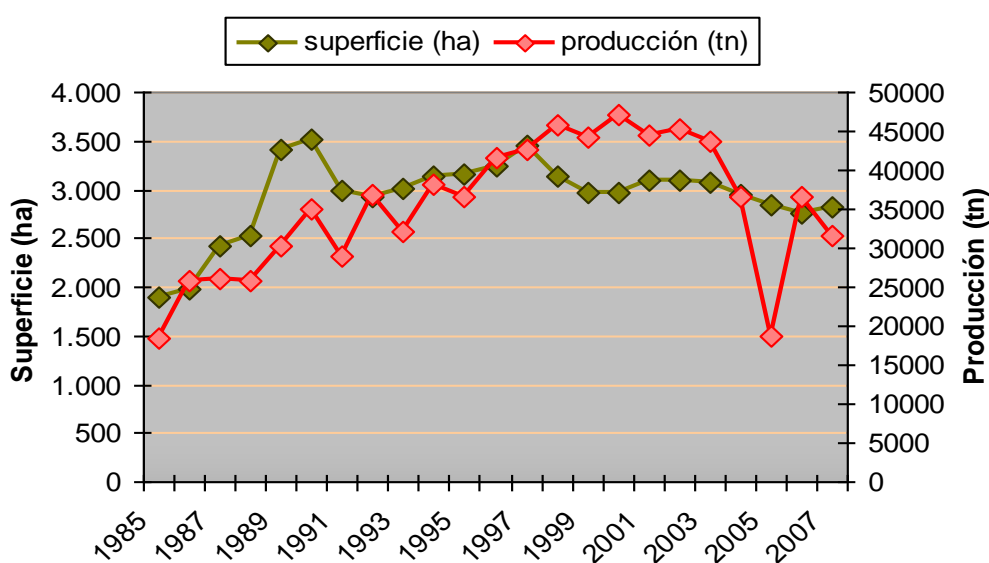


Figura 4. Evolución de la superficie y producción dedicada al cultivo de níspero japonés en España. Fuente: MARM (2007).

En España, la producción principalmente se encuentra distribuida por la costa mediterránea, principalmente en la Comunidad Valenciana y en Andalucía. Según los datos del MARN en 2007 (Fig. 5), la Comunidad Valenciana es la principal productora con 19.321 toneladas, seguida de Andalucía con 13.306 toneladas. Dentro de la Comunidad Valenciana la principal región productora se encuentra en Alicante. En Andalucía, las provincias de Granada con 797 ha y Málaga con 392 ha, cuentan con la mayor superficie cultivada de níspero, encontrándose también plantaciones en el resto de provincias andaluzas, a excepción de Jaén. En Almería, la superficie de cultivo es bastante reducida, aproximadamente 21 ha (MARM, 2007).

Provincia	Superficie (ha)	Producción (Tn)
Granada	797	9000
Málaga	392	3.890
Almería	21	145
Cádiz	11	-
Huelva	1	2
Sevilla	5	50

Figura 5. Superficie y producción dedicada al cultivo de níspero japonés en Andalucía. Fuente: MARM (2007).

Un aspecto fundamental para la comercialización de nísperos es la calidad del fruto que se encuentra determinada por el calibre, forma, color, sabor, aroma, textura, factores fitosanitarios, salubridad e higiene (M.A.P.A., 1995). El principal factor que permite la obtención de buenos precios es la precocidad de la cosecha, ya que el níspero japonés es el cultivo más temprano recolectándose a principios de primavera. En estas fechas, las condiciones de mercado son muy buenas para la venta de debido a la escasez de frutos de primavera. Durante los últimos años, el precio del níspero ha presentado una tendencia ascendente, frente a los problemas que tienen otros frutos de pepita o de hueso (Fig. 6).

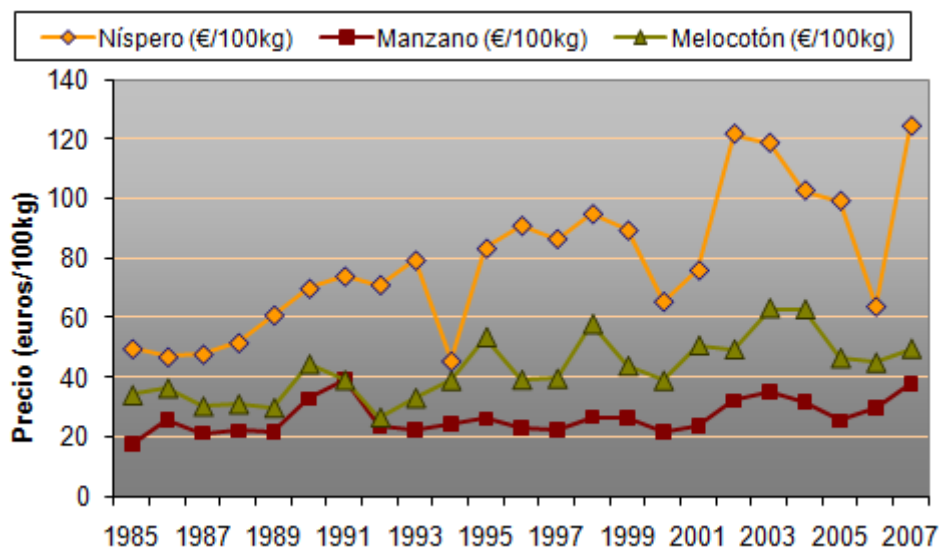


Figura 6. Evolución y comparativa de precios entre níspero japonés, manzana y melocotón. Fuente: MARM (2007).

Un aspecto general, más acentuado en el níspero japonés, es que los precios durante la campaña sufren grandes alteraciones, ya que presentan valores bastante elevados durante las primeras semanas y van cayendo conforme avanza, debido fundamentalmente a la aparición en el mercado de otros frutos de temporada con la competencia que esto supone (Fig. 7).

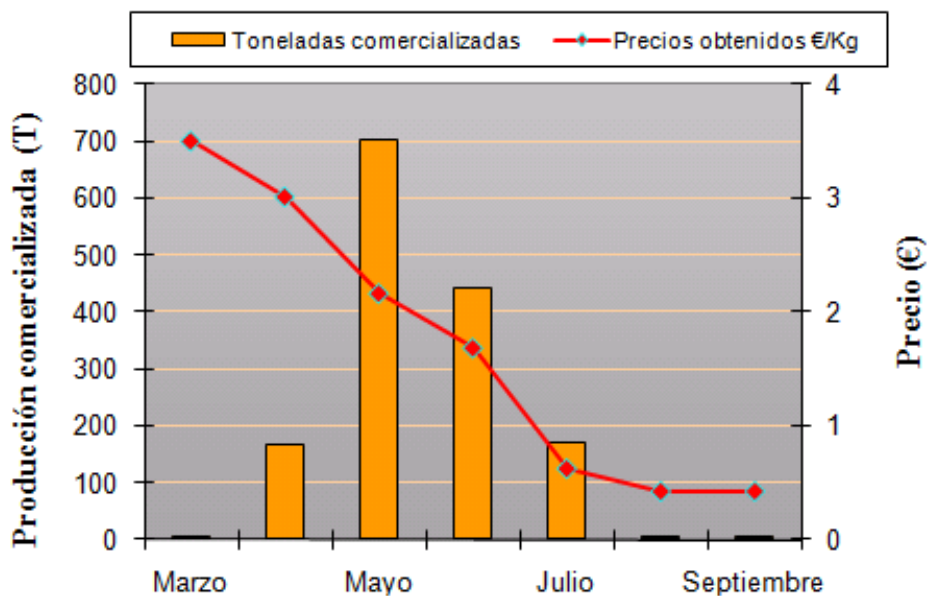


Figura 7. Evolución de la producción y de los precios del níspero japonés durante la campaña 2008/2009. Fuente: Mercabarna.

Comprobaciones realizadas en dos de las cadenas de distribución más importantes de níspero en España (Mercamadrid y Mercabarna) ponen de manifiesto diferencias en los precios obtenidos por la comercialización del níspero japonés, observándose precios en Mercabarna algo más elevados que en Mercamadrid (Fig. 8).

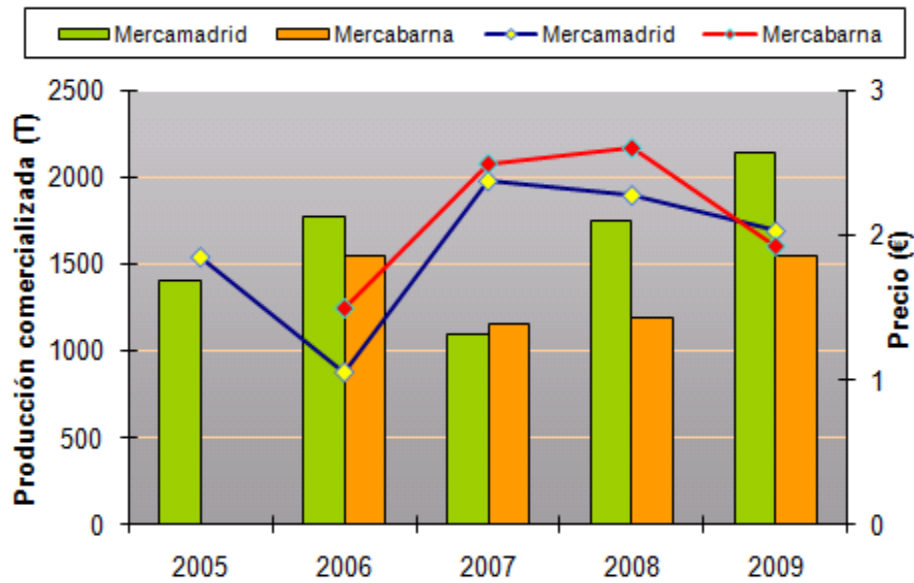


Figura 8. Evolución de la producción y de los precios del níspero japonés durante los años 2005-2009. Fuente: Mercabarna y Mercamadrid.

1.4 Problemática del cultivo

Junto a la precocidad de sus frutos, el calibre de los mismos juega un papel fundamental en la comercialización y en el precio del níspero japonés. La importancia de la precocidad invita a una recolección temprana por parte del agricultor, mediante el uso de diferentes técnicas que no perjudiquen a la calidad del producto. En esta línea, diferentes estudios sobre níspero japonés cv. ‘Algerie’ demuestran que un riego deficitario controlado (RDC) poscosecha adelanta la floración y la recolección sin mermas en la producción, ni en la calidad de la fruta, consiguiendo con ello un aumento importante en la rentabilidad del cultivo y un uso más eficiente del agua (Hueso y Cuevas, 2007). El RDC consiste en aplicar una restricción del riego durante algunas semanas tras la recolección para promover una floración más temprana en la siguiente campaña. Estudios realizados recientemente por Fernández et al. (2009) ponen de manifiesto que una restricción del riego hasta alcanzar 45 MPa*día en la integral de estrés hídrico se obtienen los resultados más satisfactorios. Estos niveles de estrés vienen alcanzándose mediante la supresión del riego por unas 6-8 semanas comenzando con el mes de junio (Fernández et al., 2009).

En el níspero japonés, la fase vegetativa se encuentra totalmente separada de la fase reproductiva. Esto y otras razones adicionales convierten al níspero en una planta modelo para la aplicación de técnicas de RDC. En este sentido, la poscosecha representa un periodo ideal para aplicar la restricción del riego ya que aunque coincide con el crecimiento del brote, aparece como un periodo no crítico al no haber presencia de fruta en el árbol, que pueda resultar dañada por el estrés hídrico impuesto.

El periodo de recolección de níspero japonés se concentra entre la primera quincena de abril y mediados de mayo. Dicha concentración conlleva una caída de los precios en mercado y por tanto una caída del beneficio del fruticultor. Esta tendencia podría paliarse adelantando la época de recolección con el fin de poder obtener mejores precios, para ello es necesario adelantar la época de floración. Como previamente se ha expuesto, este efecto puede conseguirse mediante la aplicación de técnicas de RDC poscosecha. Estudios previos han puesto de manifiesto que el níspero tras la recolección experimenta un rápido crecimiento del brote, momento que resulta más propicio para la aplicación de técnicas de riego deficitario. En este sentido, dado que el níspero japonés florece en el extremo del brote, su parada y la posterior salida del reposo influyen notablemente en la fenología y en la intensidad de la floración. Sin embargo, el conocimiento que se tiene actualmente sobre la dinámica de crecimiento del brote, y los factores implicados en el establecimiento del reposo veraniego y, de un modo más importante, en sus fechas de salida y la relación con la floración son muy escasos. Por todo lo anterior parece necesario profundizar en su conocimiento y responder cuestiones como las siguientes: ¿Por qué florece el níspero en otoño y como se relaciona esto con el abandono del reposo en verano?, ¿Por qué se adelanta la floración en respuesta al riego deficitario controlado?, ¿Qué factores están implicados en este adelanto de la floración?

1.5 Objetivos

Para dar respuestas a las cuestiones planteadas anteriormente el presente Proyecto Fin de Carrera se plantea los siguientes objetivos:

- Analizar el crecimiento del brote.
- Determinar el modelo de crecimiento del brote y el efecto que el riego deficitario tiene sobre el mismo, la entrada en reposo veraniego y su salida del mismo.
- Analizar el balance hormonal de la yema apical y su relación con el crecimiento y reposo del brote.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA



2. Revisión bibliográfica

2.1 Origen y Taxonomía del níspero japonés

El níspero japonés (*Eriobotrya japonica* Lindl) es un frutal con más de 2000 años de cultivo (Sima, 100 a.C.) (Lin et al, 2007). Los datos más recientes indican que es una especie nativa de la región media y baja del río Dahube y de las montañas Gongga en el Sudeste de China (Badenes et al., 2009). Una de las primeras referencias del cultivo del níspero es un documento escrito en China y datado entre el 502 y el 506 de la era moderna, referido a la localidad china de Tedote. No obstante, hay que remontarse al año 1690 para encontrar la primera descripción completa del níspero. Esta descripción fue realizada por el botánico alemán, Engelbert Kaempfer.

Desde el punto de vista taxonómico, el níspero (*Eriobotrya japonica* Lindl.). Se encuadra en:

División:	Spermatophyta
Subdivisión:	Magnoliophytina (Angiospermae)
Clase:	Magnoliatae (Dicotyledoneae)
Subclase:	Roside
Orden:	Rosales
Familia:	Rosaceae
Subfamilia:	Maloidea (Pomoidea)
Género:	Eriobotrya
Especie:	japónica

El níspero japonés fue llamado con anterioridad *Mespilus japonica*, también *Photinia japonica* (Ochse et al., 1974). Con anterioridad estuvo incluido en el género *Mespilus* al que también pertenece el níspero europeo “*Mespilus germanica*” (Fig. 9) de consumo y cultivo muy reducido. El nombre del género proviene de la unión de dos palabras griegas “erion” que significa lana y “botrys” que significa racimo, haciendo alusión a la pilosidad que presenta la inflorescencia y muchos de sus órganos (López-González, 1982).



Figura 9. Níspero europeo (*Mespilus germanica*).

En 1784, Carl Meter Thunberg, alumno de Linneo, llevó un estudio detallado del níspero, incluido entonces en el género *Mespilus*. Sin embargo, no fue hasta 1892 cuando Lindley revisó su taxonomía y propuso su inclusión en el género *Eriobotrya* (Lin et al., 1999; Yang et al., 2003). Con posterioridad, Eveinoff (1984) hizo una amplia descripción taxonómica y varietal del género, mientras que Vidal (1965), propuso su revisión, listando una docena de especies. Recientemente, Lin y Hu (2002) han identificado 15 especies, con tres variedades botánicas y dos “formas” (Agustí et al., 2006).

En el año 1926, el botánico ruso Vavilov Ivanovic publicó el texto *Centres of origin of cultivated plants* en el que identificó ocho “centros genéticos” con fuertes concentraciones de plantas de interés agrícola. Uno de estos “centros genéticos” se encuentra en el Sur de China, en el valle del río Daduhe, lugar donde se originó el níspero (Agustí et al., 2006). Desde este centro de origen, y más concretamente desde Guangdong (la antigua ciudad de Cantón), el níspero se introdujo en el Jardín Nacional de París en 1784, y tres años más tarde, en 1787, en los Jardines Botánicos Reales de Kew en Inglaterra. A partir de entonces, el níspero se difundió a todos los países mediterráneos, incluidos Argelia, Chipre, Egipto, Grecia, Israel, Italia, España, Túnez y Turquía. En España, el níspero fue traído por el capitán Roig a la ciudad de Sagunto, en el Levante español (Agustí et al., 2006). En algún momento entre 1867 y 1870, el níspero fue llevado desde Europa a Florida, y desde Japón a California. Los inmigrantes chinos fueron los que se supone que llevaron el níspero a Hawai (Morton, 1987). Posteriormente, el cultivo se extendió a la India y al sudeste de Asia, las Indias Orientales, Australia, Nueva Zelanda, Madagascar y Sudáfrica (Fig.10).

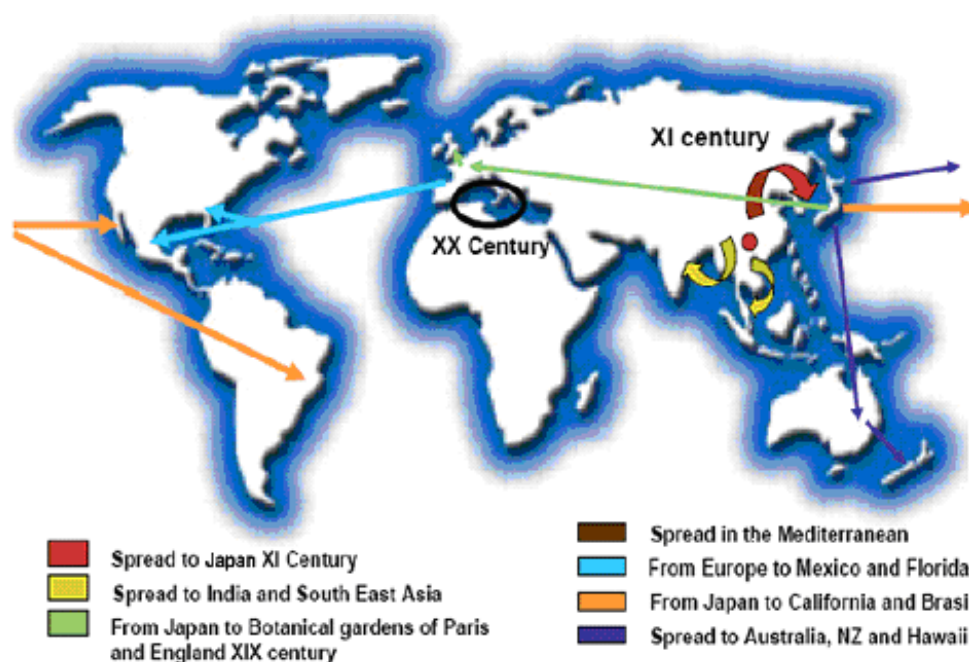


Figura 10. Origen y expansión del cultivo del níspero japonés por el mundo. Fuente: Badenes et al. (2009).

Aunque el níspero se distribuye en muchos países asiáticos (Laos, Nepal, Pakistán, Corea del Sur y Vietnam), por Armenia, Azerbaijón y Georgia, y en naciones de las Américas, entre ellas Argentina, Brasil, Chile, Ecuador, Guatemala, México, y Venezuela (Badenes et al., 2009), continúa siendo un cultivo minoritario, de los denominados cultivos menores o infrautilizados (Lin et al., 1999). El níspero, hoy en día, se cultiva en áreas localizadas entre los paralelos 25° y 38° Norte y Sur. Tres son las zonas de producción más importantes: China, Japón y el Mediterráneo (destacando aquí España, Turquía e Italia). España es el segundo país productor mundial después de China. Su producción es de unas 40000 toneladas por año, de las que entorno al 83% es exportada, siendo su principal destino países de la Unión Europea (Lin et al., 2007).

Como ya se ha indicado el níspero pertenece a las Rosaceae, una de las familias más extensas ya que cuenta con más de 3000 especies agrupadas en 120 géneros distintos (Judo et al., 1999; Takhtajan, 1997). Los miembros de esta familia han colonizado una amplia diversidad de hábitats, pero sobre todo se han extendido por el Hemisferio Norte (Judo et al., 1999). Esta familia comprende especies de gran importancia económica por el aprovechamiento de sus frutos, entre las que podemos

destacar *Malus spp.* (manzana), *Pyrus* (peral), *Prunus spp.* (albaricoquero, cerezo, melocotón, ciruelos, almendro), *Cydonia* (membrillero), *Rubus* (grosellas), *Fragaria* (fresa), *Mespilus* (níspero europeo) y *Eriobotrya* (níspero japonés). Pero también comprende especies muy importantes desde el punto de vista ornamental, como *Rosa* (rosas), *Potentilla*, *Sorbus* y *Spiracea* (Potter, 2002). La familia Rosaceae junto a una elevada homogeneidad en las características florales, presenta una enorme diversidad en la morfología de sus hojas y en los tipos de frutos, así como en los hábitats en los que se encuentran sus especies (Agustí et al., 2006). Tradicionalmente, la familia Rosaceae se ha dividido en 4 subfamilias atendiendo al tipo de fruto: Rosidaeae (con fruto en aquenio), Spiraeoideae (con fruto en cápsula), Maloideae (con fruto en pomo) y Amygdaloideae (con fruto en drupa). Esta clasificación no sólo responde a la estructura del fruto sino también al número de cromosomas. Las Rosidaeae tienen entre 7 y 9 cromosomas, las Spiraeoideae tienen 9 cromosomas, las Maloideae 17 y las Amygdaloideae 8 cromosomas (Campbell et al., 1995; Campbell et al., 1997; Agustí et al., 2006). No obstante, esta clásica clasificación es cuestionada por recientes análisis genéticos en los que determinan que el níspero japonés pertenece a la subtribu Pyrinae (Potter et al., 2007).

2.2 Ecología y morfología del níspero japonés

El níspero es una especie de zonas templadas con clima monzónico que se adapta muy bien a los climas templado-cálidos con inviernos largos, frescos y lluviosos. Dado su ciclo anual y la ausencia de reposo invernal se considera que los climas con inviernos cálidos son más adecuados para su desarrollo. El níspero es muy sensible a los fríos invernales; por ello, es aconsejable realizar las plantaciones en zonas resguardadas del frío y del viento, otro meteoro al que el níspero es bastante sensible, ya que puede dañar bastante al fruto (Agustí et al., 2004). En caso de heladas invernales, la parte más sensible son los pequeños frutos recién cuajados y las flores abiertas, no así las cerradas y los órganos vegetativos que presentan mayor tolerancia a bajas temperaturas (Rodríguez, 1983).

El níspero japonés es un árbol vigoroso, productivo, de buen porte (5-6 m de altura) y de rápida entrada en producción (2-3 años), con tendencia a la verticalidad

según Agustí et al. (2006). La forma de la copa es esférica, aunque algunas variedades tienden a la forma piramidal (Fig. 11). En su estado silvestre es un árbol no muy alto con fuertes ramificaciones espinosas. El níspero al ser de hoja perenne con frutos atractivos en invierno y tener una forma majestuosa, es empleado en muchos países como árbol ornamental (Rodríguez, 1983).



Figura 11. Árbol de níspero japonés injertado en membrillero de Provence.

El níspero es una especie que prefiere suelos francos, profundos y con buen drenaje. Los suelos arcillosos favorecen su desarrollo vegetativo y el tamaño del fruto. Los suelos arenosos, por el contrario, favorecen la precocidad y la calidad del fruto. Sin embargo, en estos suelos el tamaño de sus frutos disminuye (Agustí, 2004). El níspero presenta una raíz principal de crecimiento pivotante hasta los 4-5 años, pudiendo alcanzar una profundidad de hasta 2,5 m. Esta raíz ramifica en raíces secundarias superficiales que logran una expansión lateral de unos 30 cm de radio. En estas raíces secundarias aparecen raicillas, que son escasas y delicadas (Agustí et al., 2006).

El níspero japonés se puede conducir en sistemas de eje central y en sistemas abiertos, siendo lo más frecuente una formación en vaso bastante irregular. En este sistema de formación, el níspero presenta un tronco erecto que puede alcanzar una altura media entre 0,75-1,25 m de altura. A partir de aquí se ramifica en varios brazos,

oscilando generalmente entre dos y cinco, que se insertan a veces apiñados en un mismo punto. Este tronco presenta una corteza rugosa con descamado anual de color gris (Fig. 12) (Rodríguez, 1983).



Figura 12. Descamado del níspero japonés (*Eriobotrya japonica* Lindl).

El níspero presenta ramas principales gruesas y cortas, con entrenudos relativamente largos y de color gris claro. Las ramas se hallan generalmente desprovistas de hojas, salvo en sus extremos. Las hojas nuevas brotan de yemas terminales y en menor medida de yemas laterales. Las hojas del níspero japonés son grandes con una longitud media entre 18 y 40 cm. Su forma es lanceolada con bordes aserrados y presenta consistencia coriácea con nervios centrales pronunciados. El pecíolo de la hoja del níspero japonés es corto. El color del haz es verde oscuro mientras que el envés presenta un aspecto algodonoso y un color gris ceniza (Martínez-Calvo et al., 2000). El tamaño y grosor de las hojas de los árboles adultos tienen una relación directa con las dimensiones de los racimos de flores y el volumen de los frutos, de ahí que solo se cultiven variedades de hojas grandes (Gallego, 1991). La pubescencia que presenta el níspero es bastante apreciable e incluso como ya se comentó anteriormente da nombre al género; esta aparición de pubescencia en algunas zonas de la planta responde tanto al intento de reflejar los rayos solares, para evitar la deshidratación o protegerse de las quemaduras, como la necesidad de protegerse de las

bajas temperaturas nocturnas. Esta característica es típica de especies que viven habitualmente en lugares donde se producen grandes contrastes térmicos (López-González, 1982).

Las flores del níspero se distribuyen en panículas terminales de longitud de 10 a 19 cm y forma piramidal (Fig. 13). Cada panícula consta de un eje principal en el que se insertan de cinco a diez brazos que contienen un número variable de flores. Las flores son pequeñas, de pétalos blancos y cáliz marrón pubescente (Agustí et al., 2006). El número de flores por panícula oscila entre 100 y 200, dependiendo de las condiciones agroclimáticas del cultivo (Lin et al., 1999). Muestreos y conteos precisos realizados durante varios años en la Estación Experimental de las Palmerilla en Almería indican que las inflorescencias de ‘Algerie’ poseen una media cercana a las 200 flores (Hueso et al., 2000). El comportamiento basítono de la panícula hace que las primeras flores en alcanzar la antesis aparezcan en las ramificaciones basales de la panícula y dentro de éstas en las flores más apicales de cada brazo de la inflorescencia. La más temprana antesis de estas flores le permite dar frutos de mejor tamaño y mejor color. El periodo de tiempo necesario para que florezca toda la panícula varía entre dos y cuatro semanas, aunque cada flor permanece receptiva sólo entre cinco y siete días (Rodríguez, 1983). Cuevas et al. (2003) ratifican que la floración dura más de 4 semanas, aunque cada flor solo es viable durante 5-7 días. La época de floración del níspero varía según las condiciones climáticas y la variedad. Según Martínez-Calvo (2000), la floración puede extenderse desde octubre a enero. Para obtener una buena floración tanto en calidad como en cantidad debemos tener presentes que el cuajado de las flores del níspero del Japón cv. ‘Algerie’ dependen tanto de la actividad de los insectos polinizadores (Fig. 14) como de la presencia de pies polinizadores, aunque la especie sea considerada parcialmente autocompatible (Cuevas et al., 2003).



Figura 13. Panícula de níspero japonés (*Eriobotrya japonica* Lindl).

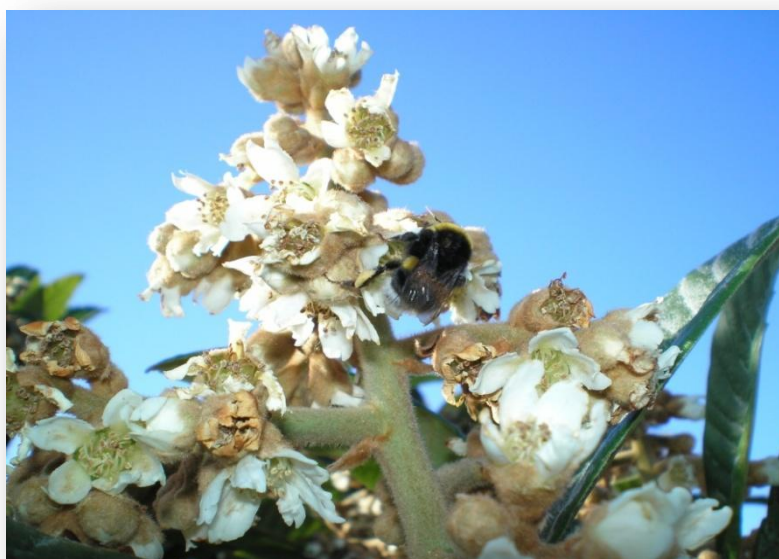


Figura 14. Polinización en níspero japonés (*Eriobotrya japonica* Lindl).

Los frutos del níspero japonés son pomos de pequeño tamaño, que alcanzan en los mejores cultivares una longitud de 7 cm.; son de forma redondeada, ovalada o elíptica. El color de la piel de los frutos va desde el amarillo pálido al anaranjado intenso, y el color de la pulpa desde el blanco al naranja, pasando por diversos tonos de amarillo (Llácer et al., 2004). La piel del fruto es dura y fina y está cubierta por un vello gris que, al madurar, forma una pubescencia blanca muy tenue y frágil. Mercados muy

exigentes valoran la permanencia de este vello como sinónimo de frescura del fruto. En el extremo estilar, el fruto presenta una depresión pronunciada con restos de cáliz. La época de recolección, al igual que la de floración, varía en función de las condiciones climáticas de la zona y de la variedad (Agustí et al., 2006). El fruto contiene generalmente entre una y cinco semillas, a veces más (Cuevas et al., 2003), grandes y marrones, que representan hasta el 50% del volumen del pomo (Salvador-Sola, 1999), pero sólo un 15% del peso. Estas semillas están agrupadas fuertemente, formando un núcleo voluminoso de fácil eliminación. Recientemente, se han introducido cultivares partenocárpicos triploides (Fig. 15), con frutos grandes, sin semillas y de alta calidad (Liang et al., 2006).



Figura 15. Frutos de níspero partenocárpicos triploides. Fuente: Lin et al. (2007).

El níspero japonés es un árbol muy ávido de agua, aunque se puede dar en seco, ha de ser un seco fresco, con más de 800-900 mm.; así, en el Japón, con una pluviometría de 1000-1200 mm., no se le prodiga ningún riego; aunque, eso sí, se recoge el fruto después de la época de lluvias, que suele suceder entre últimos de mayo y principios de junio, porque las necesidades de agua son mayores en la época del engorde del fruto. Así, se dice que el volumen del níspero es directamente proporcional al agua que recibe en esta fase (Rodríguez, 1983). Actualmente, el riego es imprescindible para el cultivo del níspero debido al aumento de la densidad de plantación, el cultivo bajo malla, así como la demanda por los mercados de fruta de

mayor calibre. Es muy frecuente que las explotaciones incorporen el riego por goteo como tecnología de producción.

2.3 Ciclo anual del cultivo

La fenología de una especie frutal describe la evolución del crecimiento y el desarrollo de su ciclo reproductivo. En el ciclo anual del níspero japonés se han descrito tradicionalmente tres periodos de crecimiento vegetativo: brotación de primavera previa a la cosecha (va desde finales de febrero o principios de marzo hasta mayo), brotación de verano que tiene lugar tras cosechar los frutos (desde mayo hasta finales de julio), y la brotación de otoño a la salida del reposo veraniego (desde finales de agosto hasta octubre) (Rodríguez, 1983).

Observaciones llevadas a cabo sobre el cultivar “Algerie” injertado sobre pie de membrillero Provence en la Estación Experimental “Las Palmerillas” en la costa de Almería por Cuevas et al. (1997), describen gráficamente el ciclo anual del níspero en dicha zona, observándose una clara separación entre la fase vegetativa y la reproductiva (Fig. 16), ya que el ciclo vegetativo tiene lugar en principalmente en verano, mientras que el ciclo reproductivo comenzaría tras éste (Gavilán, 1998).

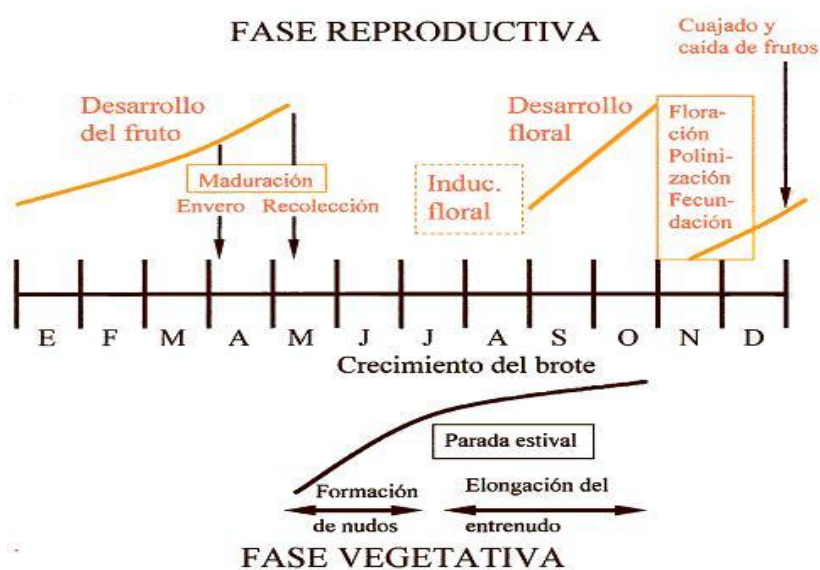


Figura 16. Representación del ciclo anual del níspero japonés (*Eriobotrya japonica* Lindl). Fuente: Cuevas et al. (1997).

En el ciclo anual se aprecia que la fase reproductiva se inicia con la elongación de las panículas a finales del mes de agosto, evolucionando rápidamente con las temperaturas veraniegas. La floración comienza con el mes de noviembre y se prolonga por lo general hasta finales del mismo mes. El cuajado inicial de los frutos se puede ya observar casi simultáneamente a la floración; el cuajado inicial se puede evaluar tras una intensa abscisión de flores y frutos, que regula el nivel de carga, hasta alcanzar su nivel definitivo en el mes de diciembre (Cuevas et al., 1997).

Dentro de la fase vegetativa es de particular interés el crecimiento del brote. La brotación de los ramos no es significativa hasta la cosecha del fruto, ya que la presencia de frutos actúa de freno para la brotación (Cuevas et al., 1997). A partir de la recolección, si se pueden observar brotaciones por debajo de los frutos recién cosechados. En este crecimiento se pueden distinguir dos partes claramente diferenciadas: primeramente la formación de nudos y después la elongación de los mismos que implica un gran crecimiento. Estos procesos se producen desde comienzos de mayo hasta mediados de julio. Posteriormente, se aprecia desde mediados de julio hasta finales de octubre una fase en la que ocurre una escasa elongación de los entrenudos y en la que el crecimiento vegetativo es mínimo, hasta casi cesar, dando lugar a la denominada parada estival. Es aquí cuando la planta se prepara para la fase reproductiva (Gavilán, 1998).

Durante la parada estival se producen los procesos de inducción e iniciación floral, dado que la floración terminal de la especie implica una parada en la formación de nuevos nudos. Esto sólo ocurre durante la parada estival (Cuevas et al., 1997). Una vez que se produce la inducción e iniciación floral, se desarrolla la flor. Este desarrollo concluye a finales de octubre produciéndose la antesis, la polinización y la fecundación de las flores a principios de noviembre. La conversión a fruto queda recogida en la caída de los pétalos, produciéndose el cuajado y el posterior desarrollo del fruto concluyendo su desarrollo a finales de abril. Previamente, a principios de este mes se produce el envero, indicando que el fruto comienza a estar maduro. Una vez que el fruto es recolectado comienza de nuevo el ciclo anual del níspero del Japón.

Para el mejor seguimiento de la fase reproductiva resulta de interés la descripción de los estados-tipo de la especie. En el caso del níspero una primera

descripción de los estado-tipo fue elaborada por Cuevas et al. (1997). Para la caracterización, selección y descripción de los estados-tipo del níspero (Fig. 17) se han tenido en cuenta los estados-tipo de otros frutales, en especial aquellos que florecen en estructuras complejas (panículas, racimos, etc....).

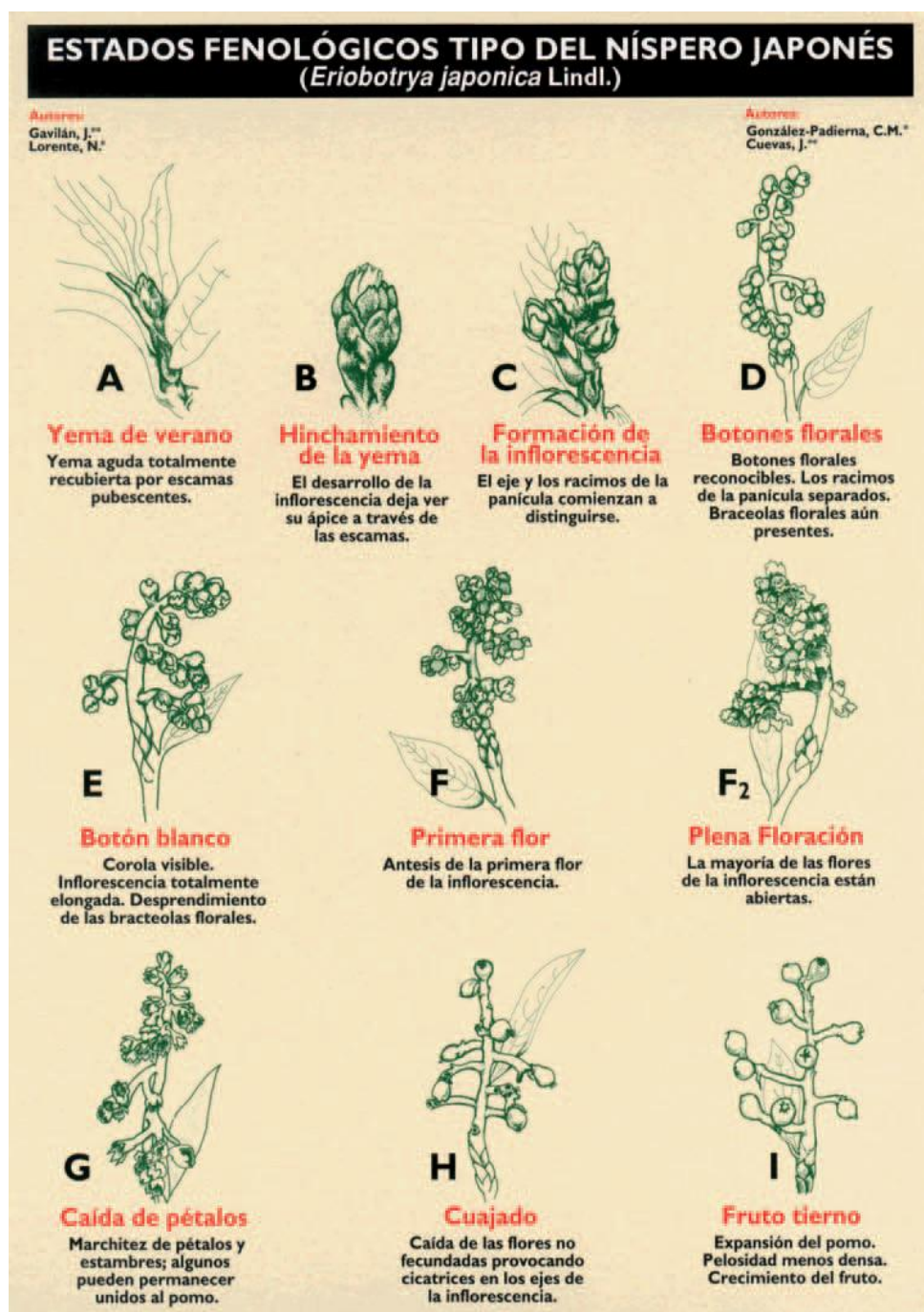


Figura 17. Estados fenológicos tipo del níspero japonés. Fuente: Cuevas et al. (1997).

2.4 Fase vegetativa del níspero japonés

Previamente a la descripción de la fase vegetativa del níspero japonés, se definirán una serie de conceptos que nos ayudarán a comprender mejor el desarrollo de un frutal.

Dentro de los tejidos vegetales, los meristemos son los responsables del crecimiento vegetal. Las células de los meristemos son pequeñas, tienen forma poliédrica, paredes finas y vacuolas pequeñas y abundantes. Las células meristemáticas tienen capacidad de dividirse activamente. Estas células son llamadas totipotentes por su habilidad para dar lugar a todos los tejidos vegetales. El tejido meristemático se caracteriza por mantenerse siempre joven y poco diferenciado (Segura, cit. por Azcón-Bieto et al., 2000).

Dentro de los tejidos meristemáticos, los meristemos apicales presentan mayor interés. Estos meristemos se denominan meristemos apicales o primarios porque se localizan en la punta de tallos y raíces y conducen al desarrollo del denominado cuerpo primario de la planta (Fig. 18 y Fig. 19). El meristemo apical de la raíz normalmente está cubierto por una estructura de células diferenciadas que lo protege, conocida como cofia. El meristemo apical del tallo es la porción más distal de la región meristemática, denominada ápice caulinar o yema apical. El meristemo apical puede estar desnudo o cubierto por hojas, llamadas primordios foliares, que presentan un rudimento de yema auxiliar en su base. El meristemo apical es una estructura muy dinámica en la que constantemente se está produciendo crecimiento y formación de nuevos órganos (Segura, cit. por Azcón-Bieto et al., 2000).

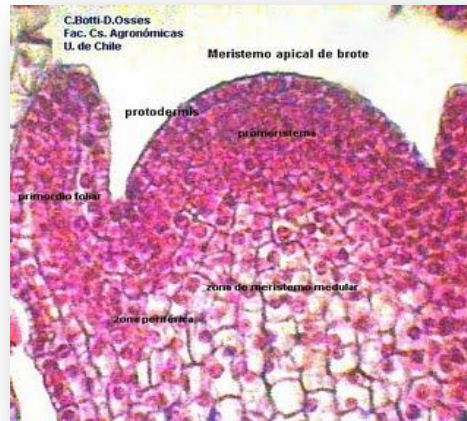


Figura 18. Meristemo apical de un brote. Fuente: C. Botti-D. Osses.

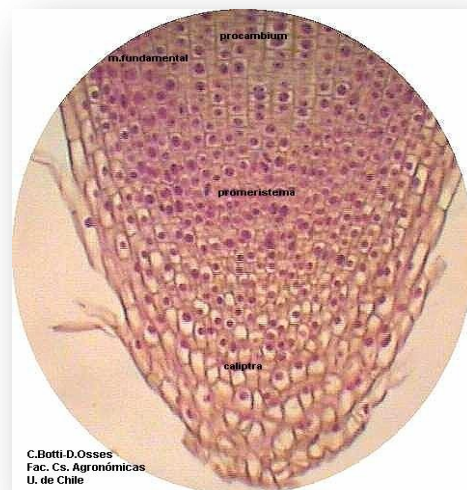


Figura 19. Meristemo apical de una raíz. Fuente: C. Botti-D. Osses.

Los órganos vegetativos principales del cuerpo primario (raíces, tallos y hojas) están formados por tres sistemas de tejidos que se inician durante el desarrollo del embrión. Estos son el dérmico, representado por la epidermis, el vascular, representado por el xilema y el floema, y el fundamental representado por el parénquima, el colénquima y el esclerénquima. El cuerpo primario incrementa su tamaño mediante la adición de estructuras en forma modular, conocidas como metámeros. A medida que las células meristemáticas proliferan, se van produciendo nuevos metámeros que se alejan progresivamente de los ápices. El metámero generado por el meristemo apical del tallo se denomina fitómero. El fitómero comprende un órgano lateral (hoja), un nudo, al que

se une la hoja, un meristemo axilar (la yema axilar) localizado en la axila de la hoja y un entrenudo (Fig. 20) (Segura, cit. por Azcón-Bieto et al., 2000).

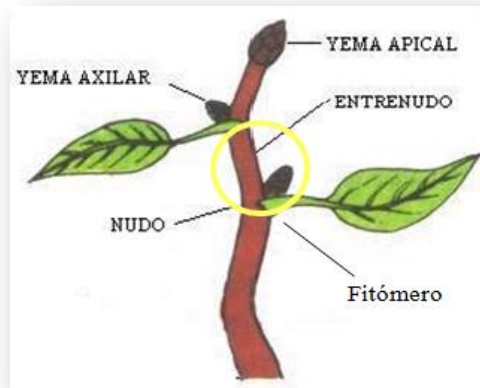


Figura 20. Fitómero de una planta.

El tiempo transcurrido entre la formación de dos sucesivos fitómeros se denomina plastocrono. El plastocrono es una medida de la intensidad de la actividad meristemática y se suele medir en días. Así un plastocrono de 2 días expresa que entre la aparición de una hoja y la siguiente han transcurrido sólo dos días. Un plastocrono elevado refleja, por el contrario, una actividad reducida asimilable a un estado de reposo. Cambios acusados en el plastocrono caracterizan las distintas fases del ciclo anual.

2.5 Crecimiento del brote

El desarrollo anual de las especies vegetales está condicionado por las características climáticas. Particularmente importante resulta la temperatura que condiciona el ritmo estacional de las especies frutales. Por ello, las especies frutales cultivadas en zonas de clima templado presentan dos periodos claramente diferenciados: el reposo invernal y el periodo de actividad.

El periodo de actividad vegetativa se inicia con la brotación, durante el cual el árbol crece, florece y fructifica. El primer síntoma de actividad vegetativa es la hinchazón de las yemas, a la que le sigue una lenta separación y elongación de sus

escamas y brácteas, apareciendo la borra y finalmente los meristemos, proceso conocido como desborre. Una vez que en las yemas se ha producido su hinchamiento comienza la brotación, apareciendo los primeros primordios foliares que sobresalen entre 5 y 10 mm sobre las escamas de las yemas. A partir de aquí empiezan a observarse las primeras hojas. Una vez que las hojas están totalmente desplegadas y desarrolladas comienza el crecimiento de los brotes (Agustí y Reig, 2006).

Según Rodríguez (1983), el níspero japonés presenta tres brotaciones (Fig. 12):

1. Brotación de primavera; que ocurre previamente a la cosecha, desde finales de febrero-marzo hasta finales de mayo. Según Espinosa et al. (1997) la fecha de brotación generalizada de primavera en níspero japonés oscila entre el 19 de febrero y el 9 de abril.

2. Una segunda brotación que ocurre tras la recolección desde mediados de mayo a finales de julio. Los brotes salen de los tramos basales de los ramos de crecimiento y de la base de los pedúnculos que quedan después de la recolección. Estos ramos crecen rápidamente, pero en un periodo corto; después de esta brotación viene la diferenciación de las yemas terminales que son las encargadas de formar los capullos florales a mediados de septiembre.

3. La tercera brotación se produce de finales de verano a principio de otoño. En ella los brotes son de crecimiento más lento y de menor vigor, pero según Rodríguez (1983) es la que configura la próxima cosecha, probablemente refiriéndose a la de la campaña no inmediata sino a un año más tarde.

Coincidiendo con las observaciones llevadas a cabo por Rodríguez, Gariglio et al. (2002) señalan que a lo largo del periodo vegetativo tienen lugar tres brotaciones (Fig. 21): la brotación de primavera, que se inicia a finales de febrero y se prolonga hasta el mes de mayo; esta brotación origina el 73% de los tallos nuevos y las yemas terminales se diferenciarán en flores durante el verano. La segunda brotación se da tras la recolección (abril-mayo) y presenta un rápido crecimiento durante un corto periodo de tiempo; en esta brotación se origina el 17% de tallos nuevos y las yemas terminales se diferenciarán en flores en el otoño. La tercera brotación tiene lugar a finales del verano o principios del otoño y sus brotes son de crecimiento lento y de menor vigor.

Los ramos de la primera y segunda brotación son los primeros y a veces los únicos en florecer.

Hay que hacer constar, no obstante, que más que tres brotaciones distintas lo que se produce son diferentes flujos de crecimiento no siempre tres, sobre los mismos brotes. La intensidad del crecimiento es además muy diferente, siendo la segunda fecha de brotación, tras la cosecha, la más importante y relevante.

Agustí y Reig (2006) desarrollan el proceso de la brotación concluyendo que el níspero japonés, en los climas templados, presenta tres brotaciones a lo largo del año y un periodo de latencia durante el invierno, aunque es en esta estación cuando se cuajan sus frutos. La brotación más importante es la de primavera y la menos importante la de otoño (Agustí y Reig, 2006). La brotación de primavera puede iniciarse antes de la recolección, pero que adquiere su mayor desarrollo una vez la planta se ha liberado de sus frutos. Según Cuevas et al. (1997) la brotación de los ramos no es efectivamente significativa hasta la cosecha del fruto, ya que la presencia de fruto actúa como freno en la brotación. Observaciones realizadas después de la recolección ponen de manifiesto como los ramos crecen rápidamente desde comienzos de mayo hasta mediados de julio. La brotación de primavera se origina a partir de yemas terminales de brotes vegetativos o de yemas laterales de brotes fructíferos ya cosechados. En ambos su crecimiento tiene lugar a lo largo del verano, descendiendo su intensidad durante el otoño. A esta brotación le sigue en importancia la brotación de verano, que se inicia a partir de yemas laterales de los brotes originados el mismo año, es decir, son brotes anticipados que crecen rápidamente a lo largo del verano y en menor intensidad durante el otoño. La brotación de primavera origina brotes largos y consistentes así como hojas grandes. Su aportación a la cosecha no sólo es por las panículas que desarrolla, sino por su contribución a la producción de sustancias de reserva, carbohidratos y sustancias nitrogenadas, así como a la formación de nuevas yemas para la brotación del año siguiente. La brotación de verano es más débil y su crecimiento tan rápido dificulta que sus yemas adquieran la madurez suficiente para desarrollar brotes de calidad para el año siguiente. La brotación de otoño es más consistente que la de verano, pero en condiciones del cultivo es poco importante (Agustí y Reig, 2006).

Wang et al. (2007), ponen de manifiesto que platas jóvenes de níspero japonés cultivado en invernadero al Norte de China presentan hasta 4-5 periodos de crecimiento al año. El crecimiento del tallo se produce de 2-3 veces durante el invierno y la primavera, y posteriormente el crecimiento se activa en dos ocasiones durante el verano y el otoño. Paradójicamente sitúa la brotación de primavera a finales de enero, la brotación de verano a mediados de junio, la brotación de otoño a finales de agosto y la brotación de invierno a finales de noviembre. Otros estudios realizados en Sichuan ponen de manifiesto que nísperos cultivados en un clima subtropical presentan 4 brotaciones al año presentando la floración de septiembre a diciembre, pudiendo llegar a florecer y fructificar varias veces al año (Jiang et al., 2010).

Según Cuevas et al. (comunicación personal), en España el níspero japonés presenta dos periodos claros de crecimiento del brote: un primer periodo de crecimiento que estaría comprendido entre el final de la recolección y el inicio del reposo y otro periodo que está comprendido entre la salida del reposo y el desarrollo de la panícula.

Estas interpretaciones sobre el crecimiento del brote son cuestionadas por observaciones detalladas llevadas a cabo en la Costa de Almería. Alonso et al. (2010), pone de manifiesto que existen tres fechas de brotación. Las fechas de brotación son las siguientes: la primera ocurre en marzo antes de la cosecha, la segunda inmediatamente después de la cosecha a finales de abril y la tercera a finales de mayo, esta última es de escasa importancia. La más importante es la que ocurre a finales de abril después de la cosecha. Los primeros brotes entonces producidos sufren tres oleadas vegetativas, mientras que los brotes que comienzan a crecer a finales de abril o mayo solo tienen dos oleadas vegetativas. Se observa también que en cada brotación salen hojas nuevas una vez que las que han salido anteriormente están totalmente expandidas; esto sugiere que hay un control endógeno sobre la formación de las hojas nuevas, determinado por la disponibilidad de carbohidratos y por la actividad hormonal. También se observa que la aparición de las panículas se produce en las últimas semanas de agosto en los brotes de principios-mediados de temporada y a mediados de septiembre en los últimos brotes producidos, observándose en éstos un retraso en la fecha de formación de la panícula, a pesar de ellos todos los brotes forman panículas.

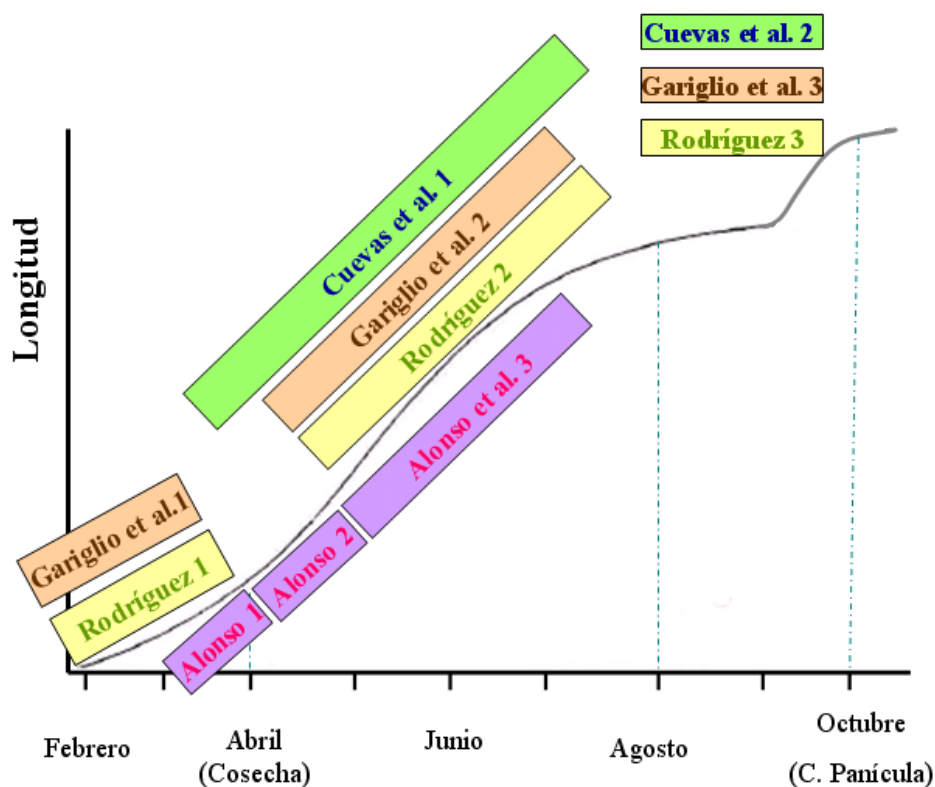


Figura 21: Curvas de crecimiento del brote nuevo del níspero japonés de acuerdo a diferentes autores. Rodríguez (1983), Cuevas et al. (1997), Gariglio et al. (2002), Alonso et al. (2010).

Los modelos de la figura 20, todos ellos, implican que el crecimiento de los brotes del níspero japonés es inicialmente intenso, aunque después se atenúa hasta su completa parada al final del verano. Posteriormente a la parada producida al final del verano, según diferentes autores, se puede producir un pequeño rebrote. La aplicación de técnicas de riego deficitario cambian este patrón de crecimiento del brote del níspero pasando de una curva sigmoideal a una curva doble sigmoide por una parada intermedia durante el mes de julio impuesta por el estrés hídrico causado por el riego deficitario (Cuevas et al., 2008). En las primeras fases del proceso los entrenudos comienzan a desarrollarse como consecuencia de un doble mecanismo de división y de distensión de las células. El ápice de los brotes, una vez en actividad, produce después nuevas hojas y nuevos entrenudos. En las axilas de las hojas se diferencian esbozos gemarios.

El mecanismo del control del alargamiento de los brotes es de naturaleza hormonal pero implica también una buena disponibilidad hídrica y nutricional. A este último respecto hay que tener presente que en las primeras fases de su desarrollo, los

brotos dependen íntegramente de las reservas de las plantas, ya que las hojas formadas nuevas no son inicialmente capaces de sintetizar suficiente fotoasimilados para sostener su desarrollo. El crecimiento del brote se haya también influido por la actividad hormonal, siendo las auxinas y las giberelinas los reguladores endógenos implicados directamente en el desarrollo de los brotes; la acción de las citoquininas es, por el contrario, probablemente negativa, ya que son promotoras de la síntesis de etileno que, a su vez, inhibe la división de las células de los ápices y reduce por tanto el crecimiento de los brotes.

Los ápices de los brotes producen auxinas que movilizan hacia ellos las sustancias nutritivas. Las nuevas hojitas que se forman como consecuencia de la actividad de los ápices, elaboran, a su vez, giberelinas; éstas estimulan la producción de más auxina y la multiplicación-distensión de las células de porción subapical, favoreciendo así el alargamiento de los entrenudos (Fig. 22). Los brotes procedentes de las yemas de madera del mismo ramo presentan una diferente capacidad de crecimiento, bajo el efecto combinado de específicos factores genéticos y del porte de los ramos en los que están insertos (Baldini, 1992).



Figura 22. Esquema del probable mecanismo de acción de las auxinas y de las giberelinas en el crecimiento en longitud de los brotes. Fuente: Baldini, (1992).

Las causas de la parada del crecimiento de los brotes al término del ciclo vegetativo no están muy claras; según Baldini (1992), dicha parada viene acompañada de una disminución de los promotores de crecimiento y por un aumento de los inhibidores de crecimiento, en particular del ácido abscísico que, en otoño está presente en una cantidad mucho más elevada que en verano. El ácido abscísico se sintetiza y se transporta en mayor medida bajo condiciones de estrés hídrico. Por otra parte, es

bastante evidente el papel desarrollado por las giberelinas en el control del desarrollo de los brotes, en los cuales el suministro de estos promotores determina, por lo general, un alargamiento sensible de los entrenudos a causa de la elevada actividad de los meristemos subapicales. Un análisis detallado del control hormonal sobre el crecimiento y reposo del brote resulta necesario para cumplir los objetivos de este trabajo, en especial en respuesta a los tratamientos de riego deficitario controlado.

2.6 Reposo de la yema y su regulación hormonal

Las plantas no son resistentes al frío durante su periodo de crecimiento. Para sobrevivir durante los meses de frío invernal es preciso que la planta adquiera un estado de reposo o dormancia. Las plantas raramente son dañadas por el frío en sus hábitats naturales, ya que han desarrollado mecanismos fisiológicos adaptativos por los que se encuentran latentes cuando llegan los fríos invernales. Por ejemplo, las hojas de las especies de latitudes boreales captan el acortamiento del día al final del verano e inician mecanismos inhibitorios que detienen su crecimiento mucho antes de que lleguen las primeras heladas de otoño. Por el contrario, las especies que habitan en latitudes con inviernos templados tienden a seguir creciendo mientras que la temperatura y la humedad del suelo sean favorables. Las especies que habitan en latitudes intermedias han desarrollado un tercer tipo de mecanismo fisiológico de adaptación, incorporando alguna de las características antes señaladas. Los inviernos en latitudes medias pueden ser fríos o templados. Por ello, las especies han desarrollado exigencias en frío muy altas durante el periodo de reposo, de forma que no crecen aunque la temperatura sea favorable (Westwood, 1987).

Las especies de zonas templadas inician al principio del otoño un periodo de reposo vegetativo. En estas fechas las yemas entran en un estado de dormancia que se prolonga durante el invierno, por lo que se denomina reposo invernal, también dormancia o latencia y que se caracteriza por la supresión temporal del crecimiento visible de cualquier estructura de la planta que contenga un meristemo, a pesar de lo cual su actividad fisiológica no cesa, si bien se desarrolla de una manera ralentizada (Lang, 1987).

Dentro del proceso latencia se distinguen tres estados (Cuadro 1);

Paralatencia: regulada por factores fisiológicos de la planta que se dan fuera de la estructura afectada; entre estos factores se puede destacar la dominancia apical. Puede ocurrir en cualquier fecha del año.

Endolatencia: regulada por factores fisiológicos propios de la estructura afectada. Común durante el invierno en plantas de zonas templadas.

Ecolatencia: regulada por factores ambientales entre los que destacan, la falta de agua o temperaturas extremas que afectan a numerosos procesos que influyen en el crecimiento vegetal (Lang, 1987). Y por lo tanto, posible a la salida del invierno, pero también en otras fechas.

Nivel de organización	Terminología
I. Condición base	
Suspensión temporal de crecimiento de cualquier estructura de la planta que contiene un meristemo	
II. Procesos	
Factores fisiológicos dentro de la estructura latente	Endolatencia
Factores fisiológicos dentro de la planta y fuera de la estructura latente	Paralatencia
Estrés ambiental que produce respuestas específicas	Ecolatencia
III. Control de los factores (input)	
A. Endolatencia	
Bajas temperaturas	Endolatencia criogénica
Fotoperiodo	Endolatencia fotoperiódica
Calidad luminosa	Endolatencia espectral
Ritmos endógenos	Endolatencia rítmica
B. Paralatencia	
Meristemo apical	Paralatencia apical
Hojas subyacentes, escamas o cotiledones	Paralatencia laminar
Tegumento	Paralatencia debida a la testa
Peridermis	Paralatencia peridermal
Bajas temperaturas	Paralatencia criogénica
Fotoperiodo	Paralatencia fotoperiódica
Calidad luminosa	Paralatencia espectral
C. Endolatencia	
Temperatura	Ecolatencia térmica
Agua	Ecolatencia hídrica
Nutrientes	Ecolatencia nutricional
Niveles de CO ₂ O ₂	Ecolatencia atmosférica

Cuadro 1. Clasificación de la latencia y sus posibles términos. Fuente: Lang (1987).

La latencia es un mecanismo adaptativo que capacita a las plantas leñosas para sobrevivir a las bajas temperaturas invernales. Este complejo proceso se caracteriza por el cese de la actividad de los meristemas, y va acompañado del desarrollo de las yemas de otoño, de notables modificaciones metabólicas, de la adquisición de una elevada tolerancia al frío y, en las especies caducifolias, de la senescencia y abscisión de las hojas. La inducción de la latencia responde a señales medioambientales. En la mayoría de las plantas leñosas el acortamiento del fotoperiodo induce el cese del crecimiento, la formación de las yemas de otoño y una moderada aclimatación al frío. Después, la bajada de las temperaturas induce una mayor tolerancia al frío y la caída de las hojas. La evidencia experimental indica que el sistema de los fitocromos juega un papel importante como sensor de la duración del día y recientemente se ha comprobado que el control fotoperiódico de la inducción de la latencia en chopo (*Populus tremula x tremuloides*) ocurre mediante un mecanismo molecular que tiene elementos comunes con el que controla la transición floral en respuesta al fotoperiodo en *Arabidopsis*. La influencia de las bajas temperaturas es menos conocida. El reloj circadiano del castaño (*Castanea sativa*) se altera durante el invierno y en respuesta al frío, lo que debe tener importantes consecuencias sobre la fisiología general de la planta. Sin embargo, no hay todavía evidencia directa sobre su incidencia en la regulación de la latencia (Allona et al., 2008). La latencia también puede producirse como consecuencia a una falta de agua. El inicio de la latencia se ha relacionado con un aumento de los niveles de ácido abscísico (Roldán y Martínez Zapater, cit. por Azcón-Bieto et al., 2000).

Inicialmente la entrada en reposo se atribuyó enteramente al aumento del ácido abscísico. Hoy se entiende que el reposo está relacionado con un descenso progresivo del contenido de promotores de crecimiento (auxinas, giberelinas y citoquininas) y un aumento progresivo de inhibidores del mismo (ácido abscísico) (Agustí y Reig, 2006).

2.6.1 Regulación hormonal del reposo

A continuación se analiza el papel de una serie de hormonas que están implicadas directamente e indirectamente en la regulación del reposo en el níspero japonés y en otras especies también, así como en gran parte de los procesos internos de la planta.

Las auxinas son el primer grupo de hormonas vegetales que se descubrió; fueron descubiertas en 1925 por Seubert quien demostró por primera vez la existencia de estos compuestos. Sin embargo, no fue hasta 1928 cuando Went desarrolló la prueba de curvatura de la avena que hizo posible cuantificar la relación auxínica en las plantas. La auxina natural más abundante en las plantas es el ácido indol-3-acético (IAA). Es la hormona vegetal que más influye en la expresión reproductora y vegetativa de la yema (Chen et al., 2001). La producción de la auxina se ha demostrado que ocurre primordialmente en los ápices meristemáticos de tejidos verdes (tallos, primordios de hoja y hojas jóvenes). Aunque se encuentra en grandes cantidades en ápices radicales, flores, frutos, semillas y otras partes vegetativas, las evidencias indican que no se producen allí, sino que son transportadas a través de las células del parénquima en contacto con haces vasculares (Jacobs, 1979). Las auxinas ejercen una influencia inhibitoria (dominancia apical) sobre las yemas laterales (axilares) evitando o retardando su desarrollo. Las auxinas influyen también en procesos como la división celular del cámbium, la diferenciación vascular, la formación de raíces adventicias y el desarrollo de frutos. A bajas concentraciones son necesarias para la inducción floral (Hegele et al., 2010). A altas concentraciones, sin embargo, actúan como inhibidoras. Las auxinas estimulan la morfogénesis floral e intervienen en la definición del sexo de la flor, propiciando en general la feminización de las flores hermafroditas y la aparición de flores femeninas.

Las giberelinas (GAs) son otro compuesto de naturaleza hormonal con bastante presencia en las plantas y que presentan una gran importancia. Las giberelinas fueron descubiertas en Japón durante la década de 1930 y aisladas en 1939 a partir de estudios con plantas de arroz enfermas que alcanzaban grandes alturas (Weaver, 1989). Las giberelinas son compuestos naturales que actúan como reguladores endógenos del crecimiento y desarrollo en los vegetales superiores (Talón, 2000). Las giberelinas son producidas y liberadas por las semillas y son altamente inhibidoras de la inducción floral en numerosos frutales de hoja caduca. Las giberelinas son grandes estimuladoras del crecimiento de las plantas, y suelen estimular la elongación de tallos intactos mucho más que el de secciones escindidas de tallo, por lo que sus efectos son contrarios a los de las auxinas en este aspecto. Boss y Thomas (2002) ponen de manifiesto que en vid las GAs inhiben la floración. Cuanto mayor es la cantidad de frutos en un árbol, mayor será la concentración de GA liberada y consecuentemente mayor será la inhibición de la

inducción floral para la siguiente temporada (Li et al., 1995, cit. por Lobos, 2006). Esta es la causa de la alternancia productiva, también conocida como vecería y que caracteriza a muchas especies leñosas. La alternancia se define por la obtención de cosechas fluctuantes en el tiempo siguiendo patrones bianuales, es decir, el frutal presenta un año una alta carga y el año siguiente le sigue una baja carga, hablándose de años “on” y años “off”, respectivamente. Las giberelinas rompen la latencia de las yemas de muchas especies, actuando como sustitutivo de las bajas temperaturas, los días largos o la luz roja. Las giberelinas pueden sustituir a las necesidades de días largos en algunas especies, con lo que una vez más se demuestra la existencia de una interacción con la luz. Las giberelinas también suplen la necesidad que tienen algunas especies de un periodo inductivo frío (vernalización) si están a punto de florecer para hacerlo más pronto (Salisbury et al., 2000). En níspero japonés el nivel más bajo de GA lo podemos encontrar unos 30 días antes de la formación de las yemas florales (Ersoy et al., 2008).

El ácido abscísico (ABA) se identificó y se caracterizó químicamente por primera vez en California, en 1963, y lo hicieron Frederick T. Addicott y sus colaboradores. El ácido abscísico es producido por la raíz, hojas maduras y por las semillas. Se mueve en el xilema y floema. El ácido abscísico da a los órganos de las plantas la señal de que están sufriendo estrés fisiológico. Entre estos factores de estrés podemos citar la falta de agua, los suelos salinos, las temperaturas frías y la congelación. El ABA regula el nivel de agua en la planta y promueve la síntesis de proteínas así como facilita el transporte y la descarga de productos de fotosíntesis. En respuesta al déficit hídrico en el suelo, el ABA es transportado por el xilema desde la raíz a hojas maduras (Ruiz-Medrano et al., 2001). Otra consecuencia observada al aumento de ABA es un menor crecimiento de la parte aérea de la planta con relación a la raíz; asimismo, el meristemo vegetativo se transforma en uno floral más rápidamente (Ruiz-Medrano et al., 2001). Ya en 1978 Powell pone de manifiesto que el ácido abscísico es un inhibidor del crecimiento de la parte aérea. Así la planta acelera eventos tales como la floración, a la vez que concentra sus recursos en la formación de raíces. El ABA tiene numerosos efectos en el crecimiento y desarrollo de la planta. Una de sus funciones principales es la de mantener la hidratación adecuada de las plantas mediante la coordinación de la absorción de agua y de la transpiración. Los efectos típicos de la aplicación de ABA a las plantas son la reducción de la transpiración como consecuencia

del cierre estomático y cambios en el contenido de proteínas y en los procesos metabólicos que permiten a la planta adaptarse y sobrevivir a estreses medioambientales (Cutler, 2007). El ABA es la primera hormona que se ha reconocido como una de las sustancias responsables de la regulación de la latencia, a la que se le denominó originalmente “dormin” o promotor de la latencia (Addicott, cit. por Rubio Valdés, 2009). En níspero japonés se produce un incremento notable del ABA 30 días antes de la formación de yemas florales (Ersoy et al., 2008).

Las citoquininas fueron descubiertas en la década de 1950 como factores que promueven la proliferación celular y mantienen el crecimiento de tejidos vegetales cultivados *in vitro*. Poco después de su descubrimiento, Skoog y Miller propusieron que la formación de órganos en las plantas se debe al balance existente entre las citoquininas y las auxinas. Usando cultivo de tabaco, Mok et al. (2001) demostraron que un balance alto de auxinas favorecía la formación de raíces mientras que un balance alto de citoquininas favorecía la formación de tallos. Las citoquininas influyen en numerosos procesos de crecimiento y de desarrollo en las plantas. Las citoquininas son un grupo de hormonas que favorecen la inducción floral, liberan a las semillas de la dormancia y a las yemas axilares de la dominancia apical; además retrasan la senescencia de las hojas (Brault et al., 1999). Las citoquininas son esenciales para la morfogénesis, ya que intervienen en la división y expansión celular, sobretodo en la zona del meristemo apical donde promueve su elongación y desarrollo (Romanov, 2009). Junto con las auxinas y giberelinas, las citoquininas están implicadas en la regulación de las relaciones fuente-sumidero, mejorando la capacidad de sumidero de los órganos y sus partes. El pinzamiento de los brotes incrementa la concentración de ésta hormona estimulando el crecimiento de las yemas laterales (Romanov, 2009). La aplicación exógena de esta hormona provoca generalmente un aumento de las estructuras reproductoras. En níspero japonés se produce un incremento de citoquininas (zeatina) en la savia ascendente, alcanzando su máxima concentración tanto al inicio como al final de la floración, sin embargo, sus niveles más bajos se encuentran en plena floración (Ersoy et al., 2008).

2.7 Fase reproductiva del níspero japonés

2.7.1 Salida del reposo

En plantas leñosas de climas templados, la latencia es eliminada por la exposición a bajas temperaturas durante un periodo determinado. Esta latencia también puede ser interrumpida por el aumento de la duración del día, que se produce a finales del invierno. La temperatura y la duración del tratamiento de frío efectivas para eliminar los efectos de latencia varían con las especies e incluso entre cultivares de una misma especie frutal. Para la salida del reposo, es necesario una cantidad específica de frío invernal que restaura la capacidad de la yema para hincharse y crecer de nuevo. Las temperaturas frías efectivas para salir del reposo oscilan entre 0° y 7 °C, o incluso 10 °C para algunas especies (Westwood, 1982). Sin embargo, temperaturas por debajo de 0 °C parecen no ser efectivas para eliminar la latencia de las yemas ya que pueden causar daños. La aplicación exógena de hormonas es otra forma efectiva de eliminación de la latencia, ya que las giberelinas rompen la latencia de las yemas de muchas especie, actuando como sustitutos de las bajas temperaturas o los días largos. Por el contrario, una elevada concentración de ácido abscísico induce la latencia. Wareing y sus colaboradores demostraron que los niveles de ABA aumentaba mucho en las hojas y en las yemas cuando la latencia tenía lugar en los días relativamente cortos de finales de verano. También hallaron que la aplicación directa de ABA a yemas no latentes provocaba en ellas la latencia (Salisbury et al., 2000).

En níspero japonés es de suma importancia el período de latencia conocido como reposo de verano ya que este precede o es contemporáneo a la formación de las panículas. Para un mayor entendimiento de los factores implicados debemos observar las investigaciones y avances realizados en otras especies ya que en níspero el reposo veraniego no está bien definido.

Durante el verano, las yemas de la mayor parte de las especies arbóreas entran progresivamente en un estado que es independiente de las condiciones ambientales y por tanto de naturaleza endógena; dicha condición se mantiene hasta la primavera siguiente y termina con la brotación (ya explicada anteriormente) o la antesis (floración). La latencia de las yemas depende de una progresiva disminución del

contenido de promotores (auxinas, citoquininas, giberelinas) y de un aumento progresivo de los inhibidores como son el ácido abscísico, la naringenina (antioxidante), y otros (Baldini, 1992).

2.7.2 Transición a flor

La inducción floral es un cambio fisiológico interno en el meristemo apical de una yema que determina la naturaleza floral de ésta y tiene lugar previamente a cualquier cambio morfológico visible en la yema (SECH, 1999). De alguna manera, la inducción floral (IF) en los árboles frutales perennes es distinta a la presentada en especies anuales y bienales, porque en las primeras es un proceso cuantitativo con una proporción distinta de meristemos vegetativos y reproductivos en la planta perenne, mientras que en las anuales y bienales todos los meristemos de la planta son inducidos a la vez, de modo que tras la fructificación el ciclo de vida termina (Bangerth, 2009).

A partir de estudios de *Arabidopsis* se ha observado que la transición a flor en plantas anuales está regulada por cuatro vías como son: el fotoperiodo, la vernalización, las GAs y una ruta de regulación autónoma (tamaño de la planta). Estas vías interaccionan entre sí con el fin de activar el gen *Leafy (LFY)* que es el responsable de la floración (Farrona et al., 2008). El gen *LFY* ha sido aislado en seis especies de *Maloideae*, incluyendo en ellas el níspero japonés (Esumi et al., 2005; Liu et al., 2007).

En las especies frutales leñosas este fenómeno se ha estudiado bajo el punto de vista nutricional, pero no se han encontrado relaciones convincentes de la IF con el nivel de reservas, con el metabolismo de los carbohidratos ni con la nutrición mineral. Algunos estudios sugieren una alteración del mecanismo de la reducción de nitratos en plantas incapaces de florecer o con una intensidad de floración baja, pero tampoco son concluyentes (Agustí y Reig, 2006). Por otro lado, aunque se ha sugerido que el proceso está regulado hormonalmente y en el mango existe alguna evidencia de la existencia de un estímulo floracional producido por las hojas y transmisible por injerto (Wilkie et al., 2008), realmente no se ha identificado ninguna sustancia química que actúe como mensajero en el desarrollo de flores; sin embargo, sí se conocen hormonas

capaces de impedirlo. Bajo este punto de vista, actualmente el proceso de la floración en las plantas leñosas se entiende como un proceso inhibitorio más que inductivo, es decir, superado el periodo de juvenilidad, todas las yemas tienen la información suficiente para desarrollar flores y están constantemente inducidas, si no florecen es porque algún(os) factor(es) inhibidor(es) se lo impide, y dicho factor actúa de un modo cuantitativo (Martínez-Fuentes et al., 2004). En este mismo sentido, Goldschmidt y Samach (2004) sostienen que las plantas perennes leñosas pueden estar constantemente inducidas, pero la floración es reprimida por un inhibidor de la floración (por ejemplo, GA), que actúa de una manera similar al gen *TLC* que reprime la floración en *Arabidopsis*.

En la actualidad, los mecanismos de regulación de la inducción floral en los frutales están suficientemente descritos, en particular con respecto a los mecanismos fisiológicos y moleculares que impiden la inaccesibilidad total o parcial de los genes para reaccionar a determinados promotores florales. En los frutales, las modificaciones epigenéticas exigen señales exógenas de larga distancia, debido a la distancia entre los brotes receptivos y el lugar de origen de estas señales participantes en la inducción floral. Las hormonas vegetales son los candidatos más probables, presentando una gran importancia en la fisiología de la planta. Las giberelinas y el transporte polar de ácido indolacético se presentan como posibles inhibidores, y las citoquininas como posibles promotores de inducción floral en angiospermas en opinión de Bangerth (2009). Chan y Cain (1967) hace más de 40 años ya demostraron que los frutos partenocárpicos del cv. 'Spencer Seedless' no inhiben la formación de flores, pero la floración se inhibe cuando los frutos contienen semillas, deduciéndose que las GAs producidas por la semilla y transportadas a la yema, serían las causantes de la inhibición de la inducción floral en ellos.

Modelo cualitativo “genética molecular”	Modelo cuantitativo “señales de larga distancia”
Señales de inducción floral	Señales de promoción floral
Fotoperiodo, temperatura baja (vernalización); giberelinas; Factores autónomos que estimulan la inducción floral	Factores exógenos: <ul style="list-style-type: none"> - Temperatura baja (árboles subtropicales) (+). - Alta intensidad de luz (frutales de clima templado) (+). - Escasez de agua (algunos árboles tropicales) (+). - Fotosíntesis alta (carbohidratos suficientes) (+). - Producción y transporte de LDS accesible o no accesibles a los meristemas.
Florígeno (proteína FT): Producción y transporte desde las hojas u otros tejidos al meristemo apical	Factores endógenos: <ul style="list-style-type: none"> - Elevado número de semillas/fruto (-). - Crecimiento vegetativo vigoroso (alta concentración de GA) (-). - Tipo de patrón (fuerte/débil) (-/+). - Localización de las yemas a lo largo del tallo (accesible / no accesible a los promotores de florales) (+/-).
Tiempo de expresión floral/ identidad de los genes (transición morfogénica)	Factores hortícolas: <ul style="list-style-type: none"> - Óptima nutrición. - Particularmente nitrógeno (+). - Eliminación parcial de la fruta joven (aclareo) (+). - Anillado (+). - Crecimiento tras poda (verano/invierno) (-/+). - Poda de raíces (+). - Arqueamiento del brote (+).
Morfogénesis floral	Hormonas como LDS: <ul style="list-style-type: none"> - Giberelinas (-). - Ácido indolacético (-). - Citoquininas (+). - Etileno (+ ?).

Cuadro 2. Esquema comparativo de dos modelos que participan en la inducción floral de una planta anua/bienal (izquierda) y de las plantas perennes (derecha), enumerando factores decisivos en el proceso de inducción floral. Fuente: Bangerth (2009).

Un método para inducir la floración "fuera de temporada" es la aplicación de paclobutrazol o clorato de potasio (Bangerth, 2009). Así como un método para inhibir la inducción de las yemas florales del año siguiente es la aplicación de GAs (GA₁, GA₃, GA₄, y GA₇) durante el desarrollo del fruto del manzano (Stephan et al., 2010).

Bajo estrategias de riego deficitario es común que se produzca un incremento de la floración. Esta promoción de la floración se explica a menudo en términos de una menor competencia por los recursos al restringir el crecimiento vegetativo (Chaikiattiyos et al., 1994). En el caso del níspero japonés, estudios llevados a cabo por Cuevas et al. (2008) cuestionan la hipótesis de competencia por los recursos entre el crecimiento vegetativo y la floración y sugieren que el adelanto y mayor nivel de floración bajo riego deficitario controlado es el resultado de una disminución de la tasa de crecimiento del meristemo apical debido a cambios hormonales que a su vez favorecen el proceso de inducción floral. Estos resultados llevan a estos mismos autores a proponer un modelo de floración basado en la aplicación de técnicas de riego deficitario, mediante las cuales el aumento del ABA debido al estrés hídrico producido, y la disminución de los niveles de GAs (represor de la floración) activarían el proceso de floración, conduciendo a una floración más precoz e intensa.

Una vez producido el proceso de inducción floral sigue la iniciación floral que representa la primera modificación morfológica e histoquímica que marca el cambio irreversible de la yema a la condición floral. La iniciación floral en el níspero se produce coincidiendo con un período de reposo veraniego inducido por factores ambientales, no identificados pero quizás ligados a una combinación de altas temperaturas y déficit de agua. Esto sugiere que el riego deficitario (RDC) se puede utilizar para adelantar el reposo, adelantar la floración, y consecuentemente adelantar la fecha de cosecha (Hueso y Cuevas, 2007).

En níspero japonés una vez iniciada la yema, comienza a detectarse en ella la diferenciación histológica como consecuencia de una mayor actividad mitótica en la periferia de su cúpula. Este proceso es datado a finales de julio para la variedad 'Algerie' (Rodríguez, 2006). Rodríguez (2006) ha caracterizado siete fases a lo largo de los procesos de iniciación, diferenciación y desarrollo floral en el cv. Algerie: ápice meristemático agudo vegetativo, aplanamiento del domo, desarrollo de los ejes de la

inflorescencia, aparición de los sépalos, surgimiento de los pétalos, formación de los estambres y, por último, la elevación de los carpelos. El desarrollo de los órganos florales es centripeto. Por ello, los primeros órganos florales en desarrollarse son los sépalos, seguidos de los pétalos; la iniciación de los estambres ocurre unos 60 días antes de la antesis, adelantándose más de una semana al inicio del desarrollo de los carpelos. Un mes antes de la antesis, las anteras están completamente formadas, mientras que el pistilo que contiene el ovario, el estilo y el estigma con las papilas bien desarrolladas, se desarrolla pocos días antes de la antesis. La diferenciación floral tiene lugar, pues, de julio a septiembre. La diferenciación del eje principal de la panícula se produce al principio del mes de agosto mientras que el eje secundario se produce a mediados de este mes. Los pétalos se observan al principio de septiembre, mientras que los estambres y el pistilo en la mitad a finales de septiembre (Cuevas et al., 2007). Las yemas terminales de los brotes secundarios comienzan su diferenciación floral en el mes de septiembre, un mes después que las yemas principales.

La floración tiene lugar por oleadas. Su escalonamiento está marcado sobre todo por la diferencia en la radiación incidente en los diferentes niveles de los árboles en la época en que por la ausencia de los frutos, su follaje se activa y se muestra más compacto (Gallego, 1991). La floración del níspero japonés se extiende a lo largo de 1,5 a 2,5 meses, excepcionalmente 3 meses, en los climas fríos (Agustí, 2006). El final de la floración se produce cuando todos los pétalos se han caído produciéndose el cuajado inicial de frutos seguidos de una intensa abscisión de frutitos, que regula la población de frutos a su nivel definitivo en los meses de diciembre y enero. Finalmente se produce el desarrollo y la maduración del fruto.

2.8 Riego deficitario controlado

El Riego Deficitario Controlado (RDC) está fundamentado en reducir el aporte de agua en aquellos períodos fenológicos de la planta en los que un déficit hídrico no afecte sensiblemente la producción ni la calidad de la cosecha, aunque se debe cubrir la demanda evaporativa del cultivo durante el resto del año (Mitchell et al., 1986). Por todo ello se debe conocer los periodos críticos del cultivo para la aplicación del RDC. Son varios los objetivos del RDC; mediante el RDC se pretende reducir el vigor

vegetativo, mejorar el reparto de fotoasimilados hacia los frutos y reducir la aparición de alteraciones fisiológicas asociadas al excesivo desarrollo vegetativo (Gariglio cit. por Agustí, 2006).

En los últimos 20 años, el número de estudios sobre RDC publicados en revistas internacionales ha aumentado de manera exponencial. Este interés por la aplicación de técnicas de RDC se ha desarrollado para intentar controlar el vigor en plantaciones de alta densidad y por otra parte, por la importancia y la necesidad que representa la conservación del agua. En los últimos años aparecen también las investigaciones realizadas con el fin de mejorar la calidad de la fruta. Parece que el número de especies cultivadas sometidas a experimentos con RDC ha aumentado con el tiempo, comenzando con árboles frutales templados de hoja caduca, frutales mediterráneos a continuación, y más recientemente, incluso sobre cultivos anuales. En este proceso, se ha observado que no todas las especies responden bien a la aplicación de técnicas de RDC, ya que este método sólo es especialmente apropiado para cultivos que presentan una fase bien definida no sensible al estrés hídrico (Marsal et al., 2008). Sin embargo, en términos de máximo beneficio para el productor, la adecuación final del RDC dependerá más de la meta de la producción que de la adaptación fisiológica del cultivo al estrés hídrico. Un claro ejemplo de esto se ve en la vid de vinificación. En este caso, las ventajas derivadas de la falta de agua producen una acumulación de ciertos compuestos orgánicos en la uva que claramente compensan la reducción en el tamaño de la baya y en el rendimiento (Williams y Matthews, 1990). La eliminación del riego es una técnica bien conocida por los productores de cítricos (Barberá et al., 1985). En varias especies del género *Citrus*, provocar un estrés hídrico en verano, con una posterior reanudación del riego, permite una segunda floración que conlleva una cosecha fuera de temporada más rentable para el productor (Maranto y Hake, 1985).

En el caso del níspero japonés la adaptación al RDC es especialmente clara ya que el crecimiento vegetativo y el crecimiento del fruto están separados en el tiempo. El níspero florece durante el otoño formando inflorescencias apicales en madera del año en curso. Los frutos se desarrollan durante el invierno y maduran en la primavera, llegando a los mercados antes de cualquier otra fruta de primavera. En consecuencia, la cosecha temprana adquiere una importancia primordial, y cualquier técnica capaz de adelantar las fechas de recolección es de gran interés para los productores.

Ya en 1983 Rodríguez, hablaba de la seca del níspero como aquel periodo comprendido entre junio y agosto, indicando que un régimen seco favorecía la parada de la vegetación y la diferenciación de las yemas más pronto. Experiencias más detalladas se han llevado a cabo en nuestras parcelas experimentales. En este sentido Hueso y Cuevas (2003) demuestran que un déficit hídrico moderado en postcosecha, entre los meses de mayo y agosto adelanta la floración entre 13 y 20 días, según los años. Este tratamiento de RDC consiste en disminuir la dotación de agua aplicada en un 20% respecto al control. Este adelanto de la floración, también se traduce en un adelanto de la cosecha (Hueso y Cuevas, 2003) que conlleva producir más precoz con un incremento medio del valor de la fruta de 0,21 €/kg. En esta experiencia ni el rendimiento ni la calidad del fruto se vieron afectados. La aplicación del RDC conlleva además un ahorro de alrededor de 1450 m³/año*ha de agua, lo cual supone un aumento de más de un 40% en la eficiencia del uso del agua (Hueso y Cuevas, 2007). Cuevas et al. (2007) determina por otra parte que el mejor periodo para aplicar el RDC en “Algerie” son los meses de junio y julio, debido a que se produce mayor adelanto de la floración y la cosecha y a su inocuidad en el desarrollo de la flor. Un desarrollo posterior ha precisado el nivel de estrés hídrico que proporciona mayor adelanto de la floración, mostrando que es conveniente reanudar el riego cuando se ha acumulado una integral de estrés hídrico en el suelo de 46,6 MPa/día (Fernández et al., 2009). Optimización del manejo del RDC que se ha convertido en el procedimiento base y constituye el tratamiento de este Proyecto Fin de Carrera.

MATERIAL Y MÉTODOS



3. Materiales y métodos

3.1 Descripción de la parcela de ensayo

Los ensayos se realizaron sobre una parcela de 1575 m² de níspero japonés cv Algeria ubicada en la Estación Experimental de Cajamar “Las Palmerillas”. La estación se encuentra situada en la comarca agrícola almeriense del Campo de Dalías, zona costera del Poniente almeriense, en el paraje Las Palmerillas, dentro del término municipal de El Ejido (Almería) (Fig. 23). Las coordenadas geográficas de este centro de investigación son Longitud: 2°43' W y Latitud: 36°48'N. La altitud es de 151 m.



Figura 23. Vista aérea de la estación experimental de la Fundación Cajamar “Las Palmerillas”.

3.2 Climatología de la parcela de ensayo

La zona donde se encuentra asentada la Estación Experimental y la parcela de ensayo presenta, según las variedades climáticas comarcales propuestas por Capel (1988), un tipo climático mediterráneo semiárido subdesértico o subtropical. Este tipo

de clima se caracteriza por presentar temperaturas medias anuales suaves, que oscilan entre los 15 y 21 °C, registrándose máximas absolutas en julio que pueden superar los 40 °C y mínimas absolutas que no suelen alcanzar los 0 °C debido a su proximidad al mar y su escasa altitud.

Las precipitaciones medias anuales fluctúan entre los 250 y 400 mm y presentan un carácter marcadamente estacional, concentrándose entre los meses de octubre y mayo. El periodo seco abarca desde febrero a noviembre, con una sequía estival muy marcada. La irregularidad interanual de las precipitaciones se pone de manifiesto con periodos que superan los cinco o seis años de sequía con otros más húmedos (Capel, 1988).

La humedad media relativa anual en la zona es del 68%, registrándose el valor máximo en el mes de enero y el mínimo entre mayo y junio, con escasas variaciones a lo largo del año. La humedad media diaria evoluciona a lo largo del año de manera inversa a la temperatura. El número medio de horas de sol acumuladas en un año es de 3275 como media de la serie histórica entre 1992 y 2006. La evaporación en esta zona es muy elevada, sobre todo en los meses de verano (durante los cuales se aplican los tratamientos de nuestros ensayos), en los que alcanza valores entorno a los 275 mm.

Los vientos dominantes de la zona son de componente Oeste, con rachas que pueden llegar a superar los 100 Km/h. Los vientos son ayudados por la complicada orografía y la altitud de las formaciones montañosas de la región que los dotan de ascensionalidad y acentúan el disparo vertical de las capas superficiales.

3.3 Descripción del suelo

La zona de ensayo está constituida por una extensión suavemente ondulada, rodeada al Sur y al Este por el Mar Mediterráneo y limitada al Norte por la Sierra de Gádor, en cuya base aparece un conglomerado poco importante y por encima una formación margosa. Sobre esta base aparecen margas arenosas, arenas semiprofundas y calcarenitas (MOPT, 1991).

La parcela se encuentra en una zona abancalada (Fig. 24). El suelo está compuesto por un horizonte superficial (0-10 cm) de textura franco-arcillo-arenosa (46,62% arena; 29,28% limo; 24,11 % arcilla). El siguiente horizonte, donde se encuentra el mayor porcentaje de raíces activas del cultivo (10-30 cm), es de textura franco-arenosa (64,95% arena; 19,29% limo; 15,77% arcilla). La textura franco-arenosa implica una baja capacidad de retención de agua por parte del suelo, siendo el contenido de humedad gravimétrica medido a capacidad de campo del 13,4 %, mientras que en el punto de marchitez permanente es sólo del 5,1 %. El contenido en materia orgánica del suelo es bajo, los niveles de calcio activo y nitrógeno aceptables, las cantidades de fósforo asimilable poco significativas y no presenta problemas de salinidad. El suelo presenta una elevada proporción de materia orgánica en las primeras capas y un pH ligeramente básico de 8,73. Las características del suelo pueden observarse en los anexos.



Figura 24. Abancalamiento de la parcela.

3.4 Material vegetal

El ensayo se realizó durante las campañas 2008/09 y 2009/10, sobre una plantación de níspero japonés cv. *Algerie*, injertado sobre membrillero (*Cydonia oblonga* Mill.) de ‘Provence’. La plantación fue establecida en 1992. La variedad ‘*Algerie*’, a pesar de haber sido multiplicada comercialmente en Callosa d’Ensarrià

(Alicante), procede de semilla germinada en Argelia. La variedad ‘Algerie’ constituye la variedad más difundida en España. Los árboles de esta variedad se caracterizan por su vigor medio, con tendencia a la verticalidad, siendo muy productivos (Fig. 25) (Martínez-Calvo et al. 2000). Sus frutos son de tamaño medio a grande, de forma ovalada, piel áspera y fácil pelado a la hora del consumo. ‘Algerie’ madura a finales de abril. Según Rodríguez (1993), las hojas de la variedad ‘Algerie’ tienen una longitud media de 30 cm y una anchura media de 10 cm, son de un color verde oscuro, con el margen aserrado en el último tercio, un ápice puntiagudo y un peciolo largo.



Figura 25. Árbol de níspero japonés cv. ‘Algerie’.

La superficie de la parcela es de 1575 m², presenta una densidad de plantación de 400 árboles/ha, dividida en cuatro setos. Los árboles se disponen a un marco de 5 x 5 m, con un total de 63 árboles distribuidos en 5 filas (Fig. 26). Las filas están orientadas para el riego de Este a Oeste. El sistema de formación es en vaso libre, con la cruz formada a unos 60-80cm (Fig. 27).

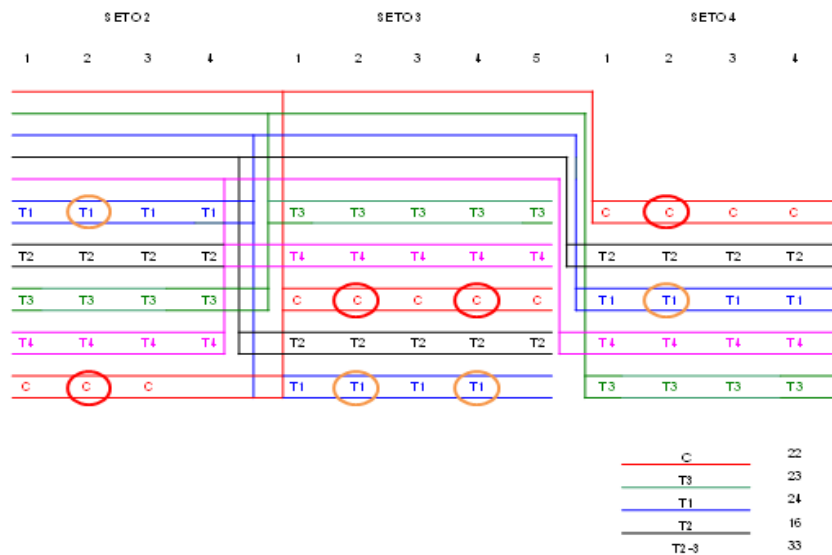


Figura 26. Distribución de la parcela y selección de árboles muestreados.



Figura 27. Formación en vaso del níspero japonés.

Durante la experimentación que se presenta todos los árboles de la parcela recibieron los mismos cuidados y tratamientos culturales, excepto en lo que el riego (tratamiento experimental) representa. La fertilización se aplicó mediante fertirriego con un total anual de 250 kg. ha⁻¹ de nitrógeno, 100 kg. ha⁻¹ de fósforo, 175 kg. ha⁻¹ de potasio, 15 kg. ha⁻¹ de zinc, 15 kg. ha⁻¹ de hierro y 7,5 kg. ha⁻¹ de materia orgánica (ácidos húmicos y fúlvicos) (Anejo 7.1). Durante el ensayo se han realizado tratamientos fitosanitarios aplicando *Deltametrin* contra pulgón (*Aphis spp*) y aplicando

Mancozeb, *Oxicloruro de cobre* y *Ciproconazol* contra el moteado (*Fusicladium eriobotryae*) (Anejo 7.2). La poda se realizó en septiembre. El mantenimiento del suelo se realizó mediante la eliminación de malas hierbas por medio de herbicidas y de forma mecánica en la proximidad del árbol. La eliminación de sierpes del patrón membrillero se realizó también de forma mecánica.

3.5 Diseño experimental y tratamientos

Sobre el material vegetal en ensayo se establecieron diferentes tratamientos de riego, los cuales difieren en la cantidad de agua aportada al cultivo y en el cese del riego durante un periodo, en el caso del tratamiento denominado Riego Deficitario Controlado. El Control recibió una dotación anual de agua de 784,6 mm/m², mientras que el RDC recibió una dotación de 613,2 mm/m², observándose un ahorro de agua del 22% (Anejo 7.3). El diseño experimental seguido es el de un ensayo totalmente al azar con dos tratamientos (Control vs RDC) y cuatro repeticiones constituidas por árboles individuales. La descripción de los tratamientos es la siguiente:

- Testigo o control: nísperos que reciben el 100% de la evapotranspiración (ETc) estimada a partir de los valores medios de evaporación medidos en la estación meteorológica que se encuentra en las instalaciones. Los árboles control no sufrieron ninguna situación de estrés hídrico a lo largo del ensayo.
- Tratamiento 1: tratamiento en el que se eliminó el riego desde el 7 de junio hasta el 2 de agosto, un total de 8 semanas durante el verano hasta alcanzar un nivel de integral de estrés hídrico aproximado de 45 MPa*día, evaluado mediante controles semanales del potencial hídrico de tallo (Fernández et al., 2009).

Los árboles de los dos tratamientos estaban distribuidos en los 3 setos, y fueron seleccionados mediante sorteo. Sobre estos árboles se realizaron seguimientos tanto en el Control como en el RDC, comenzando el 30 de abril y terminando el 30 de septiembre durante el año 2010. Durante el año 2009 se realizaron los mismos análisis en el Control y en el RDC, aunque las fechas no fueron las mismas, el Control se siguió

del 15 de mayo al 4 de septiembre y el RDC del 17 de julio al 4 de septiembre. Durante el año 2009 en el tratamiento RDC se eliminó el riego desde el 8 de junio hasta el 19 de julio, un total de 6 semanas.



Figura 28. De derecha a izquierda, etiquetado tratamiento RDC y Control.

El agua utilizada para el riego procedía de un sondeo de la finca y presentaba al tiempo del ensayo una CE a 25° C de 1,143 dS m⁻¹ y un SAR de 2. Según las normas de Riverside establecidas para evaluar la calidad de las aguas de riego, ésta es un agua de buena calidad y apta para el riego (C2-S1) (Anejo 4). Para el riego se utilizó un sistema de riego localizado formado por dos líneas de goteros en cada fila de árboles. Los goteros utilizados eran goteros autocompensantes y antidrenantes de 2,3 l h⁻¹ integrados en las líneas cada 0,5 m, en tuberías con diámetro de 17 mm y un espesor de 1,2 mm. Cada árbol presentaba un total de 18 goteros y recibió 41,4 l h⁻¹.

3.6 Parámetros

3.6.1 Crecimiento del brote.

El objeto de esta medida era caracterizar el modelo de crecimiento del brote (sigmoide, doble sigmoide, episódico con varios flujos de crecimiento...) y establecer tras el análisis de su crecimiento las fechas de entrada y salida del reposo veraniego del níspero japonés cv. 'Algerie'. Adicionalmente, se pretendía determinar el efecto del RDC poscosecha sobre el tamaño y la dinámica de crecimiento del brote y su relación con los balances hormonales que eventualmente pudieran gobernarlo.

Para este objetivo, se realizó un estudio del crecimiento del brote mediante la evolución de la longitud del brote, del número de hojas nuevas emitidas, y del tamaño (longitud) en función de la edad (estimada por su fisionomía) de la última hoja formada. Las medidas se llevaron a cabo sobre los cuatro árboles seleccionados de cada tratamiento. En cada árbol se marcaron ocho brotes principales a la altura del observador en las direcciones Norte, Sur, Este y Oeste.

En 2010, la primera medida de la longitud del brote, se realizó el 30 de abril, inmediatamente tras la recolección, momento a partir del cual el cultivo empieza a desarrollar brotes. Las medidas se prolongaron hasta el 30 de septiembre, periodo a en el que ya se apreciaba en el ápice del brote la elongación de la panícula terminal. Los muestreos se realizaron quincenalmente. Para determinar la longitud del brote se tomaron medidas con una cinta métrica desde la inserción del brote nuevo hasta el extremo superior del brote.

Del análisis de la dinámica de crecimiento del brote en ambos tratamientos se derivó la fecha de establecimiento de la salida y la duración del reposo veraniego. El reposo se definió aquí como aquel periodo durante el que no hubo crecimiento visible previo a la aparición de la panícula terminal. Este reposo se caracterizó a nivel de brote individual y tratamiento.

Otro parámetro estudiado fue la tasa de aparición de hoja nueva, computándose como hoja nueva aquella con una longitud superior a 3 centímetros. Para ello se marcaba en cada fecha de muestreo la última hoja formada y la marca utilizada se cambiaba en cada fecha de muestreo cada vez que se observaban hojas nuevas. A la vez que se contabilizó la aparición de hoja nueva, se cuantificó la longitud de la última hoja formada. El objetivo de esta medida era determinar si en ausencia de emisión de nueva hoja, ocurría la elongación o expansión de la lámina de la hoja previa. En cada período de muestreo se consideró además la fisionomía de la última hoja (Fig. 29), diferenciándose como:

- Hoja en desarrollo, aquella de color blanquecino y marcada pubescencia.
- Hoja joven, aquella de color verde claro con menor vellosidad.
- Hoja adulta, aquella de color verde oscuro y una consistencia coriácea.



Figura 29. De derecha a izquierda. Hoja en desarrollo, hoja joven, hoja adulta.

Como se ha indicado, las fechas de muestreo fueron quincenales desde el final de la recolección (30 abril) hasta que la yema apical alcanzó el estado fenológico B (30 septiembre), denominado yema hinchada (Cuevas et al., 1997). En estas fechas ya se apreciaba una falta de crecimiento de los tallos, y un aumento de tamaño y redondeo de las yemas apicales como consecuencia de la morfogénesis de la inflorescencia. Estos mismos muestreos que se realizaron durante el año 2010 se compararon con los datos obtenidos en año 2009, con el fin de poder comparar con mayor exactitud el patrón de crecimiento del brote en los dos tratamientos de riego.

Para determinar el tiempo y modo en que un primordio foliar alcanza la condición de hoja adulta y como esto se relaciona con la nueva aparición de un flujo nuevo de crecimiento se marcaron el 25 de junio de 2010 hojas recién aparecidas, con un tamaño menor a 3 cm de longitud. Este marcaje se realizó en una fecha intermedia del RDC a partir de la cual los árboles sometidos a RDC tras varias semanas de sequía, expresaban los efectos del estrés hídrico acumulado sobre el crecimiento de la hoja, para poder evaluar los efectos del RDC sobre el tamaño de la lámina y los hipotéticos nuevos flujos de crecimiento. La duración del RDC fue de 8 semanas comprendidas desde el 7 de junio hasta el 2 de agosto. Para llevar a cabo este análisis se partía de la última hoja emitida en el último flujo de crecimiento en la fecha de etiquetado. Para el marcaje se utilizaron alambres con alma metálica (“twist bands”) de diferentes colores. Las medidas se llevaron a cabo sobre los cuatro árboles seleccionados de cada tratamiento. En cada árbol se marcaron cuatro hojas a la altura del observador en las direcciones Norte, Sur, Este y Oeste. La primera medida de la hoja fue realizada fue el 25 de junio y la última el 24 de septiembre. Los seguimientos de la longitud de la hoja se realizaron cada martes y viernes desde el 25 de junio hasta el 27 de julio; posteriormente y hasta el 24 de septiembre se realizaron medidas semanales.

Sobre las hojas se midió la longitud y anchura (Fig. 30) y se valoró su apariencia (hoja en desarrollo, hoja joven, hoja adulta). La longitud de la hoja se midió desde la inserción del peciolo con el brote hasta la punta del ápice y la anchura de la hoja en la zona media de la hoja donde la anchura es máxima.



Figura 30. Medida del largo y ancho de una hoja.

Los valores obtenidos en los diferentes ensayos, relativos al crecimiento del brote mediante la evolución de la longitud del brote, del número de hojas nuevas emitidas, y del tamaño, fueron sometidos a estudio comparativo mediante análisis de la varianza. Los valores medios de cada parámetro fueron comparados respecto al control mediante el test de Tukey con $P < 0,05$. Todo ello se realizará con el programa estadístico PASW Statistics versión 18 (SPSS, 2009).

3.6.2 Balance hormonal

Con el fin de relacionar la dinámica de crecimiento y el reposo del brote con los balances hormonales de la yema apical en las diferentes fechas se muestrearon yemas del tratamiento control y del tratamiento de RDC en diferentes momentos del desarrollo del brote. Las fechas de muestreo fueron: 22 junio, 16 julio, 3 agosto, 14 agosto y 30 de septiembre.

Los efectos del RDC sobre la dinámica de crecimiento del brote y su reposo permiten obtener meristemas apicales que se encuentran presuntamente en diferente condición (Cuadro 3). Así el 22 de junio, se pretende muestrear yemas de brotes en activo crecimiento. Por el contrario, los muestreos del 16 de julio y 3 de agosto perseguían analizar yemas en un estado diferente según tratamiento: reposo para el RDC el 16 de julio (crecimiento activo en el caso del control) y reposo para el control el 3 de agosto (activo crecimiento para el RDC). Por último, el muestreo de mediados de agosto procuraba analizar yemas a la salida del reposo en ambos tratamientos. A finales de septiembre las yemas estaban ya desarrollando la panícula (Cuadro 3).

	22 Junio	16 Julio	3 Agosto	14 Agosto	30 Septiembre
Control	Activo	Activo	Reposo	Activo	Panícula
RDC	Activo	Reposo	Activo	Activo	Panícula

Cuadro 3. Estado de los brotes en las diferentes fechas y tratamientos.

En el momento de la recolección de las yemas se introdujeron en nitrógeno líquido con el fin de que no alterasen sus condiciones. La fijación en nitrógeno líquido

mejora también el proceso de manipulación de las yemas para el análisis, ya que su trituración es más sencilla. Tras la fijación de las yemas en nitrógeno líquido se guardaron convenientemente etiquetadas en un congelador a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su posterior análisis. Para los análisis se utilizaron dos extracciones diferentes:

❖ **Extracción 1:** Consistente en una extracción en fase sólida, mediante la cual obtendremos el extracto que debe contener la giberelina GA_3 .

El método de extracción utilizado fue el siguiente: Se cogieron 2 gramos de cada yema de níspero y se trituraron con mortero (Fig. 31) o molinillo de café; posteriormente se homogenizaron (Fig. 32) y añadieron 2 miligramos de IAA deuterado 10 ppm como control o patrón estándar y 20 mililitros de agua desionizada. Una vez realizado esto la muestra obtenida se incubó durante 17 horas a $6\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figura 31. Aspecto de la yema triturada.



Figura 32. Homogeneizado mediante vortex.

Transcurridas 17 horas a 6°C la muestra se centrifugó a 3000 rpm durante 15 minutos. Una vez realizado todo el proceso descrito, se obtuvo un extracto que debe contener la GA₃. Para poder inyectar el extracto en el cromatógrafo es necesario preparar la muestra, ya que la muestra debe estar libre de residuos y sólo contener la fitohormona que se desea cuantificar. Dicha preparación se llevó a cabo mediante un equipo de extracción consistente una bomba de agua (Fig. 33) que hace el vacío y obliga a pasar al extracto por un cartucho de extracción SPE (solid phase extraction) Vac C18 3cc, el cual solo deja pasar la fitohormona. Dicho proceso se realizó en 4 pasos:

1. Fase de acondicionado. Consiste en la preparación del cartucho. Se carga 3 ml de agua desionizada y 3 ml de MeOH y se pone en marcha la bomba de vacío hasta que pasa por completo el agua desionizada y el MeOH.
2. Fase de carga de la muestra problema. Se cargan 15 mililitros del extracto en el cartucho de extracción SPE y se pone en marcha la bomba de vacío para que pase la muestra.
3. Lavado del cartucho de extracción con MeOH al 20% y Ácido Fórmico al 0,1%.
4. Elución de la fitohormona en 1 mililitro de MeOH al 80%.



Figura 33. Equipo de extracción consistente en una bomba de vacío y 5 cartuchos de extracción SPE.

Una vez realizada la extracción, la fitohormona se debe encontrar lista para una posterior inyección en el equipo de cromatografía, aunque por seguridad, previamente a la inyección se realizó un filtrado.

❖ **Extracción 2:** Consistente en una extracción liquido-liquido, mediante la cual se hacen pasar los compuestos de una fase a otra, en este caso las fitohormonas pasan del agua al dietil-eter, obteniendo un extracto que debe contener las auxinas (IAA) y el Ácido Abscísico (ABA).

El método de extracción utilizado fue el siguiente: se cogió 1 gramo de cada yema de níspero y se trituró con un mortero o molinillo de café, posteriormente se homogeneizó y se añadió 1 miligramos de IAA deuterado 10 ppm y 10 mililitros de agua desionizada. Una vez realizado esto las muestras se centrifugaron a 3000 rpm durante 15 minutos (Fig. 34).

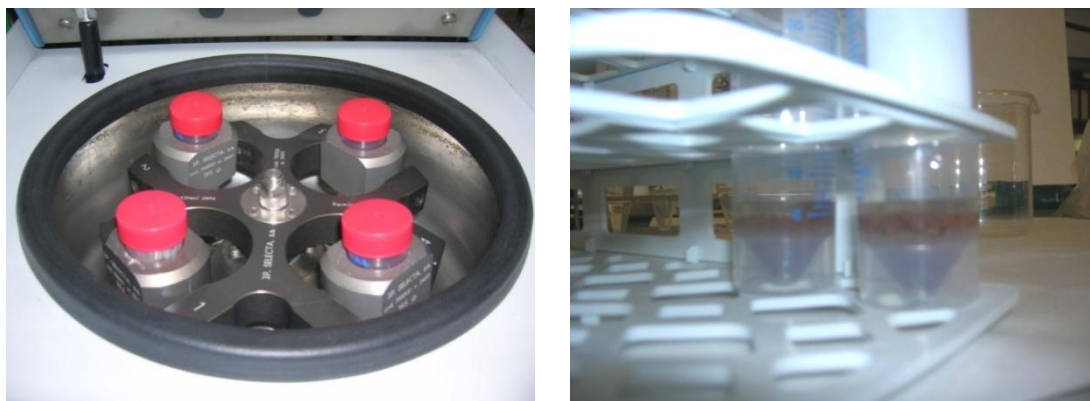


Figura 34. Centrifugadora (foto izquierda), sedimentos obtenidos después de centrifugar (foto derecha).

Posteriormente se tomaron 5 mililitros de cada muestra. Las muestras han de alcanzar un pH alrededor de 5, para proceder a la extracción siendo necesario que la muestra tenga un pH de 2,8. Este cambio de pH se llevó a cabo con ácido acético glacial (100%) (Fig. 35).



Figura 35. pHmetro y ácido acético (glacial 100%).

Una vez que el pH alcanzó un valor de 2,8 se pasó a realizar una doble extracción con 5 mililitros de dietil-éter (éter dietílico estabilizado con 6 ppm de BHT para análisis ACS-ISO). La doble extracción consiste en separar las fitohormonas del

extracto inicial (Fig. 36). La primera de las extracciones consistió en agitar el extracto problema junto con el dietil-eter durante 3 minutos y separar la fase superior de la inferior, ya que es la superior la que contiene las fitohormonas. Para la segunda extracción se utilizó de nuevo la fase inferior que, aunque es la que no debe contener fitohormonas, se procesó con el fin de intentar separar por si quedase algo de fitohormona. Esta fase se agitó durante 2 minutos y la parte inferior se desechó; obteniéndose así los posibles restos añadidos de la fitohormona.



Figura 36. Diferentes vistas de la separación de fases: arriba las fitohormonas con el dietil-eter y abajo agua.

Una vez que obtuvimos las fitohormonas con el dietil-eter, la siguiente fase del proceso fue la separación del dietil-eter de las fitohormonas. Esto se realizó mediante un evaporado con nitrógeno, ya que al entrar en contacto el nitrógeno con el dietil-eter éste se evapora (Fig. 37).

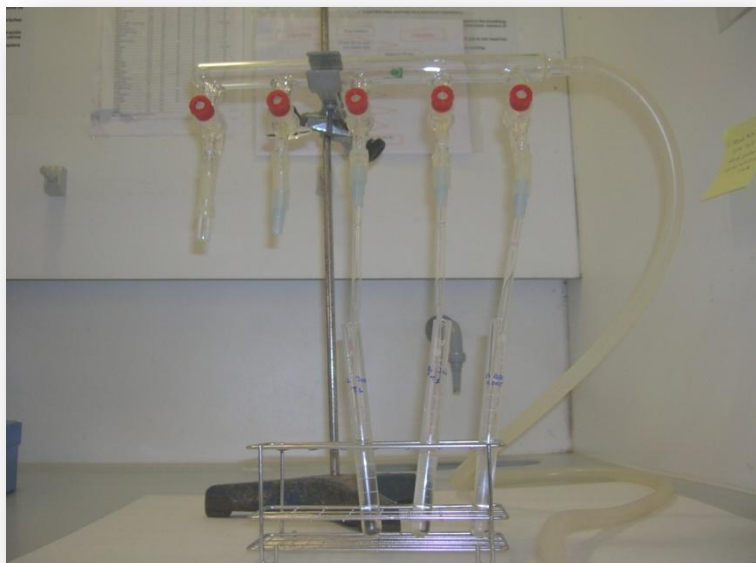


Figura 37. Evaporado del dietil-eter con nitrógeno.

Finalmente se realizó un reconstituido o recomposición con lo que resultó de la evaporación. El reconstituido se realizó con un disolvente inyectado (constituido por una mezcla de metanol al 10% y agua al 90%). Una vez obtenidos todas las fitohormonas listas para inyectar en el cromatógrafo se filtraron las muestras previamente con un filtro Millipore Millex-FH Phobic PTFE de 0,45 μm , con el fin de evitar introducir alguna impureza al equipo. Si es necesario se puede concentrar o diluir la muestra, ya que en alguna parte del proceso puede aumentar o disminuir mucho el volumen de la misma (debido a los diferentes cambios de pH).

❖ Método de análisis mediante el equipo de cromatografía.

El método para el análisis de fitohormonas en muestras de yema de níspero fue desarrollado mediante cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (Fig. 38), con un 6530 Accurate Mass Q-TOF LC/MS, fuente de ionización de electrospray con tecnología Agilent Jet Stream, en modo negativo. La separación cromatográfica se hizo con un sistema de HPLC equipado con una columna analítica de 50 mm x 4.6 mm y 1,8 μm de tamaño de partícula (XDB-C18 Agilent). Las fases móviles utilizadas fueron acetonitrilo con 0,1% de ácido fórmico y 5% de agua MiliQ

(A) y Agua MiliQ con 0,1% de ácido fórmico (B). El método cromatográfico optimizado comenzó con un 100% de B, manteniéndose constante en modo isocrático durante 1 minuto, después se cambió a 100% de A en 10 minutos y se mantuvo constante durante 6 minutos, con un flujo de 0,6 ml/min. Después de cada análisis se dejó un tiempo de reposo de 5 minutos. El volumen de muestra inyectado fue de 10 μ l. Las condiciones óptimas de la fuente de ionización fueron las siguientes: Capilar, 4000 v; nebulizador, 60 psi; drying gas, 5l/min; temperatura gas, 250 °C; voltaje skimmer, 65 v; octapoleRFpeak, 750 v; fragmentor, 90 v.

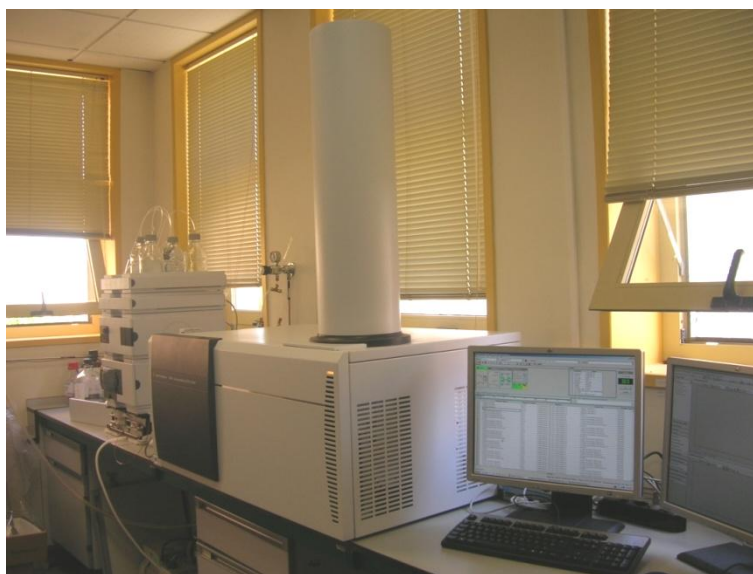


Figura 38. Equipo de cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas.

Los análisis correspondientes al año 2009 fueron realizados en colaboración con el Laboratorio de Química Analítica de la Universidad de Almería (España). Los análisis correspondientes al año 2010 se realizaron en el Laboratorio de Control de la provincia de Izmir (Turquía); estos análisis fueron desarrollados por el Dr. Öner Tatli.

RESULTADOS



4. Resultados

La influencia de los diferentes tratamientos de riego sobre la dinámica de crecimiento de los brotes se ha estudiado durante los años 2009 y 2010. Los análisis preliminares de 2009 fueron completados con un estudio de mayor detalle en el año 2010, por razones que más adelante se explican.

4.1 Año 2009

4.1.1 Crecimiento del brote

El crecimiento de los brotes marcados en los árboles control en 2009, evaluado por la emisión de hoja nueva, siguió un modelo de crecimiento sigmoideo (Fig. 38). En estos árboles se observó desde el final de la recolección hasta el 15 de mayo una elevada tasa de emisión de hoja. Este crecimiento se tradujo en la formación de 7,2 hojas nuevas en apenas 15 días lo que supuso un plastocrono de 0,51 hojas/día. A partir de esta fecha, la emisión de hoja nueva en los brotes de los árboles control se ralentizó hasta mediados de julio cuando la emisión de hoja nueva se detuvo, produciéndose durante estas fechas un plastocrono de 0,17 hojas/día. En estos días se produjo una falta de riego puntual debido a problemas con el programador de riego. A partir del 14 de agosto, los brotes empezaron de nuevo a desarrollar hojas, produciéndose un último flujo de crecimiento que conllevó un plastocrono de 0,32 hojas/día. Los brotes de los árboles control alcanzaron una media de 18,7 hojas (Fig. 39).

El seguimiento del crecimiento del brote en los árboles sometidos a RDC se inició a partir del 17 de julio, poco antes de la reanudación del riego. Al carecer de datos en las primeras fechas se ha optado por no realizar ajuste a modelo alguno en este tratamiento para el año 2009. En estos árboles sometidos a RDC se observó un flujo de crecimiento del brote algo demorado con respecto al reinicio del riego (que ocurrió el 19 de julio) ya que las hojas comenzaron a observarse a partir del 7 de agosto. De este modo se pasó de una media de 7,5 a 13,1 hojas por brote (plastocrono de 0,4 hojas/día) en apenas 2 semanas. A partir del 21 de agosto, la emisión de hoja nueva se ralentizó

otra vez, llegando a cesar por completo. Estos brotes en los árboles sometidos a RDC alcanzaron un valor final de 13,8 hojas como valor promedio (Fig. 39).

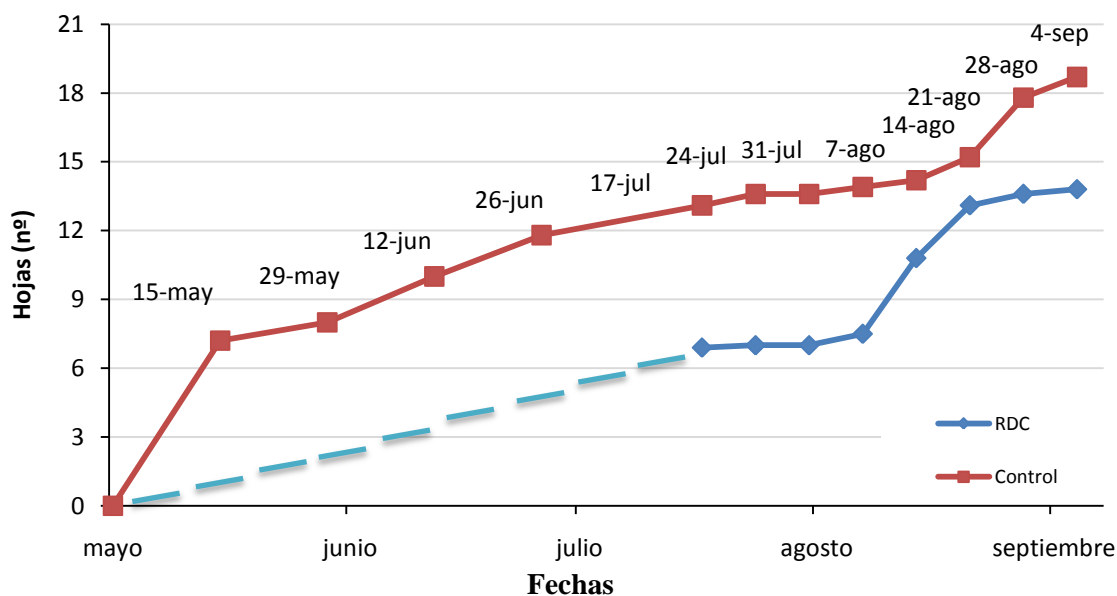


Figura 39. Evolución del número de hojas del brote principal en respuesta a los tratamientos de riego. Año 2009.

4.1.2 Emisión de hoja nueva en un brote modelo

Con el fin de poder indagar en los flujos de crecimiento del brote se consideró oportuno analizar la emisión de hoja en un brote seleccionado como modelo por su carácter más representativo del tratamiento elegido. En este brote modelo (ramo 3 del árbol 3 del tratamiento control) se pudo verificar que la emisión de hoja nueva se produjo de forma episódica; es decir, el crecimiento del brote en el níspero ‘Algerie’ se caracterizó por producirse en flujos. El ramo seleccionado como modelo presentó tres flujos de crecimiento. En el primer flujo, el brote formó rápidamente cuatro hojas, las mismas que se encontraron en el segundo flujo de crecimiento, mientras que en el tercer flujo, el brote formó rápidamente siete hojas adicionales (Fig. 40).

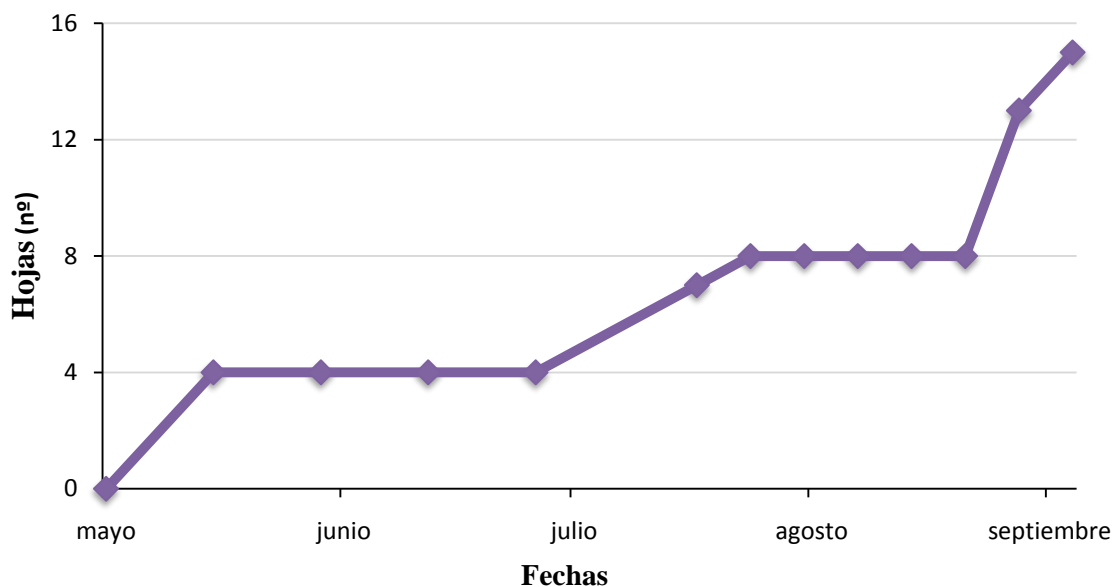


Figura 40. Evolución del número de hojas en un brote modelo. Tratamiento control; año 2009.

4.1.3 Reposo

El reposo se caracteriza por la supresión temporal del crecimiento visible de cualquier estructura de la planta que contenga un meristemo. En el caso del brote del níspero ‘Algerie’ hemos considerado como entrada en reposo el cese en la aparición de hoja nueva antes de la formación de la inflorescencia (aunque en 2010 se midió también la longitud del brote para evaluar la expansión del entrenudo). En 2009, se analizaron los datos correspondientes al tratamiento control, ya que como se ha indicado el tratamiento de RDC carece de datos previos al mes de julio. De los brotes observados un 62,5% presentó un estado de reposo plenamente caracterizable. Sin embargo, un 37,5% de los brotes presentaron un crecimiento más o menos continuo que dificultó la identificación del periodo de reposo y su delimitación sin dudas. En cualquier caso, la entrada en el reposo en aquellos brotes en los que se pudo establecer se produjo en fechas variables. Un porcentaje importante de los brotes (25%) entró en reposo hacia final de junio (Fig. 41), dejando de formar hojas ya desde estas fechas, mientras que alrededor del 35% de los brotes lo hizo a mediados de julio (entre el 17 y 24 julio) (Fig. 40). En conjunto, puede decirse por lo tanto, que un 60% de los brotes entraron en reposo entre finales de junio y mediados de julio. En la figura 40 se puede ver la

distribución de este parámetro, y también que un número importante de brotes se agrupan en fechas variable bajo el rótulo “otra”.

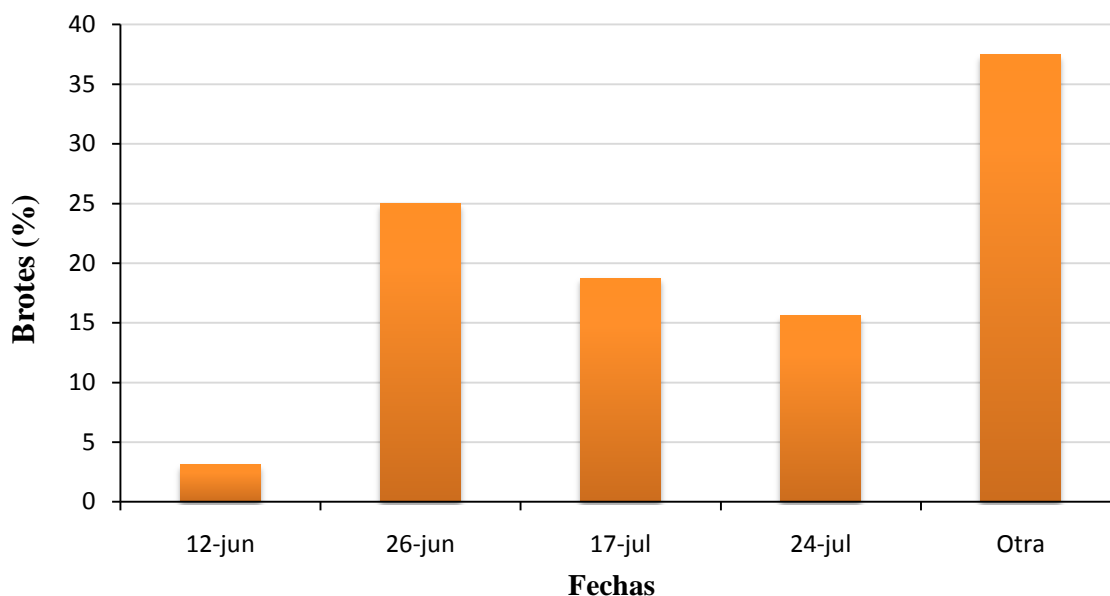


Figura 41. Fecha de entrada en reposo del brote. Tratamiento control; año 2009.

La duración del reposo resultó también bastante variable, fluctuando entre los 28 y 70 días, siendo lo más habitual entre 4 y 8 semanas (Fig. 42). Aquí también la categoría variable, bajo el rótulo “otra” resultó ser elevada, subrayando la gran disparidad observada en los brotes de los árboles control.

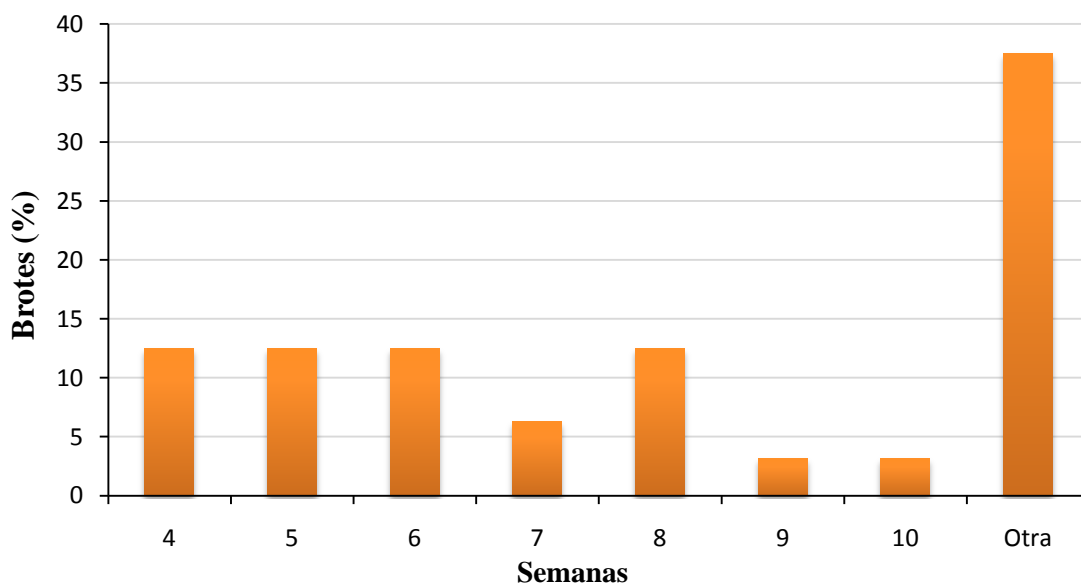


Figura 42. Duración en semanas del periodo de reposo del brote. Tratamiento control; año 2009.

La salida del reposo en estos brotes de los árboles control se produjo de forma algo más homogénea, aunque también hubo ramos que se adelantaron o retrasaron ligeramente. Entre el 7 y el 21 de agosto (Fig. 43), se produjo la salida del reposo en la mayoría de los ramos, representando estas fechas entorno al 60% de los brotes saliendo del reposo y reanudando su crecimiento, con una panícula ya en desarrollo.

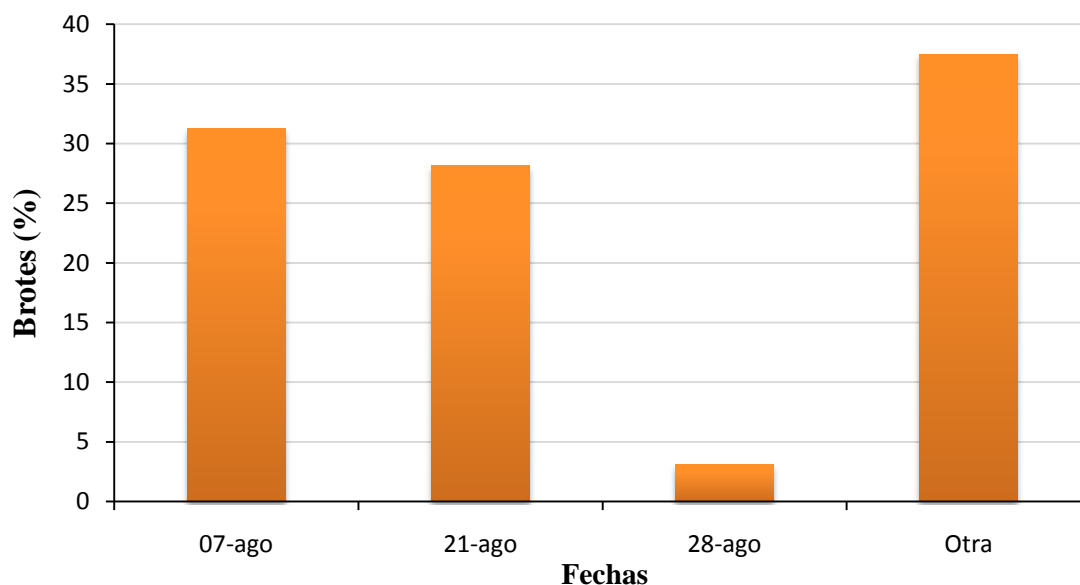


Figura 43. Fechas de salida del reposo. Tratamiento control; año 2009.

4.2 Año 2010

4.2.1 Crecimiento del brote

Los resultados de este año confirman claramente que el uso de estrategias de RDC en poscosecha modificó la pauta de emisión de hoja nueva en los brotes principales del níspero ‘Algerie’. Analizando los brotes marcados en árboles control, plenamente regados, se observó que la emisión de hoja nueva presentó un modelo de crecimiento sigmoideo, mientras que por el contrario, en los árboles sometidos a RDC se observó un crecimiento que se asemeja a una doble sigmoide (Fig. 44).

En los árboles control, desde el final de la recolección hasta mediados de mayo, se produjo un rápido crecimiento del brote, que se tradujo en una formación de 3,6 hojas

nuevas por brote (plastocrono de 0,26 hojas/día), en apenas 3 semanas. A partir de esta fecha el crecimiento se produjo de forma más escalonada y variable hasta principios de julio cuando se observó una ralentización en la emisión de hoja nueva, que conllevó un plastocrono de 0,1 hojas/día. A partir de principios de agosto los brotes volvieron a emitir hoja algo más activamente, dando lugar a un plastocrono de 0,12 hojas/día. A finales de agosto la emisión de hoja volvió a frenarse hasta detenerse por completo a principios de septiembre (plastocrono de 0,04 hojas/día). A partir de esta fecha se observó la emisión de una panícula terminal. La media de hojas por brote fue 12,9.

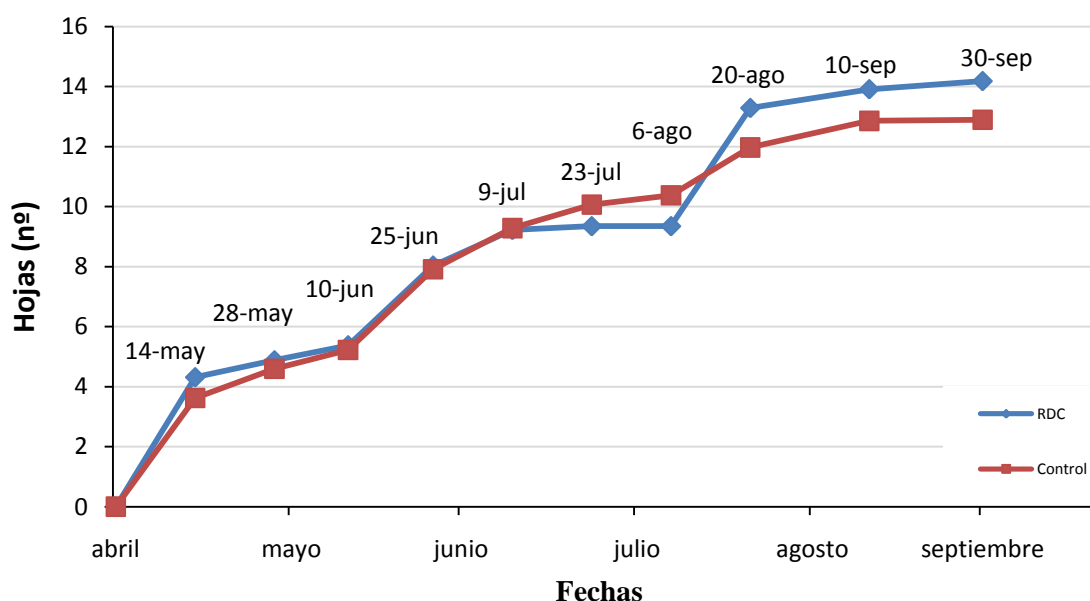


Figura 44. Evolución del número de hojas en el brote en respuesta a los tratamientos de riego. Año 2010.

Los árboles sometidos a RDC inicialmente respondieron inicialmente de forma similar al control, experimentando una rápida emisión de hojas nuevas que se tradujo en 4,3 hojas (plastocrono de 0,31 hojas/día). A partir de mediados de mayo, la emisión de hoja nueva se ralentizó también igualmente hasta principios de julio ya cuando la restricción del riego operaba. Durante este periodo de tiempo el plastocrono fue de apenas 0,09 hojas/día. A partir de entonces la emisión de hoja nueva se detuvo por completo debido a que la falta de riego había instaurado una situación de estrés hídrico severo (potencial de tallo=-1.73 MPa). A partir del 6 de agosto, y con la reanudación del riego, se apreció el rebrote con un desarrollo exponencial en la emisión de hoja nueva acompañada ya de la elongación de la inflorescencia, hasta el 20 de agosto fecha en la

que al formarse la panícula apical, la formación de hoja cesó. El plastocrono en este periodo fue de 0,28 hojas/día. El brote medio en los árboles sometidos a RDC formó 14,2 hojas.

4.2.2 Emisión de hoja nueva en un brote modelo

En el año 2010, se analizaron los brotes más representativos tanto para el tratamiento control como para el tratamiento de RDC. Inicialmente se presenta un análisis de la moda en ambos tratamientos con el fin de poder discutir cómo se comportaron la mayoría de los brotes. Posteriormente, se analizará el brote modelo.

El análisis de la moda se justifica porque el estudio de las medias origina una curva resultado de promediar brotes en ocasiones muy dispares. Así hay brotes con pautas de crecimiento muy diferentes, porque pueden estar adelantados o retrasados fenológicamente, y que enmascaran el patrón de crecimiento de un brote representativo. El análisis de la moda ejemplifica el comportamiento más frecuente del ramo, clarificando la respuesta y observándose que los datos obtenidos mediante la moda son, en este caso, más informativos que los de la media.

Al analizar la moda se observó que el comportamiento de ambos tratamientos con respecto a la emisión de hoja nueva resultó igualmente diferente, ya que los árboles sometidos a RDC presentaron tres flujos de crecimiento, mientras que los brotes de los árboles control produjeron sólo dos flujos de crecimiento claros en la mayoría de los brotes. Eso a pesar de que el número de hojas por brote alcanzado fue similar (Fig. 45). Al analizar los datos se pone de manifiesto que no todos los brotes presentaban el mismo número de hojas, pero sin embargo cada flujo vino igualmente determinado por 4 hojas en la mayoría de las ocasiones. Con el fin de poder analizar en profundidad los flujos de crecimiento se han analizado ramos modelo de cada tratamiento.

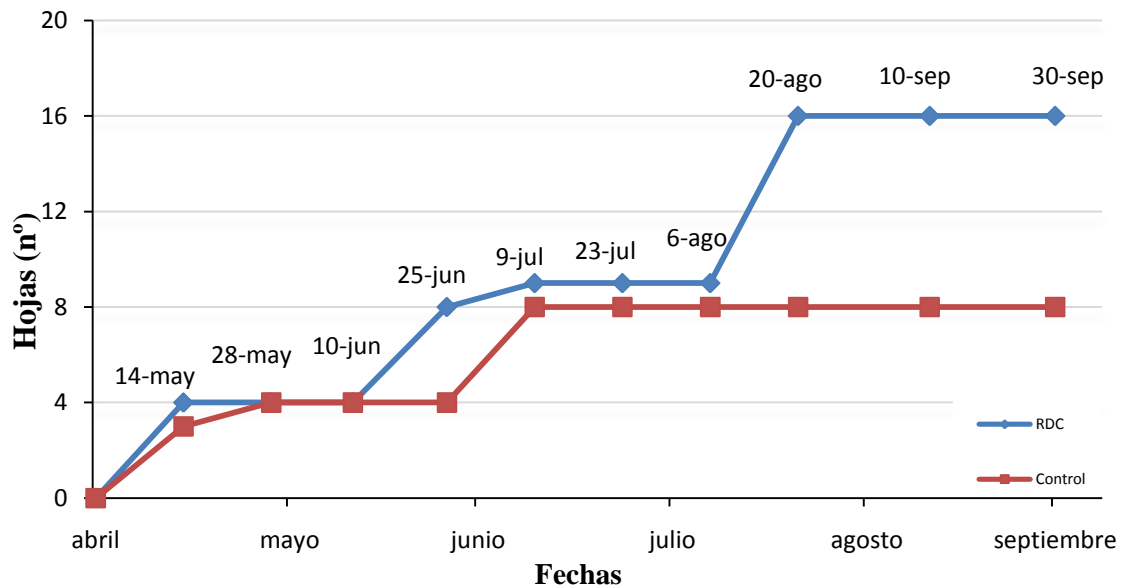


Figura 45. Evolución del número de hojas por brote en respuesta a los tratamientos de riego. Año 2010. Moda.

La tendencia del tratamiento control fue presentar dos flujos de crecimiento, aunque se observó que hubo brotes que también podían presentar 3 flujos de crecimiento. El brote modelo del tratamiento control elegido fue el brote tres del árbol dos. En su análisis se observa que el crecimiento se produjo en dos flujos (Fig. 45). En un primer flujo que va desde el final de la recolección hasta mediados de mayo se formaron cinco hojas. En un segundo flujo comprendido entre finales de junio y finales de julio se formaron seis hojas (Fig. 46). Aunque los flujos en este ramo formaron más hojas que en el brote escogido como más representativo del tratamiento RDC, lo cierto es que se verificó que no hubo diferencias a este respecto y lo más frecuente en ambos tratamientos fue formar 4 hojas por flujo.

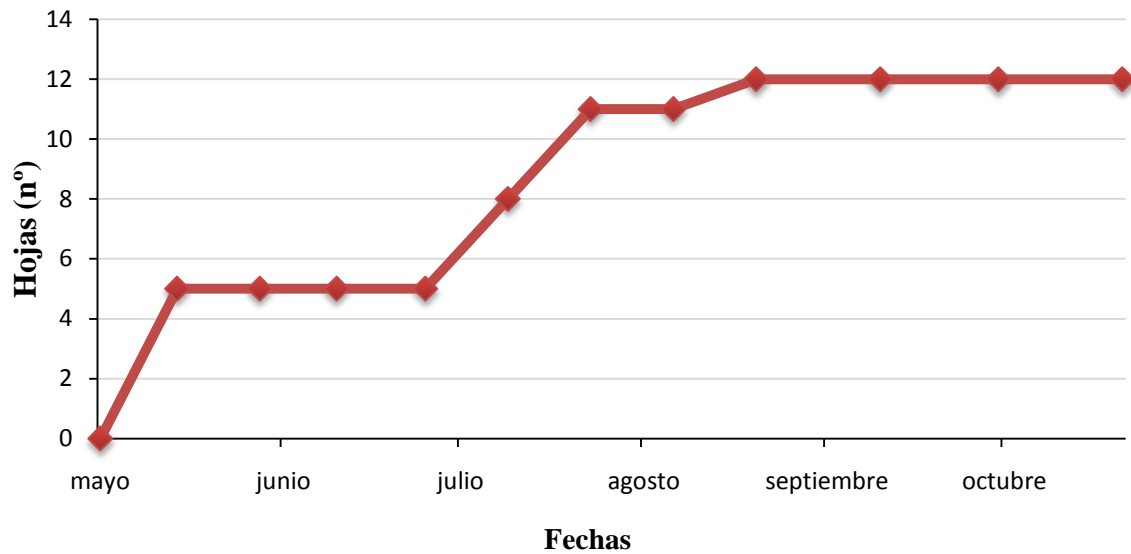


Figura 46. Evolución del número de hojas en un brote modelo (A2, R3). Tratamiento control. Año 2010.

Como brote modelo del tratamiento RDC se ha tomado el ramo dos del árbol cuatro. En la figura 47 se puede observar que el crecimiento del brote se produjo en tres flujos. En un primer flujo comprendido desde el final de la recolección hasta mediados de mayo se formaron cuatro hojas. En un segundo flujo que va desde finales de junio hasta principios de julio, se formaron de nuevo cuatro hojas, mientras que en el último flujo formado tras reanudar el riego (rebrote) se formaron rápidamente ocho hojas.

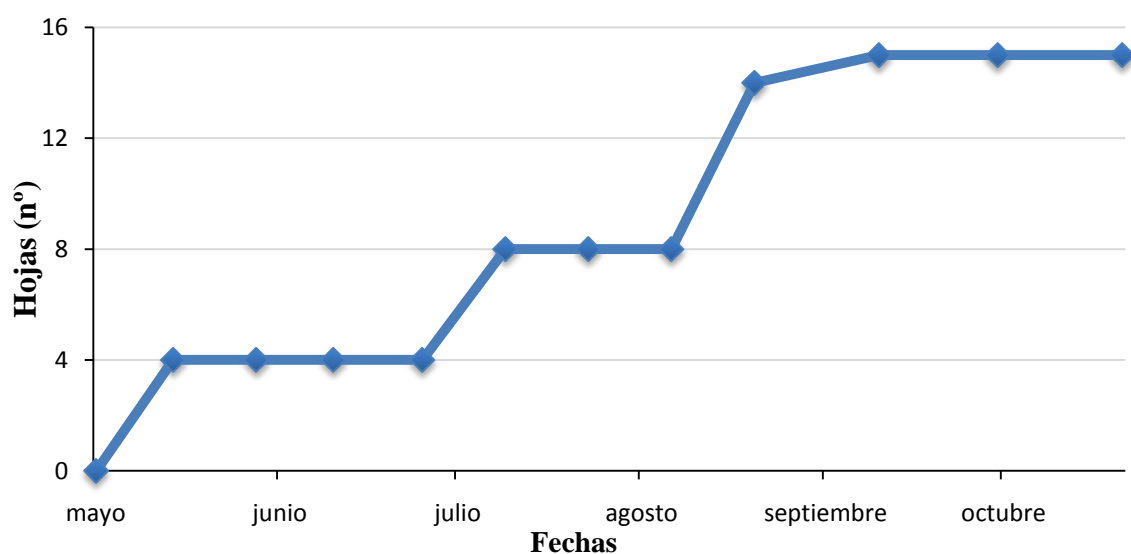


Figura 47. Evolución del número de hojas en un brote modelo (A4, R2). Tratamiento RDC. Año 2010.

4.2.3 Longitud del brote

El crecimiento del brote evaluado por su longitud no mostró apenas diferencias entre el tratamiento RDC y los árboles control (Fig. 48). Aunque el brote en el tratamiento RDC aparentó ser más largo que en el Control, el análisis de la varianza demostró que las diferencias entre tratamientos no alcanzaron significación estadística ($p=0,08$). Las aparentes diferencias entre tratamientos fueron establecidas precozmente, pues ya en la primera medida del 28 de mayo (el valor 0 de la medida de 14 mayo es estimada como inicio al ser fin de cosecha), los brotes en los árboles RDC eran algo más largos, quizás porque su cosecha fue más temprana. La dinámica de crecimiento del brote en longitud resultó en ambos casos similar aunque en el tratamiento control el modelo se ajusta mejor a un crecimiento lineal, mientras que el crecimiento del brote en el tratamiento RDC se ajusta mejor a un modelo doble sigmoide como consecuencia del establecimiento de un periodo de reposo entre el 25 de junio y el 23 de julio.

Resulta de interés destacar que en los árboles control el brote pareció crecer ininterrumpidamente, con apenas una ligera atenuación en la elongación del brote entre el 20 de agosto y el 10 de septiembre.

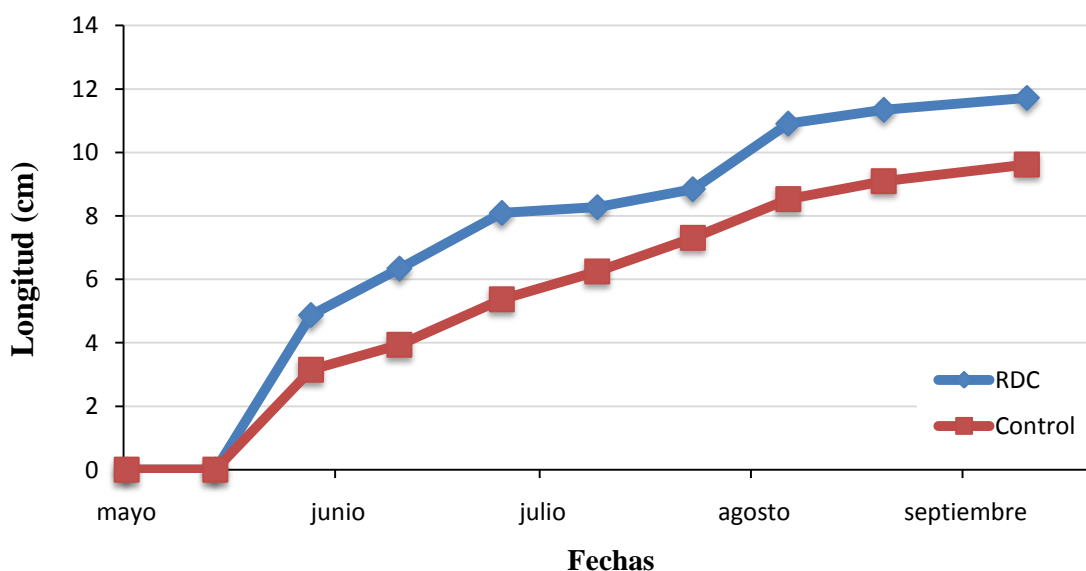


Figura 48. Análisis de la longitud del brote en RDC (azul) y en Control (rojo). Año 2010.

4.2.4 Crecimiento de la hoja

Con el fin de poder determinar en que emplea el árbol los fotoasimilados producidos por el brote cuando el mismo no está emitiendo hojas, se analizó la evolución del tamaño de la lámina foliar. Los resultados mostraron que las hojas procedentes del tratamiento control fueron ligerísimamente más grandes que las del tratamiento de RDC. Las hojas del Control presentaron una longitud media de 18,7 cm y una anchura media de 6,0 cm. Las hojas del RDC presentaron una longitud media de 17,2 cm y una anchura media de 5,6 cm. Los resultados mostraron también que las hojas alcanzaban su tamaño definitivo tanto en longitud (Fig. 49) como en anchura (Fig. 50) en aproximadamente 20 días. Las hojas alcanzan el 88.6% de su longitud y el 74% de su anchura en dos semanas, alcanzando su tamaño definitivo alrededor de las tres semanas.

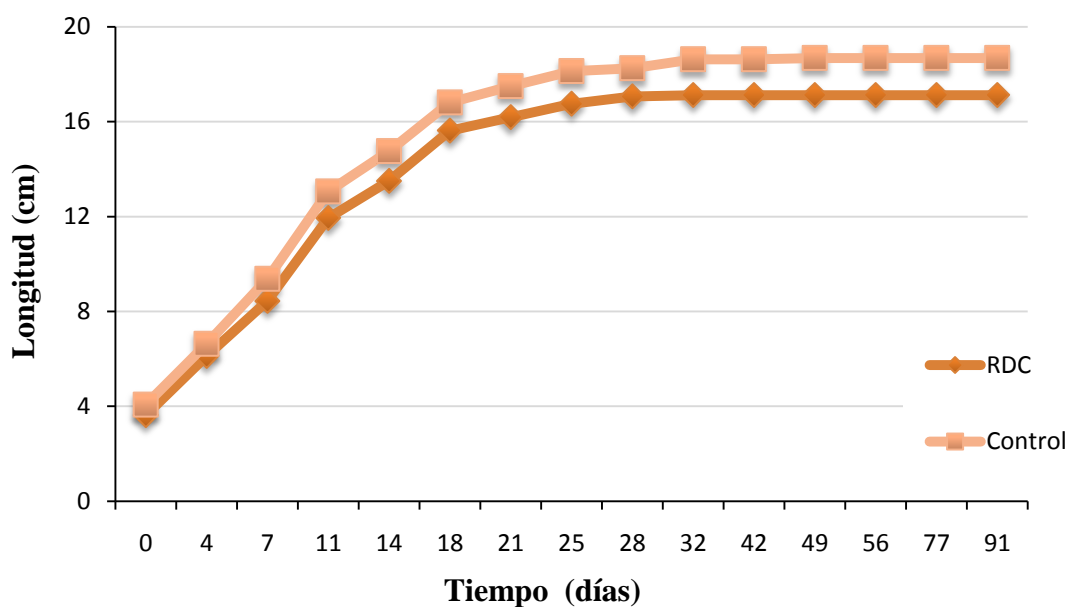


Figura 49. Evolución de la longitud de una hoja. Año 2010.

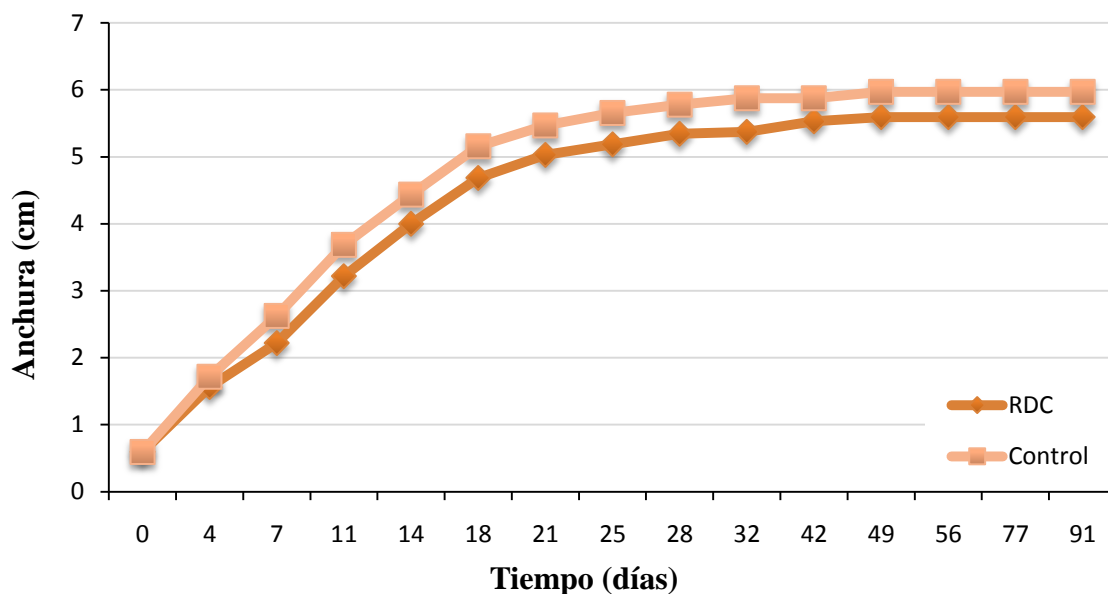


Figura 50. Evolución de la anchura de una hoja. Año 2010.

La emisión de hoja nueva no se produjo del mismo modo en ambos tratamientos (Fig. 51), observándose que los árboles control emitieron hojas nuevas simultáneamente al crecimiento de las láminas foliares subyacentes, mientras que los brotes del tratamiento RDC no emitieron hoja nueva hasta que las previas estuvieron completamente desarrolladas (Fig. 52). A pesar de que el desarrollo completo de una hoja requirió 3 semanas (21-25 días) no fue hasta pasados los 42 días cuando el tratamiento RDC emitió las nuevas hojas del siguiente flujo. La emisión de hoja nueva en los brotes del tratamiento RDC se produjo de una forma rápida, ya que se pasó de un promedio cercano a cero a tener seis hojas en unos 25 días (Fig. 51).

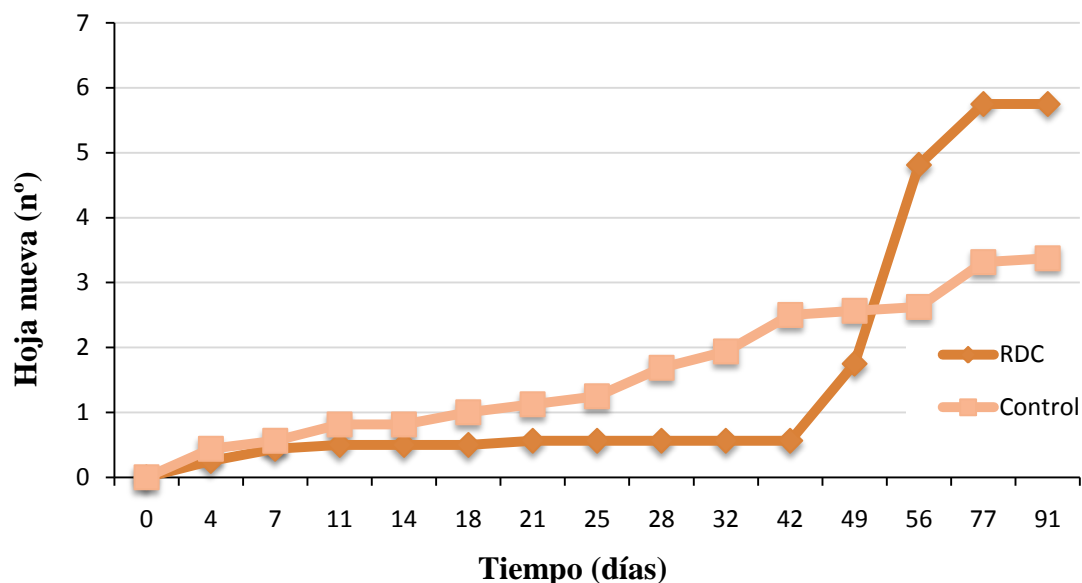


Figura 51. Evolución en la emisión de hoja nueva en el brote del tratamiento control y RDC. Año 2010.

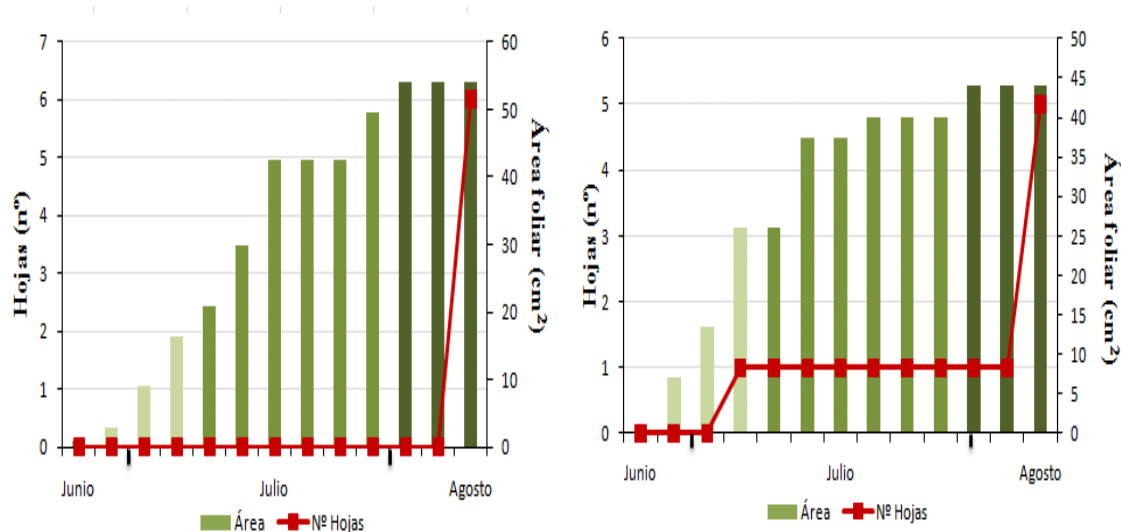


Figura 52. Dinámica de emisión de hoja nueva versus crecimiento de la hoja inferior. Año 2010; tratamiento RDC. Color grisáceo (hoja en desarrollo), verde claro (hoja joven), verde oscuro (hoja adulta). Para mayor detalle ver material y métodos (Fig. 29).

Debido a que las observaciones en campo sugerían que los brotes del tratamiento Control pueden desarrollar la hoja subyacente y a la vez emitir más hojas se realizó un estudio representando simultáneamente el crecimiento de la hoja con la emisión de nuevas hojas. En este análisis se observa la falta de relación entre la aparición de hojas nuevas con el estadio de desarrollo en que la hoja subyacente se encontraba. Este

análisis señala que hubo brotes que emitían hojas cuando la hoja subyacente estaba aún muy pequeña, todavía en desarrollo (Fig. 53), mientras que en otros brotes la aparición de más hojas no se produjo hasta tener la hoja inferior completamente desarrollada (Fig. 54).

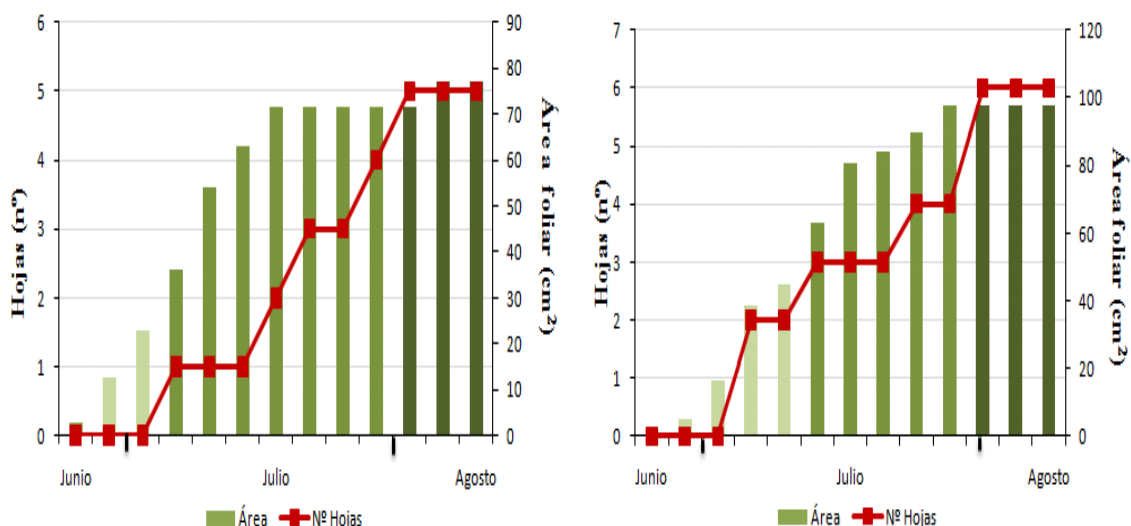


Figura 53. Ejemplos de una aparición escalonada de hojas nuevas en relación al crecimiento de la hoja inferior. Año 2010; tratamiento control. Color grisáceo (hoja en desarrollo), verde claro (hoja joven), verde oscuro (hoja adulta). Para mayor detalle ver material y métodos (Fig. 29).

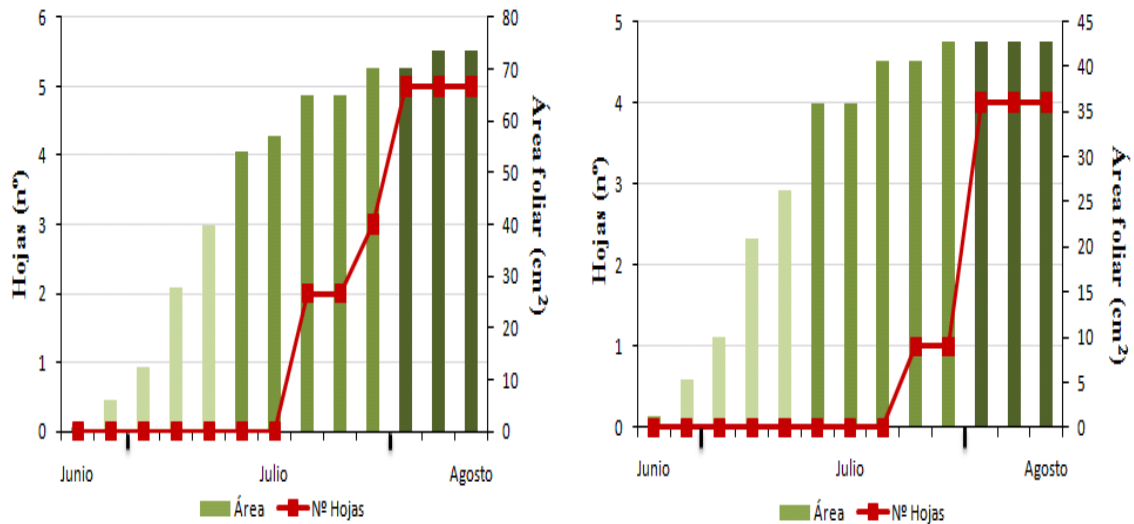


Figura 54. Ejemplos de una aparición retrasada de hojas nuevas en relación al crecimiento de la hoja inferior. Año 2010; tratamiento control. Color grisáceo (hoja en desarrollo), verde claro (hoja joven), verde oscuro (hoja adulta). Para mayor detalle ver material y métodos (Fig. 29).

4.2.5 Reposo del brote. Establecimiento, duración y salida.

Cabe destacar que de los brotes observados en los árboles control un 47% presentó un crecimiento más o menos continuo que dificultó la identificación de un periodo de reposo. Por el contrario, un 53% de los brotes presentó un estado de reposo plenamente caracterizable. En cualquier caso, la entrada en el reposo en los brotes de los árboles control se produjo de forma escalonada. La entrada del reposo ocurrió a lo largo de un periodo de aproximadamente de un mes, entre el 25 de junio y el 23 de julio (Fig. 55). La mayor parte de los brotes (22%) entró en reposo hacia el 9 de julio, mientras que un 18% lo hizo algo antes: a finales de junio. Un porcentaje también importante (12%) lo hizo más retrasado, hacia finales de julio (Fig. 55).

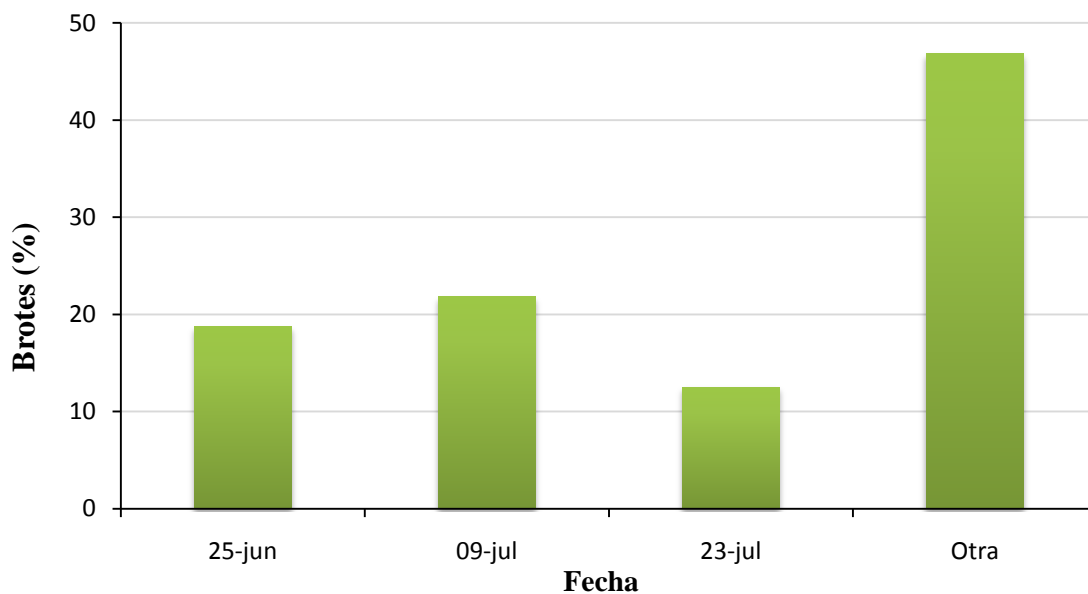


Figura 55. Entrada del reposo. Tratamiento control; año 2010.

La duración del reposo en el tratamiento control presentó también grandes variaciones (Fig. 56), fluctuando entre los 28 y 71 días de duración, siendo lo más habitual entre 6 y 8 semanas. La duración media es de 7 semanas.

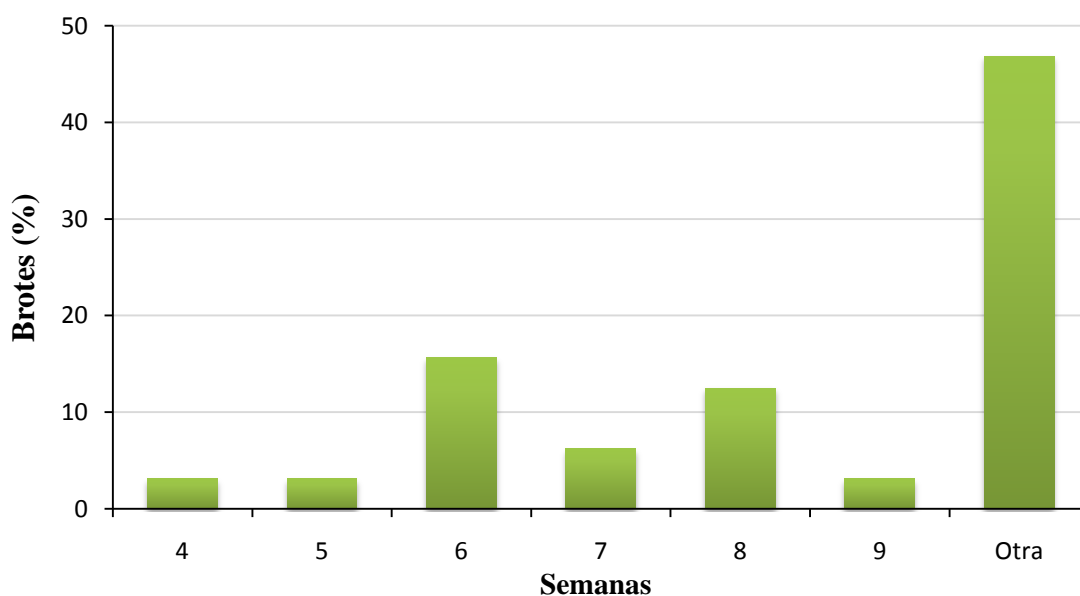


Figura 56. Duración del reposo en semanas. Tratamiento control; año 2010.

La salida del reposo en este tratamiento se produjo también escalonadamente entre el 6 de agosto y el 10 de septiembre (Fig. 57), produciéndose en mayor medida entre el 20 de agosto y el 10 de septiembre, cuando lo hicieron un 28% y un 19%, respectivamente.

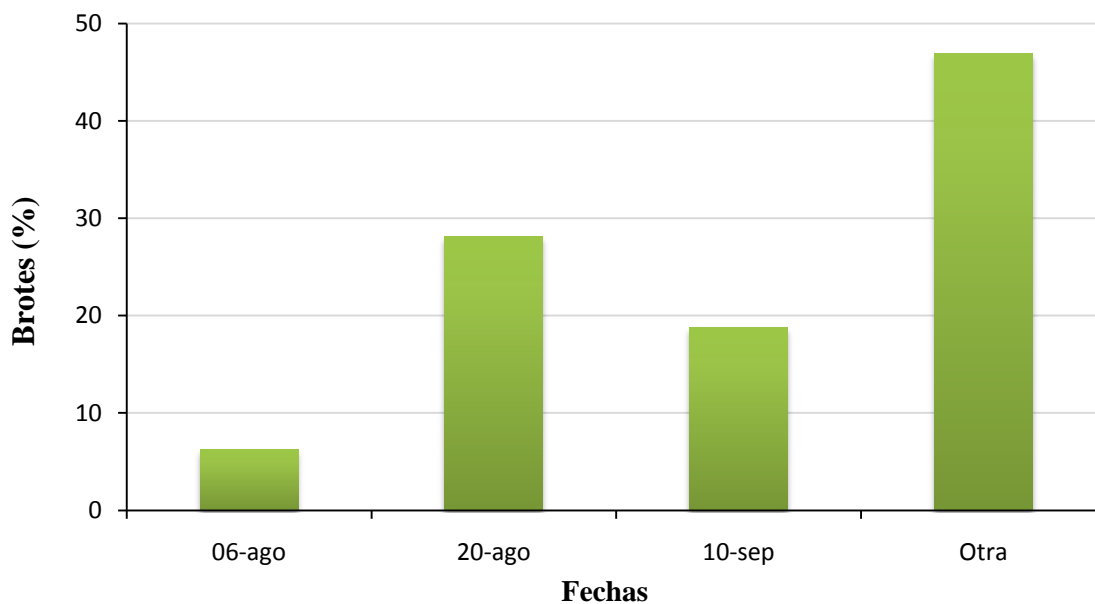


Figura 57. Salida del reposo. Tratamiento control; año 2010.

La eliminación del riego durante 8 semanas (del 7 de junio al 2 de agosto) en el tratamiento de RDC afectó de un modo claro al establecimiento de un reposo veraniego. Esta suspensión del riego facilitó que se pudiera datar la entrada, duración y salida del reposo con mayor claridad en el tratamiento de RDC. En este sentido el 94% de los brotes observados en este tratamiento presentaron un estado de reposo plenamente identificado. La entrada en el reposo se produjo, no obstante, también de forma escalonada. El 9 de julio un 60% de los brotes alcanzó tal estado, mientras alrededor del 22% lo hizo el 25 de junio. Estas fechas son más o menos coincidentes con las del tratamiento control, aunque el porcentaje de brotes afectados fue sustancialmente mayor en ausencia de riego. Menores porcentajes de brotes entraron en reposo antes o después de estas fechas (Fig. 58).

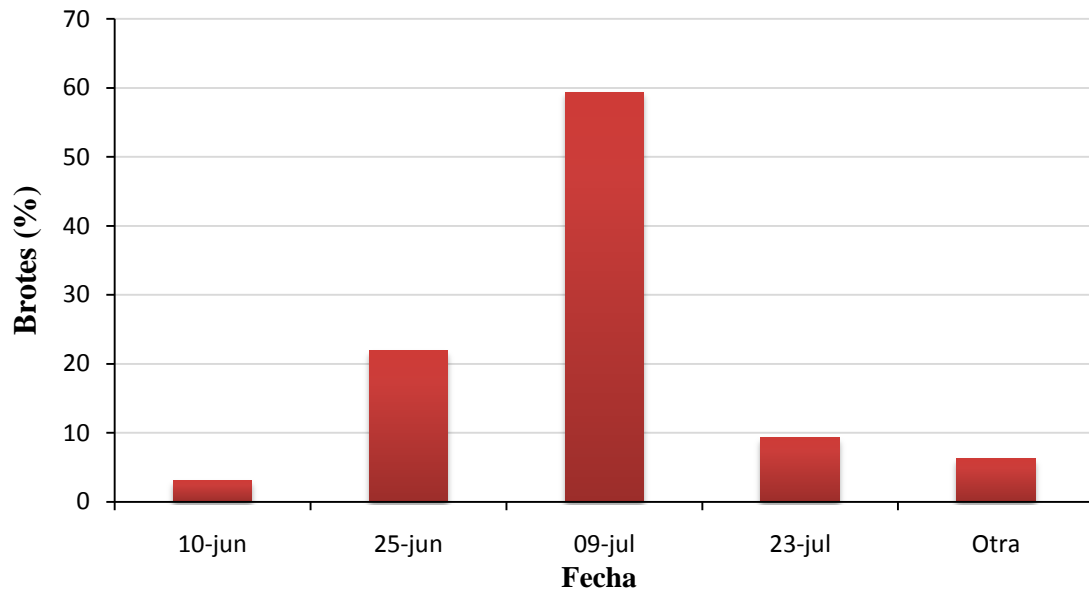


Figura 58. Entrada del reposo. Tratamiento RDC; año 2010.

A pesar de que la duración del reposo presentó grandes fluctuaciones (entre 28 y 84 días) se observó que la mayoría de los brotes estuvieron en reposo unas seis semanas (Fig. 59). Esta fue también la duración más común del reposo en el control, aunque de nuevo el porcentaje de brotes afectado fue mucho mayor bajo RDC. En algunos casos, la duración fue incluso mayor, rara vez inferior a cuatro semanas (Fig. 59).

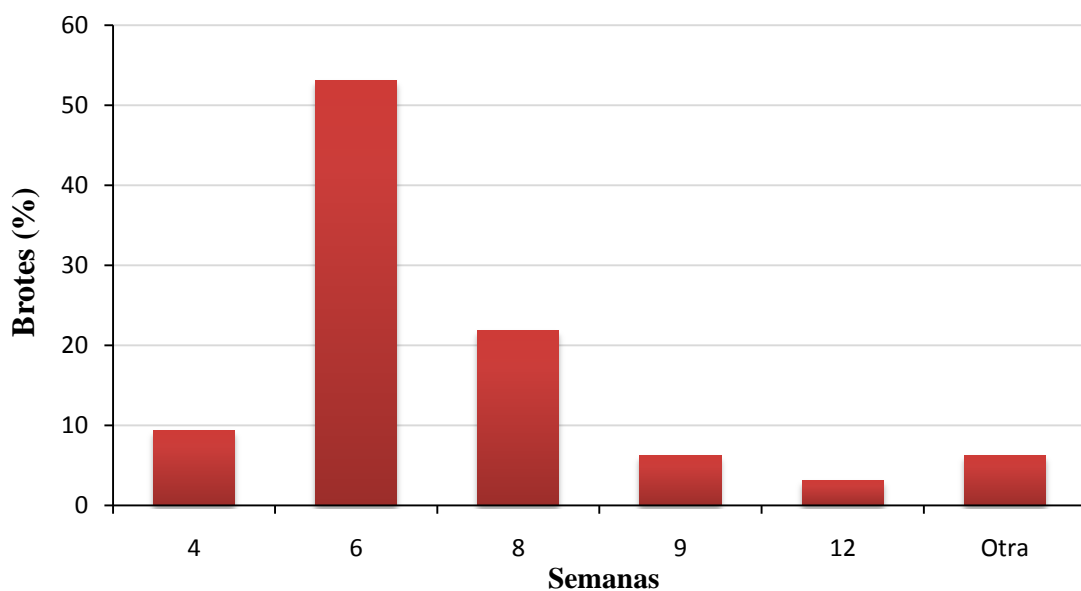


Figura 59. Duración del reposo en semanas. Tratamiento RDC; año 2010.

Por otra parte, la salida del reposo se produjo entre el 20 de agosto y el 10 de septiembre, aunque hay que resaltar que como consecuencia a la reanudación del riego, la salida del reposo se produjo de modo muy uniforme en la segunda quincena de agosto, apenas tres semanas más tarde del reinicio del riego (Fig. 60).

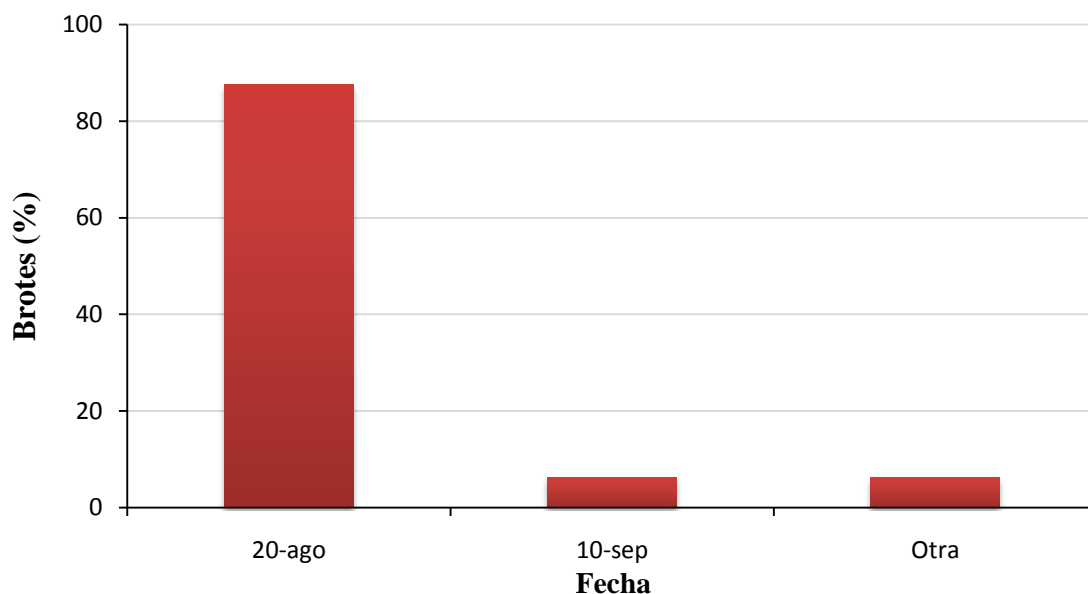


Figura 60. Salida del reposo. Tratamiento RDC; año 2010.

4.3 Balance hormonal

Año 2009

Debido a las dificultades metodológicas encontradas solo se pudo cuantificar la cantidad de GA19 presente en la yema terminal de los brotes en los árboles control y sometidos a RDC. Las GAs estimulan el crecimiento del tallo de las plantas mediante la estimulación de la división y elongación celular, regulan la transición de la fase juvenil a la fase adulta e influyen en la iniciación floral, pudiéndose observar que intervienen en gran parte de los procesos internos de la planta.

Inicialmente se observó que en el tratamiento Control se produjo un aumento en la concentración de GA19 hasta mediados de julio, produciéndose después una marcada bajada hasta llegar a un mínimo en el 3 de agosto, coincidiendo con el establecimiento

del reposo. A partir de esta fecha, los niveles de giberelinas experimentaron un marcado aumento al salir los brotes del reposo y coincidiendo con la elongación de los entrenudos hasta encontrarse a finales de septiembre con los niveles más altos, aunque próximos a los niveles detectados antes del reposo. El tratamiento RDC no se comportó de la misma forma, y lo hizo de un modo anómalo de acuerdo a la hipótesis de trabajo, ya que sus concentraciones experimentaron una marcada subida desde el periodo de RDC (22 de junio, en la figura) hasta alcanzar un máximo a mediados de agosto, cuando el estrés hídrico era más intenso, para posteriormente bajar hasta un mínimo a final de septiembre (Fig. 61).

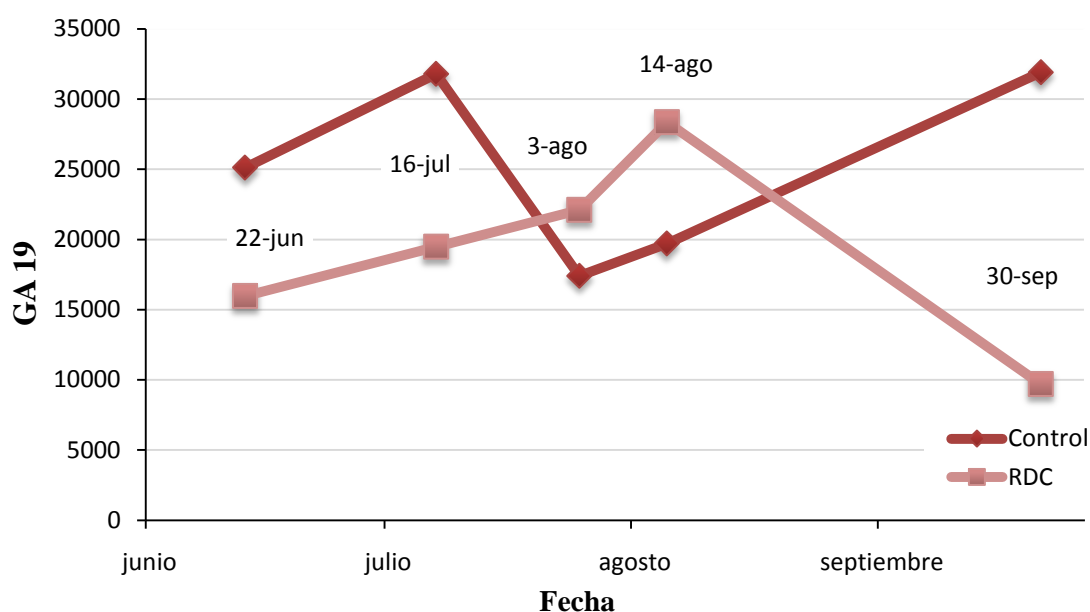


Figura 61. Cuantificación del nivel de GA19. Año 2009.

El ácido abscísico da a los órganos de las plantas la señal de que están sufriendo algún tipo de estrés fisiológico, siendo el más característico de ellos la falta de agua aunque también debemos destacar la salinidad en el suelo, bajas temperaturas... Debido a que el ácido abscísico es un potente inhibidor del crecimiento de la parte aérea y es responsable de la regulación del reposo parece conveniente observar la evolución de este compuesto durante el desarrollo de los brotes del níspero japonés en respuesta al tratamiento de RDC.

A este respecto, la concentración de ABA en el tratamiento control fue inicialmente baja (1,2 $\mu\text{g/g}$ a finales de junio, y 0,9 $\mu\text{g/g}$ a mediados de julio). A partir

de esta fecha experimentó una subida importante para situarse durante el reposo a principios de agosto en $1,5 \mu\text{g/g}$ manteniéndose en estos niveles hasta finales de septiembre (Fig. 62). Esta evolución podría responder a la hipótesis de trabajo de un establecimiento del reposo progresivo en la yema gobernado por un incremento del ABA.

La evolución que siguió la concentración de ABA en las yemas terminales de los brotes en los árboles sometidos a RDC fue muy diferente y, de nuevo, contraria a la hipótesis de trabajo. El RDC partió ya de una concentración bastante elevada ($1,9 \mu\text{g/g}$) a finales de junio, aunque sus niveles fueron bajando hasta mediados de agosto conforme progresaba el estrés hídrico debido a la suspensión del riego, alcanzando su nivel más bajo con $0,9 \mu\text{g/g}$. A partir de esta fecha experimentó un aumento importante situándose en $2,2 \mu\text{g/g}$ a finales de septiembre.

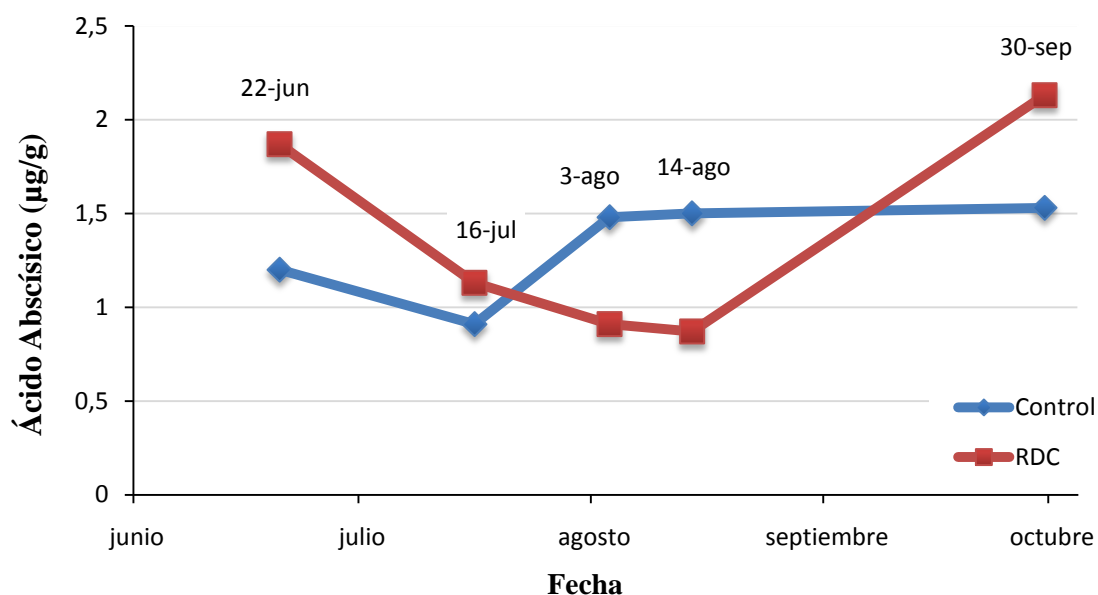


Figura 62. Evaluación de la concentración de Ácido Abscísico. Año 2009.

Año 2010

En los análisis más completos realizados en 2010 se observó que la concentración de las citoquinas (zeatina) experimentó grandes diferencias entre el tratamiento control y el RDC (Fig. 63). En el Control se produjo una disminución paulatina de la concentración de esta hormona hasta alcanzar su nivel más bajo a mediados de agosto (0,013 $\mu\text{g/g}$). A partir de esta fecha experimentó un aumento importante situándose en 0,7 $\mu\text{g/g}$ a finales de septiembre (misma concentración que al inicio del proceso).

La evolución que siguió la concentración de Zeatina en el RDC fue contraria al Control. Inicialmente parte de una concentración de 0,35 $\mu\text{g/g}$, sus niveles fueron aumentando conforme progresaba el estrés hídrico hasta situarse en 1 $\mu\text{g/g}$ a principios de agosto. Una vez reanudado el riego los niveles de Zeatina descendieron hasta alcanzar su concentración mínima (0,1 $\mu\text{g/g}$). A partir de esta fecha experimentó un aumento importante situándose en 0,5 $\mu\text{g/g}$ a finales de septiembre.

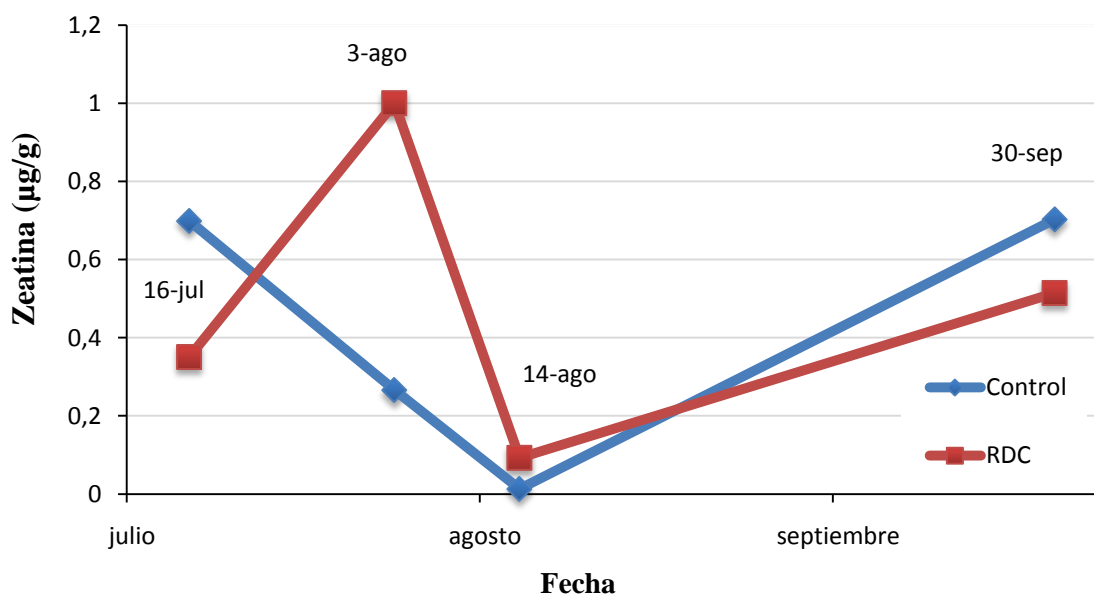


Figura 63. Evaluación de la concentración de Zeatina. Año 2010.

La concentración de ABA en el tratamiento control y en el RDC fue este año inicialmente la misma (0,3 $\mu\text{g/g}$) (Fig. 64). A partir de esta fecha en ambos tratamientos se experimentó una subida, aunque más importante en el caso del RDC, situándose en

0,45 $\mu\text{g/g}$. Una vez reanudado en el riego el RDC se produjo una disminución en la concentración de ABA del 25%, mientras que la concentración de ABA permaneció prácticamente constante en el Control. A partir de mediados de agosto ambos tratamientos experimentan una subida situándose a finales de septiembre alrededor de 0,5 $\mu\text{g/g}$.

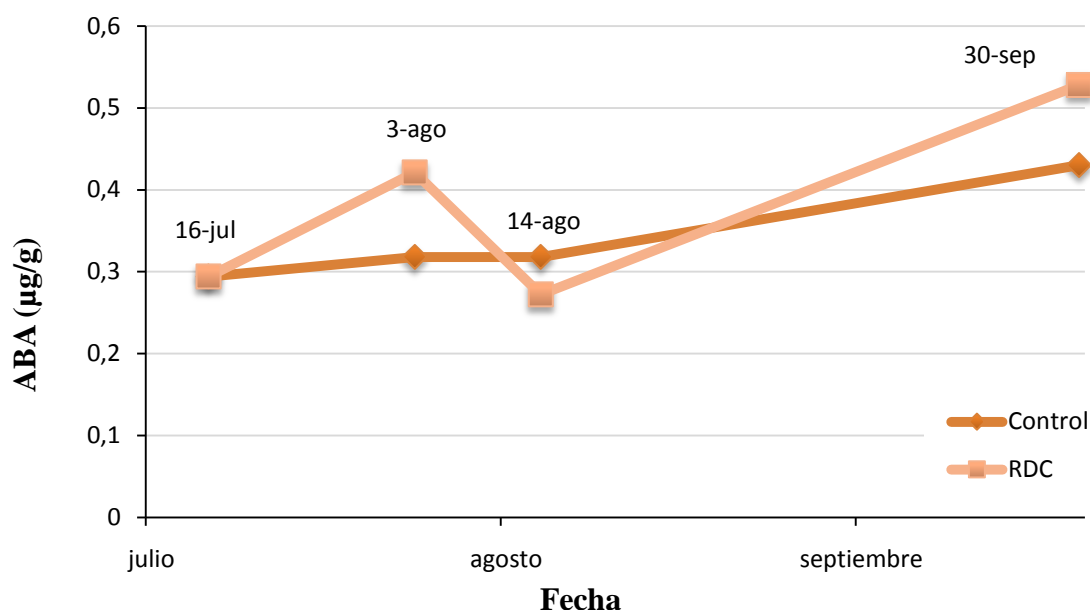


Figura 64. Evaluación de la concentración de Ácido Abscísico. Año 2010.

El patrón de evolución de la concentración del Ácido Salicílico en el Control y en el RDC resultó muy similar (Fig. 65). Inicialmente se observó que ambos tratamientos experimentaron un aumento en la concentración de Ácido Salicílico situándose a principios de agosto en 1,6 $\mu\text{g/g}$, produciéndose después una marcada bajada en la concentración de la hormona, que en el caso del RDC fue del 50%. A partir de mediados de agosto el RDC experimentó un nuevo aumento situándose finalmente en 1,1 $\mu\text{g/g}$. Por el contrario, el Control continuó disminuyendo su concentración, alcanzando finalmente un valor en torno al 0,8 $\mu\text{g/g}$ a finales de septiembre.

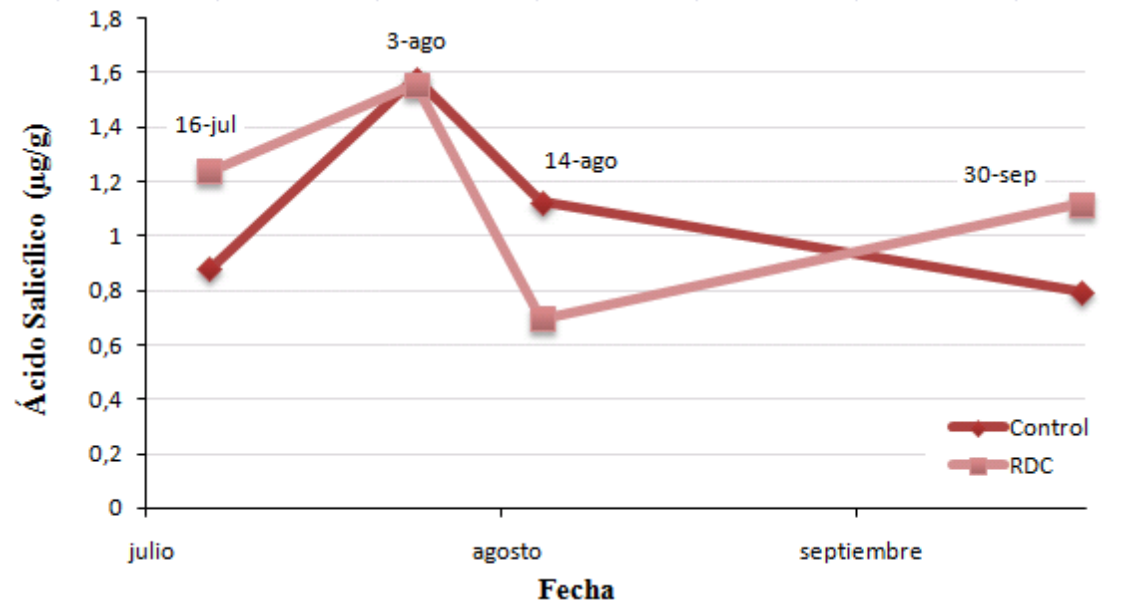


Figura 65. Evaluación de la concentración de Ácido Salicílico. Año 2010.

DISCUSIÓN



5. Discusión

5.1 Dinámica de crecimiento vegetativo del brote

De acuerdo a la literatura el patrón de crecimiento del brote en los frutales suele ajustarse a un crecimiento sigmoideal (Baldini, 1992). Sin embargo, la supresión del riego durante el verano provoca un cese prematuro del crecimiento del brote y una reanudación del mismo al reinstaurar el riego, provocando que el crecimiento pase de ser sigmoideal a ser doble sigmoide. (Cuevas et al., 2007). Con el fin de poder demostrar o desmentir esta hipótesis planteada se estudió la influencia de los diferentes tratamientos de riego sobre la dinámica de crecimiento de los brotes, observándose que la tasa de emisión de hoja nueva en los árboles control en 2010 presentó un crecimiento sigmoideo mientras que en los árboles sometidos a RDC el crecimiento del brote siguió un modelo doble sigmoideo (Figs. 38 y 43), de acuerdo a lo esperado. Sin embargo, el crecimiento de los brotes en los árboles control en 2009 pareció ajustarse más a un crecimiento doble sigmoide. Esta circunstancia se explica debido a una suspensión puntual del riego debido a un problema con el programador de riego y este hecho supuso que el Control se pareciera al tratamiento RDC en lo que a crecimiento del brote se trata. De modo que este accidente lejos de anular la hipótesis de partida la confirma, aunque este hecho justificó la necesidad de repetir el estudio en 2010.

La respuesta al RDC en general y en particular la observada en 2010 concuerda con las observaciones de la literatura. En este sentido, Cuevas et al. (2007) ponen de manifiesto que la restricción del riego en níspero japonés cv 'Algerie' genera el estrés hídrico suficiente para anticipar la parada en el crecimiento del brote, y así adelantar la inducción e iniciación floral y, con ello, la floración. Coincidiendo con lo aquí observado, tras la reanudación del riego se produce una elevada tasa de emisión de hoja nueva. En ambos años (2009 y 2010), se observó que en los árboles sometidos a RDC la reanudación del riego conllevó una rápida y elevada tasa de emisión de hoja nueva (Fig. 38 y 43). Esta recrecida es denominada como rebrote, que representaría la reanudación del crecimiento de los esbozos gemarios preformados en el interior de la yema apical y que se expandieron tras la reanudación del riego (Fig. 66). Esta circunstancia es la responsable de pasar de un modelo sigmoide (más común en frutales; Baldini, 1992) a

un doble sigmoide obtenido en el tratamiento de RDC. En 2009, en el Control se observó un pequeño rebrote en la panícula expresado al final del crecimiento. Este rebrote fue causado por la suspensión accidental que sufrió el riego, lo cual pone de manifiesto que la aplicación de técnicas de riego deficitario cambia el patrón de crecimiento del brote del níspero pasando de un crecimiento sigmoide a un crecimiento de doble sigmoide. En numerosos libros de texto se desaconsejan riegos extemporáneos y tardíos en frutales porque precisamente promueve rebrotes, que resultan sensibles a heladas otoñales y a ataques fúngicos más frecuentes con las primeras lluvias. Este no es el caso en níspero japonés.

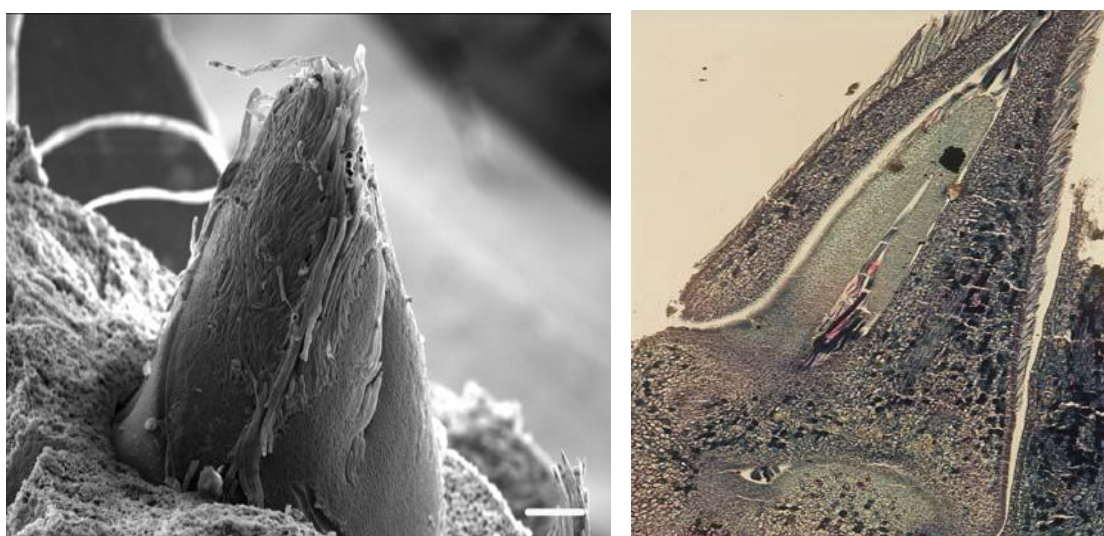


Figura 66. Esbozo gemario de níspero japonés. Fuente: Cuevas et al. (2007).

En 2009, el brote principal presentó diferencias significativas en su longitud evaluada por el número de fitómeros entre ambos tratamientos ($p=0,0016$). Así, el Control obtuvo de media más hojas que el RDC, ya que obtuvo una media de 19 hojas/brote, mientras que el RDC formó una media de 14 hojas/brote. Leopold et al. (1985) señalan que el crecimiento vegetativo y en especial la elongación del brote y la expansión de la lámina foliar es muy sensible al déficit hídrico, destacando que existe una estrecha relación entre el estado hídrico de la planta, el tamaño de sus hojas y el crecimiento de los brotes. Los resultados de 2009 se contradicen con los del año 2010, cuando no hubo diferencias significativas ya que el RDC obtuvo una media de 14 hojas/brote y el Control una media de 13 hojas/brote. La respuesta observada en este parámetro a lo largo de los últimos años ha generado dispar respuesta. Así estudios

llevados a cabo por Ufarte (2008) sometiendo a los árboles a diferentes tratamientos de RDC ponen de manifiesto la ausencia de diferencias significativas en el número de hojas por brote. Cuevas et al. (2007) corroboran que no suele haber diferencias en el número de hojas por brote entre árboles sometidos a estrés hídrico (a los niveles aquí experimentados) y árboles plenamente regados gracias a que el rebrote en este último tratamiento iguales el tamaño del brote. En cualquier caso, podemos afirmar que en general el RDC no afecta por lo general a la tasa de emisión de hoja, como confirman los datos obtenidos durante el año 2010, más precisos y fiables, debido a que se realizó un control más exhaustivo y no hubo problemas de ningún tipo con el riego.

Durante el año 2010 se pudo observar como la dinámica de crecimiento del brote en ambos tratamientos fue durante las primeras semanas similar, hasta la fecha en las que fue eliminado el riego en el tratamiento RDC. Es en este momento cuando se observó una ralentización en la aparición de las hojas, provocando un aumento del plastocrono, es decir, hubo más días entre la aparición de un fitómero y el siguiente (Fig. 43 y Cuadro 4). Esta ralentización llegó en el RDC al extremo como consecuencia de la eliminación del riego y se produjo un periodo durante el cual no hubo emisión alguna de hoja nueva. Una vez que se reanudó el riego se observó que la tasa de emisión se elevó con respecto al Control; esto se interpreta como que la falta de agua frenó el desarrollo del brote y su reanudación causó el efecto contrario permitiendo la aparición de todos los primordios foliares preformados en la yema (Cuadro 4). Esta fase sería, pues, un periodo de reposo impuesto por la sequia (ecolatencia). Esta observación coincide con lo señalado por Levy et al. (1978) quienes señalan que la emisión de hoja nueva desaparece por completo durante periodos prolongados sin riego. Coincidiendo de nuevo con estos autores al reanudarse el riego surgió de forma rápida una intensa brotación en el RDC al eliminarse el factor ambiental que lo impedía. Esto no fue así en el Control debido a que éste no cesa en su crecimiento debido a que no sufre estrés hídrico. Durante la época que el RDC estuvo en ecolatencia, el Control siguió creciendo aunque de forma ralentizada. En peral, sometido a RDC, el brote detiene su crecimiento, haciendo que el efecto negativo de la restricción del riego se ponga de manifiesto con una mayor intensidad en el número de hojas que en la longitud del brote (Chalmers et al., 1986).

2009				2010			
Control		RDC		Control		RDC	
1-14 mayo	0,51			1-14 mayo	0,26	1-14 mayo	0,31
14-may/17jul	0,17			14-may/9-jul	0,1	14-may/9-jul	0,09
24-jul/14-ago	0,03	24-jul/7-ago	0,04	9-jul/6-ago	0,04	9-jul/6-ago	0
14-ago/4-sep	0,32	7-ago/21ago	0,4	6-ago/20-ago	0,12	6-ago/20-ago	0,28
		21-ago/4-sep	0,05	20-ago/10sep	0,04	20-ago/30sep	0,02
				10-sep/30sep	0		

Cuadro 4. Evolución del plastocrono (hojas/día).

Una más detallada indagación en los flujos de crecimiento del brote pone de manifiesto que el níspero es un árbol que presenta un desarrollo del brote episódico con varios flujos de crecimiento. Esta circunstancia es frecuente en frutales tropicales como el mango (Cumare y Avilán, 1994).

La falta de sincronía enter brotes en su crecimiento dentro del tratamiento control hace que al efectuar el promedio de emisión de hojas en los diferentes brotes se enmascare este crecimiento episódico, obteniéndose como media un crecimiento sigmoideal más o menos continuo, que no es de hecho visible en los brotes individuales. Para profundizar en el estudio, se analizaron brotes modelo observándose que el Control en el año 2009 presentó tres flujos de crecimiento con una duración de 8 semanas cada flujo; en cada flujo el brote formó 4 hojas menos en el tercero de ellos cuando formó 7 hojas. Aunque el tratamiento RDC en 2009 no se puede analizar con detalle ya que no presenta datos suficientes, si se observó que en 2010 este tratamiento presentó también tres flujos de crecimiento con una duración igual de 8 semanas cada flujo menos el segundo flujo (afectado marginalmente por la falta de riego) que duró 6 semanas, y al igual que sucediera en el tratamiento control el año previo, en cada flujo el brote RDC formó 4 hojas menos en el tercero que formó 7 hojas. Es decir, parece que en general, el brote del níspero crece formando 4-5 hojas, se para por un tiempo y luego forma otras 4-5 hojas. En 2010, el brote modelo elegido en el tratamiento control presentó dos flujos

de crecimiento, con una duración de 8 semanas, en el primer flujo formó 5 hojas y en el segundo flujo 7 hojas. Otros brotes si tuvieron tres flujos de crecimiento.

Se interpreta que en el caso del RDC, la falta de agua anticipa la parada y la reanudación del rebrote, mientras que en el Control se puede producir o no un rebrote. El tercer flujo de crecimiento en el tratamiento RDC vino precedido siempre de un periodo de eliminación del riego. Este tercer flujo corresponde a la reanudación del crecimiento de los esbozos gemarios preformados que debido a la eliminación del riego detienen prematuramente su crecimiento. En este sentido Ufarte (2008) pone de manifiesto que la ausencia de diferencias en el tamaño del brote podría explicarse por una temprana determinación del número de fitómeros y hojas. A pesar de que su aparición se retrasa debido al estrés hídrico originado, lo cierto es que su predeterminación a nivel microscópico (esbozos gemarios) parece ocurrir antes del establecimiento de una situación de estrés hídrico (Ufarte, 2008).

Zhang et al. (2009) plantean la hipótesis de que un brote de níspero bien desarrollado debe presentar como media unas 13 hojas bien formadas y unos 27 nudos (en este caso correspondientes a 13 hojas, 4 hojas primordiales y 10 escamas) para que tenga lugar la inducción floral en esta especie. Esta hipótesis de un número mínimo de nudos para la inducción floral se sustenta en la ruta autónoma de la transición floral observada en muchas especies anuales, en la que la primera flor aparece en un nudo preformado y definido. Esta hipótesis se aplica con frecuencia a los frutales a los que se consideran de día neutro. Comparando esta información de Zang et al. (2009) sobre la variedad 'Zaozhong No. 6' se observa que el número de hojas nuevas en el brote de los árboles del tratamiento RDC es prácticamente el mismo en 2009 y 2010, situándose como media en 14 hojas (Fig. 38 y 43). Por el contrario, el número de hojas formado en el Control varió considerablemente entre años formando como media 19 hojas (Fig. 38), mientras que en el año 2010 formó una media de 13 hojas (Fig. 43). Estas diferencias pueden ser consecuencia de la variabilidad que existe entre años con los cual en principio no es determinante, verificándose la falta de diferencias significativas.

Se ha observado que a pesar de no existir diferencia entre tratamientos hay brotes que aun teniendo pocas hojas y siendo brotes muy cortos presentan panículas en su ápice. Zang et al. (2007) observaron que en brotes poco desarrollados presentando

1 hoja y 16 nudos (en este caso correspondiente a 1 hoja, 4 hojas primordiales y 11 escamas) tiene lugar la inducción floral y el posterior desarrollo de la panícula. De modo análogo, Cuevas (2011) demuestra que la presencia de la hoja no es requisito para la floración mediante la defoliación temprana y frecuente de brotes, que a pesar de ello acababan alcanzando la floración. Estos hechos llevan a pensar que la inducción floral no tendría que ver entonces con la presencia o número de hojas sino quizás con el vigor refrenado del brote tras el crecimiento más rápido de primavera, que daría lugar a una serie de cambios hormonales que favorecen el proceso de inducción de la floración. Esta teoría es coherente con la promoción de la floración en respuesta a los inhibidores de crecimiento y pone de manifiesto que más que un número mínimo de hojas para que se produzca la inducción floral lo que hace falta es una disminución de la tasa de crecimiento síntoma y/o causa depara que se produzcan los cambios hormonales necesarios para la floración.

Coincidiendo con lo observado por Cuevas et al. (2008), el RDC tampoco disminuyó la longitud de los brotes, ya que el RDC obtuvo una longitud media de 18,5 cm. mientras que el Control alcanzó apenas los 14 cm, aunque las diferencias entre tratamientos no alcanzaron significación estadística. Los brotes en los árboles RDC aparentan ser algo más largos, quizás porque su cosecha previa fue más temprana y eso permite que el crecimiento fuera algo más rápido.

Las diferencias en el tamaño de la lámina foliar fueron también escasas o nulas. Ambos tratamientos precisaron de unas tres semanas para alcanzar el 90% del tamaño de la hoja, lo cual pone de manifiesto que el RDC no modificó su desarrollo. Según Gallego (1991) el crecimiento del limbo de las hojas puede durar entre 1-3 meses según las condiciones climáticas. Mediante el análisis de la longitud y la anchura de la hoja se determinó el área foliar de la hoja (considerando la hoja como un rombo). Las hojas formadas bajo RDC presentaron una tendencia, en ocasiones significativa, a desarrollar una lámina foliar de menor área, ya que presentaron un área aproximada de 50 cm², mientras que en el Control el área foliar fue de 57 cm², estas diferencias se debieron a una longitud algo menor y a una anchura también algo más pequeña. Mediante análisis estadístico se ha demostrado que estas diferencias no fueron significativas. Aunque la literatura científica señala que el tamaño de la hoja es particularmente afectado por el déficit hídrico debido a que las células permanecen más pequeñas y por ello las hojas se

desarrollan menos (Salisbury et al., 2000), siendo su reducción una de las estrategias desarrolladas por las plantas para reducir las pérdidas de agua por transpiración (Behboudian y Mills, 1997). En cualquier caso, lo cierto es que en níspero el RDC no modificó el patrón de crecimiento de la hoja ni en longitud ni en anchura, aunque las hojas formadas bajo RDC presentaron una tendencia a desarrollar una lámina foliar de menor área. Ufarte (2008) pone de manifiesto que aunque tampoco existen diferencias entre tratamientos la tendencia es a que el RDC desarrolle una lámina foliar de menor área.

Para poder indagar en la relación entre el crecimiento de la lámina foliar y la aparición de un nuevo flujo, se exploró la relación fuente-sumidero entre hojas y brote durante el periodo de máximo estrés hídrico en el tratamiento RDC. De las observaciones se deduce que la propia hoja transita desde una condición de sumidero a la de fuente en última instancia, observándose que el desarrollo de una hoja se produce en unas tres semanas y cabe esperar que a partir de ese tiempo la hoja pasa de ser un órgano que demanda fotoasimilados para su crecimiento a ser una fuente de fotoasimilados con un balance neto positivo. Se analizó también la relación entre el área de la lámina de la última hoja en un flujo de crecimiento y la emisión de la próxima hoja nueva en el siguiente flujo de crecimiento. Este análisis puso de manifiesto que el RDC no desarrolla un nuevo flujo hasta que la hoja subyacente previa alcanza cierto tamaño (unos 45 cm²) (Fig. 51). En alguna ocasión se observó que el RDC formó alguna hoja de modo más temprano. Esto se interpreta, no obstante, a que el marcaje de la última hoja no se realizó correctamente, ya que no correspondía a la última hoja del flujo anterior, sino que aún quedaba alguna hoja del mismo por aparecer (Fig. 52). El Control respondió de forma diferente ya que hubo brotes que presentaron un crecimiento más o menos continuo, emitiendo hojas cuando la lámina foliar subyacente estaba aún en desarrollo y aún demandando fotoasimilados para su crecimiento. No obstante, la emisión de la nueva hojita en algunos brotes no se produjo hasta tener la hoja previa completamente desarrollada, poniéndose de manifiesto que en el Control no hubo relación entre el desarrollo de la hoja subyacente y la emisión de la hoja nueva (Fig. 53).

Está respuesta variable tiene cierta lógica ya que una de las primeras medidas de una planta bajo condiciones de estrés hídrico es (junto al cierre estomático) limitar el área foliar para disminuir la transpiración (Tadeo, 2000). Detener la formación de hojas

nuevas sería, pues, congruente dada el escaso control que sobre el cierre estomático existe en hojas nuevas. Alonso et al. (2011) indican, no obstante, que en el tratamiento control la emisión de hoja nueva se produce también después de que la hoja previa está totalmente expandida, sugiriendo que existe un control endógeno en las nuevas hojas, determinado por la disponibilidad de los carbohidratos y una actividad hormonal.

5.2 Reposo

En este PFC se parte de la hipótesis de que el RDC adelanta la entrada y salida del reposo, así como también sincroniza la salida del reposo entre brotes del mismo tratamiento como consecuencia del estrés hídrico. En el Control, por el contrario, la entrada y salida del reposo se hipotetiza de una forma más escalonada.

Basándose en los efectos que sobre el brote produce el riego deficitario controlado, se observó efectivamente un adelantó en el cese de crecimiento del brote, en su entrada en el reposo y en su salida. El inicio del reposo se ha relacionado con un aumento de los niveles de ácido abscísico debido al estrés hídrico generado. En base a estas observaciones se puede afirmar que en el tratamiento de RDC la falta de agua es la que impone el reposo y la reanudación del riego el factor que induce la salida del reposo. Durante el año 2009, se observó que la entrada en reposo del Control se produjo en un amplio margen de tiempo, ya que los brotes entraron en reposo en fechas variables durante unas 6 semanas, aunque como norma se puede señalar que entraron en reposo en la primera semana de julio (4 de julio). Durante 2010, la entrada en reposo de los brotes se produjo también de un modo variable entre principios de junio y finales de julio, aunque de nuevo fue en la primera quincena de julio cuando se produjo con mayor frecuencia la entrada en reposo. Es destacable que en ambos años la entrada en reposo se produjo igualmente entre finales de junio y principios de julio.

En 2010 hubo, no obstante, algunas diferencias con respecto al tratamiento RDC (durante el año 2009 solo se analizaron los datos del Control, ya que el RDC carecía de datos previos a la salida del reposo). En este año 2010, el RDC entró en reposo como promedio el día 1 de julio, mientras que los brotes del tratamiento Control lo hicieron el día 9 de julio. Cuevas et al. (2007) ponen de manifiesto que la restricción del riego

durante 6 semanas genera el estrés hídrico suficiente para anticipar la parada vegetativa, que en este caso se cifra en 9 días.

La duración del reposo fue bastante variable en ambos años, ya que puede oscilar entre 4 y 10 semanas para los brotes del tratamiento Control, aunque la tendencia reflejó que la duración más común es entre 6-8 semanas. La duración media puede fijarse en 7 semanas. Esta amplitud es debida a que la entrada en el reposo no se produce de forma unísona, sino que los distintos brotes van entrando en reposo poco a poco; parece dar la impresión que cada brote entra en reposo cuando comienza a sentir condiciones de estrés (hídrico y/o térmico, quizás). La duración del reposo en el tratamiento RDC fue también bastante variable, ya que pudo durar entre 4-12 semanas, aunque en más del 50% de los brotes la duración fue de 6 semanas. Mediante el análisis de estos datos podemos observar que en ambos tratamientos aparece un breve periodo de reposo veraniego, aunque el reposo en el tratamiento control parece algo más breve y escalonado que en el RDC.

Mientras que las fechas de entrada en reposo del brote, y en menor medida su duración, fueron variables, la salida del reposo en el tratamiento Control se produjo de un modo más sincrónico. Así, la salida del reposo se produjo de principios a finales de agosto en 2009 y entre mediados de agosto y mediados de septiembre en 2010. Con mayor precisión, en 2009, la salida del reposo para la mayoría de los brotes (55%) de los árboles Control (hay que recordar que este año hubo una suspensión puntual del riego) se produjo entre principios y mediados de agosto. En 2010, la salida del reposo en el Control se retrasó, ya que se produjo fundamentalmente entre finales de agosto y principios de septiembre (45% de los brotes lo hicieron entonces), aunque este año hubo una variabilidad muy notable (quizás más representativa de las condiciones de pleno riego). En contraste, en el RDC se produjo a finales de agosto de 2010, tres semanas tras la reanudación del riego con 8 días de adelanto con respecto al control y de un modo mucho más uniforme (más del 80% de los brotes lo hicieron entonces), indicando esta uniformidad un control exógeno (déficit hídrico) sobre el establecimiento, duración y salida del reposo. Durante el 2010 existió más variabilidad en los controles porque los árboles habían estado regados plenamente como estaba programado, mientras que en 2009 el Control se comportó en alguna medida como el tratamiento de RDC concentrando su salida del reposo una vez que restauró el riego tras la suspensión

puntual que supuso una avería del riego. Este hecho pone de manifiesto por contraste que la falta de agua o los niveles de estrés generados alinean a los árboles y su disposición es el factor que determina la salida del reposo, ya que la entrada presentó más disparidad. La duración del reposo en los árboles control nunca fue inferior a cuatro semanas. Esta coincidencia puede indicar que los balances hormonales que gobiernan el reposo se prolongan durante este tiempo.

	22-junio	16-jul	03-ago	14-ago
Control	Prom/Inh ↑	Prom/Inh ↑	Prom/Inh ↓	Prom/Inh ↑
RDC	Prom/Inh ↑	Prom/Inh ↓	Prom/Inh ↑	Prom/Inh ↑

Cuadro 5. Balance hormonal resultante que de acuerdo a la hipótesis de trabajo gobierna el estatus de la yema en diferentes fechas de muestreo. Prom. (promotores de crecimiento); Inh. (inhibidores de crecimiento).

Es importante destacar que en ambos años se observó un porcentaje de brotes con un estado de reposo difícilmente caracterizable debido a que presentaban brotaciones continuas, en periodos inusuales o no se observaba con claridad una entrada y/o salida del reposo. Este hecho fue más frecuente y característico en el control. En el tratamiento RDC la eliminación del riego durante 8 semanas permitió caracterizar más nítidamente la entrada, duración y salida del reposo. En cualquier caso, esta circunstancia sugiere que el reposo no es estrictamente necesario para la transición a flor y la floración posterior, y que ambos procesos reposo e inducción floral no están incuestionablemente unidos. A esta misma conclusión se llega tras conocer que la defoliación del brote del níspero japonés anula el reposo veraniego, pero no cancela la floración que apenas se retrasa mínimamente (Cuevas y Del Grosso, 2011).

5.3 Balance hormonal

La hipótesis sostenida en el este PFC es que la entrada, permanencia y salida del reposo de la yema está gobernada por un balance hormonal, en respuesta a cambios ambientales, no plenamente identificados, pero que en el caso del tratamiento de RDC se debe a la existencia de niveles de estrés hídrico elevados. La entrada en reposo veraniego sería debida a un balance favorable a los inhibidores de crecimiento (ABA y

etileno) que restringirían el crecimiento del brote hasta cesar. La salida del reposo sólo sería posible cuando el balance hormonal vuelve a ser favorable a los promotores de crecimiento (AIA, CK y especialmente en frutales GA) (Cuadro 5). Esta situación revertida podría ser consecuencia de la rápida degradación del ABA, o a la síntesis adicional de promotores de crecimiento (los ápices caulinares, y los primordios foliares juegan en ello un papel preponderante). Actualmente se considera que el ABA presenta un papel de gran importancia en procesos tales como el reposo y en la adaptación de las plantas al estrés, regulando varios procesos enzimáticos (Cutler et al., 2010).

La figura 66 representa el balance hormonal que hipotéticamente puede controlar el reposo y la transición a flor en especies frutales. Para evaluar esta hipótesis se ha intentado determinar las concentraciones hormonales (ABA y GA en 2009; ABA, GA, AIA y CK, junto al ácido salicílico en 2010) en la yema antes, durante y después del reposo en la yema terminal (incluyendo primordios foliares y minúsculas hojitas) en los dos tratamientos de riego (RDC versus Control). Como quiera que la fenología del brote se ve muy afectada por la restricción del riego, como se ha demostrado en los anteriores apartados, se tiene la esperanza que los balances hormonales favorables a los inhibidores del crecimiento (o en su caso a los promotores del mismo) estén desplazados en el tiempo, pero resulten comunes en función al estatus de la yema, y sean además congruentes con esta hipótesis que se resume en el cuadro 5.

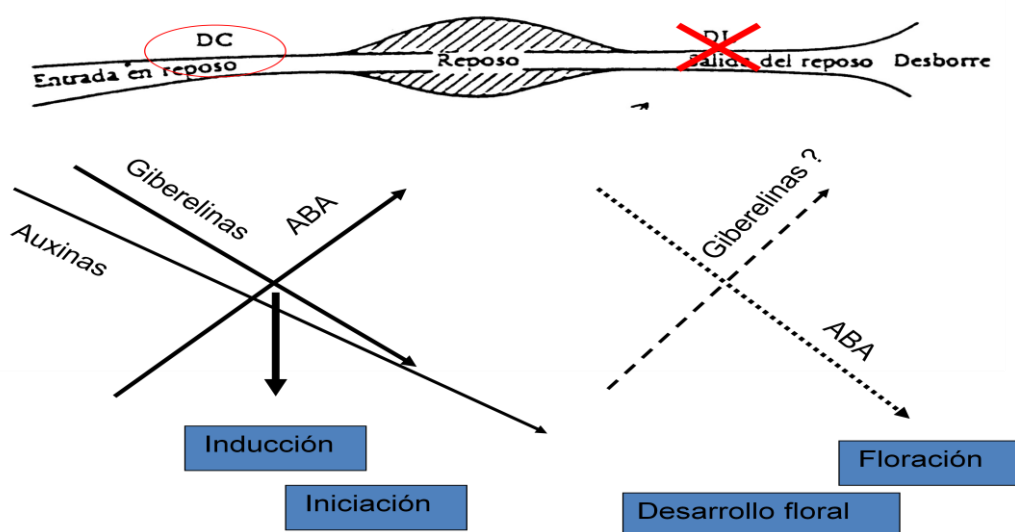


Figura 66. Hipótesis sobre el balance hormonal que controla el reposo y la transición a flor. Fuente: Cuevas, J.

Lamentablemente los resultados obtenidos no concuerdan con la hipótesis antes planteada, ni resultan por lo demás demasiado lógicos. En el año 2009 se pretendió analizar las concentraciones de ABA, GA, CK y IAA en la yema terminal del níspero, antes, durante y después del reposo en ambos tratamientos (estado que no se alcanza en igual fecha). Sin embargo, debido a las dificultades encontradas solo se pudo cuantificar la cantidad de GA₁₉ y de ABA presentes en la yema terminal de los árboles control y de los árboles sometidos a RDC. Los resultados no respondieron exactamente a la hipótesis de partida, aunque se pudo observar que en 2009 cuando sube el ABA bajan las GAs y viceversa especialmente (Fig. 60 y Fig. 61). Solamente en el caso de la GA en el Control responde a lo esperado, ya que los niveles más bajos de GA se alcanzan unos 30 días antes de la floración (Ersoy et al., 2008) y en este caso los niveles más bajos de GA coinciden con la literatura y con la hipótesis planteada, poniendo de manifiesto que las GA actúan como inhibidores de la floración. Hu et al. (2011) ponen de manifiesto que durante el periodo de inducción floral en los cvs. 'Zaozhong No.6' y 'Jiefangzhong' es cuando se encuentran los niveles más bajos de GA. Este hecho sugiere que para que se produzca la inducción floral es necesario que los promotores del crecimiento (inhibidores de la floración) estén en concentraciones mínimas, poniéndose de manifiesto la hipótesis planteada (Cuadro 5 y Fig. 66). Sin embargo, los resultados obtenidos en el tratamiento RDC no corresponderían a la hipótesis inicial (Cuadro 5 y Fig. 66), ya que la hipótesis es que bajo RDC se adelantan en el tiempo con respecto al Control los procesos de entrada y salida del reposo, y con ello quizás, la inducción floral y floración. La concentración exacta de GA no pudo ser determinada, mediante los datos obtenidos solo se pudo cuantificar la variación en las concentraciones de esta hormona, pero no su exacta cuantificación (por otra parte, de menor interés).

La evolución del contenido de ABA en las yemas apicales de los brotes de árboles sometidos a RDC tampoco respondieron a la hipótesis planteada (Fig. 65), ni a la información obtenida de la bibliografía. La evolución obtenida del análisis de los resultados responde al contrario de cómo cabría esperar, ya que las concentraciones más bajas del ABA en el RDC se observaron en épocas máximo estrés hídrico; fecha que coinciden con el momento previo a la reanudación del riego. En el RDC al adelantarse el reposo se debería observar un adelantamiento de los procesos planteados y acentuar aun más los niveles de algunas hormonas (ABA) como consecuencia del estrés hídrico. En mango los niveles más elevados de ABA se encuentran en la yema terminal unos 30

días antes de floración (Chen, 1987). Hu et al. (2011) prueban que los niveles más altos de ABA en la yemas terminales en níspero cv. 'Zaozhong No.6' y cv. 'Jiefangzhong' coinciden con los periodos en los que se produce la inducción floral, datada para estos cultivares entre el 1-18 julio y el 18-25 julio, respectivamente. En este mismo sentido, Ersoy et al. (2008) ponen de manifiesto que el ABA durante el periodo de desarrollo floral (diferenciación morfológica) es cuando alcanza sus niveles máximos y a partir de estas fechas (agosto) se produce una degradación paulatina hasta prácticamente desaparecer cuando en el árbol se encuentran presentes los pequeños frutos.

Por las dificultades encontradas en 2009, se decidió repetir las determinaciones hormonales, considerando además que en 2010 el tratamiento Control no presentó los problemas con el riego que tuvo en 2009 y que los datos sobre el crecimiento del brote en el tratamiento RDC eran además más completos. Durante ese año se realizaron análisis de las concentraciones de ABA, GA, CK y IAA en la yema terminal del brote en los dos tratamientos. Los resultados obtenidos con la colaboración de la Dra. Ersoy y del Dr. Tatli esta vez en un laboratorio diferente (Laboratorio de Control de la provincia de Izmir,) confirman la dificultad para detectar GA y IAA en las yemas apicales del níspero. Las razones argumentadas para ello es que las concentraciones de GA y IAA se encuentran con frecuencia en picogramos y el equipo de medida utilizado (LC-MSMS) es capaz de detectar la presencia de dichas hormonas, pero no es lo suficientemente preciso para mostrar las concentraciones. Ersoy et al. (2008), por el contrario, sí que detectaron la presencia de IAA, GA₃, ABA y Zeatina en las yemas terminales de los, cvs. 'Golden Nugget' y 'Akko XIII' en un equipo de medida Shimadzu CR-7A plus equipado con un detector de UV y CR-7A 10AV-VP que permite usar el gradiente de concentración de la fase móvil.

A pesar de la imposibilidad de detectar GA e IAA, los datos obtenidos en 2010 de ABA para el tratamiento RDC reflejan el comportamiento que cabría esperar en cuanto a la acumulación de ABA ya que los niveles máximos se alcanzaron en fechas inmediatamente previas a la reanudación del riego (el riego se eliminó desde el 7 de junio hasta el 2 de agosto). Por el contrario, en el tratamiento Control no se observan grandes diferencias en la concentración del ABA en el tiempo, sugiriendo que éstas no experimentan un proceso de estrés hídrico conforme el verano avanza y aumentan las temperaturas y la demanda evaporativa. Es destacable que las concentraciones medidas

de ABA en las yemas terminales de níspero cv. 'Algerie' fueron bastante diferentes entre años, ya que durante el año 2009 oscilaron entre 0,9-2,1 $\mu\text{g/g}$ y durante el 2010 hicieron entre 0,29-0,53 $\mu\text{g/g}$. Ersoy et al. (2008) establecen que las concentración de ABA en el cultivar 'Golden Nugget' oscilan entre 0,02-0,31 $\mu\text{g/g}$ y en níspero japonés cv. 'Akko XIII' oscilan entre 0,01-0,31 $\mu\text{g/g}$, en la línea de lo medido en Turquía en 2010.

En las muestras de 2010 si se ha podido detectar la presencia de Zeatina (perteneciente al grupo de las citoquininas) y de ácido salicílico en las yemas muestreadas. La zeatina sufrió una evolución parecida a la del ABA con una acentuada elevación de las concentraciones en fechas de máximo estrés hídrico. Este incremento no tiene fácil explicación dada la condición de promotores del crecimiento atribuida a las CK. En azalea se ha demostrado que la Zeatina es esencial para estimular la división celular en los meristemas (Meijón et al., 2010). En el tratamiento Control, por el contrario, las concentraciones de zeatina disminuyeron marcadamente en el tiempo (excepto en la medida realizada durante la elongación de la panícula) como en principio cabría esperar. En 1999 Chang et al. sugieren que las CK pueden desempeñan un papel esencial en la inducción floral, ya que para que se produzca la división celular debe producirse un aumento de la tasa de división celular y es aquí donde las CK juegan su papel estimulando dicha división. Los datos que se obtienen no presentan relación debido a que en el Control disminuyen los niveles de zeatina y en el RDC aumentan los niveles para las mismas fechas de muestreo. Ersoy et al. (2008) ponen de manifiesto que durante la formación del botón floral y la floración es cuando los niveles de CK son máximos.

Por último, los resultados mostraron que en RDC la tendencia observada en las concentraciones de ABA y ácido salicílico es coincidente, ya que presentan sus máximos niveles en las fechas previas a la reanudación del riego, en los momentos de máximo estrés hídrico acumulado. La coincidencia con la evolución del ABA resulta lógica ya que el ácido salicílico actúa como inhibidor del crecimiento en la yema, promoviendo indirectamente la floración en frutales (Wada et al., 2010). Según Wada et al. (2010), el ácido salicílico parece ser necesario para la floración, pero por si solo no es capaz de inducirlo, hecho que justificaría su aumento en periodos previos a la transición a flor. Esta misma evolución se siguió en los árboles Control.

CONCLUSIONES



6. Conclusiones

1. La aplicación de estrategias de riego deficitario controlado (RDC) durante la poscosecha del níspero japonés modificó el patrón de crecimiento del brote que pasó de un modelo sigmoideal en el Control (plenamente regado) a un crecimiento doble sigmoide en el tratamiento RDC.

2. Sin embargo, la aplicación de técnicas de RDC no ha afectado significativamente ni a la tasa de emisión de hoja ni a la longitud del brote.

3. El níspero japonés presenta un desarrollo del brote episódico con varios flujos de crecimiento. En el RDC se han detectado sobre cada brote tres flujos de crecimiento, mientras que en el Control se observaron dos o tres flujos de crecimiento según año y brote. La duración de cada flujo de crecimiento fue de unas ocho semanas. En cada flujo se formaron 4-5 hojas, excepto en el rebrote observado en el RDC cuando se formaron 7 hojas.

4. Ambos tratamientos precisaron tres semanas para el pleno desarrollo de la hoja (90% del tamaño de la lámina), lo cual pone de manifiesto que el RDC no afectó apenas a su desarrollo. La aplicación de un RDC no modifica el crecimiento de la hoja ni en longitud ni en anchura, ni en su tamaño final, aunque las hojas formadas bajo RDC presentaron una tendencia a desarrollar una lámina foliar de menor área.

5. Bajo condiciones de RDC una hoja nueva no inició su desarrollo hasta que la previa alcanzó su tamaño casi definitivo. En los árboles control plenamente regados se observaron brotes que emitían hojas cuando la previa subyacente estaba aún en desarrollo, poniéndose de manifiesto que en el Control no hubo relación entre el desarrollo de la hoja subyacente y la emisión de la hoja nueva.

6. La entrada en reposo tanto de los árboles control como aquellos sometidos a RDC se produjo entre finales de junio y principios de julio. No obstante, el reposo se instauró con un ligero adelanto de 8 días en el RDC (1 de julio versus 9 de julio en el Control).

7. La duración del reposo fue bastante variable en ambos años, ya que puede oscilar entre 4 y 10 semanas para el Control, aunque la tendencia reflejó que la duración media fue de 7 semanas. La duración del reposo del RDC fue también variable, aunque algo más breve ya que en más del 50% de los brotes la duración fue de 6 semanas.

8. Respecto a la salida del reposo, los árboles sometidos a RDC manifiestan un adelanto de 8 días con respecto a los árboles del control. La aplicación de RDC generó un estrés hídrico que alineó a los árboles a la hora de la salida del reposo, ya que más del 80% de los árboles bajo RDC salieron del reposo alrededor del 20 de agosto, mientras que en el Control la salida fue más escalonada.

9. Es importante destacar que en ambos años se observó un alto porcentaje de brotes de los árboles control con un estado de reposo difícilmente caracterizable. En el tratamiento RDC la eliminación del riego durante 8 semanas permitió caracterizar más claramente la entrada, duración y salida del reposo.

10. La concentración de ABA en las yemas terminales del níspero japonés ‘Algerie’ se incrementan conforme avanza el periodo de RDC, alcanzándose los niveles máximos en fechas inmediatamente previas a la reanudación del riego. La evolución del ABA en las yemas de los brotes del tratamiento Control fue diferente y el incremento en el tiempo de la concentración fue muy ligero. Se ha constatado la dificultad para detectar concentraciones de GA y IAA en las yemas del níspero. Se ha detectado la presencia de Zeatina y de ácido salicílico, aunque su evolución no muestra relación con el reposo y la fenología de la floración en los tratamientos estudiados.

BIBLIOGRAFÍA



7. Bibliografía

- Agustí, M., Reig, C. y Undurraga, P. 2006. El cultivo del níspero japonés. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y Universidad Politécnica de Valencia. 302 pp.
- Agustí, M. 2004. Fruticultura. Ed. Mundi-Prensa. 493 pp.
- Allona, I., Ramos, A., Ibáñez, C., Contreras, A., Casado, R. y Aragoncillo, C. 2008. Molecular control of winter dormancy establishment in trees. Spanish Journal of Agricultural Research 6:201-210.
- Alonso, F., González, M., Hueso, J. J. y Cuevas, J. 2011. Effects of budbreak period on shoot length and fate in “Algerie” loquat. Acta Hort. 887:315-319.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. Ed. McGraw-Hill Interamericana. 522 pp.
- Baldini, E. 1992. Arboricultura General. Ed. Mundi-Prensa. 379 pp.
- Badenes, M. L., Lin, S., Yang, X., Liu, C. y Huang, X. 2009. Loquat (*Eriobotrya* Lindl.). En: Genetic and genomics of Rosaceae. Springer Science. 636 pp.
- Badenes, M. L., Castro, M., Gisbert, A. D., Martínez-Calvo, J. y Llácer, G. 2006. Clasificación botánica, variedades y patrones. p. 27-48. En: M. Agustí, C. Reig y P. Undurraga. (eds.). El Cultivo del níspero japonés. Universidad Politécnica de Valencia (España) y Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile).
- Bangerth, F. 2009. Floral induction in mature, perennial angiosperm fruit trees: similarities and discrepancies with annual/biennial plants and the involvement of plant hormones. Sci. Hort. 122:153-163.
- Bangerth, F. 2006. Flower induction in perennial fruit trees: still and enigma?. Acta Hort. 727:177-196.
- Behboudian, M. H. y Mills, T. M. 1997. Deficit irrigations in deciduous orchards. Hort. Rev. 21:105-131.
- Beijing Seabridge Marketing and Promotion. 2005. Fruits and vegetables in China: a market analysis. (www.seabridge-china.com).
- Boss, P. K. y Thomas, M. R. 2002. Association of dwarfism and floral induction with a grape 'green revolution' mutation. Nature 416:847-850.

- Brault, M. y Maldiney, R. 1999. Mechanisms of cytokinin action. *Plant Physiology and Biochemistry* 37:403-412.
- Caballero, P. y Fernández, M. A. 2004. Loquat, production and market. *Options Méditerranéennes* 58:11-20.
- Calabrese, F. 2006. Origen de la especie. p. 17-26. En: M. Agustí, C. Reig y P. Undurraga (eds.). *El cultivo del níspero japonés*. Universidad Politécnica de Valencia (España) y Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile).
- Capel, J. J. 1988. *Climatología de Almería*. Instituto de la Diputación de Almería. Cuadernos monográficos 7. Murcia. 160 pp.
- Chan, B. y Cain, J. 1967. The effect of seed formation on subsequent flowering in apple. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 91:63-67.
- Chang, S. T., Chen, W. S., Hsu, C. Y., Yu, H. C., Du, B. S. y Hung, K. L. 1999. Changes in cytokinin activities before, during and after floral initiation in *Polianthes tuberosa*. *Plant Physiol. Biochem.* 37:679-684.
- Chaikiattiyos, B. S., Menzel, C. M. y Rasmussen, T. S. 1994. Floral induction in tropical fruit trees: effect of temperature and water supply. *J. Hort. Sci.* 69:397-415.
- Chen, W. S. 1987. Endogenous growth substances in relation to shoot growth and flower bud development of mango. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 112:360-363.
- Cuevas, J., Gavilán, J. y Lorente N. 1997. Fenología del níspero japonés (cv. "Algerie") en la Costa de Almería. *Actas de Horticultura* 15:490-495.
- Cuevas, J., Hueso, J. J. y Puertas, M. 2003. Pollination requirements of loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.), cv. 'Algerie'. *Fruits* 58:157-165.
- Cuevas, J., Cañete, M. L., Pinillos, V., Zapata, A. J., Fernández, M. D., González, M. y Hueso, J. J. 2007. Optimal dates for regulated deficit irrigation in "Algerie" loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) cultivated in Southeast Spain. *Agric. Water Manag.* 89:131-136.
- Cuevas, J., Hueso, J. J. y Rodríguez, M. C. 2007. Deficit irrigation as a tool for manipulating flowering date in loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.). En: ML Sorensen (ed.). *Nova Science Publisher. Agric. Water Manag. Research Trends*, New York. 237-253 pp.

- Cuevas, J., Pinillos, V., Cañete, M. L., González, M., Alonso, F., Fernández, M. D. y Hueso, J. J. 2008. Optimal levels of postharvest deficit irrigation for promoting early flowering and harvest dates in loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.). *Agric. Water Manag.* 96:831–838.
- Cuevas, J. y Del Grosso, L. 2011. Loquat response to experimental defoliation: shoot growth, bud dormancy and flowering. *Acta Hort.* 887:185-190.
- Cumare, J. A. y Avilán, L. A. 1994. Descripción y caracterización de nueve variedades de mango a ser usados como patrones. III: Estudio fenológico. *Agronomía Tropical* 44:417-439.
- Cutler, S. R., Rodriguez, P. L., Finkelstein, R. R. y Abrams, S. R. 2010. Abscisic acid: emergence of a core signaling network. *Ann. Rev. Plant Biol.* 61:651-679.
- Ersoy, N., Kaynak, L. y Kankaya, A. 2008. Levels of internal Indole-3-acetic acid and abscisic acid in different physiological growth periods in the leaves of loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) fruit. *Asian J. Chem.* 21:4141-4148.
- Ersoy, N., Kaynak, L. y Kankaya, A. 2008. Some endogenous hormones in loquat. *Asian Journal of Chemistry.* *Asian J. Chem.* 20:3786-3794.
- Ersoy, N., Kaynak, L. y Kankaya, A. 2008. Levels of some endogenous plant hormones during the flowering period in loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.). *Asian J. Chem.* 20:571-578.
- Espinosa, E., Martínez, J. García, S., Badenes, M. L. y Llácer, G. Fenología y caracterización pomológica de variedades de níspero japonés. *Actas de Horticultura* 15:425-430.
- Esumi, T., Tao R. y Yonemori, K. 2005. Isolation of LEAFY and TERMINAL FLOWER 1 homologues from six fruit trees species in the subfamily Maloideae of Rosaceae. *Sex. Plant Reprod.* 17:277-287.
- Farrona, S., Coupland, G. y Turck, F. 2008. The impact of chromatin regulation on the floral transition. *Seminars in Cell and Developmental Biology* 19:560-573.
- Fernández, M. D., Hueso, J. J. y Cuevas, J. 2009. Water stress integral for successful modification of flowering dates in ‘Algerie’ loquat. *Irri. Sci.* 28:127-134.

- Gallego, J. 1991. La alternativa del frutal: el níspero bajo invernadero. Actas del Curso Internacional sobre “Agrotecnia del cultivo en invernaderos”. 129-149 pp.
- Gariglio, N., Castillo, A., Juan, M. y Agustí, M. 2002. El Níspero Japonés. Técnicas para mejorar la calidad del fruto. CAPA. Generalitat Valenciana.
- Gariglio, N., Castillo, A., Juan, M., Almela, V. y Agustí, M. 2003. Effects of fruit thinning on fruit growth, sugars and purple spot in loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl.). *J. Hort. Sci. Biotech.* 78:32-34.
- Gavilán, J. 1998. Fenología del níspero japonés (*Eriobotrya japonica* Lindl.) cv. ‘Algerie’ en la Costa Occidental de Almería. Proyecto Fin Carrera, Universidad de Almería, España. 90 pp.
- Gil-Albert, F. 1996. Tratado de arboricultura frutal. Morfología y fisiología del árbol frutal. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 103 pp.
- Gisbert, A. D., Reig, C., Martínez-Calvo, J., Gariglio, N., Badenes, M. L., Agustí y M., Llacer, G. Frutales menores. 2007. El níspero japonés como ejemplo: situación actual, problemas y perspectivas. *Actas de Horticultura* 48:624-630.
- Goldschmidt, E. E. y Samach, A. 2004. Aspect of flowering in fruit trees. *Acta Hort.* 653:23-27.
- Hegele, M., Sritontip, C., Chattrakul, A., Tiyayon, P., Naphrom, D., Sringarm, K., Sruamsiri, P., Manochai, P. y Wünsche, J. N. 2010. Hormonal control of flower induction in litchi and logan. *Acta Hort.* 863: 305-314.
- Hu, Y. L., Yang, S. G., Zhang, Z. K. 2011. Changes in nucleic acids and endogenous hormones in the apical buds of terminal shoots during the crucial period of floral induction in loquat. *Acta Hort.* 887:203-208.
- Hueso, J. J. y Cuevas, J. 2007. Loquat as a crop model for successful deficit irrigation. *Irrig. Sci.* 26:269–276.
- Hueso, J. J. 2005. Riego deficitario controlado en níspero japonés. Tesis Doctoral. Universidad Almería. 166 pp.
- Hueso, J. J. y Cuevas, J. 2003. Deficit irrigation effects on flowering of loquat. *Options Méditerranéennes* 58:105-108.

- Hueso, J.J., Alonso, F., Cortés, R. y Cuevas, J. 2003. Predicción de fechas de recolección de níspero japonés (*Eriobotrya japonica* Lindl.) en las principales zonas productoras españolas a partir de la determinación de la integral térmica. *Actas de Horticultura* 39:287-288.
- Jacobs, W. P. 1979. *Plant hormones and plant development*. Cambridge University Press, Cambridge. 248pp.
- Jiang, G. L., Zhang, G. L., Sun, S. X., Li, J., Xie, H. J., Chen, D. y Tu, M. Y. 2010. The biological responses of loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) in diverse ecotypes of Sichuan. *J. Agron.* 9:82-86.
- Lang, G. A. 1987. Dormancy: a new universal terminology. *HortSci.* 22: 817-820.
- Leopold, A. C. y P.E. Kriedemann. 1975. *Plant growth and development*. Ed. McGraw-Hill. 466 pp.
- Levy, Y., Bielorai, H. y Shalhevt, J. 1978. Long-term effects of different irrigations regimes on grapefruit tree development and yield. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 103:680-683.
- Li, N. Y. 1982. Observation on differentiation of flower bud in loquat. *China Fruits* 3:12-16.
- Lin, S. 2007. World loquat production and research with special reference to China. *Acta Hort.* 750:37-44.
- Lin, S., Huang, X., Cuevas, J. y J. Janick. 2007. Loquat: an ancient fruit crop with a promising future. *Chronica Hort.* 47: 12-15.
- Lin, S., Sharpe, R. H. y Janick, J. 1999. Loquat: botany and horticulture. *Hort. Rev.* 23:233-276.
- Liu, Y. X., Hu, G. B. y Lin, S. Q. 2007. Isolation and characterization of LEAFY-like gene from loquat. *Acta Hort.* 750:307-313.
- López-González, G. 1982. *La guía Encafo de los árboles y arbustos de la Península Ibérica*. Ed. Encafo. Madrid. 886 pp.
- Llácer, G., Badenes, M. L. y Martínez-Calvo, J. 2004. Plant material of loquat in Mediterranean countries. *Options Méditerranéennes* 58:45-52.
- Llácer, G. y Soler, E. 2001. Níspero del Japón. En: F. Nuez y G. Llácer (eds.), *La Horticultura Española*. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. 344-346.

- Maranto, J. y Hake, K. D. 1985. Verdelli summer lemons, a new option for California growers. *Cal. Agric.* 39:4.
- Marsal, J., Lopez, J. y Girona J. 2008. Recent advances in regulated deficit irrigation in woody perennials and future perspectives. *Acta Hort.* 792:429-440.
- Martínez-Calvo, J., Badenes, M. y Llácer, G. 2000. El níspero del Japón. *Agrícola Vergel* 217:24-33.
- Martínez-Fuentes, A., Mesejo, C., Juan, M., Almela, V. y Agustí, M. 2004. Restrictions on the exogenous control of flowering in citrus. *Acta Hort.* 632:91-98.
- Meijón, M., Cañal, M. J., Fernández, H., Rodríguez, A., Fernández, B. y Rodríguez, R. 2010. Hormonal profile in vegetative and floral buds of azalea: levels of polyamines, gibberellins, and cytokinins. *J. Plant Growth Regul.* 30:74-82.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General de Alimentación. 1995. Normas de calidad para frutas y hortalizas. Madrid. 481 pp.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. 1991. Atlas Nacional de España. Sección II Grupo II: Edafología.
- Mitchell, P. D., Chalmers, D. J., Jerie, P. H. y Burge, G. 1986. The use of initial withholding of irrigation and tree spacing to enhance the effect of regulated deficit irrigation on pear trees. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 111:856–861.
- Mok, D. W. S. y Mok, M. C. 2001. Cytokinin metabolism and action. *Ann. Rev. Plant Physiol. and Plant Mol. Biol.* 52:89-118.
- Morton, J.F. (ed.). 1987. Loquat. In: fruits of warm climates, creative resource systems, Winterville. Fl. EE.UU. 103–108 pp.
- Pötter, D. 2002. Molecular phylogenetic studies in rosaceae. En: *Plant genome: biodiversity and evolution.* 1:318-350.
- Pötter, D., Eriksson, T., Evans, R. C., Smedmark, J. E., Morgan, D. R., Kerr, M., Robertson, K. R., Arsenault, M., Dickinson, T. A. y Campbells. 2007. Phylogeny and classification of Rosaceae. *Plant Systematics and Evolution.* 266:5–43.
- Rodríguez, M. C., Hueso, J. J. y Cuevas, J. 2007. Flower development in ‘Algerie’ loquat under scanning electron microscopy. *Acta Hort.* 750:337-342.

- Rodríguez, A. 1983. El cultivo del níspero y el valle del Algar-Guadalest. Ed. Sociedad Cooperativa de Crédito Callosa de Ensarriá. Alcoy. 262 pp.
- Romanov, G. 2009. How do cytokinins affect the cell?. *Russian J. Plant Physiol.* 56:268-290.
- Ruiz-Medrano, R., Xoconostle-Cáceres, B. y Lucas, W. J. 2001. The phloem as a conduit for inter-organ communication. *Curr. Opin. Plant Biology* 4:202-209.
- Salisbury, Frank B., Ross y Cleon W. 2000. Fisiología de las Plantas III. Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. Thomson Ed. 988 pp.
- Seubert, E. 1925. Uber wachstum regulatoren in der koleoptile von avena. *Zeitschr. Bot.* 17:49-88. En: Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. Ed. Mc Graw-Hill Interamericana. 522 pp.
- SECH. 1999. Diccionario de ciencias hortícolas. Mundi Prensa. 607 pp.
- Soler, E., Martínez-Calvo, J., Llácer, G. y Badenes, M.L. 2007. Loquat in Spain: Production and Marketing. *Acta Hort.* 750:45-48.
- Stephan, M., Fritz Bangerth, F. y Schneider G. 2010. Transport and metabolism of exogenously applied gibberellins to *Malus domestica* Borkh. cv. 'Jonagold'. *Plant Growth Regulation* 33:77-85.
- Tadeo, F. R. 2000. Fisiología de las plantas y el estrés. 30:481-499. En: Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. Ed. Mc Graw-Hill Interamericana. 522 pp.
- Taiz, L. y Zeiger, E. 2002. Plant physiology. Third editions. Sinauer Associates, Sunderland. 690 pp.
- Ufarte, G. 2008. Efectos del riego deficitario sobre el crecimiento vegetativo y la fenología reproductiva del níspero japonés (*Eriobotrya japonica* Lindl.) cv. Algerie. Proyecto Fin Carrera, Universidad de Almería, España. 108 pp.
- Wada, K. C., Yamada, M., Shiraya, T. y Takeno, K. 2010. Salicylic acid and the flowering gene FLOWERING LOCUS T homolog are involved in poor-nutrition stress-induced flowering of *Pharbitis nil*. *J. Plant Physiol.* 167:447-452.
- Wang, J.Q., Jiang, J.B., Jia, D.X., Hu, Y.H., Qu, F., Wang, J.H., Zhang, X.Y. 2007. Shoot growth and flower bud formation in young loquat trees grown in sunlight greenhouse in north China. *Acta Hort.* 750:407-412.

- Wareing, P. F. 1978. Abscisic acid as a natural growth regulator. Proc. Trans. R. Soc. London Series B. 28:483-498.
- Weaver, Robert J. 1989. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Ed. Trillas. 622 pp.
- Went, F. W. 1928. Wuchsstoff und Wachstum. Rec. Trav. Bot. Néerland. 25:1-116. En: Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. Ed. Mc Graw-Hill Interamericana. 522 pp.
- Westwood, M. N. 1982. Fruticultura de zonas templadas. Ed. Mundi-Prensa, Madrid. 461 pp.
- Wilkie, J. D., Sedgley, M. y Olesen, T. 2008. Regulation of floral initiation in horticultural trees. J. Exp. Bot. 12:3215-3228.
- Williams, L. E. y Matthews, M. A. 1990. Grapevine. En: B. A. Stewart y D. R. Nielsen (eds.). Irrigation of Agricultural Crops. Agronomy Monograph. 30:1019-1055.
- Zhang, Y., Chen, B., Hu, Y., Zhang, Z., Li, T., Chen, J. 2009. Morphological characteristics of terminal buds and critical node numbers required for Zaozhong No. 6 loquat flower bud differentiation. South China Fruits 38:1-4.
- Zheng, H. L., Lin, S. Q. 2007. Loquat management mode in new cultivation areas in Qingyuan, Guangdong province, China. Acta Hort. 750:67-70
- www.botanical-online.com
- www.mapa.es (estadísticas agrícolas nacionales)
- www.mercabarna.es (datos económicos de comercialización)
- www.mercamadrid.es (datos económicos de comercialización)

ANEJOS



8. Anejos

8.1 Tratamientos fitosanitarios

A lo largo de la campaña de estudio se han realizado tratamientos fitosanitarios para el control de pulgones (*Aphis* spp.) y moteado (*Fusicladium eriobotryae*). Los tratamientos contra pulgones se han aplicado desde junio a agosto (Cuadro 5), utilizando la siguiente materia activa: *Deltametrin*. Durante este periodo se han realizado 3 tratamientos. Los tratamientos para controlar el moteado han sido preventivos y se han realizado cuando las condiciones meteorológicas han sido propicias para el desarrollo del hongo (temperaturas entre 10 y 26 °C y precipitaciones). Ha sido necesario aplicar entre 4 y 5 tratamientos desde un mes antes de la floración hasta casi envero (Cuadro 6). Las materias activas utilizadas para el control de esta enfermedad varían según la época del año y el tiempo transcurrido desde la aparición de la situación de riesgo. Se han utilizado las siguientes: *Mancozeb*, *Oxicloruro de cobre* y *Ciproconazol*. A pesar de la presencia de tripses (*Frankinella* spp.) durante la floración no se observan daños importantes por lo que tampoco se han realizado tratamientos para su control, que además es bastante difícil. No ha sido necesario el control de la mosca de la fruta (*Ceratitis capitata*) durante el año de estudio.

	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
Pulgón												
Moteado												

Cuadro 6. Calendario de tratamientos fitosanitarios en níspero japonés.

8.2 Plan de fertilización anual

Época del año	N (Kg)	P₂O₅ (Kg)	K₂O (Kg)	Zn (Kg)	Fe (Kg)	M.O. (Kg)
Invierno	62,5	25	70	6	0,6	3
Primavera	37,5	12	10,5	1,8	0,18	0,9
Verano	87,5	33	42	7,2	0,72	3,6
Otoño	62,5	30	52,5	0	0	0
Total	250	100	175	15	1,5	7,5

Fertilizantes utilizados

Nitrato amónico (34,5-0-0)

Ácido fosfórico (0-54-0)

Nitrato potásico (13-0-46)

Sulfato potásico (0-0-52)

Quelato de Zinc

Quelato de hierro al 6% EDDHA

Extracto húmico 15% de ácidos húmicos y fúlvicos

8.3 Dotación de riego

	Kc	Kp	Epan (mm/día)		(Días/mes)	ETo (mm/mes)	ETc	CU=0,95	Control	T1
			Media	Estimada						
JUNIO (23)	0,50	0,60	8,22	8,22	7	34,5	18,2	18,2	18,2	
JUNIO (24)	0,50	0,60	10,35	10,35	7	43,5	22,9	22,9	0,0	
JUNIO (25)	0,50	0,60	9,89	9,89	7	41,5	21,9	21,9	0,0	
JUNIO (26)	0,50	0,60	8,87	8,87	7	37,3	19,6	19,6	0,0	
JUNIO-JULIO	0,50	0,70	8,51	8,51	7	41,7	21,9	21,9	0,0	
JULIO (28)	0,50	0,70	8,79	8,79	7	43,1	22,7	22,7	0,0	
JULIO (29)	0,50	0,70	9,36	9,36	7	45,9	24,1	24,1	0,0	
JULIO (30)	0,50	0,70	8,87	8,87	7	43,5	22,9	22,9	0,0	
JULIO-AGOST	0,50	0,70	9,16	9,16	7	44,9	23,6	23,6	23,6	
AGOSTO	0,50	0,70	8,2	8,2	15	86,1	45,3	45,3	45,3	
AGOSTO	0,50	0,70	7,7	7,7	16	86,2	45,4	45,4	45,4	
SEPTIEMBRE	0,50	0,70	6,8	6,8	15	71,4	37,6	37,6	37,6	
SEPTIEMBRE	0,50	0,70	5,8	5,8	15	60,9	32,1	32,1	32,1	
OCTUBRE	0,50	0,65	4,7	4,7	15	45,8	24,1	24,1	24,1	
OCTUBRE	0,50	0,65	3,8	3,8	16	39,5	20,8	20,8	20,8	
NOVIEMBRE	0,70	0,75	3	3	15	33,8	24,9	24,9	24,9	
NOVIEMBRE	0,70	0,75	2,6	2,6	15	29,3	21,6	21,6	21,6	
DICIEMBRE	0,70	0,60	2,4	2,4	15	21,6	15,9	15,9	15,9	
DICIEMBRE	0,70	0,60	2,4	2,4	16	23,0	17,0	17,0	17,0	
ENERO	0,70	0,70	2,4	2,4	15	25,2	18,6	18,6	18,6	
ENERO	0,70	0,70	2,6	2,6	16	29,1	21,5	21,5	21,5	
FEBRERO	0,75	0,70	2,9	2,9	14	28,4	22,4	22,4	22,4	
FEBRERO	0,75	0,70	3,4	3,4	14	33,3	26,3	26,3	26,3	
MARZO (1-7)	0,75	0,70	4	4	7	19,6	15,5	15,5	0,0	
MARZO (8-14)	0,75	0,70	4	4	7	19,6	15,5	15,5	15,5	
MARZO (28)	0,75	0,70	4,7	4,7	14	46,1	36,4	36,4	36,4	
ABRIL	0,70	0,60	5,5	5,5	15	49,5	36,5	36,5	36,5	
ABRIL	0,70	0,60	6,2	6,2	15	55,8	41,1	41,1	41,1	
MAYO	0,50	0,60	6,7	6,7	15	60,3	31,7	31,7	31,7	
MAYO	0,50	0,60	7,3	7,3	16	70,1	36,9	36,9	36,9	
							784,6	784,6	613,2	

El Control recibe una dotación de agua de 784,6 mm/m², mientras que el RDC recibe una dotación de 613,2 mm/m², observándose un ahorro de agua del 22%.

8.4 Análisis de agua

pH	8,5
C.E. (dS/m a 25 °C)	1,130

	mg/l	meq/l
Carbonatos	18,0	0,6
Bicarbonatos	137,3	2,3
Sulfatos	39,9	0,8
Nitratos	0,0	0,0
Cloruros	259,5	7,3
Sodio	80,0	3,4
Potasio	3,8	0,1
Calcio	72,5	3,6
Magnesio	49,0	4,0
Boro (B)	0,143	

Según las normas de Riverside establecidas para evaluar la calidad de las aguas de riego, ésta es un agua de buena calidad y apta para el riego (C2-S1).

8.5 Análisis de suelo**Análisis de suelo (0-10 cm.)**

pH (1/2,5)	8,25
C.E(1/2,5) $\mu\text{S}/\text{cm}$	230
% H	1,10
Da (Mg/m ³)	1164,6
% MOT	4,85
Nitrógeno Total (%)	0,16
Materia Organica f.o (%)	4,05
% CaCO ₃	24,92
Nitrógeno Nítrico (ppm)	2,93
Fosforo (OLSEN) (ppm)	65,34
C/N	14,72

CATIONES DE CAMBIO

	ppm	me/100g	%
Sodio	3,41	0,01	0,11
Potasio	359,18	0,92	7,07
Calcio	1890,86	9,44	72,61
Magnesio	318,99	2,62	20,20
Suma de Cationes		12,99	

EXTRACTO SATURADO

pH	8,44
Conductividad (25°C)	1,46
PS	40,74
SAR	1,80
PSI	1,41
% Hcc	26,21

	mg/l	meq/l
Cloruros	219,75	6,19
Nitratos	32,24	0,52
Boro	0,504	
Sodio	97,30	4,18
Potasio	67,58	1,76
Calcio	137,00	6,85
Magnesio	47,67	3,91

TEXTURA

% Arena	46,62
% Limo	29,28
% Arcilla	24,11

Análisis de suelo (0-20 cm.)

pH (1/2,5)	8,93
C.E(1/2,5) μ S/cm	132
% H	0,98
Da (Mg/m ³)	1538,67
% MOT	1,18
Nitrogeno Total (%)	0,05
Materia Organica f.o (%)	0,40
% CaCO ₃	24,95
Nitrogeno Nítrico (ppm)	
Fosforo (OLSEN) (ppm)	26,99
C/N	4,77

CATIONES DE CAMBIO

	ppm	me/100g	%
Sodio	29,10	0,13	2,08
Potasio	152,30	0,39	6,41
Calcio	916,67	4,57	75,28
Magnesio	119,84	0,99	16,23
Suma de Cationes		6,08	

TEXTURA

% Arena	63,28
% Limo	20,62
% Arcilla	16,11

Análisis de suelo (0-30 cm.)

pH (1/2,5)	9,01
C.E(1/2,5) μ S/cm	121
% H	0,96
Da (Mg/m ³)	1530,6
% MOT	1,18
Nitrogeno Total (%)	0,06
Materia Organica f.o (%)	0,34
% CaCO ₃	24,96
Nitrogeno Nítrico (ppm)	
Fosforo (OLSEN) (ppm)	24,49
C/N	3,00

CATIONES DE CAMBIO

	ppm	me/100g	%
Sodio	25,57	0,11	2,07
Potasio	123,00	0,31	5,85
Calcio	801,67	4,00	74,40
Magnesio	115,50	0,95	17,68
Suma de Cationes		5,38	

TEXTURA

% Arena	66,61
% Limo	17,95
% Arcilla	15,44