

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DE DISTINTOS COMPENSADORES DE FRÍO EN PERA CV.  
WILLIAMS**

**por**

**Sofía RAMOS ABBADIE  
Bruno WLASIUK PEREIRA**

**TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo.**

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2019**

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. MSc. Vivian Severino

-----

Ing. Agr. MSc. Carlos Cabrera

-----

Ing. Agr. PhD. Mercedes Arias

Fecha: 13 de diciembre de 2019

Autores: -----

Sofía Ramos Abbadie

-----

Bruno Wlasiuk Pereira

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestras familias y amigos por apoyarnos durante todas las etapas de la carrera.

A los integrantes del grupo de Ecofisiología de frutales que colaboraron para la realización de este trabajo, la Ing. Agr. MSc. Vivian Severino y la Ing. Agr. PhD. Mercedes Arias.

Al Ing. Agr. MSc. Danilo Cabrera por su tiempo dedicado y aportes a este trabajo, y al Tec. Agr. Pablo Rodríguez.

A los integrantes del departamento de Biometría, Estadística y computación Bq. C. MSc. Bettina Lado y Ing. Agr. MSc. Víctor Prieto por sus aportes en el análisis estadístico.

A la Lic. Sully Toledo por su tiempo dedicado en la revisión y corrección de este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE TABLAS E ILUSTRACIONES.....	VII
1 <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
1.1 OBJETIVOS.....	1
1.1.1 <u>Objetivo general</u> .....	1
1.1.2 <u>Objetivos específicos</u> .....	1
2 <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	2
2.1 PRODUCCIÓN DE PERA.....	2
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA VARIEDAD WILLIAMS.....	2
2.3 DORMICIÓN.....	3
2.3.1 <u>Tipos de dormición</u> .....	3
2.3.2 <u>Inducción, mantenimiento y salida</u> .....	5
2.4 REGULACIÓN DE LA DORMICIÓN.....	6
2.4.1 <u>Regulación ambiental</u> .....	6
2.4.1.1 Temperatura.....	7
2.4.1.2 Fotoperíodo.....	7
2.4.1.3 Agua y luminosidad.....	8
2.4.1.4 Caída de hojas.....	9
2.4.1.5 Nivel de reservas.....	9
2.4.1.6 Portainjertos.....	9
2.4.2 <u>Regulación endógena</u> .....	9
2.4.2.1 Control hormonal.....	10
2.4.2.2 Cambios en la membrana y pared celular.....	14
2.4.2.3 Respiración celular.....	15
2.4.2.4 Metabolismo de los carbohidratos.....	16
2.4.2.5 Agua.....	16
2.5 SALIDA DE LA DORMICIÓN.....	17

2.5.1	<u>Acumulación de frío</u> .....	17
2.5.1.1	Requerimiento de frío según localización y tipo de yema.....	19
2.5.2	<u>Consecuencia de falta de frío</u> .....	20
2.5.3	<u>Calidad de la fruta</u> .....	21
2.5.4	<u>Requerimientos de calor</u> .....	22
2.5.5	<u>Métodos de cálculo de acumulación de frío</u> .....	23
2.6	MANEJO DE LA DORMANCIA.....	26
2.6.1	<u>Poda y arqueado de ramas</u> .....	27
2.6.2	<u>Productos químicos</u> .....	27
2.6.2.1	Cianamida hidrogenada.....	27
2.6.2.2	Aceite.....	29
2.6.2.3	Erger®. ....	30
2.6.2.4	Nitrato de calcio .....	30
2.6.3	<u>Momento de aplicación y dosis</u> .....	30
2.7	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL URUGUAY EN 2017 .....	33
3	<u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	37
3.1	ESTIMACIÓN DE FRÍO ACUMULADO .....	37
3.2	MATERIAL VEGETAL Y TRATAMIENTOS APLICADOS.....	39
3.3	VARIABLES EVALUADAS .....	37
3.4	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	39
3.5	CONTEXTUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	40
4	<u>RESULTADOS</u> .....	41
4.1	ACUMULACIÓN DE FRÍO.....	41
4.2	BROTACIÓN .....	43
4.2.1	<u>Brotación experimento 1: efecto del momento, producto e interacción</u> .....	43
4.2.2	<u>Brotación experimento 2</u> .....	44
4.2.3	<u>Porcentaje de brotación final</u> .....	44
4.2.4	<u>Brotación máxima</u> .....	45
4.2.5	<u>Evolución de la brotación</u> .....	47
4.2.6	<u>Velocidad de brotación</u> .....	48
4.2.7	<u>Brotación por estructura</u> .....	49
4.3	CONTEXTUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	53

5	<u>DISCUSIÓN</u> .....	54
5.1	BROTACIÓN EN CÁMARA .....	54
5.2	ACUMULACIÓN DE FRÍO.....	54
5.3	BROTACIÓN .....	55
5.4	CONTEXTUALIZACIÓN .....	57
6	<u>CONCLUSIONES</u> .....	58
7	<u>RESUMEN</u> .....	59
8	<u>SUMMARY</u> .....	60
9	<u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	61
10	<u>ANEXOS</u> .....	71

## LISTA DE TABLAS E ILUSTRACIONES

Figura No.	Página
1. Unidades de frío y horas de frío registradas en el periodo 1977-1985.....	25
2. Evolución de la temperatura media mensual (media, mínima y máxima) 2007-2017 y la temperatura media mensual del 2017. ....	34
3. Acumulación de frío diaria según el modelo Utah (Richardson) para el año 2017 y promedio 2007-2016. ....	35
4. Acumulación de frío diaria según el modelo dinámico para el año 2017 y promedio 2007-2016. ....	36
5. Unidades de frío (Richardson) promedio por década mensual en el año 2017 y mediana de la serie de datos de INIA las Brujas.. ....	36
6. Porcentaje de brotación en cámara de brindillas de manzana y pera.....	41
7. Acumulación de frío diaria según el modelo Utah (Richardson) y el modelo dinámico para el año 2017.....	42
8. Brotación máxima por tratamiento y estructura.....	46
9. Evolución de la brotación (%) en las diferentes fechas de evaluación según tratamientos del experimento 1.....	47
10. Evolución de la brotación (%) en las diferentes fechas de evaluación según tratamientos del experimento 2.....	48
11. Brotación final discriminada por tipo de yema y estructura según tratamientos del experimento 1. ....	50
12. Brotación final discriminada por tipo de yema y estructura según tratamientos del experimento 2. ....	51
13. Evolución de la brotación de dardos y yemas para todos los tratamientos del experimento 1 y 2.....	52
14. Evolución de la brotación discriminada por estructura y tipo de yema para todos los tratamientos del experimento 1 y 2. ....	52

Tabla No.

1. Experimento 1. Producto, dosis y momento de aplicación de cada tratamiento.....	38
2. Experimento 2. Producto, dosis y momento de aplicación de cada tratamiento.....	38
3. Acumulación de frío según modelo Utah y modelo dinámico en las diferentes fechas de aplicación.....	42
4. Diferencias significativas entre momento de aplicación (M), producto (P) e interacción momento por producto (M*P) en el porcentaje de brotación total del experimento 1..	43
5. Diferencias significativas entre productos del experimento 1 en el porcentaje de brotación inicial y final. ....	44
6. Diferencias significativas en el porcentaje de brotación total por tratamiento respecto al testigo del experimento 2. ....	44
7. Porcentaje de brotación final (21 diciembre) por tratamiento.....	44
8. Porcentaje de brotación alcanzado por fecha según tratamientos del experimento 1 y experimento 2.....	45
9. Porcentaje de brotación máxima por tratamientos de experimento 1 y 2.....	47
10. Velocidad de brotación ( $\Delta\%$ brotación / $\Delta$ día) según tratamientos.....	49
11. Porcentajes de brotación según estructura y tipo de yema de tres productores e INIA LB. ....	53

# **1 INTRODUCCIÓN**

El cultivo de perales en Uruguay abarca un área de 767 hectáreas, las cuales representan un 14,2% de la superficie frutícola y un 7,9% de la producción del rubro de frutales de hoja caduca. El cv. Williams es la variedad más plantada con un 82,1% de la superficie de perales (MGAP. DIEA, 2016).

El peral presenta una suspensión temporaria del crecimiento visible de cualquier estructura de la planta que contenga un meristemo durante el invierno, proceso denominado dormición (Lang et al., 1987).

Uruguay se caracteriza por tener un clima muy irregular, donde la ocurrencia de inviernos benignos y primaveras frías provoca una inadecuada acumulación de frío y una brotación anormal en algunas temporadas.

Para lograr una producción exitosa en climas de las características de Uruguay es necesario el levantamiento de la dormancia mediante el uso de compensadores químicos u otros medios físicos. Los tratamientos químicos tienen un impacto económico significativo en la producción de frutales. Aun así, determinar cuándo aplicar los compensadores puede ser problemático, debido a que su eficacia y la fitotoxicidad que pueden generar dependen de la profundidad de la dormancia (Arora et al., 2003).

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo general**

Determinar la respuesta de perales (*Pyrus communis L.*) cv. Williams a la aplicación de químicos compensadores de frío en la salida de la endodormancia.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Analizar el efecto de la fecha de aplicación de distintos compensadores de frío sobre la brotación de yemas.

Analizar la interacción entre fecha de aplicación y compensador sobre la variable antes mencionada.

## **2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 PRODUCCIÓN DE PERA**

En Uruguay la producción frutícola de hoja caduca ocupa una superficie total de 5.4 miles de hectáreas (MGAP. OPYPA, 2018). La misma está concentrada fundamentalmente en Canelones, Montevideo, Colonia y San José. De estos departamentos, Canelones y Montevideo poseen la mayor superficie por la cercanía al mercado consumidor y también por las características climáticas de las especies cultivadas, que poseen un elevado requerimiento de frío invernal (MGAP y FAO, 2013). La manzana es el cultivo con mayor área y volumen de cosecha, en la zafra 2016 aportó el 60% de la producción total, mientras que el durazno aportó el 20% y la pera el 8% (MGAP. DIEA, 2016).

La pera es producida por 306 productores, ocupa un total de 767 hectáreas de las cuales 715 hectáreas se encuentran en producción. El 71% de la producción se realizó bajo riego (MGAP. DIEA, 2016), siendo probablemente mayor en la actualidad. Según la encuesta frutícola del 2016 realizada por MGAP. DIEA la producción anual total promedio fue de 4986 toneladas, con una productividad media de 7 ton/ ha y se destina en promedio el 94.3% de la producción al mercado interno para el consumo en fresco. La variedad Williams es la principal variedad de pera producida en el Uruguay, aporta el 82.1% de la producción de este frutal, otras variedades que se producen son Packham's Triumph y Abate Fetel (MGAP. DIEA, 2016).

### **2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA VARIEDAD WILLIAMS**

La pera Williams conocida también como pera francesa, Bartlett o William Bon Chretien, fue descubierta en 1765 en Inglaterra por Stair, tomando el nombre luego por los viveristas que la propagaron: Williams en Inglaterra y Bartlett en USA (INTA 2010, Pisano et al. 2014).

El peral (*Pyrus communis* L.) pertenece a la subdivisión Angiosperma; Clase Dicotiledónea de hoja caduca; subclase Rosidae, orden Rosales, familia Rosácea y género *Pyrus*. Tiene una vida media de 65 años y puede alcanzar hasta 20 metros de altura. Presenta un tronco grueso de corteza agrietada y gris. Las ramas son de corteza lisa, verdes y gris-violáceas con lenticelas. Sus hojas son ovales, con envés glabro, haz liso, brillante; peciolo verde amarillento, glabro y con un peciolo de igual longitud que la lámina o más corto. Tiene yemas de madera voluminosas, divergentes, glabras, cónicas y una por nudo. El fruto es un pomo, estrechado en la base, el interior está dividido en cinco lóculos cada uno con 1 a 2 semillas. La piel del fruto es más o menos lisa, de

color verde y toma un color pardo amarillento al madurar. Su pulpa es dura y ácida en un inicio, y en la madurez pasa a ser blanda y dulce (INTA, 2010).

Las ventajas de la pera Williams son que es la más consumida y aceptada por los uruguayos, está adaptada a la zona Sur y presenta la capacidad de producir sin polinizador (partenocárpica). Algunas debilidades de esta variedad son: incompatibilidad con algunos portainjertos, presenta una poscosecha limitada y tiene un amplio periodo de floración lo que produce la desuniformidad en calibres (Pisano et al., 2014).

El peral es originario de China y Asia menor (Silva et al., 2014). Presenta como forma de adaptación a las bajas temperaturas, la capacidad de entrar en dormición durante el invierno (Lang et al., 1987). Para finalizar esta etapa requiere acumular determinada cantidad de frío, que de acuerdo a Rodríguez y Muñoz (2015), son 900 unidades o 1000 horas de frío. En zonas subtropicales como en Uruguay no todos los años se logran alcanzar estos requerimientos (Severino et al., 2012)

## **2.3 DORMICIÓN**

Existen varias definiciones de dormición, Kobayashi (1987), Hawerth et al. (2010) la definen como un mecanismo de adaptación de las plantas para sobrevivir a condiciones ambientales adversas (bajas temperaturas, estrés hídrico). Según Samish (1954), Lang et al. (1987), Sozzi et al. (2007) la dormición es la incapacidad de crecimiento programada que presentan los ápices meristemáticos en plantas leñosas caducifolias. Durante la dormición el crecimiento, desarrollo o actividad se enlentece o detiene, pero el mismo puede reiniciarse (Sozzi et al., 2007).

La dormancia es una etapa biológica compleja, donde ocurren modificaciones en el metabolismo de la planta (Hawerth et al., 2010). Sucede la modificación de procesos fisiológicos específicos, que determinan la paralización del crecimiento vegetal y la adquisición de tolerancia a bajas temperaturas. Lavee (1973) indica que no ocurre un completo cese del desarrollo de la planta, sino que durante la dormición en la yema ocurren procesos de diferenciación, pudiéndose observar un aumento del peso de éstas.

### **2.3.1 Tipos de dormición**

Se han caracterizado tres tipos de dormición que se diferencian por el factor promotor, según Lang et al. (1987) las clases de dormición son:

paradormición es el cese del crecimiento originado por factores bioquímicos provenientes de otra estructura de la planta, que no es el tejido meristemático que entra en dormición. Un ejemplo de este tipo de dormición es la dominancia apical (inducida por el meristema terminal), las yemas axilares pueden permanecer dormidas en condiciones favorables y solo retoman el crecimiento si no hay factor de inhibición.

Endodormición es el cese del crecimiento originado por factores bioquímicos generados dentro del meristema que entra en dormición. El desarrollo de las yemas se detiene como mecanismo de sobrevivencia ante condiciones ambientales desfavorables para el crecimiento, como bajas temperaturas o estrés hídrico. Cuando las yemas se encuentran en endodormancia, la exposición a condiciones ambientales óptimas no es suficiente para inducir la brotación. Las yemas deben ser expuestas previamente a condiciones ambientales, como bajas temperaturas, para recuperar la capacidad de brotación (Lang, 1985).

La ecodormición ocurre después de la superación de la endodormición. Se caracteriza por la no brotación de las yemas provocada por factores extrínsecos a la planta limitantes del desarrollo como deficiencias nutricionales, hídricas o temperaturas extremas. Después de la suspensión de estos factores limitantes ocurre la brotación de las yemas.

La dormición no es adquirida rápidamente por las plantas, es un proceso de desarrollo progresivo que inicia durante el otoño aumentando la intensidad hasta llegar a la endodormancia profunda (Lang et al., 1987). Se requieren temperaturas de enfriamiento para romper el estado de dormición; si la latencia es leve, el crecimiento se reanuda cuando las condiciones ambientales son favorables (Kobayashi, 1987). El receso de las yemas puede inducirse 5-7 semanas después de la brotación. Las yemas pueden revertir el estado de dormición bajo un estímulo como calor, poda en verde y deshoje (Frías, 2006).

Los diferentes tipos de dormición se superponen, es imposible determinar con precisión el inicio y la terminación de cada una, y en la transición de una fase a otra no hay caracteres específicos que permitan su determinación (Saure, 1985).

En este trabajo se utilizarán los términos dormición, dormancia y latencia para referirse a la endodormición.

### **2.3.2 Inducción, mantenimiento y salida**

Factores ambientales, factores relacionados a la planta y la interacción entre la planta y el ambiente son determinantes para la manifestación y control de la dormición (Hawerth et al., 2010).

Las plantas pueden entrar en dormición independientemente de las condiciones ambientales, pero no pueden salir autónomamente. Por lo tanto, una planta no se encuentra en endodormancia si ante condiciones ambientales favorables puede reanudar su crecimiento. Durante la dormición las temperaturas bajas pueden acelerar y las altas pueden retrasar el desarrollo (Saure, 1985).

Para la determinación de la salida de la dormición Saure (1985) compara resultados de diversos investigadores, indica que exponen el material vegetal a temperaturas forzadas, variables o constantes, a luz permanente o intermitente y distintas concentraciones de giberelina (GA). Para determinar la salida de la endodormición se utilizan distintos parámetros dependiendo del autor:

- Cuando las yemas presentaron una coloración verde en un periodo de 2 semanas de forzamiento a 24°C (Couvillon y Hendershott, 1974)
- Cuando el 50% de las yemas de las brindillas alcanzaron el estado fenológico de punta verde dentro de los 21 días de forzamiento (Weinberger, 1950).
- Cuando 4 brindillas de una planta brotaron a 21-24°C (Norvell y Moore, 1982).
- Mediante la concentración requerida de GA para inducir el crecimiento de las yemas (Hatch y Walker, Walser et al., citados por Saure, 1985).
- Cuando el 50% de los brotes extraídos son capaces de brotar al ser expuestos durante un tiempo determinado a condiciones de temperatura adecuada y con sus bases sumergidas en agua (Dennis, 2003)
- Cuando se alcanza un valor de 0.1 al dividir 1/días hasta 25% de brotación de yemas terminales (tasa de brotación, Halgryn et al., 2001).

La intensidad de la dormición no es constante durante todo su transcurso (Saure, 1985). Vegis (1964) denomina la última etapa de la dormancia como posdormancia, y observó que en esta etapa los órganos inactivos comienzan su crecimiento dependiendo de las condiciones externas.

Señala que la brotación puede ocurrir en un rango temperatura propia de cada especie o cultivar, y que las temperaturas que exceden este rango pueden inducir a una latencia secundaria.

Saure (1985) indica que no es suficiente la brotación como indicador de la finalización de la dormancia, ni tampoco el porcentaje de brotación en un periodo determinado, debido a que pueden ocurrir otras causas que impidan la brotación. Este autor considera que un indicador valido de que las plantas han entrado en dormición y que han completado la latencia es la velocidad de brotación. Couvillon y Hendershott (1974) observaron que la brotación puede ocurrir dentro de las 72-84 horas luego de aumentar la temperatura de durazneros que ya habían completado la endodormición, pero que se encontraban en latencia por las condiciones ambientales (ecodormición).

El lugar donde se da la dormición naturalmente debe ser el brote, mientras el resto de la planta se encuentra en reposo (Saure, 1985). Trabajos con Lila (*Syringa vulgaris*) demuestran esto, ya que se logró forzar la brotación de brindillas individuales sin influir a las brindillas vecinas (Denny y Stanton, 1928)

Distintos autores indican que otras partes del árbol están involucradas en la dormición. Chandler, citado por Saure (1985) injertó brindillas de manzanos en activo crecimiento en manzanos en dormición y concluyó que la influencia de la latencia puede transmitirse del árbol latente a la brindilla injertada. Westwood y Chestnut, citados por Saure (1985) confirman esto para los perales.

Según Frías (2006) para una adecuada acumulación de frío existen condiciones necesarias previas al receso: durante el verano-otoño la temperatura debe descender para una correcta aclimatación de las yemas. Cuando la temperatura es alta, las yemas entran en receso, pero necesitan más horas de frío para salir. Yemas maduras tienen menor requerimiento de frío que yemas con maduración tardía.

## **2.4 REGULACIÓN DE LA DORMICIÓN**

### **2.4.1 Regulación ambiental**

Factores ambientales desfavorables (bajas temperaturas y/o, estrés hídrico) promueven la entrada de la endodormición mientras que factores ambientales favorables promueven la salida de la dormición. El acortamiento del fotoperiodo y las bajas temperaturas son las señales ambientales que

inducen el cambio de paradormición a endodormición en las yemas y simultáneamente inician la aclimatación al frío (Arora et al., 2003).

#### **2.4.1.1 Temperatura**

La temperatura es considerada el principal elemento climático relacionado a la inducción de la dormición en frutales de clima templado (Erez, 1995). Las plantas no captan directamente la señal de bajas temperaturas, sino que este factor produce ciertos cambios en la planta como es una disminución de su metabolismo y cambios físicos en las membranas celulares (Sozzi et al. 2007, Hawerth et al. 2010).

La disminución de la temperatura del ambiente en otoño asociada o no al fotoperiodo, conduce inicialmente a la paralización del crecimiento y en un segundo momento la entrada en dormición de las plantas, siendo su influencia diferente entre las distintas especies de frutales (Sozzi et al. 2007, Balandier, citado por Hawerth et al. 2010). Durante la dormición la acción continua de bajas temperaturas por determinado periodo permite la superación de esta etapa del ciclo anual. Cuando el frío es insuficiente la dormición se prolonga, la brotación es menor, se vuelve irregular y el rendimiento disminuye (Jacobs et al., 2002)

Una vez las plantas en dormancia, las bajas temperaturas durante determinado tiempo permiten la salida de esta (Petri et al., citados por Hawerth et al., 2010). Por lo que las bajas temperaturas realizan una doble acción, promoviendo la detención del crecimiento previo a la endodormición y actuando sobre su supresión posteriormente (Hawerth et al., 2010).

La cantidad de frío ocurrida desde la inducción hasta la superación de la dormición es denominada requerimiento de frío, siendo ésta, variable entre las especies (Hawerth et al., 2010).

#### **2.4.1.2 Fotoperíodo**

Además de la temperatura, algunos autores indican que el fotoperiodo es un factor determinante para la entrada en dormición de frutales de clima templado. El crecimiento de las plantas se detiene al final del verano, antes de entrar en dormancia en otoño y esta posiblemente relacionado con el fotoperiodo (Fennel et al., 2005)

Heide (2008) verifica que en el género *Prunus* el efecto del fotoperiodo es variable con la temperatura. Cuando la temperatura supera los 21°C, las plantas continúan con el crecimiento independientemente del fotoperiodo, pero

a temperaturas menores (12 – 15°C), las especies de *Prunus* sí son sensibles a la longitud del día, deteniendo el crecimiento ante fotoperiodos cortos (Hawerroth et al., 2010).

En contraste con la mayoría de las especies leñosas de clima templado, el peral y el manzano son insensibles al fotoperiodo. En estas especies se requieren temperaturas menores a 12 °C para que se induzca la dormición y cese el crecimiento (Heide y Prestrud, 2005).

### **2.4.1.3 Agua y luminosidad**

Existen evidencias del control de la luminosidad sobre la dormición en algunas especies de regiones templadas, pero no hay información sobre los principales frutales de clima templado (Hawerroth et al., 2010).

La producción de especies templadas en zonas subtropicales ha mostrado que los factores intensidad de luz y precipitación pueden favorecer o perjudicar la dormición (Finetto, citado por Hawerroth et al., 2010). La magnitud de los factores sobre la dormición no está cuantificada, pero existen evidencias de que estos factores participan del proceso.

Petri et al., citados por Hawerroth et al. (2010) establecen que la radiación solar directa durante el periodo de otoño e invierno presenta efectos negativos en la superación de la dormición, debido al aumento de temperatura en la planta. De forma contraria, otoños e inviernos con ocurrencias de días fríos y nublados durante el día son favorables para la superación de la dormición.

Efectos de la precipitación sobre la dormición son citados con dos mecanismos de acción. Por un lado, Erez y Couvillon, citados por Hawerroth et al. (2010) mostraron que el agua genera un efecto de reducción de la temperatura sobre las yemas lo que promueve la brotación. Por otra parte, Westwood y Bjornstad, citados por Hawerroth et al. (2010) observaron que ramas de peral variedad Barlett sumergidas en agua presentaban una anticipación de la brotación y, sugieren que el agua remueve sustancias inhibitoras promoviendo el desarrollo de los tejidos meristemáticos en las yemas. A partir de esta observación estos mismos autores indican que lluvias durante el periodo de invierno puede remover sustancias inhibitoras en las yemas, anticipando y aumentando el número de yemas brotadas. Otra hipótesis del efecto de las precipitaciones sobre la dormancia, indica que las lluvias generan una condición de anaerobiosis en las yemas lo que promueve la superación de la dormancia (Petri et al., citados por Hawerroth et al., 2010)

#### **2.4.1.4 Caída de hojas**

La fecha de caída de hojas afecta la dormición. La presencia de las hojas en el árbol reduce la eficiencia de frío en un 60%, por lo que otoños calurosos que permiten mantener el follaje por más tiempo provocan un receso más largo (Peereboom Voller y Yuri, 2004).

#### **2.4.1.5 Nivel de reservas**

Un bajo contenido de Nitrógeno en la planta prolonga el receso invernal. La falta de Zinc disminuye la brotación en la zona superior del árbol (Peereboom Voller y Yuri, 2004).

#### **2.4.1.6 Portainjertos**

En la producción frutícola se utilizan portainjertos, con el objetivo de controlar el vigor, reducir la etapa de juvenilidad, aportar resistencia a enfermedades, plagas, adaptación al suelo y al clima.

El uso de diferentes portainjertos determina diferencias en el desarrollo vegetativo y productivo de la planta, además de influir en la dormición de la copa (Erez, 2000).

Finetto (2004) indica que los portainjertos pueden ejercer un efecto sobre la brotación de cultivares de manzana cuando son sometidas a condiciones de frío insuficiente. Este autor estudio el efecto de diferentes portainjertos sobre manzana cv. Golden Delicious y observó que los portainjertos influyeron sobre el requerimiento de frío del cultivar de la copa, cuando las condiciones no fueron favorables. Couvillon et al. (1984) verificaron que manzanas de alto requerimientos de frío pueden desarrollarse presentando los requerimientos de frío del portainjerto.

Las raíces son una importante fuente de reguladores de crecimiento (citoquininas) que tienen efecto sobre la inducción de la brotación, es por esto que los portainjertos están relacionados con la dormición, a través del efecto de las raíces (Hawerth et al., 2010).

#### **2.4.2 Regulación endógena**

Dennis (1994), señala que existen varias escuelas de pensamiento sobre las bases fisiológicas de la dormición, entre las que destaca a la escuela clásica y la escuela francesa.

Algunos autores consideran que la dormición está regulada por el balance de hormonas inhibitoras y promotoras del crecimiento. Los cambios entre dormición y actividad y viceversa son iniciados por señales ambientales que son transducidas a hormonas vegetales, como ácido indolacético, giberelinas, ácido abscísico y etileno. Estos autores prefieren hipótesis simples, donde la dormición es un proceso controlado por relativamente pocos factores. En muchas de sus hipótesis se asume que el frío remueve un inhibidor, estimula un promotor o ambas, resultando en el reinicio del crecimiento. La mayoría de las evidencias obtenidas para realizar estas afirmaciones fueron a partir de estudios de dormición en semillas, debido a la facilidad de almacenaje y trabajo con las mismas (Amen 1968, Seeley 1990).

En contraste, otros autores establecen que la dormición es un fenómeno más complejo donde las hormonas poseen un rol secundario. Respecto a la dormición en yemas consideran que es un factor morfogénico, resultado final de una serie de inhibiciones correlativas. La dormición comienza con la dominancia apical, gradualmente, el control se extiende de la yema apical al tejido inmediatamente subyacente al meristema de las yemas laterales y finalmente se da dentro del mismo meristema (Nigond, Champagnat, Champagnat y Côme, citados por Dennis, 1994).

Faust et al. (1997) sugieren que la latencia está regulada por componentes hormonales que determinan el crecimiento y además es afectado por factores ambientales y estrés.

Beauvieux et al. (2018) establecen que la acumulación de especies reactivas del oxígeno (ERO) tiene un rol central en el control de la dormición, dado que está vinculada a procesos y cambios ocurridos dentro la misma. La producción de estas moléculas se aumenta durante la dormición debido a una combinación de estreses (hipoxia, bajas temperaturas, déficit de oferta de carbono) y metabolismo celular inhibido. Afecta la señalización hormonal, permeabilidad de la membrana celular, metabolismo de los carbohidratos, respiración celular y estrés oxidativo. La acumulación y posterior remoción de ERO por sistemas de detoxificación parecería estar asociada a la salida de la dormición.

#### **2.4.2.1 Control hormonal**

##### **Ácido abscísico**

La concentración de ácido abscísico (ABA) se estudió en yemas de muchas especies desde la entrada hasta la salida de la dormición. Se ha encontrado una correlación positiva entre los niveles de ABA y la profundidad

de la dormición, aunque en algunos casos esta relación no es tan clara. La cantidad de ABA disminuye en las yemas de muchas especies leñosas en los meses fríos de invierno. De todas formas, no es seguro que las temperaturas frías contribuyan a la disminución ya que se ha observado en algunos estudios que el contenido de ABA también disminuye en condiciones de temperatura cálida (Powell, 1987).

El ABA previene la elongación celular y se considera asociado a la dormición debido a que su concentración en yemas se vuelve máxima a finales de otoño y mínima durante la brotación. El ABA actúa como antagonista de hormonas promotoras del crecimiento como giberelinas (GAs) y citoquininas. Muchos autores sugieren que el balance entre ABA y GAs está involucrado en la inducción y mantenimiento de la dormición. Esta afirmación se sustenta en estudios donde se observa que aplicaciones de promotores de crecimiento en general no reanudan el crecimiento, y en el hecho que la dormición aumenta su intensidad gradualmente, mucho después que las hormonas promotoras de crecimiento alcancen niveles muy bajos, sugiriendo el aumento de una influencia inhibitoria (Saure 1985, Powell 1987). Pieniazek y Rudnicki, citados por Saure (1985), concluyen que la brotación en yemas de manzano está más asociada al aumento de promotores del crecimiento que al bajo nivel de ABA endógeno en las yemas.

Más recientemente, Ramina et al. (1995) sugieren que el ABA controla la inhibición del crecimiento y no afecta directamente el control de la dormición, debido a que no encontraron una relación directa entre los niveles de esta hormona y la brotación de yemas en duraznero. Por otro lado, la sensibilidad al ABA puede disminuir durante el periodo de imbibición de las semillas (comparable al periodo de ecodormición en yemas) por la inhibición de la transducción de señal causada por los ERO (Meinhard y Grill, Barba-Espin et al., Leida et al., citados por Beauvieux et al., 2018).

Bowen y Derickson, citados por Saure (1985) encontraron una correlación positiva entre la concentración de ABA en yemas reproductivas de duraznero y los respectivos requerimientos de frío de varios clones. También, encuentran que altas concentraciones de ABA en las yemas reproductivas durante la dormición reflejan un alto vigor vegetativo en la temporada de crecimiento anterior.

## **Giberelinas**

Las giberelinas son particularmente importantes debido a que participan en el proceso de reanudar el crecimiento durante la salida de la dormición. Se ha observado en muchas investigaciones el aumento de GAs endógenas después de un periodo de frío, por lo que están relacionadas al control de la dormición (Saure 1985, Beauvieux et al. 2018).

Dennis (1994), sostiene que los datos disponibles apoyan por lo menos 3 hipótesis sobre los cambios en la concentración de las GAs endógenas. Una hipótesis es que el frío estimula la síntesis de GAs, la concentración aumenta hasta que se alcanza un umbral para la salida de la dormición. La segunda, también asume que el frío estimula la síntesis de GAs, pero que la concentración umbral estimula a otros procesos que llevan a la germinación, por lo que no es requerida *per se* en la germinación. La tercera hipótesis, propone que la acumulación de frío remueve un bloqueo en la síntesis de GAs, la que puede continuar una vez aumente la temperatura.

Erez et al., citados por Saure (1985), confirman que la aplicación de GAs no aumenta la brotación en duraznero, pero puede adelantarla. Debido a que las yemas terminales tienen menores requerimientos de frío en relación con las yemas laterales, las GAs aplicadas adelantan primariamente la brotación de las yemas terminales, resultando en un aumento de la dominancia apical y consecuentemente una menor brotación total. Esto, no ocurre cuando la brotación se da con frío suficiente.

Los niveles más altos de GA1 y GA3 se encuentran en las yemas durante la salida de la endodormición, bajo tratamientos de frío aumenta la biosíntesis de GAs. La aplicación de esta hormona puede sustituir en parte la acumulación de frío. Aplicaciones sobre yemas reproductivas de damasco y duraznero, llevan a un desarrollo de estrés oxidativo y subsecuentemente a la salida de la dormición (Powell 1987, Beauvieux et al. 2018).

## **Citoquininas**

La evidencia de que las citoquininas estén involucradas en la regulación de la dormición se basa en que aplicaciones exógenas de esta hormona pueden estimular el crecimiento de yemas y la germinación de semillas y que el nivel endógeno se correlaciona bien con estos eventos (Powell, 1987).

Las citoquininas son un grupo de hormonas que tienen en común la habilidad de inducir la división celular en algunos tejidos de las plantas. En

brotos en crecimiento es conocido que contrarrestan la inhibición de las yemas laterales producida por la dominancia apical y por la competencia con frutos (Saure, 1985).

Saure (1985) señala que las citoquininas probablemente cumplan una función suplementaria en la salida de la dormición pero que no son su causa. Powell (1987) reporta que varios experimentos relacionan la aparición de citoquininas con la acumulación de frío. En experimentos con aplicación de citoquininas se observó que no fueron exitosos cuando no hubo tratamientos de frío previos a la aplicación. El efecto principal de esta hormona es acelerar el desarrollo de yemas que hayan finalizado la dormición por lo menos parcialmente. Según Borkowska, citado por Saure (1985) las citoquininas aumentan el efecto de las bajas temperaturas sobre la elongación de los brotes, pero no alteran la duración de la dormición.

### **Auxinas**

Según Sozzi et al. (2007) las auxinas inhiben la brotación de las yemas laterales. La eliminación de las yemas terminales promueve la brotación de las yemas laterales dado por la eliminación de la dominancia apical. Saure (1985) señala que la dominancia apical podría jugar un rol en el mantenimiento de la dormición, aun durante el invierno.

Tratamientos con auxinas exógenas generalmente inhiben la ruptura de la dormición, las yemas laterales requieren menos frío para salir de la endodormición si la yema apical es extraída. La conducción horizontal de ramas reduce la dominancia apical por lo que este manejo reduce el periodo de endodormición (Sozzi et al., 2007).

La actividad de las auxinas se incrementa antes en yemas de árboles que acumularon frío respecto a yemas de árboles mantenidos en condiciones de calor (Blommaert, 1959). Lavee (1973) concluye que las auxinas no podrían ser un regulador de crecimiento en la salida de la dormición, debido a que el incremento en su nivel esta precedido por el aumento de GAs y citoquininas. Propone que las auxinas solo están involucradas en la apertura de las yemas y el resultante crecimiento en primavera.

### **Etileno**

La biosíntesis del etileno, comenzando con sus precursores, metionina y ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) se incrementa durante la endodormición. Resulta en una mayor producción de etileno, pero también de

cianuro de hidrogeno, lo que aumenta los niveles de ERO (Lonescu et al., citados por Beauvieux et al., 2018).

Ophir et al., citados por Beauvieux et al. (2018), observan que aplicaciones de etileno, cianamida hidrogenada y el estrés inducido por bajas temperaturas en yemas de vid, provocan el aumento de la biosíntesis de etileno, y lo asocian a la brotación.

#### **2.4.2.2 Cambios en la membrana y pared celular**

La composición lipídica y factores de la membrana se modifican durante la dormición, como un mecanismo de adaptación de la célula a la deshidratación y lesiones causadas por la congelación (Beauvieux et al., 2018).

Se ha demostrado que la fluidez de las membranas en las células de las yemas de duraznero se incrementa con la acumulación de frío durante la dormición, debido al incremento de fosfolípidos y contenido relativo de ácido linoleico. Temperaturas frías también aumentan el grado de insaturación de los ácidos grasos de la membrana en células de yemas de manzano y provocan cambios en los niveles de esteroides y en su composición (Portrat et al., Erez et al., Wang y Faust, citados por Beauvieux et al., 2018).

Aparte de estas modificaciones también se producen cambios en el transporte a través de la membrana en respuesta al frío. Se ha observado en duraznero, peral y nogal que la absorción activa de sacarosa y otros nutrientes se detiene cuando las yemas están en estado de dormición profunda. Al reanudarse el crecimiento hay una importación activa de sacarosa hacia las yemas. Esto se debe a que la acumulación y actividad de las bombas de protones de la membrana plasmática (H<sup>+</sup>/ATPasa) que se inhibe durante la endodormición, pero se incrementan en la ecodormición (Aue et al., Alves et al., Liu et al., citados por Beauvieux et al., 2018).

Sozzi y Martínez (2004) establecen que la dormición de las yemas podría estar relacionada a una desviación del flujo de nutrientes por parte de los tejidos subyacentes. El parénquima subyacente a la yema posee una elevada cantidad de H<sup>+</sup>/ATPasa por lo que podría captar una mayor cantidad de nutrientes en detrimento de las yemas. Aue et al. (2000) observan que durante la dormición la capacidad de los tejidos subyacentes de absorber mayor cantidad de metabolitos supone una barrera, induciendo una carencia relativa de nutrientes en la yema lo que inhibe el crecimiento.

En yemas de duraznero la concentración de ATP y su relación con la concentración de ADP podría indicar el momento a partir del cual las yemas se liberan de condicionamientos propios o generados en tejidos próximos y adquieren la capacidad de brotar. La liberación de la endodormición y la paradormición a corta distancia son un requisito previo para que se produzca el aumento en la relación ATP/ADP. En yemas sometidas a tratamientos de privación de frío la relación ATP/ADP no se modifica o disminuye. Esto explica la incapacidad metabólica para el desarrollo que sufren estas yemas (Sozzi y Martínez, 2004).

Respecto a la pared celular, Rinne et al. (2001) explican que al final de la estación de crecimiento en abedules, el ápice de las brindillas detiene su actividad morfogénica y se transforma en una yema en dormición y tolerante a la congelación. Este proceso involucra la producción de calosa (1,3- $\beta$ -D-glucano), que se deposita en los plasmodesmos en la pared celular. Como resultado el transporte simplástico se detiene, disminuyendo o suspendiendo la comunicación célula a célula y el transporte vía floema. Afecta la capacidad de intercambiar metabolitos, hormonas y moléculas señalizadoras. Este proceso detiene el crecimiento y establece la dormición en las yemas. La acumulación de frío restaura la organización simplástica del ápice meristemático, aumentando la producción de 1,3- $\beta$ -D-glucanasas y transportando esta enzima desde esferosomas hacia los plasmodesmos. Como resultado la calosa es gradualmente removida de la zona del cuello y el canal de estas estructuras.

#### **2.4.2.3 Respiración celular**

En respuesta al acortamiento del fotoperiodo y a las bajas temperaturas la respiración celular puede disminuir como parte de los procesos de detención del crecimiento y dormición (Beauvieux et al., 2018). Varios procesos pueden explicar la represión de la respiración celular durante la dormición. Algunos estudios reportan que la actividad de las mitocondrias se altera durante la dormición, observándose modificaciones en su cantidad y estructura vinculados a la disponibilidad de oxígeno y a los requerimientos para la fosforilación oxidativa (Guzicka et al., Considine et al., citados por Beauvieux et al., 2018). Por otro lado, las células de las yemas en dormición están sometidas a un déficit de carbono, al transporte entre células detenido y poseen escamas con baja permeabilidad al oxígeno (Beauvieux et al., 2018).

Durante la dormición las condiciones de hipoxia y respiración celular inhibida pueden ser responsables del aumento en la producción de ERO que se observa en las yemas en esta etapa. La privación de oxígeno también aumenta la glicólisis y la fermentación alcohólica que conllevan a la producción de ERO (Pérez et al., Vergara et al., Meitha et al., citados por Beauvieux et al., 2018).

Oncelay et al., Murcia et al., citados por Beauvieux et al. (2018) demostraron que el ABA, que participa en el mantenimiento de la dormición inhibe algunas isoenzimas del ciclo de Krebs en yemas de duraznero y transportadores de sacarosa en vid. Estos hechos sugieren que el estrés respiratorio está involucrado en la ruptura de la dormición en las yemas a través de un aumento anormal de la producción de ERO.

#### **2.4.2.4 Metabolismo de los carbohidratos**

El metabolismo de los carbohidratos participa en la producción de ERO y en su eliminación. Durante la dormición la glucosa puede ser producida a partir de moléculas de reserva como los lípidos, a través de la beta oxidación y neoglucogénesis. Estos procesos conllevan a la producción de ERO. Por un lado, la glucosa puede ser procesada en la glicolisis y metabolizada en la mitocondria para producir ERO. Por otro, puede ser procesada en la vía de las pentosas fosfato y generar poder reductor que puede participar en la detoxificación de ERO (Dieuaide et al., citados por Beauvieux et al. 2018, Beauvieux et al. 2018).

Adicionalmente, el metabolismo de los carbohidratos es esencial en la transición de la dormición a el crecimiento activo de las yemas (Park et al., Signorelli et al., citados por Beauvieux et al., 2018). Se ha observado en cerezos que el almidón se degrada a azúcares solubles durante el inicio de la dormición y que justo antes de la brotación el almidón aumenta (Kaufmann y Blanke, citados por Beauvieux et al., 2018).

La capacidad de brotar de las yemas está ligada al suministro de carbohidratos. La capacidad de obtener carbohidratos aumenta en las yemas cuando salen de la dormición. Durante la brotación aumenta la actividad de los transportadores de membrana y los azúcares pueden ser utilizados por las yemas. Durante la dormición la dinámica de los carbohidratos está restringida a los tejidos de la yema (Beauvieux et al., 2018). Por lo que se propone que la detención del crecimiento y la dormición en las yemas son consecuencia del déficit de carbono vinculado al déficit de azúcares (Tarancón et al., citados por Beauvieux et al., 2018).

#### **2.4.2.5 Agua**

Arora et al., citados por Arora et al. (2003) estudiaron los cambios de proteínas asociadas con la dormición y la resistencia al frío en genotipos de *Prunus pérsica*. Estos autores asociaron ciertos cambios en las proteínas y expresión génica con la resistencia al frío y la dormición. Debido a que estos

procesos se dan simultáneamente en el invierno es difícil separar que modificaciones son causadas por uno u otro.

Las dehidrinas, proteínas hidrófilas, protegen las células de las plantas contra la deshidratación celular, su concentración es mayor en tejidos endurecidos por el frío (Arora et al., 2003). Estudios realizados por Faust et al., citados por Arora et al. (2003) determinan que a finales del otoño disminuye el agua libre en los brotes, este mismo autor y colaboradores en 1997 indican que las dehidrinas y el ABA, se incorporan al agua, protegiendo a la planta contra la congelación.

Mediante resonancia magnética se reveló que en brotes inactivos de manzana el agua se encuentra ligada, y a medida que se acumula el suficiente frío para romper el estado de dormancia, el agua se libera (Faust et al., citados por Erez et al., 1998). Los cultivares de manzana con menor requerimiento de frío liberan el agua antes que los cultivares de mayores requerimientos de frío (Faust et al., 1995)

El agua retenida en las yemas latentes se debe al aumento de proteínas hidrofílicas, dehidrinas (Khanizadeh et al., citados por Erez et al., 1998). La acumulación de las dehidrinas es promovida por la exposición de los tejidos al frío (Muthalif y Rowland, citados por Erez et al., 1998).

Mantener las moléculas hidratadas mediante la fijación del agua es un mecanismo de sobrevivencia frente a condiciones de deshidratación por bajas temperaturas, permite mantener las yemas hidratadas a temperaturas por debajo de la temperatura de congelación (Erez et al., 1998).

Erez et al. (1998) expusieron brotes de duraznero a fotoperiodo corto y temperaturas frías para inducir la dormición y determinaron un aumento del agua ligada. Estos mismos autores concluyeron que el nivel de agua ligada se correlaciona con la resistencia al frío y no con la latencia, debido a que observaron un aumento de agua libre en brotes expuestos a altas temperaturas. De todas maneras, previo a que el crecimiento se reanude el agua debe pasar a estado libre.

## **2.5 SALIDA DE LA DORMICIÓN**

### **2.5.1 Acumulación de frío**

Una de las mayores limitaciones de la producción frutícola en regiones con acumulación de frío invernal insuficiente es la superación del periodo de dormición (Erez, 2000).

Los árboles frutales de hoja caduca deben someterse a bajas temperaturas durante cierto periodo para salir del estado de dormición, esa característica está determinada genéticamente. En regiones de inviernos fríos la intensidad de la endodormición es menor, sin embargo, dado por las condiciones climáticas desfavorables la brotación no ocurre inmediatamente (Saure, 1985).

En regiones de inviernos cálidos, la falta de acumulación de frío es la causa de una salida de endodormición más lenta (Saure, 1985). En estas regiones la falta de frío es un factor limitante para los cultivos de frutales de hoja caduca, debido a esto ha aumentado el interés de desarrollar variedades de bajo requerimiento de frío (Boonprako y Byrne, citados por Pérez et al., 2008).

Los requerimientos de frío difieren entre especies y cultivares. Generalmente el requerimiento de frío de los cultivares se expresa como el número mínimo de horas de frío por debajo de 7°C. Esta forma de expresar no tiene en cuenta las diferencias de efectividad de temperaturas por debajo o por encima de 7°C, como tampoco el efecto negativo de temperaturas más altas (Saure, 1985).

La temperatura necesaria para romper el estado de dormancia debe ser baja, debiendo ser superiores al punto de congelamiento para ser efectivas. La temperatura óptima difiere según los autores.

Chandler et al., citados por Saure (1985) informan que en duraznero las temperaturas de 0.5 a 4.5°C son tan efectivas como la temperatura de congelación, mientras que temperaturas de 9°C resultaban menos efectivas. Thompson et al., citados por Saure (1985) encuentran en manzana que 2°C son más efectivos que 6°C y a su vez 6°C más efectivos que 10°C. Shaltout y Unrath, citados por Saure (1985) indican que la temperatura óptima en manzana es de 7.2°C.

Debido a que las temperaturas para inducir la salida de la dormición presentan distinta eficiencia, Erez y Lavee (1971) indican que el método para calcular la acumulación de frío propuesto por Weinberger (1950), no es correcto, siendo recomendable realizar una ponderación de las horas a bajas temperaturas. Por lo tanto, cuanto menor es el efecto de una temperatura para romper el estado de latencia, menor es su valor de unidad de frío, entonces se necesitan más horas a dichas temperaturas para obtener el mismo efecto que con una temperatura más eficiente (Saure, 1985).

Los métodos para calcular las unidades de frío consideran que el efecto de las temperaturas sobre la salida de la endodormición es constante durante todo el periodo de dormancia (Saure, 1985). Kobayashi et al. (1982) consideran que el efecto de la temperatura en la dormición varía con la etapa de crecimiento. Thompson et al., citados por Saure (1985) observaron en manzano que horas de frío durante el comienzo del periodo de dormición eran menos eficientes que al final del periodo, obteniéndose un crecimiento menor de brotes y un menor número de yemas brotadas.

Temperaturas por encima de los 18 °C pueden negar la acumulación de frío. Mientras más elevada la temperatura, más larga la duración diaria de la ocurrencia de altas temperaturas, y más corto el ciclo de alternancia entre altas y bajas temperaturas, mayor es el efecto negativo de las altas temperaturas durante la dormición. Por otro lado, temperaturas moderadas (13-15°C), tienen un fuerte efecto sinérgico con las bajas temperaturas (Erez, 1995)

Erez y Couvillon (1987b) estudiaron la eficiencia de las temperaturas moderadas durante la dormición en plantas de duraznero cv. Redhaven. La eficiencia de acumulación de frío de las bajas temperaturas se incrementó en ciclos con temperaturas moderadas (15°C), demostrando que estas promueven el efecto de enfriamiento principalmente en las últimas etapas de la dormición. Demostraron que el efecto de acumulación de horas de frío es aumentado cuando ocurren temperaturas moderadas (15°C) intercalándose con temperaturas más bajas (4 a 5°C).

#### **2.5.1.1 Requerimiento de frío según localización y tipo de yema**

No todas las yemas de un árbol tienen los mismos requerimientos de frío, cada yema se puede comportar individualmente (Saure, 1985). Las yemas florales tienen menor requerimiento de frío que las yemas vegetativas, y las yemas apicales tienen menor requerimiento de frío que las yemas laterales (Samish y Lavee, citados por Saure, 1985).

Las yemas reproductivas se forman más temprano que las yemas vegetativas y entran antes en receso. También las yemas laterales se forman más temprano en la temporada que las yemas apicales y son generalmente más exigentes en horas de frío (Frías, 2006).

Chandler, citado por Saure (1985) encontró que en manzana la intensidad de dormición era más débil en las yemas de madera vieja; además, observó que la intensidad de dormición era más fuerte en la zona basal que en la zona apical en el otoño, pero en la primavera era más débil en la zona basal de la rama. Jacobs et al., citados por Saure (1985) afirman que en manzanos

que pasaron por una dormición prolongada debido a la falta de frío, la brotación fue principalmente de yemas laterales en la zona basal de brindillas (ramas de 1 año), además de las yemas apicales.

En condiciones de inviernos con poco frío, las yemas apicales pueden brotar mucho antes que las yemas laterales, dado por su menor requerimiento de frío; esto da como resultado una fuerte dominancia apical, causando brotación en los extremos y un poco de brotación en spurs (Saure, 1985). Esto puede generar que las yemas laterales no broten, aunque hayan acumulado el suficiente frío (paradormición, Erez y Lavee, citados por Saure, 1985).

El nivel de dominancia apical es variable entre especies, las yemas axilares al ser formadas sucesivamente en la rama entran en dormición consecutivamente (Hawerroth et al., 2010). Las primeras yemas en formarse son las basales y estas son las primeras en entrar en dormición (Hawerroth et al., 2010).

### **2.5.2 Consecuencia de falta de frío**

En las regiones cálidas, las irregularidades en la floración y fructificación están asociadas con una dormición prolongada por la falta de acumulación de frío, y esto, es debido a un desarrollo anormal de las yemas florales. Siendo estas más sensibles que las yemas vegetativas a la falta de frío (Saure, 1985).

Según Erez, Petri et al., citados por Hawerroth et al. (2010) una inadecuada acumulación de frío provoca un pobre desarrollo del follaje (reducción del área foliar), floración escasa y tardía, generación de flores anormales, brotación despereja, reducción del cuajado de fruta y temprano cese del crecimiento. Petri y Leite, citados por Hawerroth et al. (2010) indican que los principales problemas asociados a la falta de acumulación de frío es la no sincronización entre la floración de los cultivares productores con los cultivares polinizadores, limitando la polinización y reduciendo la fructificación.

Leite, citado por Hawerroth et al. (2010) hace referencia a la heterogeneidad temporal y espacial, refiriéndose a heterogeneidad temporal como la presencia de yemas en diferentes estados de desarrollo en un mismo momento y la heterogeneidad espacial como la brotación diferencial en una misma rama.

La falta de brotación de yemas axilares anticipa la brotación de yemas terminales en el ciclo siguiente, generando una fuerte dominancia apical lo que

limita la brotación de yemas axilares. Esto compromete la formación de nuevas estructuras de fructificación (Hawerroth et al., 2010).

En condiciones de inviernos cálidos, se puede observar como consecuencia la muerte de yemas florales. Erez (2000) indica que variedades de duraznero presentan abscisión de yemas florales que no brotan en primavera, pero que yemas de manzanas permanecen vivas durante un año más. Zeller, citado por Saure (1985) descubrió, en manzanos cultivados en el trópico, que muchos primordios florales mueren durante las últimas etapas de desarrollo, pero que pueden surgir nuevos crecimientos como inflorescencias laterales a partir de meristemas axilares basales, contribuyendo a la irregularidad de la floración.

Esta condición es frecuente en el peral japonés, el peral europeo, y sus híbridos. La intensidad con la que se produce está ligada a la acumulación de frío recibida y a la frecuencia y duración de periodos de alternancia de temperatura que ocurran después del estado yema hinchada (Nakasu et al., 1995). En peral japonés se ha observado una menor incidencia de aborto de yemas en años donde la caída de hojas se produce al inicio del otoño, y en años donde la floración fue más temprana o se adelantó artificialmente con cianamida hidrogenada (Moonay y Klinac, citados por Petri et al. 2002, Petri et al. 2002). En perales europeos creciendo en condiciones de baja acumulación de frío se ha observado que el aborto de yemas reproductivas es irregular y frecuentemente ocurre abscisión de las yemas abortadas (Overcash y Loomis, citados por Petri et al., 2002). En esta especie puede darse el aborto de yemas aun cuando la acumulación de frío es suficiente lo que sugiere que la temperatura no es el único factor relacionado (Malcolm, citado por Petri et al., 2002). No obstante, Samish (1954) sugirió que una brotación tardía y la abscisión de las yemas florales pueden ser fenómenos no relacionados. Brown, citado por Saure (1985) respalda las observaciones de Samish, ya que indica que el aborto de los primordios florales puede ocurrir de manera temprana en el otoño y por lo tanto no puede atribuirse a la falta de frío.

### **2.5.3 Calidad de la fruta**

La dormición tiene una influencia directa sobre la producción y la calidad de la fruta. Una mala acumulación de frío no solo afecta la brotación, sino que afecta algunos parámetros de calidad de la fruta como: menor tamaño, color, firmeza y desordenes fisiológicos relacionados con la falta de calcio (Peereboom Voller y Yuri, 2004).

Una coloración reducida de la fruta está relacionada con una menor disponibilidad de carbohidratos. También la firmeza se ve afectada con la falta

de acumulación de frío, debido a una menor densidad celular en los tejidos en formación (Peereboom Voller y Yuri, 2004).

Según Peereboom Voller y Yuri (2004) una inadecuada acumulación de frío afecta el desarrollo de dardos. Al ser las hojas de los dardos responsables de una buena parte del abastecimiento inicial de calcio a la fruta, la falta de dichas hojas afecta el nivel de este nutriente en la fruta. Las consecuencias de un menor contenido de Ca se observan durante el almacenamiento en frío a través de desórdenes fisiológicos como Bitter Pit.

#### **2.5.4 Requerimientos de calor**

Posterior a la acumulación de frío determinada por especie y variedad (Rodríguez y Muñoz, 2015) para la supresión de la endodormición, es necesaria la ocurrencia de temperaturas superiores, con el fin de acelerar las actividades metabólicas de los tejidos meristemáticos en las yemas y desencadenar la brotación, esta cantidad de calor necesario para la brotación se denomina requerimientos de calor (Hawerth et al., 2010).

La acumulación de calor puede ser estimada mediante el modelo de GDH (growing degree hour, Anderson et al., 1986), según la siguiente ecuación:

$$GDH = \begin{cases} F \left( \frac{T_u - T_b}{2} \right) \left( 1 + \cos \left( \pi + \pi \frac{T_i - T_b}{T_u - T_b} \right) \right), & T_u \geq T_i \geq T_b \\ F (T_u - T_b) \left( 1 + \cos \left( \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \frac{T_i - T_u}{T_c - T_u} \right) \right), & T_c \geq T_i \geq T_u \\ 0, & T_i > T_c \text{ o } T_i < T_b \end{cases}$$

Donde T corresponde a la temperatura (°C) siendo,

-Ti = temperatura horaria

-Tb = temperatura base

-Tc = temperatura crítica

-Tu = temperatura óptima

F el factor de estrés de la planta, comúnmente toma el valor de 1 si no existe ningún estrés.  $T_b$ ,  $T_u$ , y  $T_c$  toman el valor de 4, 25 y 36 °C respectivamente en árboles frutales (Anderson et al. 1986, Luedeling et al., citados por Guo et al. 2013).

Otros métodos para cuantificar la acumulación de calor son mencionados por Rodríguez y Muñoz (2015); en el método de unidades de calor (UC) los requerimientos son calculados mediante la acumulación horaria de la resta entre la temperatura media horaria y la temperatura umbral de 4,5°C:

$$UC = T_{hora}^{\circ C} - 4,5^{\circ C}$$

En este método los perales cv. Williams requieren acumular 8500 unidades de calor para brotar.

En el método lineal la acumulación de calor se calcula sumando la resta de la temperatura media diaria y la temperatura base (7°C):

$$UC = T_{día}^{\circ C} - 7^{\circ C}$$

En este método la brotación de perales cv. Williams ocurre cuando se alcanza 180 UC en promedio.

Los valores de UC requeridas previamente mencionados fueron calculados y ajustan correctamente para la zona del Valle Río Negro (Argentina, Rodríguez y Muñoz, 2015)

El requerimiento de calor puede ser modificado por la acumulación de frío previa. Bajo condiciones de mayor acumulación de frío se necesita un número menor de días a temperaturas que acumulen calor. En estudios realizados en Inglaterra en perales cv. Conference y manzanos cv. Cox se ha observado que mientras más días a partir del 1° de octubre con temperaturas menores a 3 °C, menor la cantidad de grados-días necesarios para alcanzar plena floración (Jackson, 2003). Esto puede ser explicado porque en cualquier momento de la dormición la yema tiene el potencial de responder a temperaturas cálidas, la acumulación de frío durante la dormición cambia la respuesta de la yema a la temperatura (Vegis, Campbell, Cannell, citados por Jackson, 2003).

### **2.5.5 Métodos de cálculo de acumulación de frío**

Uno de los métodos utilizados para determinar la acumulación de frío es el propuesto por Weinberger (1950), este se basa en que las yemas deben

permanecer determinado tiempo a una temperatura menor a 7°C (horas de frío, HF) y así acumular el frío necesario para salir del estado de dormición. A pesar de que este sea el método más popular en Uruguay múltiples observaciones experimentales han reportado distintos requerimientos de frío dependiendo de la especie y variedad.

La acumulación de frío debe medirse desde el momento que las yemas se encuentran completamente en el estado de endodormición hasta que se liberan y pasan al estado de ecodormición (Lang et al., citados por Pérez et al., 2008). Estos estados fisiológicos no son fácilmente observables por lo que para determinar la entrada y salida de la endodormición es necesario realizar experimentos de brotación forzada (Dennis, 2003)

El método de Weinberger (1950) no considera el efecto negativo de las altas temperaturas. En las regiones subtropicales el frío acumulado medido como HF, al no considerar las temperaturas altas, no es un indicador correcto. Debido a esto se han desarrollado otros modelos que si consideran el efecto negativo de las temperaturas altas invernales, como por ejemplo el de unidades de frío (UF, Richardson et al., 1974).

El modelo de Utah (Richardson et al., 1974) establece que la generación de una UF se da cuando las yemas permanecen durante 1 hora en un rango de temperaturas de 2.5 y 12.5°C. Temperaturas menores a 1.4°C no contribuyen a la acumulación de frío (valor 0); temperaturas entre 1.5 y 2.4°C contribuyen con 0.5 UF; temperaturas entre 12.5 y 15.9°C tampoco contribuyen a la acumulación de frío, temperaturas entre 16 y 18°C contribuyen negativamente -0.5 UF; y temperaturas mayores a 18°C acumulan -1 UF, los valores negativos restan a las unidades de frío acumuladas (Richardson et al., 1974). Este modelo se ajusta correctamente a climas fríos, pero en zonas subtropicales se generan numerosos valores negativos, por lo que su uso ha sido limitado (Dennis, 2003). Para mejorar este modelo se modificó por el de unidades de frío positivas, el cual no considera los valores negativos del modelo Utah (Linsley Noakes et al., 1995).

Contarín y Curbelo (1987) comparan el modelo de Weinberger y Utah con el fin de regionalizar la oferta de frío invernal en Uruguay. Utilizaron datos de temperaturas registradas en 8 estaciones meteorológicas distribuidas en todo el país en el periodo de 1977 a 1985. Con el modelo de Weinberger no se encontraron diferencias significativas entre ninguna de las estaciones, en cambio con el modelo de Utah se logró caracterizar al país en distintas zonas. Con este modelo encontraron una variación de 1050 UF en el Sur a 531 UF en el Norte.

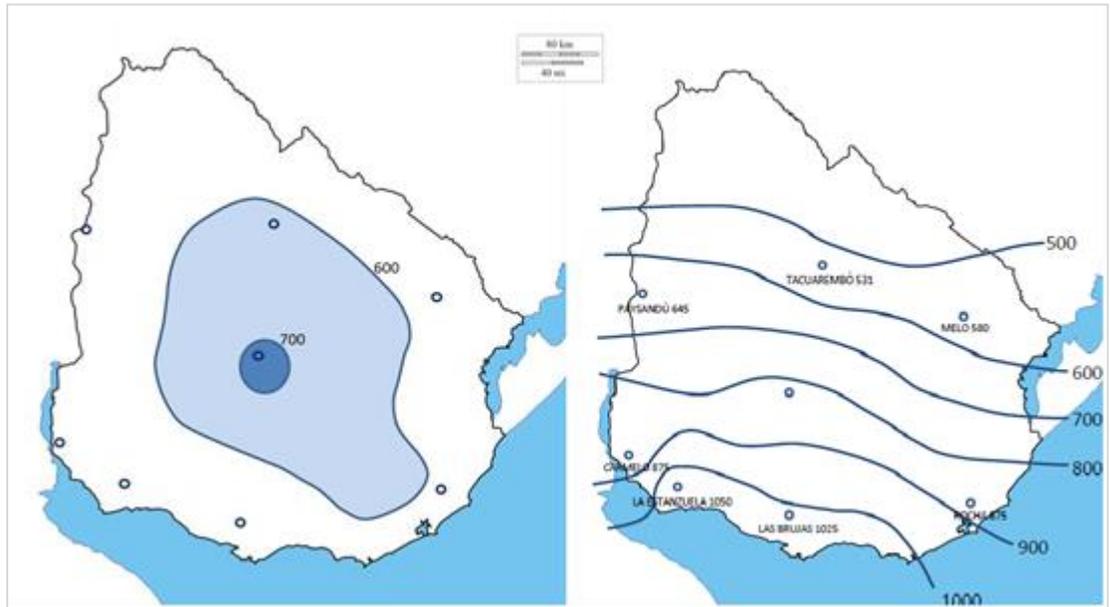


Figura 1. Unidades de frío y horas de frío registradas en el periodo 1977-1985

Fuente: adaptado de Contarín y Curbelo (1987).

El modelo que mejor se ha ajustado a las zonas subtropicales es el modelo dinámico (Fishman et al. 1987, Erez et al. 1988). Este modelo supone que para completar la dormición se depende del nivel de un factor que se acumula en las yemas en un proceso de dos pasos. El primer paso es el proceso de formación y destrucción de un precursor o intermediario termolábil. Cuando se alcanza una cantidad crítica del precursor este se transfiere irreversiblemente en el segundo paso a una porción de factor estable (una vez acumuladas estas porciones no pueden ser anuladas por las altas temperaturas). La dinámica de este proceso estimula el desarrollo de las yemas durante la dormición en acuerdo con los efectos complejos de la temperatura sobre la terminación de esta (Erez et al., 1990).

El modelo dinámico describe tres efectos. La curva óptima con forma de campana de la ruptura de la dormición dependiente de la temperatura tiene una máxima eficiencia a los 6 °C y cero efectos a -2 °C y 14 °C. La negación de la acumulación de frío por altas temperaturas depende de su nivel, duración y largo del ciclo cuando se alternan con temperaturas bajas. Las temperaturas moderadas tienen un efecto positivo en la terminación de la dormición cuando se alternan con temperaturas frías (Erez et al., 1990).

Allan (2004) calcula el efecto de diferentes regímenes térmicos sobre la acumulación del intermediario hasta que alcanza el valor crítico (1), momento en el cual se fija una unidad de frío. A temperaturas constantes de 6°C se requieren 28 horas para alcanzar el valor crítico, a 12°C constantes se requieren 40 horas. A temperaturas constantes de 15 y 25°C el nivel crítico nunca es alcanzado, el nivel de intermediario se detiene en mesetas de 0,8 y 0,29 respectivamente, por lo que no se produce acumulación de frío. Temperaturas de 15°C durante 8 horas seguidas por 6°C resultan en una acumulación más rápida de frío, ya que el valor crítico es alcanzado en 26 horas. Por otro lado, al pasar de 24 horas a temperaturas constantes de 6°C a 25°C resultan en una caída del nivel de intermediario de 0,9 a 0,44 en 3 horas (anulan el efecto de las 14 horas previas a 6°C), el nivel de intermediario continúa disminuyendo hasta que 11 horas después se estabiliza en una meseta de 0,29.

Pérez et al. (2008) compararon el frío acumulado calculado a partir del modelo de Weinberger, el modelo Utah, el modelo de unidades de frío positivas y el modelo dinámico, durante los años 2005 y 2006 de dos localidades climáticamente diferentes de Chile (Santiago y Vicuña). A partir de este experimento determinaron que el modelo de Weinberger indicó que en ambas localidades estudiadas la acumulación de frío fue la misma; con el modelo Utah se obtuvieron valores negativos durante el invierno, al aplicar el modelo UFP se obtuvieron pequeñas diferencias en cantidades de frío acumulado en cada región. Al aplicar el modelo dinámico las localidades se diferenciaron claramente alcanzándose el doble de porciones de frío en Santiago que en Vicuña, explicando mejor las diferencias en la brotación de yemas latentes entre ambas regiones.

Severino (2008) estudió el ajuste de los modelos de cálculo de acumulación de frío a las condiciones de Uruguay, en dos cultivares de manzana (Royal Gala y Granny Smith) durante dos años (2005-2006). Registra menor variabilidad entre años para el modelo dinámico (8.95% en promedio para las dos variedades), seguido por el modelo Utah+ (18.6% en promedio para las dos variedades) y una mayor variabilidad para el modelo Utah y de Weinberger (25.7% y 30.75% en promedio para las dos variedades respectivamente). Estos resultados sugieren que el modelo dinámico es el más adecuado para las condiciones de Uruguay.

## **2.6 MANEJO DE LA DORMANCIA**

El conocimiento y el control de la latencia en los árboles frutales es importante para el manejo por parte de los productores, siendo este realizado

mediante la regulación del microclima y uso de reguladores de crecimiento (Kobayashi, 1987).

### **2.6.1 Poda y arqueado de ramas**

Prácticas culturales como la poda pueden afectar la dormición. Una defoliación temprana en otoño provoca una reducción de la profundidad de la endodormición, adelantando la brotación y la floración. Además, la poda genera un adelanto en la floración en comparación con plantas no podadas (Sozzi et al., 2007).

### **2.6.2 Productos químicos**

El levantamiento de la dormición en árboles frutales de hoja caduca comenzó a ser importante cuando se comienza a cultivar frutas en zonas con inviernos no tan fríos, en estas regiones la dormición prolongada se convirtió en un problema importante para la producción (Saure, 1985). En estas zonas, donde los requerimientos de frío no son cubiertos (como algunos años en Uruguay) es común como practica de manejo, el uso de productos químicos que producen la ruptura de la dormición. El efecto de estos productos depende del momento de aplicación y de las condiciones ambientales presentes durante la aplicación.

La salida de la dormancia está relacionada con distintos compuestos como: ABA, putrescina, etileno y ACC, estos están relacionados con la respuesta al estrés (Faust, citado por Severino et al., 2012). La utilización de productos compensadores de frío actúa sobre estos compuestos, algunos de los productos reportados son los aceites minerales, cianamida hidrogenada y reguladores de crecimiento como giberelinas y citoquininas (Erez y Couvillon, citados por Severino et al., 2012). La cianamida hidrogenada es cuestionada por su efecto negativo sobre la salud humana (Settimi et al., citados por Severino et al., 2012). De todas maneras, los aceites minerales y la cianamida hidrogenada son los productos más utilizados.

#### **2.6.2.1 Cianamida hidrogenada**

La cianamida hidrogenada ( $H_2CN_2$ ) es uno de los compuestos más usados en la región. Su modo de acción no es muy conocido, se sabe que es rápidamente absorbida y metabolizada (Goldback et al., citados por Mizobutsi et al., 2003). Esta sustancia genera un aumento de la concentración de citoquininas en el xilema y causa una disminución de la actividad catalasa, sin modificar la de las peroxidasas (Nir et al. 1986, Shulman et al., citados por Mizobutsi et al. 2003). Según Amberger (1984) sí ocurre un ligero aumento de

la actividad de la peroxidasa. Esto provoca un aumento de concentración de agua oxigenada ( $H_2O_2$ ) en los tejidos de las yemas. El aumento de  $H_2O_2$  podría ser el responsable de la activación de las pentosas y consecuente inducción de la quiebra de dormancia de las yemas (Omran, Nir y Shulman, Shulman et al., citados por Citadin et al., 2006). Pérez y Lira (2005) indican que un exceso de  $H_2O_2$  en los tejidos de las yemas puede generar un estrés oxidativo o generar una señal química que desencadena la expresión de genes relacionados con la salida de la endodormancia. Estos mismos autores sugieren que el frío invernal y la cianamida hidrogenada inhiben la actividad de la catalasa durante la endodormancia y como resultado se produce un pico de  $H_2O_2$ .

Durante el transcurso de la dormición el contenido de glutamina (GSH) en los brotes cambia. En las fases iniciales del reposo el contenido de GSH es menor, mientras que más avanzada la dormición el contenido es mayor, pero cercano a la brotación de las yemas la concentración de este disminuye (Siller-Cepeda et al., 1992).

La cianamida hidrogenada induce un cambio en el contenido de glutamina reducida (GSH) en yemas de duraznero (Siller-Cepeda et al., 1992). Una disminución del nivel de GSH antes de las 12 horas posteriores a la aplicación de cianamida hidrogenada puede sugerir que la GSH presente en los tejidos fue utilizada en la desintoxicación de agua oxigenada, generada por la inhibición de la actividad de la catalasa (Amberger, citado por Mizobutsi et al., 2003). Con la reducción de la temperatura y la acumulación de horas de frío, Amberger observó una disminución paralela de la actividad de la catalasa y la intensidad de la latencia. Amberger (1984) demuestra que la cianamida hidrogenada participa directamente en el metabolismo del nitrógeno y en la producción de proteínas. En brotes de vid la actividad de la catalasa aumenta con el progreso de la latencia. Ante la aplicación de cianamida hidrogenada los niveles de catalasa disminuyeron (Pérez y Lira, 2005).

El Dormex® es un regulador de crecimiento para frutales (principio activo: cianamida hidrogenada) comúnmente usado para la quiebra de dormancia. Este producto no se transloca en la planta, por lo tanto, es muy importante una correcta cobertura en todo el árbol. En condiciones aeróbicas la cianamida hidrogenada se degrada rápidamente con una vida media de 1 día (Abbas et al., 2010). Presenta como desventaja que es tóxico para el hombre y puede causar fitotoxicidad.

Abbas et al. (2010) realizaron estudios en pacientes de hospitales radicados en Egipto, con el objetivo de evaluar los efectos tóxicos de la cianamida hidrogenada (Dormex). Los resultados indican que la exposición

aguda a Dormex (contacto con la piel o ingesta) puede causar diversos síntomas entre los que se incluyen manifestaciones prominentes del sistema nervioso central, difusión hepática, afecciones respiratorias y gastrointestinales. Dada la toxicidad en humanos y daños por fitotoxicidad en plantas se han buscado nuevos productos alternativos como compensadores de frío, como el uso de aceite mineral (Ayub et al., 2009).

### **2.6.2.2 Aceite**

La aplicación de aceite a árboles frutales produce una reducción de la permeabilidad del oxígeno por ende una reducción de este en los tejidos (Erez, 1987a). Un bajo nivel de oxígeno causa la brotación (Erez et al., 1980), debido a la acumulación de etanol y acetaldehído, productos de la respiración anaeróbica (Samish, 1954). La tasa de permeabilidad de O<sub>2</sub> en los tejidos depende del grosor de la capa de aceite aplicado y del deterioro de la misma con el tiempo, Erez (1987a) observó que la capa suele durar de 10 a 14 días.

La efectividad del aceite depende de la temperatura de las yemas en el momento de la aplicación (Erez et al., 1980). Altas temperaturas antes y luego de la aplicación de aceite mejoran la respiración por lo que promueve este efecto. Con temperaturas menores a 12°C no se obtienen efectos con tratamientos de aceite, mientras que con temperaturas de 24°C o superiores aumentan la actividad (Erez, 1987a).

Temperaturas elevadas pueden ocasionar daños al utilizar este producto, cuando las raíces se encuentran bajo condiciones de anaerobiosis, cuando los árboles son débiles o se encuentran bajo estrés. El daño ocasionado por altas concentraciones se manifiesta a través de la muerte de ramas jóvenes, o en casos muy graves puede llegar a morir ramas enteras, o incluso todo el árbol si el tiempo de exposición a condiciones de anaerobiosis es muy prolongado. Se utilizan concentraciones de hasta 4% de aceite en los frutales de pepita ya que estos son más sensibles, en cambio los frutales de carozo son más resistentes y se utilizan concentraciones de hasta 6% (Erez, 1987a).

Erez et al. (1980) expusieron brotes en reposo de duraznero cv. Redhaven a diferentes concentraciones de O<sub>2</sub> y durante distintos tiempos de exposición. La brotación, una vez cumplido el 70% de los requerimientos de frío, fue aumentada en los tratamientos con una atmósfera con concentraciones de 2.5 a 5% de O<sub>2</sub> y además aumentó la brotación de yemas laterales cuando la exposición se mantuvo durante 2 a 4 días. Pero cuando la exposición se prolongó a 6 días se observó un efecto fitotóxico parcial provocando una menor brotación de yemas laterales. La duración de la exposición de las yemas a bajo

O<sub>2</sub> afecta la rapidez de brotación, cuanto mayor es la exposición, más pronto se llega a un 50% de brotación.

### **2.6.2.3 Erger®**

Según la información brindada por Valagro en la etiqueta del producto, Erger® es un producto utilizado para interrumpir la dormición en cerezo, duraznero, nectarinos y vid. Es de formulación líquida y está compuesto por nitrógeno (15%) de los cuales un 5,8% corresponde a nitrato, 3,1 a amonio y un 6,1 a nitrógeno ureico pobre en biuret. También tiene un 4,7% de óxido de calcio soluble en agua y diterpenos y polisacáridos. La dosis de aplicación varía según el cultivo entre 3 y 7 l / 100 l de solución y se recomienda combinar con Activ Erger® (15% N y 6,5% CaO).

El Erger® actúa sobre la fisiología de las yemas aportando nutrientes a los tejidos en dormición. Produce un cambio en el equilibrio promotores/inhibidores del crecimiento, desarrollando una señal de inicio de la actividad metabólica que conduce a la brotación de yemas (Nutrecology Inc., citado por Quintana, 2006)

### **2.6.2.4 Nitrato de calcio**

El nitrato de calcio actúa a través del aumento en la biosíntesis de los aminoácidos prolina y arginina y de fitohormonas (El-Yazal et al., 2013). La prolina participa en procesos de detoxificación de radicales libres, actúa como antioxidante y participa en la salida de la dormición (Hossain et al., Chen y Dickman, Hoque et al., citados por El-Yazal et al., 2013). Además, la biosíntesis de prolina está asociada a la generación de poder reductor al estimular la vía de las pentosas fosfato (Wang et al. 2007, Hossain et al., citados por El-Yazal et al. 2013). La arginina provee nitrógeno para la síntesis de otros aminoácidos, algunos de los cuales son precursores de fitohormonas y poliaminas (Durzan y Steward, Durzan y Pedroso, citados por El-Yazal et al., 2013).

El-Yazal et al. (2013) observan que los tratamientos con nitrato de calcio en yemas de manzana cv. Anna aumentan los niveles de prolina, arginina, ácido indolacético y GA<sub>3</sub>, además de reducir el nivel de ABA. Asociado a estos cambios observan que estos tratamientos adelantan la brotación de yemas florales, aumentan el porcentaje de brotación y el cuajado de frutos.

### **2.6.3 Momento de aplicación y dosis**

El efecto del producto químico depende tanto del momento de aplicación como de la dosis, cuanto mayor sea la dosis y cuanto más tarde el

tratamiento, mayor será este (Erez y Lavee, citados por Erez, 1987a). Sin embargo, aplicaciones tardías o las altas concentraciones pueden incrementar el efecto fitotóxico (Gemma, citado por Severino et al., 2012). La eficiencia de la aplicación de los compensadores varía en función al frío acumulado hasta la fecha de aplicación (Severino et al., 2012). Frente a la ausencia total de frío ningún producto químico es capaz de quebrar la dormancia de las yemas (Erez, 1987a). La predicción del estado de endodormancia del cultivar en función de la cuantificación del frío ocurrido, es una herramienta necesaria para la aplicación de productos químicos compensadores de frío (Severino et al., 2012). Los efectos del frío sobre las yemas de los frutales durante la endodormición están relacionados al estrés, pudiendo ser mayor mediante la aplicación de productos químicos (Severino et al., 2012).

Además de la concentración y época de aplicación otros factores afectan la respuesta de las plantas ante la aplicación de este tipo de productos, como son: las condiciones meteorológicas, estado de las yemas y estado de la dormición. Incluso estos factores varían según el cultivar (Marodin et al., 1991).

Severino et al. (2012) estudiaron la respuesta a la aplicación de diferentes compensadores de frío (cianamida hidrogenada al 2.5%, aceite mineral parafínico al 3%, aceite mineral parafínico refinado al 2% y una combinación de cianamida hidrogenada y aceite parafínico) en dos variedades (Red Chief y Granny Smith), en tres momentos de aplicación durante los años 2005 y 2006. Determinaron que el momento de aplicación tiene alta significancia sobre la brotación. Estos mismos autores también observaron que las aplicaciones realizadas en la primera y segunda fecha determinaron un adelanto de la brotación, a su vez relacionado con una disminución de la brotación de las yemas laterales, ocasionado por un aumento de la dominancia apical. Las aplicaciones realizadas en fechas más tardías determinaron un aumento de la brotación de yemas laterales generando un mayor porcentaje de brotación final y una concentración de la brotación en el tiempo.

Manzi (2007) evaluó el efecto de la aplicación de cianamida hidrogenada (1.25%), aceite mineral parafínico (3.0%) y aceite mineral parafínico refinado (2.0%) en tres momentos, sobre la brotación en manzanos cv. Royal Gala. Observó que los tratamientos aplicados más temprano (292 UF) adelantaron la brotación, pero los tratamientos tardíos (432UF - 481UF) alcanzaron una mayor brotación respecto al testigo y concentraron la brotación respecto al resto de los tratamientos.

Marodin et al. (2002) estudiaron el efecto del uso de cianamida hidrogenada y aceite mineral en duraznero cv. Flamecrest. No observaron

efecto de los tratamientos en la brotación de las yemas reproductivas, pero la brotación de yemas vegetativas fue mayor con aplicaciones de cianamida hidrogenada (2.45 y 4.90 g de i.a.L-1) asociados a aceite mineral (10 g de i.a.L-1), cuando se aplicó 40 días antes de plena floración. Estos autores tampoco obtuvieron efectos de fitotoxicidad en concentraciones altas de cianamida hidrogenada (4.90 g de i.a.L-1) más aceite mineral (10 g de i.a.L-1). Citadin et al. (2006) en plantas de duraznero cv. Chiripá y obtuvieron una anticipación, aumento y uniformización de la floración, brotación y cosecha con la aplicación de  $\text{H}_2\text{CN}_2$  al 1% combinado con aceite al 1%. Anteriormente Marodin et al. (1991) no encontraron efectos sobre la brotación y fructificación al aplicar combinaciones de cianamida hidrogenada 0.5% y aceite mineral 0.5% en duraznero cv. Premier, sí identificaron una anticipación de la cosecha de una semana aproximadamente.

Sagredo et al. (2005) evaluaron el efecto de la cianamida hidrogenada y aceite mineral en manzanos cv. Golden Delicious en Western Cape, Sudáfrica. La aplicación de cianamida hidrogenada y el aceite aceleraron el crecimiento y la floración y redujeron el periodo de floración. No observaron interacción entre el aceite mineral y cianamida hidrogenada a diferentes concentraciones. El aceite mineral del 1 al 4% más Dormex al 1% (0.52%  $\text{H}_2\text{CN}_2$ ) puede romper la latencia sin reducir el rendimiento ni afectar la calidad de la fruta. Dormex al 4% (2.08%  $\text{H}_2\text{CN}_2$ ) redujo la producción y el rendimiento, debido al daño de las yemas florales por las altas concentraciones (2% al 4%, Sagredo et al., 2005).

Según Ayub et al. (2009) el uso de cianamida hidrogenada promueve la anticipación de brotación en Caqui, mientras que las aplicaciones de aceite mineral no presentaban diferencia en brotación con respecto al testigo. El uso de cianamida también incremento el número de frutos por planta aumentando así la producción. Mizobutsi et al. (2003) realizaron aplicaciones en diferentes fechas de cianamida hidrogenada (Dormex) acompañada de aceite mineral en una plantación de Caqui ubicado en Minas Gerais, con una dosis de 7.8g L-1 de cianamida hidrogenada más 8.0 mL L-1 de aceite mineral, donde observaron que la cianamida hidrogenada más aceite mineral generan el quiebre de la dormancia y anticipan la brotación, la floración y la cosecha.

Estudios realizados en México por Llamas et al. (2002) indican que aplicaciones 45 días antes de brotación aumentaron la actividad metabólica de las yemas de manzana Golden delicious. En el campo indujo la brotación de yemas apicales y laterales, desde los 15 días después de su aplicación. Con 20 mL L-1 de cianamida hidrogenada aplicada 45 días antes de la brotación se obtuvo un 96% de brotación de yemas apicales y un 67% de yemas laterales.

Pérez y Lira (2005) en viña obtuvieron una mayor tasa de brotación, anticipación y uniformidad de la brotación con aplicación de cianamida hidrogenada. Siller-Cepeda et al. (1992) confirman que la cianamida hidrogenada es eficaz para promover la salida de endodormición en brotes de duraznero, y que las concentraciones más bajas de cianamida, aplicadas próximas a la finalización de la acumulación de frío invernal fueron las de mayor eficacia.

Hawerth et al. (2010) estudiaron la respuesta a diferentes combinaciones de Erger® y nitrato de calcio, de plantaciones de manzana cv. Imperial Gala y cv. Fuji Suprema. Indican que el Erger® en combinación con nitrato de calcio tiene un efecto similar a la cianamida hidrogenada, pero con la ventaja de ser menos agresivo para el ambiente. Este producto aumento la brotación de yemas axilares y terminales, así como también mejoro la uniformidad de la brotación. Concentraciones mayores a 7% de Erger® y nitrato de calcio provocaron una disminución de fructificación en cv. Imperial Gala, por lo que recomiendan usar concentraciones inferiores. McArtney et al. (2004) estudiaron en manzana cv. Royal Gala el efecto de la aplicación de Erger® en la sincronización de la brotación y floración en brindillas de un año y spurs. Observaron que la brotación y floración se adelantó hasta 8 días, pero no tuvo efecto en la uniformidad. Otros estudios también realizados sobre manzana cv. Brasil Gala demostraron que el Erger® (1.5%) + nitrato de calcio (3%) adelantan la brotación, alcanzándose en septiembre un 6% de brotación más que los tratamientos con cianamida hidrogenada (1.25%) y un 13% más que el testigo. De todas maneras, la brotación total final no presento diferencias significativas entre los tratamientos (Soria, 2009).

## **2.7 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL URUGUAY EN 2017**

INUMET (2018) describió las condiciones climáticas para el invierno (junio, julio y agosto) en Uruguay a partir del periodo 1981-2010. Se utilizaron los datos climáticos de la Base Nacional de 7 estaciones ubicadas en la región Sur del país y 6 estaciones en la región Norte. Según este estudio la temperatura media del trimestre para todas las estaciones es de 12.3°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ), la temperatura máxima promedio es de 17.1°C ( $\pm 0.9^\circ\text{C}$ ) y la temperatura mínima es de 7.5°C ( $\pm 1.2^\circ\text{C}$ ). También se observó que el mes de julio es en promedio el más frío y el que presenta mayor variabilidad. En cuanto a las diferencias entre la zona Norte y Sur del país se constató una temperatura media de 13°C para el Norte y 11.7°C para el Sur, con una diferencia promedio de 1.3°C.

En la actualidad la actividad humana enfrenta cambios en las condiciones climáticas, que afectan la composición de la atmósfera y el balance

de la radiación solar (Giménez et al., 2004). En los últimos años ha sido de gran importancia la temática del calentamiento global y su efecto en el cambio del clima en algunas regiones del mundo. En el sector agropecuario uruguayo existe la preocupación de posibles impactos negativos sobre la producción. Es debido a esto que el instituto de investigaciones agropecuarias (INIA) ha estado planificando y desarrollando proyectos en los cuales se intenta identificar posibles cambios del clima en Uruguay y sus impactos sobre los distintos rubros. Giménez et al. (2006) indican que, en cuanto a las temperaturas, no se han determinado variaciones a largo plazo, pero si se observaron cambios en las temperaturas mínimas y máximas medias. Observan que la temperatura máxima media ha bajado, en enero y febrero principalmente, y la temperatura mínima media se ha incrementado a lo largo de todo el año. Este aumento de la temperatura mínima afecta directamente la producción de frutales de hoja caduca, existiendo la posibilidad de que sea cada vez más difícil completar los requerimientos de frío de las variedades.

El año 2017 se caracterizó por presentar un invierno con temperaturas más elevadas que en años anteriores (figura 2), provocando una acumulación de frío deficiente (figura 3). Como se ha mencionado anteriormente la ocurrencia de frío invernal es determinante para el cumplimiento de la dormancia en frutales de hoja caduca.

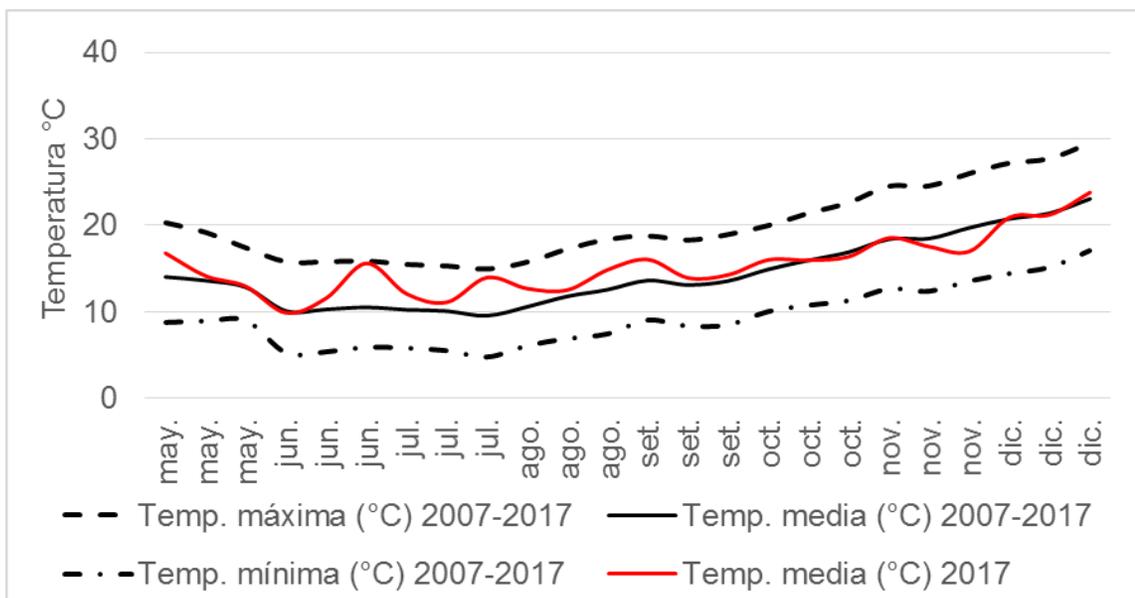


Figura 2. Evolución de la temperatura media decádica (media, mínima y máxima) 2007-2017 y la temperatura media mensual del 2017

La figura 2 representa la evolución durante los meses invernales de la temperatura media en el periodo 2007-2017 y la temperatura media del año en estudio (2017). Se observa en los meses de julio, junio y agosto temperaturas mayores que la media de los últimos años, con fluctuaciones que reflejan la ocurrencia de días cálidos que llegaron a temperaturas de 27°C y días fríos con temperaturas de menores a 0°C (ver anexo 1).

Las figuras 3 y 4 muestran la acumulación de frío por día según el modelo Utah y el modelo dinámico, desde el inicio de la dormición (01/06/2017) hasta el 28/09/2017, obtenidos en la estación meteorológica de INIA (Estación Experimental Las Brujas). También se representa la acumulación de frío promedio del periodo 2007-2016, observando un promedio de 980 UF y 60 PF acumuladas el 28 de setiembre, valores notoriamente superiores a los acumulados en la misma fecha en el año 2017 (240 UF y 43 PF). En la figura 5 se observa que en los meses de junio, julio y agosto la acumulación de frío fue inferior en todas las décadas mensuales a la acumulación media reportada por INIA, incluso llegando a desacumular más de 50 unidades de frío en la tercera década de junio y agosto, como también 73 UF en la primera década de setiembre.

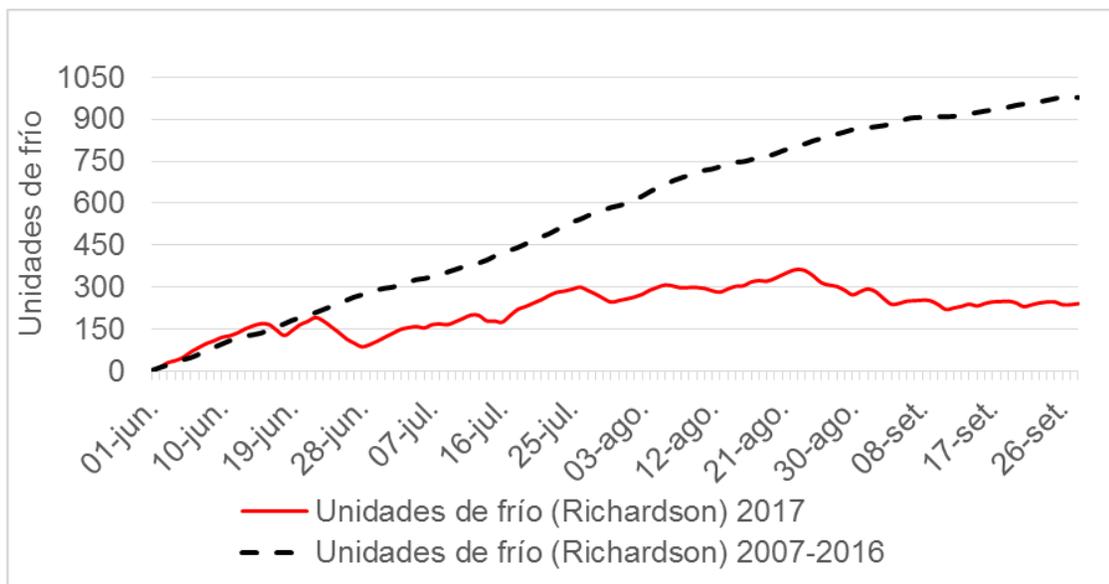


Figura 3. Acumulación de frío diaria según el modelo Utah (Richardson) para el año 2017 y promedio 2007-2016

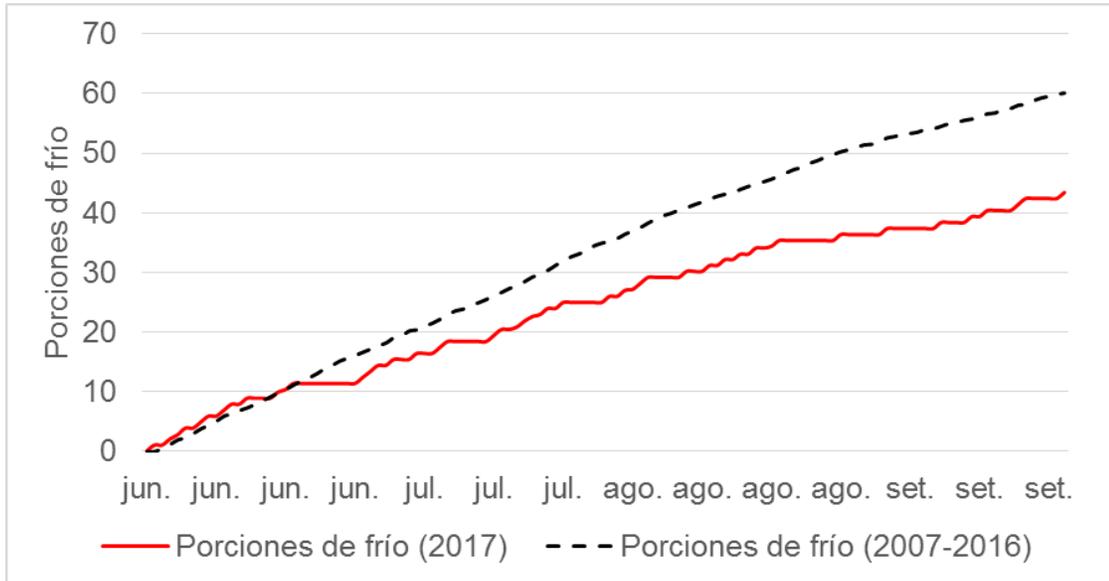


Figura 4. Acumulación de frío diaria según el modelo dinámico para el año 2017 y promedio 2007-2016

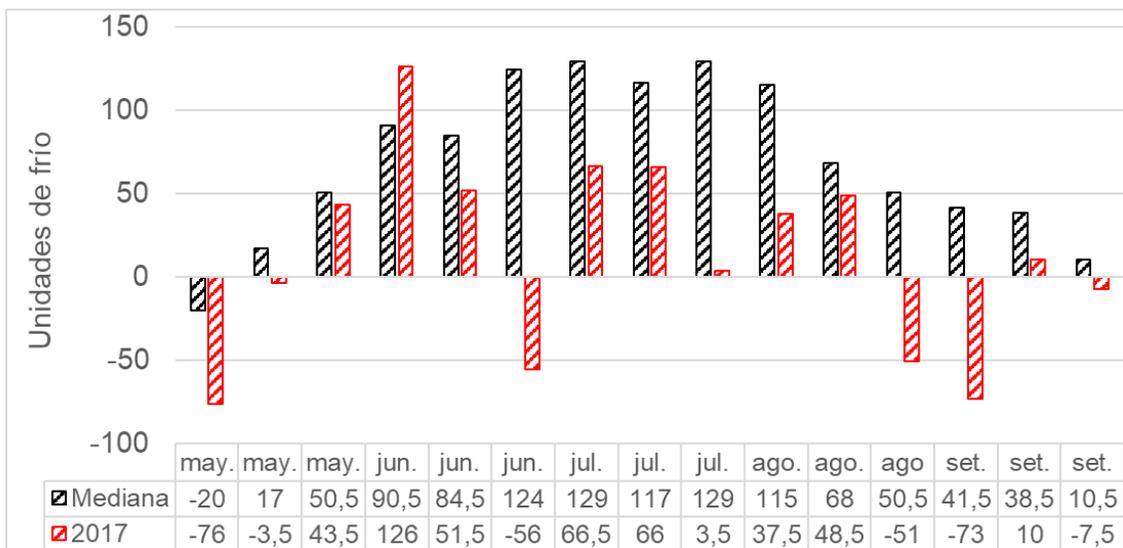


Figura 5. Unidades de frío (Richardson) promedio por década mensual en el año 2017 y mediana de la serie de datos de INIA las Brujas

Fuente: adaptado de INIA. GRAS (2017).

### **3 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 ESTIMACIÓN DE FRÍO ACUMULADO**

El frío acumulado por las plantas fue cuantificado mediante los modelos de Utah (Richardson et al., 1974) y modelo dinámico (Fishman et al. 1987, Erez et al. 1988). Se consideró como inicio de la endodormición el momento de 50% de hojas caída. Debido a que no se registró este dato se asumió el 1° de junio como fecha probable del momento de 50% de hojas caídas. Para la cuantificación del final de la endodormición se extrajeron brindillas en forma semanal desde el 01/08/2017 hasta el 22/09/2017. Estas se colocaron en cámara de forzada ( $22 \pm 2$  90% HR) durante 15 días dentro de los cuales se evaluó el porcentaje y tasa de brotación. Las brindillas fueron colocadas sobre bandejas con 1 cm de agua, la cual se fue sustituyendo periódicamente, también se retiró mediante un corte la zona basal de la brindilla en cada cambio de agua. En el cálculo de porcentaje de brotación se discriminaron las yemas según su posición en la brindilla (tercio apical, medio y basal). Para determinar la salida de endodormición se utilizó el criterio descrito por Dennis (2003), que considera que la salida de la dormición ocurre cuando se alcanza el 50% de brotación de las yemas en cámara y el criterio de Halgryn et al. (2001) quienes establecen que el final de la dormición se da al alcanzar un valor de 0.1 cuando se divide 1/días hasta 25% de brotado de yemas terminales (tasa de brotación).

El mismo procedimiento se realizó con brindillas de manzano cv. Gala Baigent extraídas en las mismas fechas de un cuadro ubicado en INIA Las Brujas.

#### **3.2 MATERIAL VEGETAL Y TRATAMIENTOS APLICADOS**

Se realizaron dos ensayos durante la temporada 2017-2018 en un cuadro de perales cv. Williams ubicado en la estación experimental "Wilson Ferreira Aldunate", INIA Las Brujas, Departamento de Canelones, ( $34^{\circ}$ ,  $40'S$ ,  $56^{\circ}$ ,  $20'O$ , 29 msnm). El cuadro fue implantado hace 45 años aproximadamente, con un marco de plantación de 4x4 (625 árboles por hectárea), conducido en vaso moderno. El portainjerto utilizado fue membrillero 'Criollo' tipo Provence y la plantación fue posteriormente afrancada.

El experimento 1 consistió en la aplicación de dos compensadores de frío (Erger® y aceite mineral) aplicados en dos momentos, 15/08/2017 y 01/09/2017, Erger® se aplicó en 2 dosis, conformando un arreglo factorial de 3 x 2.

Tabla 1. Experimento 1. Producto, dosis y momento de aplicación de cada tratamiento

Tratamientos	Producto	Dosis (l/100 l)	Momento
Er21	Erger® + nitrato de calcio	4 + 3	15/8/2017
Er22	Erger® + nitrato de calcio	4 + 3	1/9/2017
Er11	Erger® + nitrato de calcio	2 + 3	15/8/2017
Er12	Erger® + nitrato de calcio	2 + 3	1/9/2017
Ac11	Aceite mineral	4	15/8/2017
Ac12	Aceite mineral	4	1/9/2017

El experimento 2 consistió en la evaluación del efecto de combinaciones particulares de producto, momento y dosis. Para este experimento los tratamientos fueron los siguientes: Erger® a altas dosis en el primer momento, Erger® a dosis media en una fecha más avanzada (28/09/2017), cianamida hidrogenada en el primer momento (considerando este tratamiento como un testigo productivo) y un tratamiento testigo sin aplicación de compensadores.

Tabla 2. Experimento 2. Producto, dosis y momento de aplicación de cada tratamiento

Tratamientos	Producto	Dosis (l/100 l)	Momento
Er31	Erger® + nitrato de calcio	8 + 6	15/8/2017
Er23	Erger® + nitrato de calcio	4 + 3	28/9/2017
Ch11	Dormex® + aceite mineral	1 + 2	15/8/2017
Te	Testigo	-	-

El nombre de los tratamientos corresponde a una abreviación del producto utilizado (Er - Erger®, Ac - aceite mineral, Ch - cianamida hidrogenada, Te - Testigo). El primer número hace referencia a la dosis del producto, en el caso de Erger® 1, 2 y 3 corresponde a 2%, 4% y 8% respectivamente. Para el aceite y cianamida hidrogenada se utilizó una sola dosis representándose con el número 1. El segundo número del nombre corresponde al momento de aplicación (15/08/2017, 01/09/2017 y 28/09/2017).

Los productos comerciales utilizados fueron:

- Dormex® (cianamida hidrogenada), + YPF CURAFRUTAL LV (aceite mineral),

- YPF CURAFRUTAL LV (aceite mineral),
- ErgerG® (Nitrógeno nítrico, amoniacal y ureico, óxido de calcio) + Nova Calcium Nitrate (nitrato de calcio).

Los tratamientos fueron aplicados con una pulverizadora de mochila Stihl® SR 420, hasta punto de goteo con un gasto aproximado de caldo de 1000 l/ha.

### 3.3 VARIABLES EVALUADAS

La brotación fue contabilizada en el campo una vez por semana desde su inicio hasta que no se registraron aumentos de la misma (12/10/2017 - 21/12/2017). En cada fecha de evaluación se registró el número de yemas brotadas, identificando: tipo de yema (vegetativa o reproductiva), posición (apical o lateral), y estructura sobre la que se encontraba (brindilla, lamburda, o dardo). Además, se registró el estado fenológico de las yemas reproductivas según la escala de Fleckinger (1965).

A partir de los datos registrados se estimó:

- Porcentaje de brotación total por tratamiento [(No. yemas brotadas/No. yemas totales) x 100]
- Porcentaje de brotación según el tipo de yema (No. de yemas vegetativas brotadas/No. de yemas vegetativas totales y No. de yemas reproductivas brotadas/No. de yemas reproductivas totales)
- Porcentaje de brotación según la estructura en que se encontraba la yema (brindilla, lamburdas y dardos).
- Velocidad de brotación ( $\Delta\%$  brotación /  $\Delta$ día)

### 3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el experimento 1 y 2 se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA), en el experimento 1 se realizó un arreglo factorial de 3 por 2 (producto y momento). Ambos experimentos tuvieron 5 repeticiones y la unidad experimental correspondió a un árbol. En cada unidad experimental se seleccionaron cuatro brindillas coronadas y dos ramas de dos años que tuvieran brindillas, dardos, y lamburdas.

Para el análisis estadístico se utilizó el programa RStudio. Como la variable brotación presenta una distribución binomial, se utilizó un modelo lineal generalizado con función link logit.

### **3.5 CONTEXTUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS**

Complementariamente el 6 de noviembre de 2017 se evaluó la brotación en cuadros de pera cv. Williams de tres productores frutícolas cercanos a INIA Las Brujas, con el objetivo de contextualizar los resultados obtenidos. En 10 árboles se contabilizó la brotación de 10 brindillas (1000 yemas aprox.) y 20 dardos para cada uno de los productores.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 ACUMULACIÓN DE FRÍO

Se tomó el 1 de junio del 2017 como inicio de la endodormición, fecha en la cual las plantas se encontraban con el 50% de hojas caídas (Peereboom Voller y Yuri, 2004). No se llegó a obtener una brotación del 50% de las brindillas de peral y manzano instaladas en cámara de forzada (figura 6). Brindillas extraídas el 22 de setiembre obtuvieron una brotación de 2.84% y una tasa de brotación de 0.038. Las brindillas de manzana evaluadas obtuvieron una mayor brotación, logrando un 32% de yemas brotadas (brindillas extraídas el 12 setiembre) y una tasa de brotación de 0.038. Luego de esta fecha se dejó de extraer brindillas debido la temperatura en el campo era similar a la temperatura en cámara.

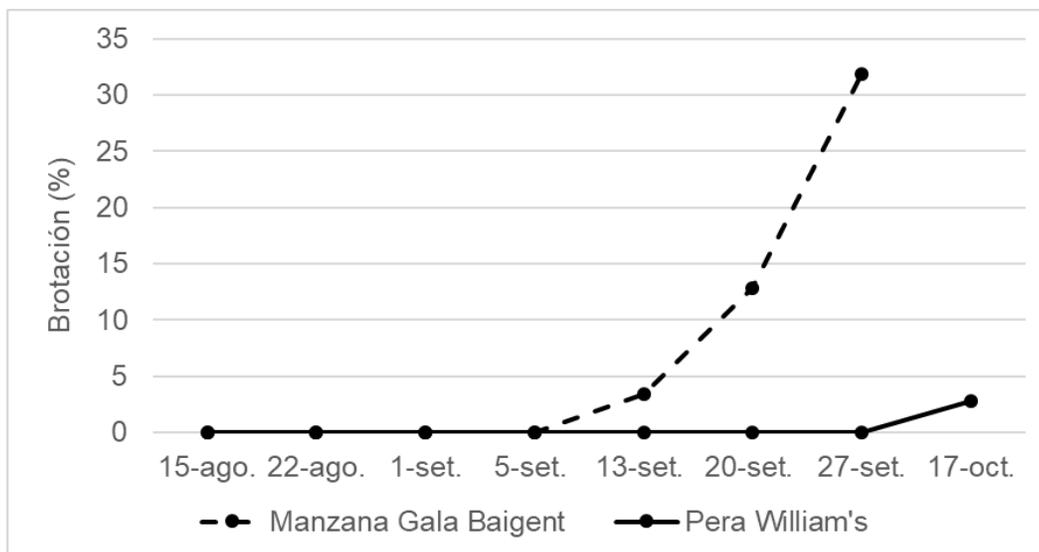


Figura 6. Porcentaje de brotación en cámara de brindillas de manzana y pera

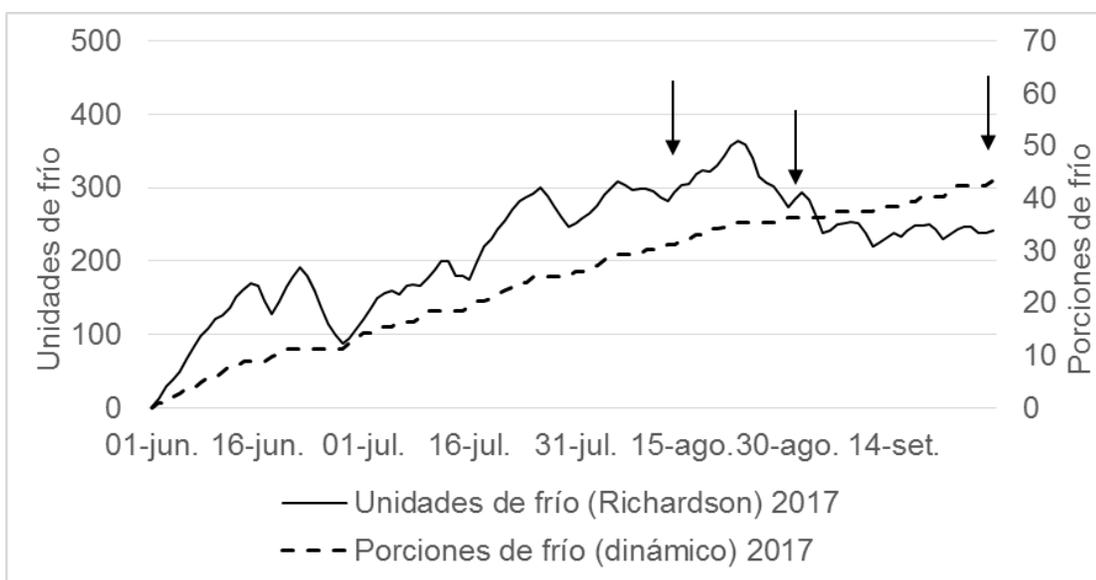
Las unidades y porciones de frío acumuladas desde el 1 de junio hasta las fechas en las que se dejó de extraer brindillas de manzana (13 de setiembre) y de perales (22 de setiembre) para cuantificar la endodormición fueron: 239 UF, 38 PF y 244 UF, 41 PF respectivamente (figura 7).

Los requerimientos de frío del peral cv Williams son de 900 UF (Rodríguez y Muñoz, 2015) según el modelo de Richardson y 56 PF (Glozer e Ingels, 2019) según el modelo dinámico. Para el manzano cv Gala, 500 UF (Ribeiro, 2004) y 53,8 PF (Soria, 2009).

Tabla 3. Acumulación de frío según modelo Utah y modelo dinámico en las diferentes fechas de aplicación

Fecha de aplicación	Modelo Utah (Richardson)		Modelo dinámico	
	Unidades de frío	% del requerimiento total (900 UF)	Porciones de frío	% del requerimiento total (56 PF)
15/08/2017	305	34	31,2	56
01/09/2017	284	32	36,3	65
28/09/2017	240	27	43,4	78

La tabla 3 muestra el frío acumulado, según el modelo Utah y el modelo dinámico, hasta las tres fechas de aplicación de tratamientos y el porcentaje de los requerimientos de frío alcanzado hasta esa fecha. Se observa que los requerimientos de frío para peral Williams no fueron cubiertos, siendo más evidente con el modelo Utah.



Flechas indican los momentos de aplicación (15/08/2017, 01/09/2017, 28/09/2017)

Figura 7. Acumulación de frío diaria según el modelo Utah (Richardson) y el modelo dinámico para el año 2017

En la figura 7 se observa una baja acumulación de frío en el año 2017 según el modelo Utah y modelo dinámico. Con ninguno de los dos modelos se alcanzan los requerimientos mínimos para la variedad en estudio, pero con el

modelo dinámico se logra cubrir un mayor porcentaje del requerimiento total. Por otro lado, considerando el modelo Utah puede observarse que la acumulación de frío es mayor al momento de la segunda aplicación que en la tercera.

## 4.2 BROTACIÓN

### 4.2.1 Brotación experimento 1: efecto del momento, producto e interacción

En la tabla 4 se observa el efecto del momento de aplicación, producto utilizado y la interacción entre ambos, para el experimento 1. El momento de aplicación alcanzó niveles de significancia en una sola fecha de muestreo. El 6 de noviembre se observó efecto del momento de aplicación (tabla 4), presentando mayor brotación las aplicaciones realizadas en el momento 2 ( $p \leq 0,05$ ). Todas las fechas de evaluación en campo hasta el 27 de noviembre registraron efecto del producto sobre la brotación total. Al comienzo de la brotación (12/10/2017) los tratamientos de aceite mineral y Erger® a dosis media presentaron mayor brotación que el tratamiento de Erger® a dosis baja (tabla 5). El 27/11/2017 solo se observaron diferencias significativas entre las aplicaciones de aceite mineral y Erger® a dosis baja.

Tres de nueve fechas de evaluación en campo presentaron interacción entre momento de aplicación y producto (19/10, 26/10 y 12/12, tabla 4). El 19 y 26 de octubre el aceite aplicado en el primer momento logró una mayor brotación ( $p \leq 0,05$ ), mientras que la aplicación de Erger® 2% en el segundo momento logró una brotación significativamente menor con respecto a los otros productos. El 26 de octubre se observa interacción entre Erger® 2% y el momento de aplicación, siendo mejor aplicar este producto en el primer momento. La interacción del 12 de diciembre corresponde a Erger® 4% en el momento 2, donde se observa una mejor brotación.

Tabla 4. Diferencias significativas entre momento de aplicación (M), producto (P) e interacción momento por producto (M\*P) en el porcentaje de brotación total del experimento 1

Factor	12/10	19/10	26/10	6/11	13/11	20/11	27/11	12/11	21/12
<b>M</b>				*					
<b>P</b>	*	*	*	*	*	*	*		
<b>M*P</b>		*	*					*	

(\*) significativamente diferente ( $p \leq 0,05$ ), (espacio en blanco) sin diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

Tabla 5. Diferencias significativas entre productos del experimento 1 en el porcentaje de brotación inicial y final

Producto	12/10	27/11
Aceite	a	A
Erger® 4%	a	Ab
Erger® 2%	b	B

Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

#### 4.2.2 Brotación experimento 2

En el experimento 2 se encontraron diferencias significativas en las primeras tres fechas de evaluación donde la aplicación de Erger® temprana y a dosis alta (Er31) y la aplicación de cianamida hidrogenada (Ch11) presentaron mayor brotación. Estas diferencias disminuyen en las fechas posteriores, observándose el 27 de noviembre una menor brotación de Er31 en comparación a Ch11 y Er23, igualando la brotación en las últimas fechas de evaluación.

Tabla 6. Diferencias significativas en el porcentaje de brotación total por tratamiento respecto al testigo del experimento 2

Trat.	12/10	19/10	26/10	6/11	13/11	20/11	27/11	12/12	21/12
Er31	a	a	a	a	a	a	b	a	a
Ch11	a	ab	a	a	a	a	a	a	a
Te	b	c	b	a	a	a	ab	a	a
Er23	b	bc	ab	a	a	a	a	a	a

Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

#### 4.2.3 Porcentaje de brotación final

La brotación final evaluada el 21 de diciembre fue baja (tabla 7) y no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. En el experimento 1 el tratamiento Ac11 presentó mayor brotación y en el experimento 2 el tratamiento de mayor brotación fue Ch11. En la tabla 8 se presentan las fechas en las cuales los tratamientos llegan a 5, 10 y 15% de brotación. Los tratamientos Ch11 y Er31 llegan a un 5% de brotación 14 días antes que el resto de los tratamientos. El 12 de diciembre todos los tratamientos menos Er12, Er21 y Er31 alcanzan el 15% de brotación, pero no se llega en ningún caso al 20% de brotación total.

Tabla 7. Porcentaje de brotación final (21 diciembre) por tratamiento

Experimento 1		Experimento 2	
Tratamiento	Brotación final (%)	Tratamiento	Brotación final (%)
Er21	13,63	Er31	15,10
Er22	16,53	Ch11	19,00
Er11	17,52	Te	16,40
Er12	15,06	Er23	18,30
Ac11	18,79		
Ac12	16,48		

Sin diferencias significativas ( $p>0,05$ ).

Tabla 8. Porcentaje de brotación alcanzado por fecha según tratamientos del experimento 1 y experimento 2

Trat.	12/10			26/10			13/11			27/11			12/12		
	%			%			%			%			%		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15
<b>Experimento 1</b>															
Ac11				*			*					*			*
Ac12				*			*					*			*
Er11							*				*				*
Er12							*				*			*	
Er21							*				*			*	
Er22							*					*			*
<b>Experimento 2</b>															
Er31	*			*			*				*			*	
Ch11	*			*				*				*			*
Te								*				*			*
Er23				*			*					*			*

#### 4.2.4 Brotación máxima

Debido a la falta de frío en el invierno del año 2017, se produjo aborto de las yemas reproductivas durante la brotación. Como consecuencia de este fenómeno se evaluó la brotación máxima de todas las fechas por tratamiento, de esta manera la caída de yemas no fue considerada.

En el experimento 1 se observó efecto del producto en dardos reproductivos y yemas vegetativas. Los tratamientos de aceite presentaron mayor brotación en yemas vegetativas y los tratamientos con Erger® a dosis media presentaron mayor brotación en dardos reproductivos ( $p \leq 0,05$ ) que los tratamientos con aceite, no observándose diferencias con los tratamientos de Erger® a dosis baja. No se observaron efectos del momento de aplicación, y tampoco diferencias significativas entre los tratamientos del experimento 2 (figura 8).

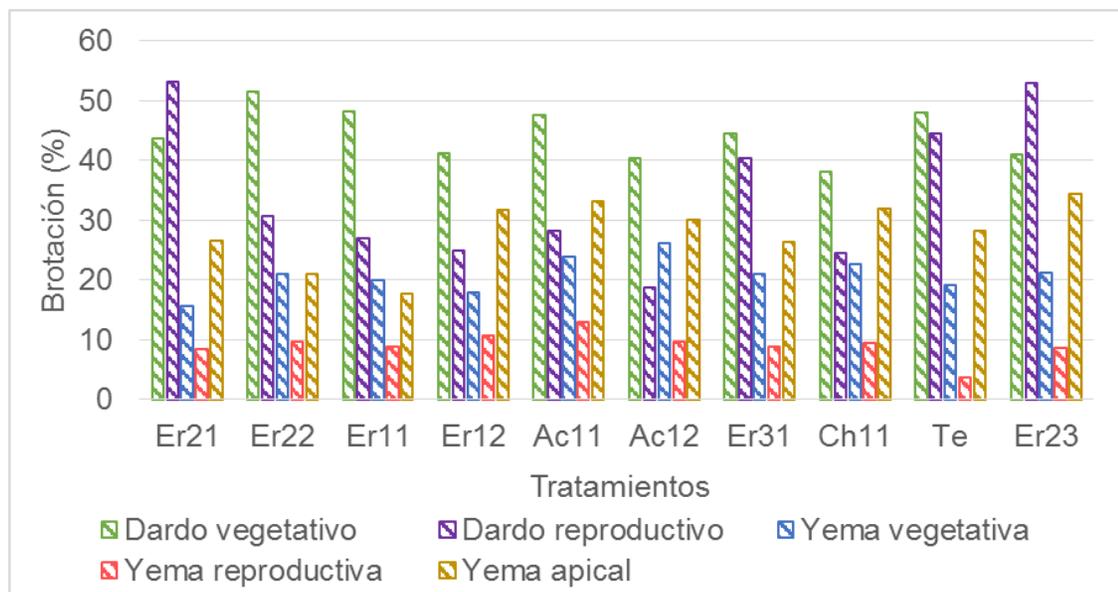


Figura 8. Brotación máxima por tratamiento y estructura

La brotación total presentada en la tabla 9 es mayor que en la tabla 7 debido a que se considera los máximos de brotación y no se toma en cuenta la caída y muerte de yemas. Al evaluar la brotación total máxima (dardo vegetativo, dardo reproductivo, yema vegetativa y yema reproductiva) del experimento 1, se observó interacción entre el momento de aplicación y producto. En la primera aplicación se logró un mayor efecto del tratamiento con aceite en comparación con Erger® a dosis media, mientras que en el segundo momento de aplicación no se observaron diferencias en la brotación. Aplicaciones de Erger® a dosis media en el momento 2 presentaron mayor brotación en comparación a las aplicaciones realizadas en el momento 1. En el experimento 2 no se observaron diferencias significativas en el porcentaje de brotación total de los tratamientos (tabla 9).

Tabla 9. Porcentaje de brotación máxima por tratamientos de experimento 1 y 2

Brotación máxima			
Experimento 1		Experimento 2	
Tratamientos	Brotación (%)	Tratamientos	Brotación (%)
Ac11	20,64 a	Er31	17,89 a
Er22	18,78 ab	Ch11	20,15 a
Er11	18,41 ab	Te	18,05 a
Ac12	18,00 ab	Er23	20,23 a
Er12	16,07 ab		
Er21	15,02 b		

Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

#### 4.2.5 Evolución de la brotación

Para estudiar la evolución en el tiempo de la brotación se utilizó la brotación por fecha en lugar de la brotación máxima, de esta manera se considera el efecto de la caída de yemas. La figura 9 representa la evolución del porcentaje de brotación total por tratamiento, desde el 12 de octubre hasta el 21 de diciembre.

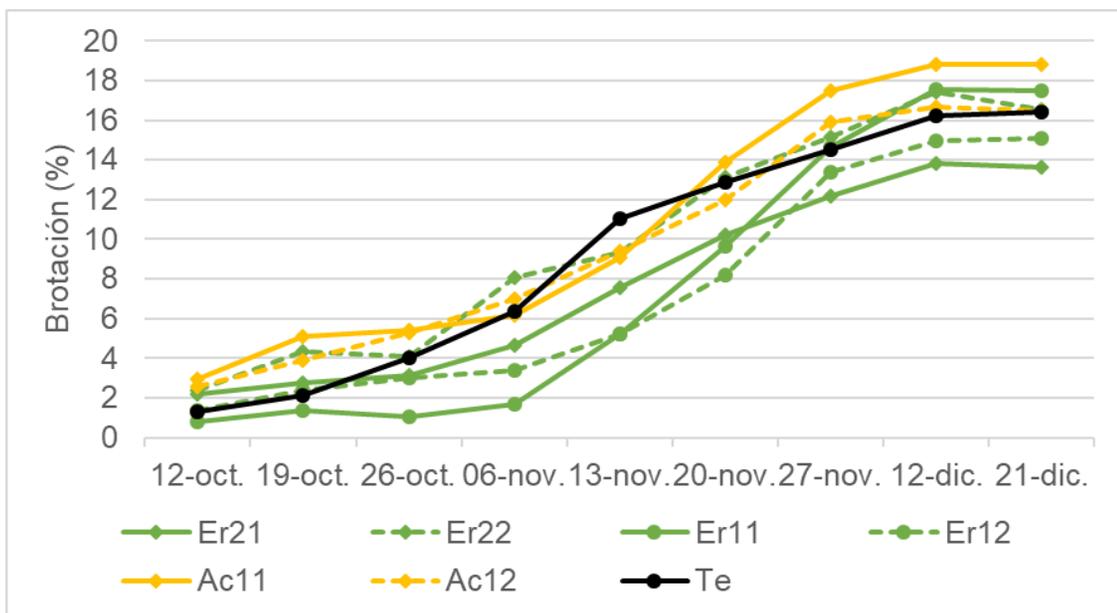


Figura 9. Evolución de la brotación (%) en las diferentes fechas de evaluación según tratamientos del experimento 1

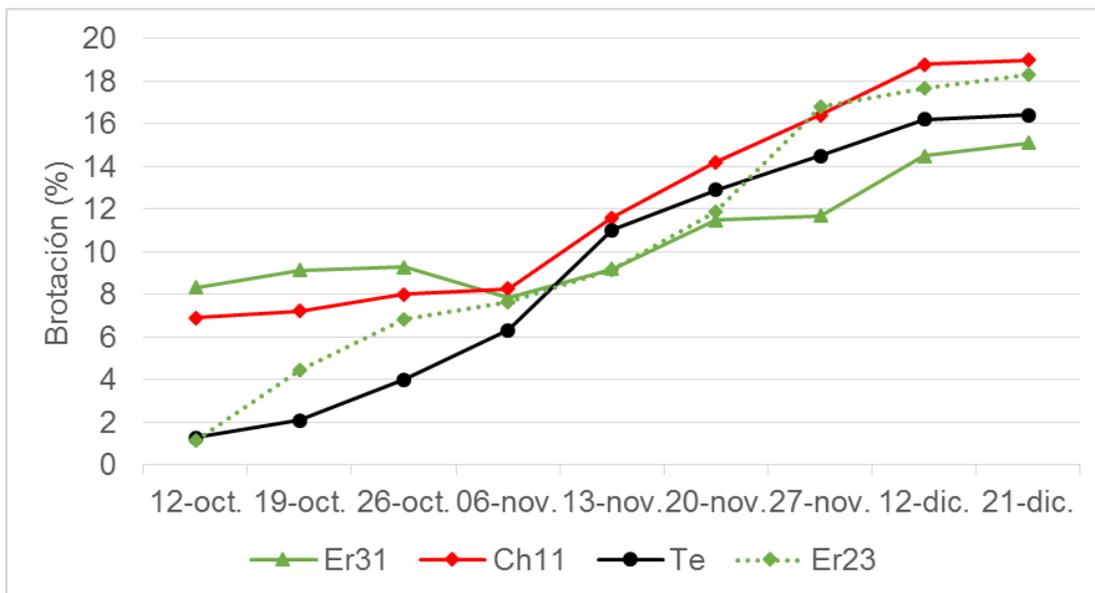


Figura 10. Evolución de la brotación (%) en las diferentes fechas de evaluación según tratamientos del experimento 2

En la figura 10 se observa que el tratamiento de Erger® a dosis alta aplicado de forma temprana (Er31) tiene una evolución de la brotación diferente con respecto al resto de los tratamientos, en las primeras fechas de evaluación el porcentaje de brotación de ER31 es superior al resto de los tratamientos, manteniéndose e incluso descendiendo a finales del mes de octubre, llegando a ser uno de los tratamientos con menor porcentaje de brotación final. La evolución del tratamiento Ch11 es similar al Er31 en las primeras fechas de evaluación (figura 10). En las últimas fechas Er31 presenta valores inferiores al resto de los tratamientos.

#### 4.2.6 Velocidad de brotación

Al sectorizar la evolución de la brotación en tres períodos: período 1 (12 de octubre al 6 de noviembre), período 2 (6 de noviembre a 27 de noviembre) y período 3 (27 de noviembre a 21 de diciembre) se observan diferencias en las pendientes (figuras 9 y 10), evidenciando una mayor velocidad de brotación ( $\Delta\%$  brotación /  $\Delta$ día) durante el período 2, seguido por el período 1 y por último el período 3 (tabla 10)

El tratamiento Er11 del experimento1 presentó en las primeras 4 fechas de evaluación una baja velocidad de brotación (tabla 10), en el periodo 2 la velocidad de brotación aumentó siendo mayor al resto de los tratamientos (0,62% de brotación/día), llegando en el último periodo a encontrarse dentro de los tratamientos con tendencia a mayor brotación (figura 9). Como se indica en la tabla 10 la velocidad de brotación del tratamiento Er23 del experimento 2 es mayor que la del resto de los tratamientos en el periodo 1 y 2, esto se observa en la figura 10 donde el porcentaje de brotación del tratamiento Er23 pasa de ser de los más bajos de su experimento a los más altos en las últimas fechas de evaluación. El tratamiento Er31 durante el mes de noviembre presenta una velocidad de brotación más baja que el resto de los tratamientos (tabla 10), obteniendo una diferencia entre la brotación inicial y final menor que el resto. En el período 3 la velocidad de brotación es similar en todos los tratamientos, manteniéndose estable, con una velocidad de brotación promedio de 0,06 % de brotación/día.

Tabla 10. Velocidad de brotación ( $\Delta\%$  brotación /  $\Delta$ día) según tratamientos

Tratamiento	Velocidad de brotación ( $\Delta\%$ brotación / $\Delta$ día)		
	1	2	3
<b>Experimento 1</b>			
<b>Er21</b>	0,09	0,36	0,04
<b>Er22</b>	0,20	0,34	0,03
<b>Er11</b>	0,03	0,62	0,09
<b>Er12</b>	0,09	0,48	0,06
<b>Ac11</b>	0,14	0,54	0,04
<b>Ac12</b>	0,18	0,42	0,02
<b>Experimento 2</b>			
<b>Er31</b>	0,00	0,18	0,13
<b>Ch11</b>	0,06	0,39	0,09
<b>Te</b>	0,20	0,39	0,07
<b>Er23</b>	0,30	0,44	0,06

#### **4.2.7 Brotación por estructura**

Las figuras 11 y 12 muestran la brotación final por tipo de estructura (dardos vegetativos, dardos reproductivos, yemas reproductivas, yemas vegetativas y yema apical) para los dos experimentos. Ninguna de las estructuras a excepción de las yemas vegetativas en el experimento 1 presentó

diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en la brotación. Las diferencias en brotación de las yemas vegetativas son debidas al efecto del producto, alcanzando los tratamientos con aceite mayor brotación final (21.6%). Las diferencias en la brotación de dardos y yemas reproductivos no se pudieron cuantificar debido a la gran variabilidad de los datos.

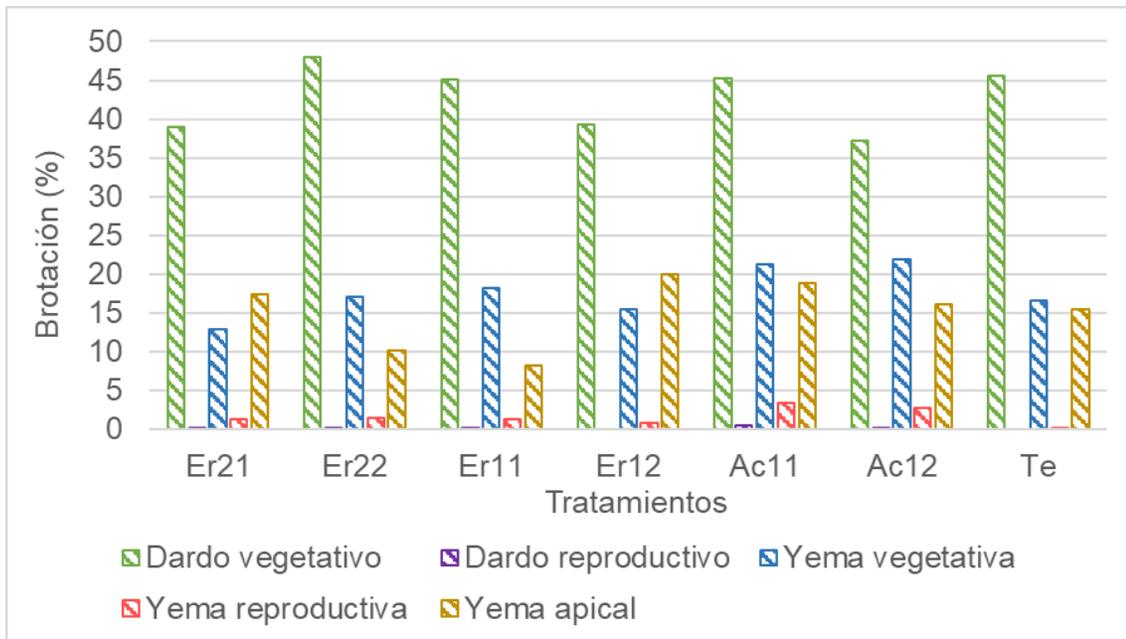


Figura 11. Brotación final discriminada por tipo de yema y estructura según tratamientos del experimento 1

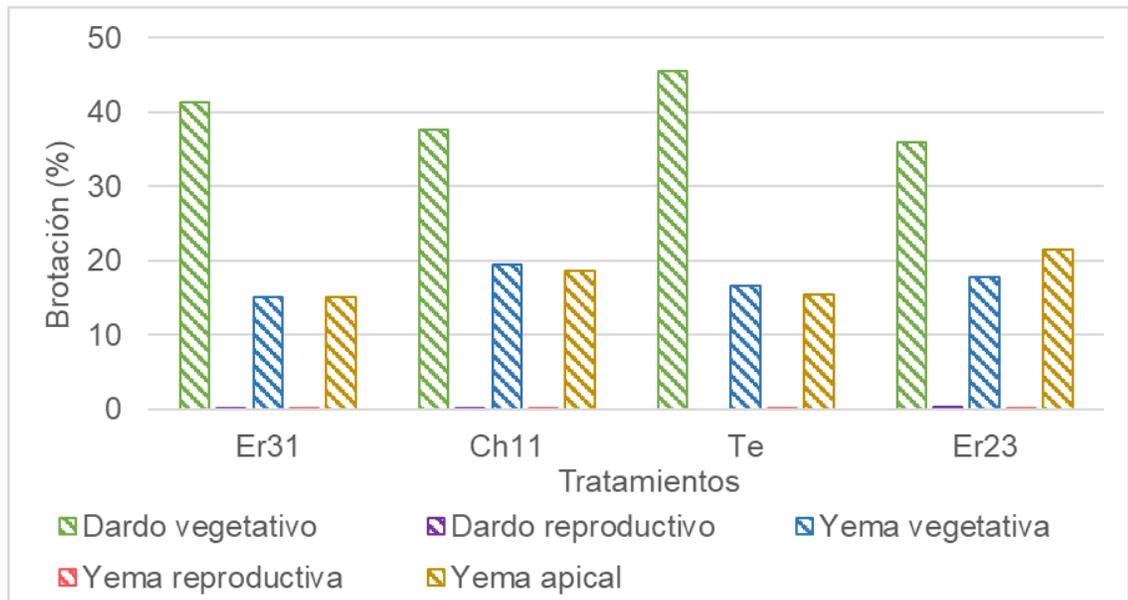


Figura 12. Brotación final discriminada por tipo de yema y estructura según tratamientos del experimento 2

Debido a que la respuesta de los tratamientos de ambos experimentos en la brotación por estructura fue similar, se representa en las gráficas de las figuras 13 y 14 la brotación por estructura promedio para todos los tratamientos de ambos experimentos. Al separar la brotación en estructuras de más de dos años (dardos vegetativos y reproductivos) y en estructuras de 1 año (brindillas) se observa un incremento de la brotación en ambos tipos de estructuras, siendo notoriamente mayor la brotación en dardos y lamburdas que en yemas de brindillas (figura 13).

En la figura 14 se representa la evolución de la brotación, en función del tipo de yema: vegetativas o reproductivas, agregándose las yemas apicales. La brotación fue mayor en dardos y yemas vegetativas. En dardos vegetativos y reproductivos la brotación es similar hasta noviembre, aumentando la brotación vegetativa en las siguientes fechas. Las yemas apicales presentaron una alta brotación en las primeras fechas de evaluación seguido por un descenso abrupto a finales de octubre y obteniendo una brotación final similar a las yemas vegetativas (figura 14).

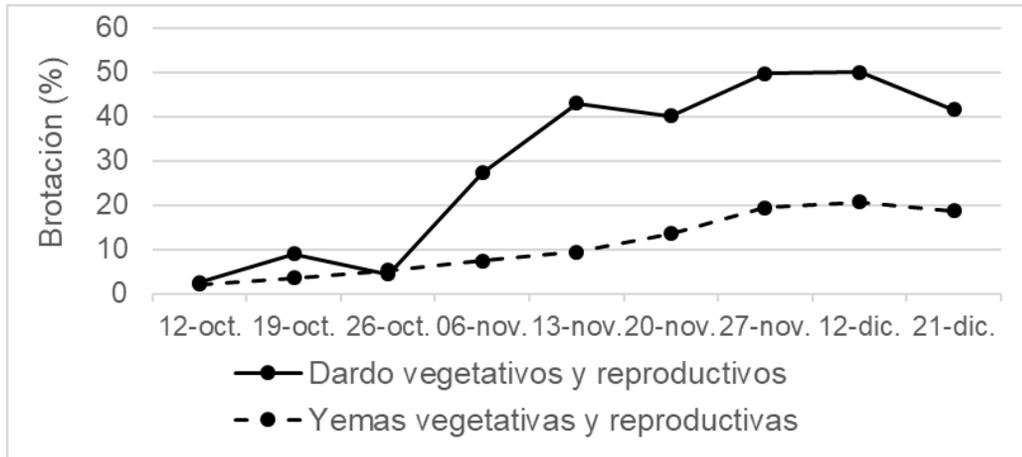


Figura 13. Evolución de la brotación de dardos y yemas para todos los tratamientos del experimento 1 y 2

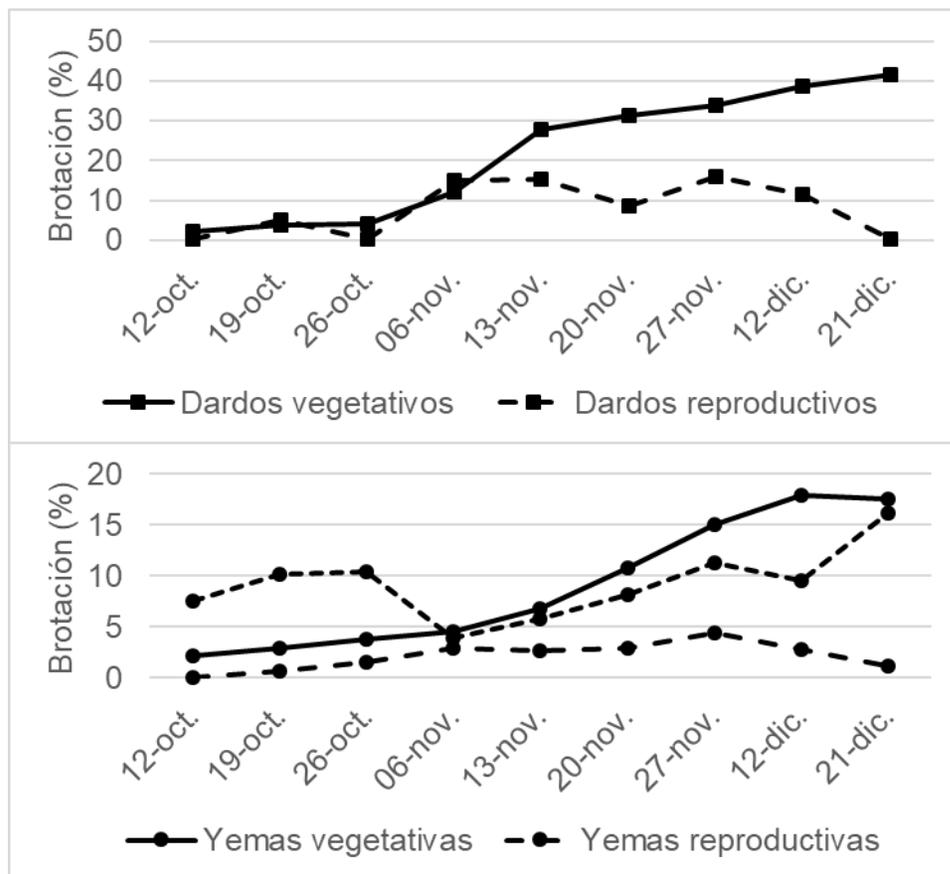


Figura 14. Evolución de la brotación discriminada por estructura y tipo de yema para todos los tratamientos del experimento 1 y 2

### 4.3 CONTEXTUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS

Como se detalla en la sección materiales y métodos, debido a la baja brotación del cuadro estudiado se decidió evaluar la brotación de tres productores de la zona. En la tabla 11 se presentan los porcentajes de brotación por estructura y tipo de yema evaluado el 6 de noviembre del 2017.

Los productores 2 y 3 presentaron una brotación total alta en comparación con la brotación del productor 1 e INIA. La brotación de yemas reproductivas en brindillas y de dardos reproductivos (lamburdas) fue baja y notoriamente menor respecto a la brotación vegetativa para todos los productores. El productor 1 alcanza valores similares de brotación a los obtenidos en INIA Las Brujas.

Los tres productores utilizaron como compensador de frío cianamida hidrogenada (CH) más aceite mineral (A) en dosis similares (1: Ch 1% + Ac 2%; 2: Ch 1.5% + Ac 3%; 3: Ch 1% + Ac 2%), las fechas de aplicación fueron 20/8/2017, 30/8/2017 y 21/8/2017 para los productores 1, 2 y 3 respectivamente.

Tabla 11. Porcentajes de brotación según estructura y tipo de yema de tres productores e INIA LB

<b>Brotación de brindillas (%)</b>			
<b>Productor</b>	<b>Total</b>	<b>Yemas vegetativas</b>	<b>Yemas reproductivas</b>
<b>INIA LB</b>	7	6	1
<b>1</b>	8	7	1
<b>2</b>	62	59	3
<b>3</b>	62	58	4
<b>Brotación de dardos (%)</b>			
<b>Productor</b>	<b>Total</b>	<b>Dardos vegetativos</b>	<b>Dardos reproductivos</b>
<b>INIA LB</b>	50	44	6
<b>1</b>	53	47	6
<b>2</b>	75	66	9
<b>3</b>	89	81	8
<b>Brotación de dardos + brindillas (%)</b>			
<b>Productor</b>	<b>Total</b>	<b>Vegetativa</b>	<b>Reproductiva</b>
<b>INIA LB</b>	14,2	12,3	1,8
<b>1</b>	15	13,7	1,5
<b>2</b>	64	60,6	3,6
<b>3</b>	67	61,6	5,0

## **5 DISCUSIÓN**

### **5.1 BROTACIÓN EN CÁMARA**

Existen dos criterios para determinar la salida de la endodormición en cámara de forzadura: cuando se alcanza el 50% de brotación de las yemas (Dennis, 2003) o cuando se alcanza una tasa de brotación de 0.1 (1/días hasta 25% de brotado de yemas terminales, Halgryn et al., 2001). A partir de los criterios de estos dos autores no pudo ser determinada la fecha de salida de endodormición, ya que la brotación de las brindillas de peral y manzano fue menor a 50% y no se alcanzó una tasa de brotación de 0.1. La mayor brotación de brindillas de manzana variedad Gala, que alcanzó valores de brotación de 32% puede ser explicada debido a los menores requerimientos de frío de la variedad utilizada (500 UF) respecto al peral Williams (900 UF).

### **5.2 ACUMULACIÓN DE FRÍO**

Los árboles frutales de hoja caduca deben permanecer a bajas temperaturas durante cierto periodo para salir del estado de dormición (Saure, 1985). El invierno del año 2017 en Uruguay presentó una reducida acumulación de frío, lo cual constituyó una problemática para el adecuado proceso de brotación. Esta ineficiente acumulación fue cuantificada en el presente estudio y distintas alternativas de manejo fueron ensayadas.

Las aplicaciones de las distintas combinaciones de producto compensador, dosis y momento fueron realizadas en todos los casos sin alcanzarse los requerimientos de frío para satisfacer las necesidades de la pera Williams, según los requerimientos establecidos por Rodríguez y Muñoz (2015), Glozer e Ingels (2019, tabla 3).

Al comparar el frío acumulado promedio del periodo 2007-2016 (980 UF y 60 PF) con la acumulación del 2017 (240 UF y 43 PF) se observa que en este año fue deficiente (figuras 2 y 3). Se observó que en las tres fechas de aplicación de los tratamientos, los valores de acumulación de frío (modelo Utah y dinámico) son inferiores al total teórico requerido (900 UF y 56 PF). Considerando el modelo dinámico hay un mayor porcentaje de los requerimientos cubiertos respecto al modelo de Richardson (tabla 3), en el primero se alcanza un máximo de 78% de los requerimientos y en el segundo un 34%. Considerando el modelo de Richardson el frío acumulado en los momentos de aplicación fue descendiendo al atrasar la fecha de estos, debido a que este modelo considera que el frío acumulado puede ser perdido con la ocurrencia de temperaturas elevadas. El descenso representó una disminución

de 7% de los requerimientos establecidos en la bibliografía entre las fechas 15/8 y 28/9.

Dado que aún no existen muchas publicaciones en donde se use el modelo dinámico y que en este experimento no se llegó a determinar en cámara de crecimiento las porciones necesarias para salir del estado de endodormición, se utilizó como referencia bibliográfica 56 PF, valor según el cual se llegó a cubrir casi el 80% de los requerimientos. Cabe destacar que la fecha en que se alcanza este porcentaje es avanzada (28/09/2017) en comparación a otros años. Otra información consultada indica que los requerimientos de frío utilizando el modelo dinámico para peral Williams varían entre 56 PF y 66 PF (consultado en línea) considerando esto los porcentajes de requerimientos cubiertos serían menores. Las brindillas de manzano estudiadas tampoco cumplieron los requerimientos de porciones de frío establecidos por Soria (2009), explicando la no brotación de las mismas en cámara de forzada. Por otro lado, los requerimientos indicados por Soria cuestionan el valor de porciones de frío para pera Williams indicado por Glozer e Ingels (2019), debido a que los valores son muy cercanos, considerando el modelo de Richardson, la manzana Gala requiere aproximadamente la mitad de frío que la pera Williams.

Kretschmar et al. (2011), ante una acumulación de frío deficiente obtuvieron una baja brotación en perales de similar requerimiento de frío. Además, Erez (1987), Petri et al., citados por Hawerroth et al. (2010) indican que ante una inadecuada acumulación de frío la brotación es despareja y también obtuvieron una floración escasa y tardía.

En los experimentos de esta tesis se confirma la reducida oferta de frío ocurrida durante el invierno, los valores de referencia de unidades y porciones de frío y, en consecuencia, la falta de brotación de las brindillas en cámara de crecimiento. En las evaluaciones de campo, tal como podía preverse en función de los datos de acumulación de frío se observó una gran variabilidad de la brotación.

### **5.3 BROTAÇÃO**

La temperatura es el principal factor climático que controla la entrada y salida de la endodormición. Ante la ocurrencia de inviernos templados el peral manifiesta una serie de síntomas asociados a la falta de acumulación de frío, donde se observa un periodo de floración, brotación y crecimiento vegetativo más extendidos en comparación a perales bajo condiciones invernales normales (Petri et al., 2002). Este efecto se observó en el periodo de brotación, el cual se extendió del 12 de octubre al 12 de diciembre (tabla 8), donde aún se registraban aumentos en el porcentaje de brotación de 0.78 a 2.80 % según el

tratamiento. Esto también se observa en la tabla 10 donde la velocidad de brotación de todos los tratamientos se mantuvo positiva en el último período (27 de noviembre a 21 de diciembre).

Manzi (2007), Soria (2009), Severino et al. (2012) encontraron efecto del momento de aplicación, observaron que las aplicaciones realizadas en forma temprana adelantaron la brotación, con disminución de la brotación de yemas laterales, ocasionado por un aumento de la dominancia apical. Esto no fue observado en este trabajo en forma consistente, solo se evidenció el efecto del momento de aplicación en una fecha de evaluación (6 de noviembre). Asociado a este hecho tampoco se observó una menor brotación final de los tratamientos aplicados en momentos tempranos. Tampoco se observaron diferencias entre los productos en la brotación final, dado que todas las aplicaciones fueron realizadas con un bajo porcentaje de los requerimientos cubiertos. Los bajos porcentajes de brotación y lo extendido de la misma confirman que, frente a una inadecuada acumulación de frío ningún producto químico puede quebrar la dormancia de las yemas (Erez, 1987a). Los bajos niveles de acumulación de frío del presente estudio, se encuentran en valores similares a los de las aplicaciones con más bajos niveles de requerimientos cubiertos de los trabajos presentados por Manzi, Soria y Severino, por lo que el análisis de las fechas de aplicación no puede ser comparado entre unos y otros ensayos.

Dado que la acumulación de frío fue menor a los requerimientos de la variedad, se observó un bajo porcentaje de brotación final (tabla 7) menor a 21% para todos los tratamientos. Resultados obtenidos por Kretzschmar et al. (2011), muestran comportamiento similar en peral europeo, observaron que mientras menor es la acumulación de frío menor es la brotación lograda. En todas las variedades que estudiaron de requerimientos de frío similares al peral Williams (1000 HF) obtuvieron un porcentaje de brotación bajo cuando la acumulación de frío fue limitada entre 300 y 400 horas de frío (10% a 30% de brotación total, valores similares a los obtenidos en esta tesis).

La diferencia entre la brotación máxima (tabla 9) y la brotación final considerando la caída de yemas (tabla 7), refleja una de las consecuencias de la inadecuada acumulación de frío. Overcash y Loomis, citados por Petri et al. (2002) indican que en perales europeos frente a una baja acumulación de frío ocurre aborto de yemas reproductivas y abscisión de las mismas. Además, Nakasu et al. (1995) indican que la intensidad con la que se produce está ligada a la acumulación de frío recibida y a la frecuencia y duración de periodos de alternancia de temperatura.

Marafon et al. (2011) observan que en ramas de peral sometidas a tratamientos de bajas temperaturas se afecta el contenido de almidón, azúcares solubles y la actividad enzimática en la madera y las yemas. Contrariamente, en ramas mantenidas a temperaturas elevadas, el contenido de almidón permanece elevado en tejidos leñosos y el contenido de azúcares reductores no incrementa. La falta de acumulación de frío en el peral provoca la disminución de la movilización de carbohidratos, reduce la síntesis de sacarosa en los tejidos leñosos y la importación de sacarosa por las yemas florales. Cuando la acumulación de frío es suficiente durante la dormición se incrementa la actividad de la invertasa ácida de la pared celular y la sacarosa fosfato sintasa que provocan un aumento en el contenido de azúcares reductores y almidón en las yemas, que son utilizados durante la brotación y floración en la primavera.

La mayor brotación en dardos en comparación a las yemas ubicadas en brindillas (figura 13) puede ser explicada por los menores requerimientos de frío que presentan estas estructuras. Schaffer y Andersen (1994) mencionan que los requerimientos de frío de dardos y lamburdas son 25% menores que los requerimientos de las yemas axilares.

Las diferencias encontradas entre la brotación vegetativa y reproductiva en la figura 14 pueden ser explicadas por el aborto de yemas (Nakasu et al., 1995), donde se observa que el porcentaje de brotación en las estructuras reproductivas es menor a la brotación en las estructuras vegetativas a pesar de que las yemas reproductivas presentan menores requerimientos de frío (Samish y Lavee, citados por Saure, 1985).

#### **5.4 CONTEXTUALIZACIÓN**

A partir de los datos recabados en predios de productores vecinos también se observó una mayor brotación de los dardos en comparación a las yemas laterales, como ya se mencionó anteriormente esto es debido a que los dardos presentan menores requerimientos de frío que las yemas laterales (Schaffer y Andersen, 1994). Los productores estudiados aplicaron cianamida hidrogenada con una dosis y fecha similar a la realizada en este experimento, esto sugiere que la dosis y fecha de aplicación no explican toda la diferencia entre los productores ni con el experimento de esta tesis, sino que además puede incidir la edad del monte, manejo, estado sanitario de las plantas y posibles diferencias de acumulación de frío en función de los microclimas presentes en cada situación.

## **6 CONCLUSIONES**

- Debido a las características climáticas del año 2017 no se llegaron a cumplir los requerimientos de frío para Pera Williams.
- Debido a la dinámica de la acumulación del invierno 2017, los momentos de aplicación no superaron nunca el 80% de los requerimientos ni mostraron diferencias significativas en la acumulación de frío. Inclusive, según el modelo UTAH las aplicaciones más tardías se realizaron con acumulaciones menores que las primeras.
- Todos los principios activos y momento de aplicación alcanzan valores iguales de brotación final e iguales al testigo. No se observaron adelantos de la brotación en los tratamientos realizados en la primera fecha
- Al analizar la brotación por estructura no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, a excepción de las yemas vegetativas del experimento 1, donde se observó que los tratamientos con aceite mineral alcanzaron mayor brotación final.
- Años en los cuales la acumulación de frío es muy deficiente como ocurrió en el 2017 la aplicación de compensadores de frío no es suficiente para alcanzar una buena brotación.
- Las observaciones realizadas en predios cercanos demuestran que los factores fecha y dosis no explican totalmente las diferencias en brotación, pudiendo estar influyendo otros factores como la edad del monte, manejo, estado sanitario de los árboles y diferencias de acumulación de frío posibles debido al microclima de cada predio.

## 7 RESUMEN

El cultivar Williams's es la variedad de peral más plantada en Uruguay, ocupando el 82,1% del cultivo. Para la salida de la endodormición es necesaria cierta acumulación de frío durante el invierno. Debido a que los requerimientos de frío de esta variedad son altos (900 UF) y que en algunos años la oferta de frío en invierno es deficiente, es común la aplicación de compensadores de frío. El estudio se realizó en un cuadro de perales (*Pyrus communis* L) cv Williams ubicado en la estación experimental "Wilson Ferreira Aldunate", INIA Las Brujas durante el ciclo 2017-2018. El objetivo de este estudio fue determinar la respuesta de esta variedad a la aplicación de químicos compensadores de frío a diferentes dosis y momentos de aplicación, sobre la brotación. Se realizaron dos experimentos, el experimento 1 consistió en la aplicación de Erger® 4%, Erger® 2% y aceite mineral 4%, en dos momentos de aplicación: 15/8/2017 y 01/9/2017. El experimento 2 consistió en la aplicación de Erger® 8% aplicado en el primer momento (15/8/2017), Erger® 4% en el tercer momento (28/9/2017), cianamida hidrogenada 1% en el primer momento de aplicación y un tratamiento testigo. En el año 2017 no se llegaron a cumplir los requerimientos de frío para el peral Williams por lo que no pudo determinarse en cámara el fin de la endodormición y por tanto los requerimientos de frío para la salida de la misma. Debido a la inadecuada acumulación de frío no se observaron diferencias en la brotación final entre los tratamientos, además en ninguno de los casos se registraron brotaciones mayores al 20%. Al analizar la brotación por estructura no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, a excepción de las yemas vegetativas del experimento 1, donde se observó que los tratamientos con aceite mineral alcanzaron mayor brotación final (21,6 %). En conclusión, la baja acumulación de frío no permitió observar un efecto claro sobre la brotación al aplicar compensadores de frío en los distintos momentos.

Palabras clave: Endodormición; Brotación; Latencia; Cianamida hidrogenada; Aceites minerales.

## 8 SUMMARY

Williams cultivar is the most cultivated pear in Uruguay representing the 82.14% of this crop. For the release of the endodormancy it is necessary certain cold accumulation during the winter. Because the high cold requirements of this cultivar (900 UF), and the deficient cold supply during some winters, the application of rest breaking agents is a common practice. The experiment was carried out in a pear orchard (*Pyrus communis* L) located in the Experimental Station INIA Las Brujas, during the 2017-2018 cycle. The objective of this experiment was the determination of this cultivar response to the application of different rest breaking agents at different doses and application dates over the bud break. Two experiments were performed, experiment 1 consisted in the application of Erger® 4%, Erger® 2% and mineral oil 4%, in two application dates: 15/8/2017 y 01/9/2017. Experiment 2 consisted in the application of Erger® 8% applicated in the first date (15/8/2017), Erger® 4% in the third date (28/9/2017), hydrogen cyanamide 1% in the first date of application and a control group. In the year 2017 the cold requirements of Williams cultivar weren't met, for this reason the cold requirements could not be determined in forcing chamber. Because of the inadequate cold accumulation, no difference was observed in the final bud break between the treatments, also the bud break percentage never exceed the 20% in all the treatments. Analyzing the bud break discriminated per type of structure no significant differences were observed between the treatments except for vegetative buds in experiment 1, were the treatments with mineral oil achieve a higher final bud break (21.6%). In conclusion the low accumulation of cold did not allow to observe a clear effect of the rest breaking agents over the bud break.

Key words: Endodormancy; Bud Break; Dormancy; Hydrogen cyanamide; Mineral oils.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

1. Abbas, M. F.; Hafez, M. I.; Hafez, E. M. 2010. Acute hydrogen cyanamide toxicity: an outbreak in El-Minia governorate: a prospective clinical study. (en línea). Minya, El-Minia University. Department of Forensic Medicine and Clinical Toxicology. 15 p. Consultado 04 set. 2019. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/278241726\\_Acute\\_Hydrogen\\_Cyanamide\\_Toxicity\\_An\\_Outbreak\\_in\\_El-Minia\\_Governorate\\_a\\_Pro prospective\\_Clinical\\_Study](https://www.researchgate.net/publication/278241726_Acute_Hydrogen_Cyanamide_Toxicity_An_Outbreak_in_El-Minia_Governorate_a_Pro prospective_Clinical_Study)
2. Allan, P. 2004. Winter chilling in areas with mild winters: its measurement and supplementation. *Acta Horticulturae*. no. 662: 47-52.
3. Amberger, A. 1984. Uptake and metabolism of hydrogen cyanamide in plants. *In: International Seminar of Bud Dormancy in Grapevines: potential and Practical Uses of Hydrogen Cyanamide on Grapevines (1984, Davis, CA). Proceedings. Davis, University of California.* pp. 5-10.
4. Amen, R. 1968. A model of seed dormancy. *The Botanical Review*. 34(1): 1-31.
5. Anderson, J. L.; Richardson, E. A.; Kesner, C. D. 1986. Validation of chill unit and flower bud phenology models for "Montmorency" sour cherry. *Acta Horticulturae*. no. 184: 71-78.
6. Arora, R.; Rowland, L. J.; Tanino, K. 2003. Induction and release of bud dormancy in woody perennials a science comes of age. *HortScience*. 38(5): 911-921.
7. Aue, H. L.; Lecomte, L.; Pétel, G. 2000. Changes in parameters of the plasmalemma atpase during peach vegetative bud dormancy. *Biologia Plantarum*. 43(1): 25-29.
8. Ayub, R. A.; Blum, J.; Barbosa, M. 2009. Época e princípios ativos para a quebra de dormência de caquizeiro cv. Fuyu. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 31(3): 644-649.

9. Beauvieux, R.; Wenden, B.; Dirlewanger, E. 2018. Bud dormancy in perennial fruit tree species: a pivotal role for oxidative cues. *Frontiers in Plants Science*. 9(657): 1-13.
10. Blommaert, K. 1959. Winter temperature in relation to dormancy and the auxin and growth inhibitor content of peach buds. *South African Journal of Agricultural Science*. 2(4): 507-514.
11. Cayuela, L. 2010. Modelos lineales generalizados (GLM). Granada, Universidad de Granada. 30 p.
12. Citadin, I.; Bassani, M. H.; Danner, M. A.; Mazaro, S. M.; Gouvêa, A. 2006. Uso de cianamida hidrogenada e óleo mineral na floração, brotação e produção do pessegueiro “Chiripa”. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 28(1): 32-35.
13. Couvillon, G.; Hendershott, C. 1974. A characterization of the “after-rest” period of flower buds of two peach cultivars of different chilling requirement. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 99: 23-26.
14. Dennis, F. 1994. Dormancy-what we know (and don't know). *Hortscience*. 29(11): 1249-1255.
15. \_\_\_\_\_. 2003. Problems in standardizing methods for evaluating the chilling requirements for the breaking of dormancy in buds of woody plants. *HortScience*. 38(3): 347-350.
16. Denny, F. E.; Stanton, E. N. 1928. Localization of response of woody tissue to chemical treatments that break the rest period. *American Journal of Botany*. 15: 337-344.
17. El-Yazal, M. A.; Seif El-Yazal, S. A.; Rady, M. M. 2013. Exogenous dormancy-breaking substances positively change endogenous phytohormones and amino acids during dormancy release in ‘Anna’ apple trees. *Plant Growth Regulation*. 72(3): 211-220.
18. Erez, A.; Couvillon, G. A.; Kays, S. J. 1980. The effect of oxygen concentration on the release of peach leaf buds from rest. *HortScience*. 15(1): 39-41.

19. \_\_\_\_\_. 1987a. Chemical Control of Budbreak. *HortScience*. 22(6): 1240-1243.
20. \_\_\_\_\_.; Couvillon, G. A. 1987b. Temperatures on rest completion in peach. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 112(4): 677-680.
21. \_\_\_\_\_.; Fishman, S.; Gat, Z.; Couvillon, G. A. 1988. Evaluation of winter climate for breaking bud rest using the dynamic model. *Acta Horticulturae*. no. 232: 76-89.
22. \_\_\_\_\_. 1995. Means to compensate for insufficient chilling to improve bloom and leafing. *Acta Horticulturae*. no. 395: 81-95.
23. \_\_\_\_\_.; Faust, M.; Line, M. J. 1998. Changes in water status in peach buds on induction, development and release from dormancy. *Scientia Horticulturae*. 73: 111-123.
24. Faust, A.; Liu, D.; Wang, S.; Stutte, G. 1995. Conversion of bound to free water in endodormant buds of apple is an incremental process. *Acta Horticulturae*. no. 395: 113-118.
25. \_\_\_\_\_.; Erez, A.; Rowland, L. J.; Wang, S. Y.; Norman, H. A. 1997. Bud dormancy in perennial fruit trees: physiological basis for dormancy induction, maintenance, and release. *HortScience*. 32(4): 623-629.
26. Fennell, A. 1999. Systems and approaches to studying dormancy: introduction to the workshop. *HortScience*. 34(7): 1172-1173.
27. \_\_\_\_\_.; Mathiason, K.; Luby, J. 2005. Genetic segregation for indicators of photoperiod control of dormancy induction in vitis species. *Acta Horticulturae*. no. 689: 533-540.
28. Finetto, G. A. 2004. The behaviour of some apple rootstocks in relation to the chilling requirement. *Acta Horticulturae*. no. 662: 245-251.
29. Fishman, S.; Erez, A.; Couvillon, G. A. 1987. The temperature dependence of dormancy breaking in plants: mathematical analysis of a two-step model involving a cooperative transition. *Journal of Theoretical Biology*. 124: 474-483.

30. Frías, M. 2006. Pomáceas: requerimiento de frío en frutales. Universidad de Talca. Boletín Técnico 6(4): 1-4.
31. Giménez, A.; Castaño, J. P.; Olivera, L.; Furest, J. 2004. Algunas consideraciones sobre el clima, la producción agropecuaria y la toma de decisiones. *In*: Jornada Técnica Cultivos de Verano (2004, La Estanzuela, Colonia, UY). Cultivos de verano. Montevideo, INIA. pp. 1-9 (Serie Técnica no. 371).
32. \_\_\_\_\_.;\_\_\_\_\_.;\_\_\_\_\_. 2006. Evidencias de cambio climático en Uruguay. Revista INIA. no. 8: 45-46.
33. Glozer, K.; Ingels, C. 2007. Management of formant sprays by chill accumulation in Barlett Pear, final report 2007. (en línea). Davis, University of California. 13 p. Consultado nov. 2019. Disponible en [https://pdfs.semanticscholar.org/9fa8/17aac77514d69ba84bada18f80845b59363f.pdf?\\_ga=2.19406776.1676313533.1574378111-371635803.1574121388](https://pdfs.semanticscholar.org/9fa8/17aac77514d69ba84bada18f80845b59363f.pdf?_ga=2.19406776.1676313533.1574378111-371635803.1574121388)
34. Guo, L.; Dai, J.; Ranjitkar, S.; Yu, H.; Xu, J.; Luedeling, E. 2013. Chilling and heat requirements for flowering in temperate fruit trees. *International Journal of Biometeorology*. 58 (6): 1195-1206.
35. Halgryn, P. J.; Theron, K. I.; Cook, N. C. 2001. Genotypic response to chilling period of apple buds from two Western Cape localities. *South African Journal of Plant and Soil*. 18(1): 21-27.
36. Hawerroth, F.; Petri, J.; Leite, G.; Herter, F. 2010 Brotação de gemas em maceiras “Imperial Gala” e “Fuji suprema” pelo uso de Erger® e nitrato de cálcio. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 32(2): 343-350.
37. Heide, O. M.; Prestrud, A. K. 2005. Low Temperature, but not photoperiod, control growth cessation and dormancy induction and release in apple and pear. *Tree Physiology*. 25: 109-114.
38. \_\_\_\_\_. 2008 Interaction of photoperiod and temperature in the control of growth and dormancy of Prunus species. *Scientia Horticulturae*. 115: 309-314.
39. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Unidad de Agro-clima y Sistema de Información, UY). 2017. Gráfica unidades

de Richardson. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado jun. 2019. Disponible en <http://www.inia.uy/gras/Clima/Variables-clim%C3%A1ticas-INIA>

40. INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología, UY). 2018. Climatología del invierno (junio, julio, agosto) en Uruguay 1981-2010. (en línea). Montevideo, Uruguay. 17 p. Consultado 24 feb. 2019. Disponible en <https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2018-07/Documento-Invierno-2018.pdf>
41. INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, AR). 2010. Pera Williams: manual para el productor y el empacador. (en línea). Buenos Aires. 70 p. Consultado 24 feb. 2019. Disponible en [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual\\_pera\\_williams.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_pera_williams.pdf)
42. Jackson, J. E. 2003. Biology of apples and pears. New York, Cambridge University Press. 489 p.
43. Jacobs, J.; Jacobs, G.; Cook, C. 2002. Chilling period influences the progression of bud dormancy more than does chilling temperature in apple and pear shoots. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 77: 333-339.
44. Kobayashi, K. D. 1987. Mechanisms of rest and dormancy: introduction. *HortScience*. 22(5): 816-816.
45. Kretzschmar, A.; Brighenti, L.; Rufato, L.; Pelizza, T.; Silveira, F.; Miquelutti, D.; Faoro, I. 2011. Chilling requirement for dormancy bud break in european pear. *Acta Horticulturae*. no. 909: 85-88.
46. Lang, G. G.; Early, J. D.; Martin, G. C.; Darnell, R. L. 1987. Endo-, Para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience*. 22(3): 371-377.
47. Lavee, S. 1973. Dormancy and bud break in warm climates; considerations of growth regulator involvement. *Acta Horticulturae*. no. 34: 225 - 234.
48. Llamas, J.; Carvajal, E.; Orozco, A.; Rascon, A.; Romo, A.; Guerrero, V.; González, V.; Gardea, A. 2002. Respuesta metabólica y brotación

de yemas de manzana promotores de brotación. Revista Fitotecnia Mexicana. 25(4): 411-417.

49. Mearns, S.; Palmer, J.; Diack, R.; Ward, S. 2004. Chemical regulation of timing and synchrony of bud break and flowering in different wood types of apple. In: Annual Meeting Plant Growth Regulation Society of America (31<sup>st</sup>, 2004, Charleston, SC). Memories. Charleston, South Carolina, s.e. s.p.
50. Manzi, M. 2007. Evaluación de diferentes tratamientos compensadores de frío en manzanos (*Malus domestica* Borkh.) Cv. Royal Gala. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 73 p.
51. Marodin, G. A.; Lucchese, O. A.; Manfroi, V. 1991. Efeito da aplicação da cianamida hidrogenada e do óleo mineral na quebra de dormência e antecipação de colheita do pessegueiro ' Premier '. Revista Brasileira de Fruticultura. 13(3): 165-171.
52. \_\_\_\_\_; Sartori, I. A.; Guerra, D. S. 2002. Efeito da aplicação de cianamida hidrogenada e óleo mineral na quebra de dormência e produção do pessegueiro "Flamecrest". Revista Brasileira de Fruticultura. 24(2): 426-430.
53. MGAP; FAO (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, UY: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2013. Clima de cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay. Sensibilidad y capacidad adaptativa de la viticultura y la fruticultura frente al cambio climático. Resultado del proyecto FAO TCP URU 3302. Montevideo. cap. 6, 59 p.
54. \_\_\_\_\_. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2006. Encuesta frutícola de hoja caduca: zafra 2005/2006. (en línea). Montevideo. 41 p. (Serie Encuesta no. 240). Consultado 06 may. 2019. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/fruticola\\_de\\_hoja\\_caduca\\_-\\_zafra\\_2005\\_-\\_2006\\_-\\_octubre\\_2006\\_-\\_no\\_240.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/fruticola_de_hoja_caduca_-_zafra_2005_-_2006_-_octubre_2006_-_no_240.pdf)
55. \_\_\_\_\_. 2007. Encuesta frutícola de hoja caduca: zafra 2006/2007. (en línea). Montevideo. 40 p. (Serie Encuesta no. 254). Consultado 06 may. 2019. Disponible en

[http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/fruticola\\_de\\_hoja\\_caduca\\_-\\_zafra\\_2006\\_-\\_2007\\_-\\_octubre\\_2007\\_-\\_no\\_254.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/fruticola_de_hoja_caduca_-_zafra_2006_-_2007_-_octubre_2007_-_no_254.pdf)

56. \_\_\_\_\_. 2009. Encuesta frutícola de hoja caduca: zafra 2008/2009. (en línea). Montevideo. 28 p. (Serie Encuesta no. 280). Consultado 06 may. 2019. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/fruticola\\_de\\_hoja\\_caduca\\_-\\_zafra\\_2008\\_-\\_2009\\_-\\_septiembre\\_2009\\_-\\_no\\_280.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/fruticola_de_hoja_caduca_-_zafra_2008_-_2009_-_septiembre_2009_-_no_280.pdf)
57. \_\_\_\_\_. 2010. Encuesta frutícola de hoja caduca: zafra 2009/2010. (en línea). Montevideo. 28 p. (Serie Encuesta no. 294). Consultado 06 may. 2019. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuesta\\_fruticola\\_de\\_hoja\\_caduca\\_zafra\\_2009\\_-\\_2010\\_no294.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuesta_fruticola_de_hoja_caduca_zafra_2009_-_2010_no294.pdf)
58. \_\_\_\_\_. 2012. Encuesta frutícola de hoja caduca: zafra 2011/2012. (en línea). Montevideo. 28 p. (Serie Encuesta no. 308). Consultado 06 may. 2019. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuesta\\_fruticola\\_de\\_hoja\\_caduca\\_-\\_zafra\\_201112\\_no\\_308.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuesta_fruticola_de_hoja_caduca_-_zafra_201112_no_308.pdf)
59. \_\_\_\_\_. 2013. Encuesta frutícola de hoja caduca: zafra 2013. (en línea). Montevideo. 28 p. (Serie Encuesta no. 317). Consultado 06 may. 2019. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuesta\\_fruticola\\_de\\_hoja\\_caduca\\_-\\_zafra\\_2013\\_-\\_no\\_317.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuesta_fruticola_de_hoja_caduca_-_zafra_2013_-_no_317.pdf)
60. \_\_\_\_\_. 2015. Encuesta frutícola de hoja caduca: zafra 2015. (en línea). Montevideo. 22 p. (Serie Encuesta no. 332). Consultado 06 may. 2019. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuesta\\_fruticola\\_de\\_hoja\\_caduca\\_2015.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuesta_fruticola_de_hoja_caduca_2015.pdf)
61. \_\_\_\_\_. 2016. Encuesta frutícola de hoja caduca: zafra 2016. (en línea). Montevideo. 12 p. (Serie Encuesta no. 338). Consultado 24 feb. 2019. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuesta\\_fruticola\\_de\\_hoja\\_caduca\\_zafra\\_2016\\_1.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuesta_fruticola_de_hoja_caduca_zafra_2016_1.pdf)
62. \_\_\_\_\_. OPYPA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Oficina de Programación y Política Agropecuaria, UY). 2018. Anuario estadístico agropecuario. (en línea). Montevideo. 211 p. Consultado 24 feb. 2019. Disponible en

<http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/oficina-de-1programacion-y-politica-agropecuaria/estadisticas-y-documentos/29-08>

63. Mizobutsi, G. P.; Bruckner, C. H.; Chamhum, L. C.; Ribeiro, R. A.; Ferreira Da Motta, W. 2003. Efeito da aplicação de cianamida hidrogenada e de óleo mineral em caquizeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura* 25(1): 89-92.
64. Nakasu, B. H.; Herter, F. G.; Leite, D. L.; Raseira, M. 1995. Pear flower bud abortion in southern Brazil. *Acta Horticulturae*. no. 395: 185-192.
65. Nir, G.; Shulman, L.; Fanberstein, L.; Levee, S. 1986. Changes I Activity of Catalase (EC 1.11.1.6) in Relation to the Dormancy of Grapevine (*Vitis vinifera* L.) Buds. *Plant Physiology*. 81: 1140-1142.
66. Omran, R. G. 1980. Peroxide levels and the activities of catalase, peroxidase, and indoleacetic acid oxidase during and after chilling cucumber seedlings. *Plant Physiology*. 65: 407-408.
67. Peereboom Voller, C. F.; Yuri, J. A. 2004. Pomáceas: receso y calidad de fruta. Universidad de Talca. *Boletín Técnico* 4(3): 1-4.
68. Pérez, F.; Lira, W. 2005. Possible role of catalase in post-dormancy bud break in grapevines. *Journal of Plant Physiology*. 162: 301-308.
69. \_\_\_\_\_.; Ormeño, J.; Reynaert, B.; Rubio, S. 2008. Utilización del modelo dinámico para evaluar el frío invernal en una localidad de clima templado y otra subtropical de Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 68: 198-206.
70. Petri, J. L.; Leite, G. B.; Yasunobu, Y. 2002. Studies on the causes of floral bud abortion of Japanese pear (*Pyrus Pyrifolia*) in southern Brazil. *Acta Horticulturae*. no. 587: 375-380.
71. Pisano, J.; Soria, J., Cabrera, D.; Rodríguez, P.; Dini, M.; Urraburu, M.; Disegna, E.; Coniberti, A.; Castillo, A. 2014. Variedades de peral. (en línea). In: Seminario de Actualización Técnica en Frutales de Pepita (2014, Las Brujas, Canelones). Presentaciones. Montevideo, INIA. 20 diapositivas. Consultado 24 feb. 2019.

Disponible en  
<http://www.inia.uy/Documentos/Privados/INIA%20LB/Programa%20Frut%C3%ADcola/Seminario%20Pepita%202014/15%20Pisano%20Variedades%20y%20Mejora%20Gen%C3%A9tica%20en%20Peral.pdf>

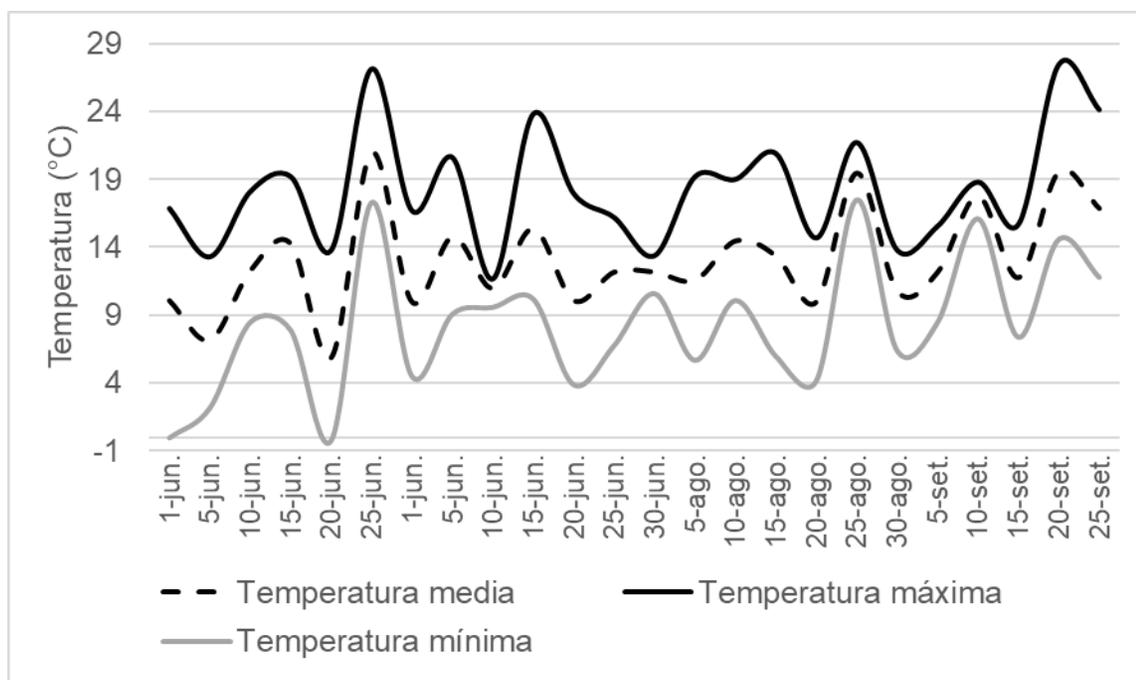
72. Powell, L. E. 1987. Hormonal aspects of bud and seed dormancy in temperate zone woody plants. *Hortscience*. 22(5): 845-850
73. Quintana, E. 2006. Aplicación de promotores de brotación en base a la actividad metabólica de las yemas en manzano 'Golden Delicious'. Tesis Maestría. Chihuahua, México. Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. 92 p.
74. Ramina, A.; Colauzzi, M.; Masia, A.; Potacco, A.; Caruso, T.; Messina, R.; Scalabrelli, G. 1995. Hormonal and climatological aspects of dormancy in Peach buds. *Acta Horticulturae*. no. 395: 35-46.
75. Ribeiro, G. 2004. Maça: produção. Brasília, DF, EMBRAPA. 161 p.
76. Richardson, E. A.; Seeley, S. D.; Walker, D. R. 1974. A model for estimating the completion of rest for "Redhaven" and "Elberta" peach trees. *HortScience* 9: 331-32
77. Rodríguez, A.; Muñoz, A. 2015. Requerimiento de frío invernal en frutales de hoja caduca. INTA. Boletín Agrometeorológico no. 30. 4 p.
78. Sagredo, K. X.; Theron, K. I.; Cook, N. C. 2005. Effect of mineral oil and hydrogen cyanamide concentration on dormancy breaking in "Golden Delicious" apple trees. *South African Journal Plant and Soil*. 22(4): 251-256.
79. Samish, R. M. 1954. Dormancy in woody plants. *Annual Review of Plant Biology*. 5: 183-204.
80. Saure, M. C. 1985. Dormancy release in deciduous fruit trees. *Horticultural Reviews*. 7: 239-300.
81. Schaffer, B.; Andersen, P. eds. 1994. Handbook of environmental physiology of fruit crops. (en línea). Boca Raton, Florida, CRC. 368 p. Consultado jul. 2019. Disponible en

<https://books.google.com.uy/books?id=-UtaDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

82. Seeley, S. 1990. Hormonal transduction of environmental stresses. *HortScience*. 25(11): 1369-1376.
83. Severino, V.; Arbiza H.; Arias, M.; Manzi, M.; Gravina, A. 2012. Manejo de La dormición de manzanos en el Sur del Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*. 16(2): 18-26.
84. Siller-Cepeda, J. H.; Fuchigami, L. H.; Chen, T. H. 1992. Glutathione Content in Peach Buds in Relation to Development and Release of Rest. *Plant Cell Physiology*. 33(7): 867-872.
85. Silva, G. J.; Medeiros, T.; Barbieri, R.; Oliveira, A. 2014. Origin, Domestication, of Pear (*Pyrus spp.*). *Advances in Agriculture*. 2014: 1-8.
86. Soria, L. 2009. Manejo químico de la salida de la dormición en manzano (*Malus domestica* Borkh.) cv. Brasil Gala. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 87 p.
87. Sozzi, G. O.; Martínez, G. P. 2004. Metabolismo energético en primordios vegetativos y de flor en durazneros (*Prunus pérsica*) bajo diferentes regímenes térmicos. *Ciencia e Investigación Agraria*. 31(2): 101-110.
88. \_\_\_\_\_; Gariglio, N.; Figueroa, M. 2007. Dormición en árboles frutales de hoja caduca. In: Sozzi, G. ed. *Árboles frutales: ecofisiología, cultivo y aprovechamiento*. Buenos Aires, Argentina, UBA. Facultad de Agronomía. 85-101.
89. Weinberger, J.H. 1950. Chilling requirements of peach varieties. *Proceeding of the American Society for Horticultural Science*. 56: 122-128.
90. Vegis, A. 1964. Dormancy in Higher Plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 15: 185-224.

## 10 ANEXOS

Anexo 1. Evolución de la temperatura máxima, mínima y media del 2017, desde junio a setiembre



Anexo 2. Porcentaje de brotación (%) en las distintas fechas de evaluación (12 de octubre - 21 de diciembre) para los tratamientos del experimento 1 y 2

Trat.	12-oct.	19-oct.	26-oct.	6-nov.	13-nov.	20-nov.	27-nov.	12-dic.	21-dic.
<b>Experimento 1</b>									
<b>Er21</b>	2,19	2,74	3,15	4,66	7,54	10,22	12,18	13,83	13,63
<b>Er22</b>	2,37	4,33	4,07	8,08	9,34	13,11	15,14	17,40	16,53
<b>Er11</b>	0,79	1,34	1,03	1,70	5,20	9,65	14,65	17,56	17,52
<b>Er12</b>	1,34	2,37	3,02	3,40	5,20	8,21	13,40	14,97	15,06
<b>Ac11</b>	2,92	5,11	5,42	6,17	9,09	13,86	17,50	18,81	18,79
<b>Ac12</b>	2,58	3,91	5,26	6,99	9,43	11,97	15,89	16,67	16,48
<b>Experimento 2</b>									
<b>Er31</b>	8,34	9,13	9,27	7,87	9,2	11,5	11,7	14,5	15,1

<b>Ch11</b>	6,92	7,24	8,02	8,27	11,59	14,2	16,4	18,8	19
<b>Te</b>	1,29	2,1	4,01	6,34	11,02	12,9	14,5	16,2	16,4
<b>Er23</b>	1,16	4,43	6,86	7,65	9,17	11,9	16,8	17,7	18,3

Anexo 3. Porcentaje de brotación final (%) discriminada por tipo de yema y estructura según tratamientos del experimento 1 y 2

<b>Trat.</b>	<b>Dardo veg.</b>	<b>Dardo rep.</b>	<b>Yema veg.</b>	<b>Yema rep.</b>	<b>Yema apical</b>
<b>Experimento 1</b>					
<b>Er21</b>	38,94	0,11	12,90	1,28	17,38
<b>Er22</b>	47,95	0,06	17,11	1,49	10,16
<b>Er11</b>	45,08	0,21	18,15	1,36	8,23
<b>Er12</b>	39,27	0,00	15,46	0,78	20,03
<b>Ac11</b>	45,27	0,54	21,26	3,37	18,90
<b>Ac12</b>	37,21	0,16	21,86	2,80	16,14
<b>Experimento 2</b>					
<b>Er31</b>	41,30	0,09	15,20	0,02	15,20
<b>Ch11</b>	37,70	0,18	19,50	0,15	18,60
<b>Te</b>	45,60	0,00	16,60	0,01	15,50
<b>Er23</b>	35,90	0,36	17,80	0,05	21,50

Anexo 4. Estadística descriptiva de los porcentajes de brotación según estructura y tipo de yema de tres productores e INIA LB

<b>Brindillas</b>						
<b>Productor</b>	<b>Yemas no brotadas</b>		<b>Yemas veg. brotadas</b>		<b>Yemas rep. brotadas</b>	
	<b>Mediana</b>	<b>DE</b>	<b>Mediana</b>	<b>DE</b>	<b>Mediana</b>	<b>DE</b>
<b>INIA LB</b>	9,00	4,89	1,00	1,22	1,00	1,20
<b>1</b>	9,00	2,87	1,00	1,18	6,00	0,00
<b>2</b>	4,00	2,64	5,00	4,21	1,00	0,85
<b>3</b>	4,00	2,12	5,00	3,13	1,00	2,14
<b>Dardos</b>						
<b>Productor</b>	<b>No brotados</b>		<b>Veg. brotados</b>		<b>Rep. brotados</b>	
	<b>Mediana</b>	<b>DE</b>	<b>Mediana</b>	<b>DE</b>	<b>Mediana</b>	<b>DE</b>
<b>INIA LB</b>	10,5	6,31	8,00	7,77	1,00	1,83

<b>1</b>	11,00	3,46	9,00	4,77	2,50	2,16
<b>2</b>	4,50	4,89	12,00	5,13	2,00	1,97
<b>3</b>	2,00	1,92	17,00	2,87	1,00	3,03

DE: desviación estándar