

Modelos de cuantificación de frío efectivo invernal adaptados a la producción de manzana en Uruguay

Severino Vivian¹, Arbiza Héctor, Arias Mercedes, Manzi Matías, Gravina Alfredo

¹Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Garzón 780, Montevideo, Uruguay.
Correo electrónico: vseverin@fagro.edu.uy

Recibido: 23/8/10 Aceptado: 26/8/11

Resumen

La cuantificación del frío invernal se realiza actualmente en Uruguay con los modelos UTAH y HF, aunque existe evidencia de la falta de ajuste en relación al comportamiento fenológico de la mayoría de los cultivares. Dada la amplia utilización de productos compensadores de frío en cultivos de manzana (*Malus domestica*), la adecuada cuantificación del frío invernal debería ser un insumo clave para la determinación de las necesidades de aplicación y el momento de su realización. El presente trabajo consistió en cuantificar el frío ocurrido durante el período de endodormición con seis modelos, en dos cultivares de manzana (Red Chief, Granny Smith), evaluando su performance según parámetros del desarrollo del proceso de brotación. Los modelos utilizados fueron HF, UTAH, UTAH+, Modelo Dinámico, North Carolina Model y Modelo para condiciones Subtropicales. El inicio del proceso de salida de endodormición se fijó cuando se alcanzó el 50% de la caída de hojas y su finalización fue definida en cámara de crecimiento controlado cuando se alcanzó el 50% de brotación en brindillas. Si bien el modelo Dinámico se muestra como el más promisorio, para determinar el ajuste de un modelo es necesario un mayor número de años.

Palabras clave: Horas de Frío, *Malus domestica*, Unidades de Frío

Summary

Models for Quantifying Winter Effective Chilling Adapted to Uruguayan Apple Production

In Uruguay UTAH and CH models are usually applied for estimation of chilling accumulation, regardless of which specie or cultivar is considered, although there are evidences of lack of fitness to the phenologic behaviour of the most cultivars. Chemical rest breaking agents to compensate the chilling requirements in apple (*Malus domestica* Borkh) are widely used and winter chill quantification should be a relevant issue to adjust this technique. The objective of this work was to quantify the occurrence of winter chill during the endodormancy period with six models, in two apple cultivars ('Red Chief', 'Granny Smith'), according to development indicators of sprouting process. The models used were CH, UTAH, UTAH+, Dynamic Model, North Carolina Model and Model for Subtropical Conditions. Beginning of the endodormancy release was considered when 50% of leaf fall was reached and the end of the process when 50% of one-year-old shoot buds sprouted in a forcing chamber. Although the Dynamic model appears to be more promising, a longer evaluating period is needed to evaluate the fitness of these models.

Key words: Chill Hours, *Malus domestica*, Chill Units

Introducción

El período de dormición invernal que presentan los frutales de hoja caduca, marca el fin de un ciclo productivo y el inicio del siguiente, constituyendo a la vez el nexo entre ambos. En este período pueden distinguirse dos procesos: endodormición y ecodormición. El primero es controlado dentro de la propia estructura y el segundo controlado ambientalmente (Dennis, 1994). De estos procesos centramos la atención en el de endodormición, el cual en términos generales se considera inducido principalmente por el acortamiento de los días y en segundo lugar por las bajas temperaturas (Arora *et al.*, 2003; Welling *et al.*, 2004), aunque según Sozzi *et al.* (2007) en el género *Malus* la dormición no es afectada por el fotoperíodo. En relación a la salida del reposo, parece existir consenso en que las bajas temperaturas son el principal promotor (Erez, 2000). La endodormición está influenciada por las condiciones del ciclo precedente y determina características del siguiente, afectando la intensidad y distribución de la brotación y constituyendo la primera instancia en la determinación de la producción.

Las necesidades de frío invernal para la salida de la endodormición están determinadas genéticamente y son características de cada especie y cultivar (Botelho y Müller, 2007). Actualmente, la producción de manzanas en Uruguay está basada en cultivares con medios a altos requerimientos de frío, tales como los cultivares del grupo Red Delicious, con Granny Smith como polinizadora, que ocupan el 75% de la producción total nacional. Las nuevas plantaciones incluyen cultivares de los grupos Gala, Fuji y Cripps Pink, que comprenden un 24% de la producción total (DIEA, 2009).

Bajo las condiciones climáticas de Uruguay (ubicado entre 30 y 35 °S y alturas máximas sobre el nivel del mar de aproximadamente 500 m), y los cultivares de manzano utilizados, la deficiencia de frío invernal se muestra muchos años como una limitante para la producción.

Una de las herramientas utilizadas en la producción para predecir las características de la brotación y determinar la necesidad de aplicación de productos compensadores de frío, es la modela-

ción de las condiciones climáticas del invierno. La correcta cuantificación del frío ocurrido, ha constituido desde 1932, un campo de estudio que aún permanece activo. En 1950, Weinberger propone el concepto de Hora Frío, y más tarde es publicado el modelo conocido como «Utah model» que incorpora el concepto de Unidad de Frío (Richardson *et al.*, 1974). Estos modelos han tenido una importante adopción en las zonas de cultivo de frutales de hoja caduca, pero han mostrado no predecir correctamente el fin del receso bajo condiciones de inviernos templados (Shaltout y Unrath, 1983).

Durante las décadas de 1980 y 1990, se han desarrollado modelos de cuantificación del frío efectivo para la salida de la endodormición, generados para diferentes tipos de clima y especies. Estos nuevos modelos, incorporan modificaciones de rangos de temperatura determinados para otros cultivares o especies basados en el concepto de unidades de frío, como es el caso del modelo propuesto por Shaltout y Unrath (1983). Posteriormente en 1987, Erez y Couvillon proponen el modelo dinámico, en el cual se describe la salida de la dormición como un proceso en dos pasos. El primer paso se asume como un proceso reversible de formación y destrucción de un precursor térmicamente lábil. Cuando una porción crítica del precursor es almacenada, éste es transferido irreversiblemente en el segundo paso en una porción de un factor estable (Erez *et al.*, 1990). Este concepto se incorpora en el modelo desarrollado por Linsley-Noakes *et al.* (1994) denominado Unidades de Frío Positivas, en el cual se contabiliza el frío ocurrido de acuerdo al modelo Utah, pero sin trasladar unidades de frío negativas de un día al siguiente, por lo que el mínimo de unidades de frío que pueden ser acumuladas en un día es cero (Cook y Jacobs, 2000). El modelo propuesto por Del Real Laborde *et al.* (1990), denominado Modelo para Condiciones Subtropicales, propone variaciones en el efecto provocado por los diferentes rangos de temperatura, en función del avance del proceso de endodormición.

Según Fennell (1999), las interacciones de genotipo con los factores medioambientales y las prácticas culturales, continúan limitando la habilidad para predecir de forma consistente y regular la inducción,

el mantenimiento y la salida de la dormición, por lo que algunos autores plantean la necesidad de desarrollar o adaptar modelos para condiciones específicas de especies y clima (Erez y Couvillon, 1987).

En Uruguay la ocurrencia de frío invernal se cuantifica exclusivamente según los modelos propuestos por Weinberger (1950) y Richardson *et al.* (1974), y la investigación realizada hasta el momento se ha centrado en la regionalización del país según dichos modelos. Díaz Clara (1978), determinó isólinas de horas de frío utilizando información de las estaciones de la Dirección Nacional de Meteorología y más tarde se concluyó que el modelo de Richardson ajusta más al comportamiento de cultivares de duraznero, que el modelo de horas de frío propuesto por Weinberger (Talice *et al.*, 1987). Otro punto crítico en la cuantificación del frío, lo constituye el momento de inicio del cálculo de frío efectivo para la salida de la dormición, que es generalmente una fecha empíricamente escogida, determinando que muchas unidades de frío contabilizadas no sean efectivas. Este desajuste se debería a que la eficiencia del frío en la ruptura de la dormición comienza una vez que ésta ha alcanzado su máximo (Arora *et al.*, 2003), lo cual coincide con el 50% de hojas caídas, y con el hecho de que la presencia de hojas reduce en un 60% la eficiencia del frío (Peereboom Voller y Yuri, 2004).

En nuestras condiciones, el frío invernal se contabiliza a partir del primero de mayo, aunque se presentan importantes variaciones en la fecha de caída de hojas, y a pesar de la falta de ajuste que han mostrado los modelos utilizados, no se han evaluado otros. El presente trabajo plantea como objetivo realizar un estudio comparativo del ajuste de diferentes modelos de cálculo de frío invernal con el comportamiento de los cultivares Red Chief y Granny Smith.

Materiales y métodos

La cuantificación del frío ocurrido durante el período de endodormición de los cultivares Red Chief y Granny Smith fue determinado en las temporadas 2005 y 2006 con los modelos Weinberger (1950), Richardson *et al.* (1974), Shaltout y Unrath (1983), Erez y Couvillon (1987), Linsley-Noakes *et al.* (1994) y dos estimaciones basadas en el modelo de del

Real Laborde *et al.* (1990). Para ello fueron utilizadas plantas en condiciones de cultivo comercial bajo riego localizado, ubicadas en la zona de Joanicó, Canelones (34° 37' S, 56° 11' W, 40 m sobre el nivel del mar). El manejo sanitario de la plantación se realizó de acuerdo al manejo general de la quinta, excluyendo la aplicación de aceites para el control de *Quadraspidiotus perniciosus* (Piojo de San José), por la influencia que pudiera tener sobre el proceso de endodormición.

La aplicación de los modelos de cálculo para realizar la cuantificación del frío invernal fue realizada durante el período de acumulación, para lo cual se determinaron los momentos de inicio y finalización.

Determinación del período de acumulación de frío

De abril a setiembre de ambos ciclos productivos se colectaron 25 brindillas (crecimientos vegetativos de la última temporada de crecimiento con entrenudos largos que en ocasiones puede presentar diferenciada la yema floral terminal) de 25-50 cm de longitud de cada cultivar (Red Chief y Granny Smith) en intervalos de 10 días. Las mismas fueron colocadas en cámara de crecimiento en condiciones de brotación: temperatura, 20 °C +/- 2 °C; fotoperíodo, 16 h luz (250 mE m⁻² s⁻¹) y 8 h de oscuridad y humedad relativa de 90%. Las brindillas fueron colocadas con la porción basal sobre bandejas conteniendo una altura de 1cm de agua, la cual se sustituyó cada tres días, retirándose mediante un corte la zona basal de la brindilla.

El período de acumulación de frío, se fijó como el tiempo desde que ocurrió el 50% de caída de hojas, hasta la fecha de colecta en que se alcanzó una brotación del 50% luego de una permanencia en cámara de tres semanas, según lo propuesto por Dennis (2003). El 50% de brotación se determinó en la fecha a partir de la cual el intervalo de confianza para el estimador de la proporción ($\alpha = 0.05$) incluye el valor 50 de manera sostenida en sucesivas extracciones, o bien se estabiliza en un valor menor.

Adicionalmente se calculó la tasa de brotación, como 1/(días hasta 25% de brotado de yemas terminales) de acuerdo a la metodología propuesta por Halgryn *et al.* (2001).

Ajuste de modelos de cálculo

Para el ajuste de los modelos de cálculo de frío efectivo se registraron las temperaturas horarias desde abril hasta la brotación, utilizándose dos fuentes de datos. Por una parte datos obtenidos de un sensor HOBO® ubicado a nivel de las plantas, sobre el líder central a una altura aproximada de 1,20 m, con frecuencia de registro horario, y por otra, datos provenientes de la estación meteorológica más cercana. En 2005 se utilizó la estación meteorológica de INIA Las Brujas, ubicada a 12,9 km del predio y en 2006 la del Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía, instalada ese año, a 2,8 km del predio.

La cuantificación fue realizada en el período de endodormición determinado previamente, según los siguientes modelos:

- Horas de Frío, (Weinberger, 1950), en donde una hora con temperaturas por debajo de 7,2 °C es contabilizada como una Hora de Frío (HF).
- Utah, (Richardson *et al.*, 1974) en donde se contabilizan Unidades de Frío (UF), según escala detallada en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Escalas propuestas para los modelos UTAH (Richardson *et al.*, 1974) y Shaltout y Unrath (1983).

UF	Temperatura (°C)	
	UTAH	Shaltout y Unrath
0	< 1,4	-1,1
0,5	1,5-2,4	1,6
1	2,5-9,1	7,2
0,5	9,2-12,4	13,0
0	12,5-15,9	16,5
-0,5	16-18	19
-1	>18	20,7
-1,5		22,1
-2		23,3

- North Carolina, (Shaltout y Unrath, 1983) en donde se contabilizan unidades de frío (UF), según las escalas detalladas en el Cuadro 1.
- Utah+, (Linsley-Noakes *et al.*, 1994), en donde se calculan UF con la misma escala que el modelo Utah, pero los valores negativos solo se contabilizan dentro del día, y por tanto el mínimo de UF que pueden ser acumuladas en un día es igual a cero.
- Modelo dinámico (Erez y Couvillon, 1987), en donde se contabilizan unidades de frío considerando un proceso en dos pasos (el primero reversible, de formación y destrucción de un precursor térmicamente lábil, y el segundo irreversible, transferencia a una porción de un factor estable), Figura 1.
- Modelo para condiciones subtropicales (Del Real Laborde *et al.*, 1990), en donde se contabilizan unidades de frío según la matriz detallada en el Cuadro 2, fraccionando el período según dos criterios: el primero fracciona en función de la cuantificación realizada por el modelo Utah y el segundo fracciona el período de acumulación en intervalos de tiempo de igual longitud.

Los modelos de cálculo de frío invernal ejecutados en los períodos previamente definidos se compararon en función de los siguientes criterios: (a) La constancia de las cuantificaciones realizadas por un modelo en diferentes años para el período de endodormición de un cultivar determinado; (b) El mantenimiento de las diferencias alcanzadas por las cuantificaciones de un modelo entre cultivares en diferentes años; (c) La relación entre las cuantificaciones realizadas por los modelos y las características de la brotación en campo.

Por otra parte se analizaron las variaciones que presentaron los resultados de las distintas modelizaciones en función del origen de los datos (estación meteorológica o sensores en el campo).



Figura 1. Esquema de cálculo de UF según el Modelo Dinámico.

Cuadro 2. Matriz de cálculo de unidades de frío (UF) según el modelo para condiciones subtropicales (del Real Laborde *et al.*, 1990).

Temp °C	Fracción de acumulación de unidades de frío									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0	0,0	0,0	0,3	0,5	0,7	0,7	0,7	0,5	0,0	0,0
2	0,0	0,3	0,5	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,5	0,0
4	0,5	0,5	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5
6	0,7	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,96	1,0	1,0	0,7
8	0,5	0,5	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,5
10	0,0	0,0	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,3	-0,3	0,3
16	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,7	-0,7	-0,7	-0,5	-0,5	0,3
18	-0,5	-0,5	-0,5	-0,7	-1,0	-1,0	-1,0	-0,7	-0,7	0,5
20	-0,5	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,5	-1,5	-1,0	-0,7	0,5
22	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,5	-1,5	-1,0	-1,0	1,0
24	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,5	-1,5	-1,0	-1,0	1,0

Brotación en campo

En ambos años de estudio se cuantificó la brotación en condiciones de campo, determinándose los momentos de inicio de brotación, 50% de yemas brotadas y el porcentaje final de yemas brotadas. Dicha evaluación fue realizada en una rama por árbol empleándose tres repeticiones de dos árboles, para cada cultivar.

Análisis estadístico

La proporción de yemas brotadas se analizó según el test de razón de verosimilitud, con el modelo lineal generalizado (McCullagh y Nelder, 1989), asumiendo distribución binomial y utilizándose la función logit del procedimiento genmod. Adicionalmente se realizaron estimaciones por intervalo para la proporción de brotación. El nivel de significancia utiliza-

do en las comparaciones y en la construcción del intervalo (α) fue de 0.05. Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa SAS[®] 2008.

Resultados

La evolución del porcentaje de brotación de yemas en cámara, para ambos cultivares (Red Chief y Granny Smith) y años (2005 y 2006), se presenta en la Figura 2.

Los períodos de acumulación de frío para ambos cultivares y años, comprendidos desde el 50% de caída de hojas, hasta la fecha de extracción de brindillas en que se alcanza el 50% de brotación luego de tres semanas en cámara de crecimiento se muestran en el Cuadro 3, observándose una extensión mayor en Red Chief que en Granny Smith.

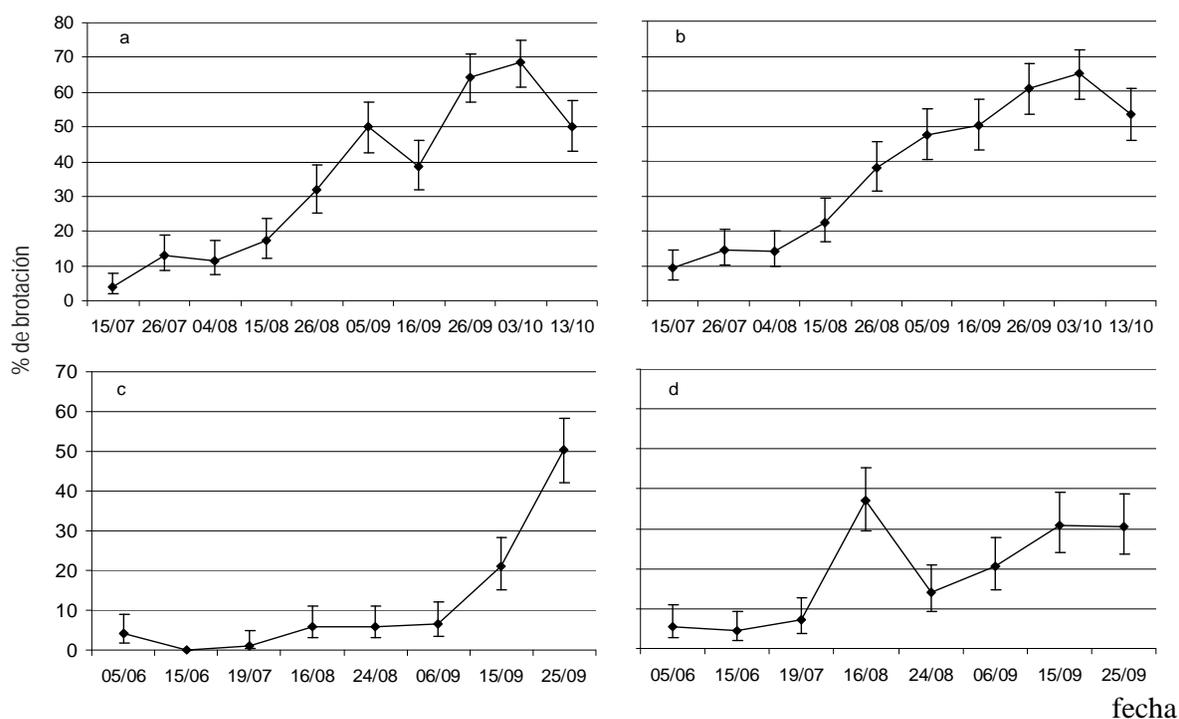


Figura 2. Evolución del porcentaje de brotación en cámara de crecimiento para ambos cultivares y años. a) Red Chief, 2005; b) Granny Smith, 2005; c) Red Chief, 2006 y d) Granny Smith, 2006.

Cuadro 3. Período de endormancia estimado y cuantificación de horas y unidades de frío estimados con datos provenientes de sensores en campo, según modelo para ambos años y cultivares.

Año	Cultivar	Período de endormancia	UTAH	Horas de frío	Shaltout y Unrath	UTAH+	Modelo dinámico	Modelo para condiciones subtropicales ¹	Modelo para condiciones subtropicales ²
2005	R. Chief	1 jun – 26 set	468	583	708	730	399	348	444
	G. Smith	7 jun – 5 set	442	501	666	604	337	379	286
2006	R. Chief	29 may – 25 set	343	752	557	560	343	235	244
	G. Smith	10 jun – 25 set	333	664	540	520	324	245	226

¹Estimación basada en el modelo para condiciones subtropicales propuesto por del Real Laborde, fraccionando el período de acumulación en función del modelo UTAH.

²Estimación basada en el modelo para condiciones subtropicales propuesto por del Real Laborde, fraccionando el período de acumulación en períodos de tiempo de igual longitud.

Las dos metodologías utilizadas para establecer la finalización de la endodormición presentaron variación en la duración de los períodos definidos. Con el método del 50% de brotación, los períodos de acumulación muestran diferencias máximas de 27 días y mínimas de 12 días entre cultivares, mientras que para el ciclo 2006, cuando la finalización del período de acumulación fue definida según la tasa de brotación de yemas terminales, el mínimo de 12 días aumentó a 20 días producto de un período de acumulación menor para el cultivar Granny Smith (datos no presentados). Sin embargo, la frecuencia semanal de evaluación realizada en cámara y/o la frecuencia de extracción de ramas en campo, no permiten alcanzar la suficiente sensibilidad para establecer el fin de la dormición según esta metodología.

Las cuantificaciones realizadas en dichos períodos por los diferentes modelos con datos provenientes

de los sensores ubicados en el campo se presentan en el Cuadro 3 y las realizadas con datos provenientes de estación meteorológica se presentan en el Cuadro 4.

Los resultados de la comparación de los modelos de cálculo de frío invernal en función de la constancia entre años para la evaluación de un cultivar, se muestra en el Cuadro 5. Los valores representan el porcentaje de aumento o disminución que constituyó la cuantificación del año 2006 en relación con la realizada en el año 2005. Para la mayoría de los modelos, el año 2006 tuvo menor acumulación de frío que el año 2005 a excepción del modelo de Weinberger. Las menores variaciones para ambos cultivares fueron las presentadas por el modelo dinámico, seguido por el modelo Utha+, mientras que las mayores variaciones para ambos cultivares fueron presentadas por las estimaciones basadas en el modelo para condiciones subtropicales. En prome-

Cuadro 4. Cuantificación del frío ocurrido en el período de endodormancia de cada combinación año-cultivar según los diferentes modelos de cálculo con datos provenientes de estación meteorológica.

Año	Cultivar	Modelo				
		UTAH	Horas Frío	Shaltout	UTAH+	dinámico
2005	Red Chief	745	409	1183	1023	532
	Granny Smith	668	311	1038	857	449
2006	Red Chief	911	552	1322	1072	580
	Granny Smith	856	519	1217	987	530

Cuadro 5. Porcentaje de variación de la cuantificación realizada en el 2006 en relación a la realizada en la temporada 2005.

Cultivar	UTAH	Horas Frío	Shaltout	UTAH+	Modelo dinámico	m. para condiciones subtropicales ¹	m. para condiciones subtropicales ²
Red Chief	-26,7	29,0	-21,3	-23,3	-14,0	-32,5	-45,0
Granny Smith	-24,7	32,5	-18,9	-13,9	-3,9	-35,3	-21,0

dio, estas variaciones constituyeron un 8,9% y 18,6 porcentajes para los modelos más estables y 33% para los modelos más variables.

Las diferencias de requerimientos de frío estimadas entre cultivares para cada modelo de cálculo, mostraron un mayor requerimiento para el cultivar Red Chief en comparación con Granny Smith, a excepción de la primer estimación del modelo para condiciones subtropicales. Sin embargo las cuantificaciones fueron en promedio 14% superiores para Red Chief.

Se compararon las diferencias de requerimientos entre cultivares estimadas por cada modelo para los dos años de estudio, observándose que los modelos que mantuvieron mayor estabilidad fueron Horas de Frío y Utah, 2,7% y Shaltout y Unrath 3%, mientras que el modelo dinámico y el modelo Utah+ alcanzaron un 10% de variación. El modelo más variable resultó la segunda estimación del modelo para condiciones subtropicales con un 30% de diferencia entre años.

En la Figura 3 se presenta la información referente a la brotación en campo de ambos cultivares y años.

Discusión

Los períodos de acumulación de frío presentados en el Cuadro 3, concuerdan con lo esperado según los requerimientos de frío mayores que son comúnmente citados para los cultivares del grupo Red Delicious. Estos cultivares son clasificados como de altos requerimientos, mientras que la clasificación asignada a Granny Smith oscila entre medios y medios a altos según varios autores (Campbell, 2005; Frías, 2006).

La brotación forzada de yemas en cámara, alcanzada por las brindillas extraídas en las fechas de caída de hojas (Figura 2), comprueba la profundidad de la dormición alcanzada en dicho momento. Si bien no fue posible determinar el inicio del período de acumulación por este método, dado que no se observa un descenso en el porcentaje de yemas brotadas obtenido en las extracciones tempranas, la reducida brotación existente en las fechas siguientes al 50% de caída de hojas, y el frío acumulado que fue necesario para que comenzara a observarse brotación, apoyan la teoría de que el frío comienza a acumularse en dicho estado fenológico.

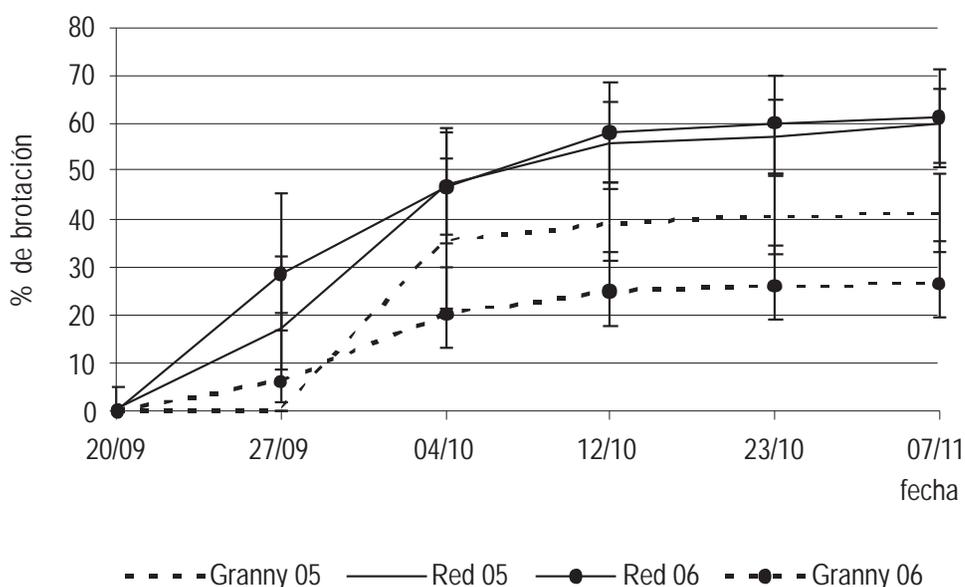


Figura 3. Evolución del porcentaje de brotación en campo según año y cultivar.

Las diferencias de requerimientos de frío estimadas entre cultivares (14%) resultaron menores a lo esperado en función de las citadas en la literatura, ya que según las fuentes consultadas, podríamos esperar valores aproximados de 600 HF para Granny Smith y 900-1000 para los cultivares del grupo delicious, lo cual establece un valor 50% mayor para Red Chief en relación con Granny Smith. Como fue discutido previamente, esta reducida sensibilidad presentada por las cuantificaciones a las diferencias entre cultivares, podría estar más asociada a la metodología utilizada para definir el final del período de acumulación que a los modelos en sí mismos. Igual consideración realizamos para la interpretación de la estabilidad de estas diferencias, donde, los modelos que muestran mayor estabilidad, son aquellos que alcanzan menores diferencias en las cuantificaciones realizadas para los distintos cultivares en un año dado.

Los porcentajes de brotación en campo fueron acordes a los obtenidos en cámara de crecimiento (Figuras 2 y 3), y si bien el cultivar Granny Smith muestra porcentajes significativamente menores de brotación final ($\alpha = 0.05$), la concentración de la brotación es mayor en dicho cultivar, lo que podría considerarse producto del satisfactorio cumplimiento de los requerimientos de frío y muestra el ajuste logrado entre la metodología propuesta de evaluación en cámara y el comportamiento a campo.

Los modelos ejecutados con datos obtenidos de estación meteorológica, evidenciaron importantes diferencias con los obtenidos con sensores de campo. El modelo que presentó menor variación entre los dos orígenes de datos fue el modelo de Horas de Frío. Esto puede explicarse porque las diferencias entre las temperaturas horarias registradas por un método y otro, se encuentran mayoritariamente en los valores extremos, intervalos en los que este modelo no presenta límites de acumulación. Sin embargo, para los modelos que plantean acumulación negativa de frío en determinadas temperaturas o no acumulación en ciertos rangos, se presentaron diferencias importantes. Dentro de este grupo de modelos el de Utah fue el más variable. En el 2006 la cuantificación realizada con datos de estación meteorológica fue un 261% de la cuantificación obtenida

con los datos de campo. Esta relación para el modelo dinámico alcanza al 161% en el 2006 y 133% en el 2005. El uso de uno u otro origen de datos plantea la discusión entre la utilización de un registro de temperatura, que por estar en condiciones más similares a las que se encuentra la yema pueda mostrar un valor más cercano a la real temperatura a la que está expuesta dicha estructura, en contraposición con la utilización de un registro estandarizado. La decisión de utilizar uno u otro registro debería estar asociada al objetivo planteado; por tanto, para cuantificar la acumulación de frío en una parcela, probablemente serán más eficientes los registros provenientes de la misma, mientras que de los registros obtenidos de casilla meteorológica puedan obtenerse resultados útiles para la regionalización de áreas mayores. Por otra parte debe destacarse que para la formulación de los modelos, han sido utilizadas cámaras de crecimiento en donde es registrada la temperatura del aire en el cual se mantiene la yema, condición que se ve modificada al trasladar los modelos a las condiciones de campo y registros de casilla.

Otro elemento que puede contribuir de forma importante a la interpretación del ajuste de los modelos de cálculo de requerimientos de frío invernal, es la respuesta a la aplicación de productos químicos con acción compensadora. Debido a la singularidad de la respuesta de las diferentes cultivares en los diferentes años, su interpretación analizada en función de la fecha de aplicación de los productos compensadores frío, puede resultar muy valiosa para el ajuste de modelos de cálculo.

Los modelos de cuantificación de frío evaluados muestran diferentes grados de ajuste en función de los criterios utilizados. Si bien el modelo dinámico se muestra como el más promisorio, del análisis realizado no surge un modelo que resulte el más adecuado en función de todos los criterios de comparación para nuestras condiciones.

Esta falta de ajuste de los modelos podría estar influenciada por un lado, por la metodología empleada para la determinación de los períodos de acumulación, y por otro por las diferencias existentes entre la temperatura a la que está expuesta la yema y la utilizada en las cuantificaciones. Por tanto, para con-

tribuir a determinar una forma de cálculo del frío efectivo que ajuste adecuadamente en nuestras condiciones de cultivo, se proponen dos modificaciones a la metodología empleada en este estudio. En primer lugar determinar si la tasa de brotación de yemas terminales no resulta una metodología más adecuada para determinar el fin de la endodormición que el 50% de brotación, a pesar de que esta última es la forma más ampliamente difundida. En segundo lugar, ajustar los datos de temperatura empleados en las cuantificaciones a la temperatura a la que está expuesta la yema, incorporando otros elementos del clima que junto a la temperatura del aire, puedan contribuir a representar lo que podría definirse como la «sensación térmica de la yema». Estos elementos podrían consistir en radiación incidente o nubosidad, humedad relativa, velocidad del viento y precipitaciones. Todas estas variables afectan a la temperatura de la yema y presentan una gran variabilidad en nuestro clima, por lo que entendemos que podrían contribuir a ajustar el dato de temperatura utilizado en los modelos de cálculo y mejorar así el ajuste de los mismos.

Agradecimientos

CSIC- Udelar

Bibliografía

- Arora R, Rowland LJ, Tanino K. 2003. Induction and release of bud dormancy in woody perennials: a science comes of age. *HortScience*, 38(5):911-921.
- Botelho RV, Müller MML. 2007. Evaluation of garlic extract on bud dormancy release of 'Royal Gala' apple trees. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47:738-741.
- Campbell J. 2005. Apple varieties. 2nd. Ed. NSW Government, Australia. (Agfact: H4.1.12). Disponible en: <http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/horticulture/pomes/varieties#Introduction>, mayo 2011
- Cook N, Jacobs G. 2000. Progression of apple (*Malus x domestica* Borkh.) bud dormancy in two mild winter climates. *Journal of Horticultural Science. & Biotechnology* 75(2):233-236.
- Del Real Laborde J, Anderson J, Seeley S. 1990. An Apple Tree Dormancy Model for Subtropical Conditions. *Acta Horticulturae* 276:183-191.
- Dennis Jr. F. 2003. Problems in standardizing Methods for Evaluating the Chilling Requirements for the Breaking of Dormancy in Buds of Woody Plants. *HortScience* 38(3):347-349.
- Dennis Jr. F. 1994. Dormancy-what we know (and don't know). *HortScience* 29(11):1249-1255.
- Díaz Clara W. 1978. Primera determinación de horas de frío en el Uruguay. Ministerio de Defensa Nacional. Departamento de Agrometeorología. Nota técnica nº 8. 6 p.
- DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2009. Encuesta frutícola de hoja caduca: Zafra 2008/09. MGAP, Uruguay. 28p. (Serie encuesta: 280).
- Erez A. 2000. Bud Dormancy: a Suggestion for the Control Mechanism and its Evolution. In *Dormancy in plants*. Cambridge, UK. CABI Publishing: 23-33.
- Erez A, Fishman S, Linsley-Noakes G, Allan P. 1990. The dynamic model for rest completion in peach buds. *Acta Horticulturae*. 276:165-174.
- Erez A, Couvillon GA. 1987. Characterization of the influence of moderate temperatures on rest completion in peach. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 112(4):677-680.
- Fennell A. 1999. Systems and Approaches to Studying Dormancy. *HortScience* 34(7):1171-1173.
- Frias M. 2006. Requerimiento de frío en frutales. Pomáceas. Boletín técnico 6(4) 3p.
- Halgryn PJ, Theron KI Cook NC. 2001. Genotypic response to chilling period of apple buds from two Western Cape localities. *South African Journal of Plant Soil* 18(1):21-27.
- Linsley-Noakes GC, Allan P, Matthee GW. 1994. Modification of rest completion models for improved accuracy in South African stone fruit orchards. *Journal of the Southern African Society for Horticultural Sciences* 4(1):13-15.
- McCullagh P, Nelder JA. 1989. Generalized Linear Models. Chapman and Hall. Londres. 511 p.
- Peereboom Voller CF, Yuri JA. 2004. Receso y calidad de fruta. Boletín técnico, Centro de Pomáceas, Universidad de Talca, Boletín Técnico, Volumen 4, Número 3.
- Richardson EA, Seeley SD, Walter DR. 1974. A model for estimating the completion of rest for «Redhaven» and «Elberta» Peach trees. *HortScience* 9(4):331-332.
- Shaltout AD, Unrath CR. 1983. Effect of some growth regulators and nutritional compounds as substitutes for chilling of 'Delicious' apple leaf and flower buds. *Journal of the American Society For Horticultural Science* 108(6):898-901.
- Sozzi G, Gariglio N, Figueroa M. 2007. Dormición en árboles frutales de hoja caduca. En: *Arboles frutales, ecofisiología, cultivo y aprovechamiento*. pp:83-103. Ed. Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina.
- Talice R, Contarin S, Curbelo L. 1987. Evaluación de dos métodos de medida de frío invernal para las condiciones de Uruguay. *Anales IX Congreso Brasileiro de fruticultura*. p. 773-777.
- Weinberger JH. 1950. Chilling requirements of peach varieties. *Proceeding of the American Society for Horticultural Science*. 56:122-128
- Welling A, Rinne P, Viherä-Aarnio A, Kontunen-Soppela S, Heino P, Palva E. 2004. Photoperiod and temperature differentially regulate the expression of two dehydrin genes during overwintering of Inc. (*Betula pubescens* Ehrh.). *Journal of Experimental Botany* 55(396):507-516.