

UTILIZACIÓN DEL MODELO DINÁMICO PARA EVALUAR EL FRÍO INVERNAL EN UNA LOCALIDAD DE CLIMA TEMPLADO Y OTRA SUBTROPICAL DE CHILE

Use of the dynamic model for the assessment of winter-chilling in a temperate and a subtropical climatic zone of Chile

Francisco J. Pérez^{1*}, Juan Ormeño N.^{2*}, Bryan Reynaert¹, Sebastián Rubio¹

ABSTRACT

Accumulated chilling was estimated by applying three different models to the hourly autumn-winter temperature records from Santiago (33°34' S lat; 625 m.a.s.l.) and Vicuña (30°02' S lat; 643 m.a.s.l.) for the years 2005 and 2006. The model of chilling hours, currently used in Chile as an agroclimatic indicator, was of limited use for effectively contrasting a subtropical condition (Vicuña) with a temperate area such as Santiago. The application of the Utah model gave negative values from March to May even up to June in Vicuña, since in this model the chilling effect is “negated” by warmer temperatures. However, a modified version of the Utah model named Positive Chilling Units (UFP) in which negative values are omitted, showed differences in the accumulated chilling between both regions, although these differences were of small magnitude and only visualized from July onwards. The Dynamic Model, which considers that chilling is irreversibly accumulated as *quantum* or Chill Portions (PF), showed that chilling in Santiago doubled that of Vicuña, and that these location differences were already expressed at the beginning of autumn, confirming, thus, its suitability for subtropical conditions. In this work the advantages of the dynamic model over other models are discussed.

Key words: accumulated winter-chill, bud dormancy, dynamic model

¹ Universidad de Chile, Facultad de Ciencias, Casilla 653, Santiago, Chile. E-mail frperez@uchile.cl ; jormeno@inia.cl

* Autor para correspondencia.

² Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, Casilla de Correos 439/3, Santiago, Chile.

Recibido: 27 marzo 2008.

Aceptado: 31 mayo 2008.

INTRODUCCIÓN

Se ha postulado que el frío invernal en los frutales caducifolios de climas templados es un factor necesario para que las yemas latentes puedan romper con el estado de receso invernal o endodormancia (ED) y retomar el crecimiento durante la primavera (Saure, 1985; Lang, 1987). En regiones de climas templados, los requerimientos de frío de las yemas de los frutales caducifolios son satisfechos durante el período invernal y la brotación ocurre en forma normal durante el inicio de la primavera. Sin embargo, para condiciones agrícolas subtropicales, la falta de frío invernal provoca una brotación de yemas errática y dispareja, con la consecuente disminución en la cantidad y calidad de la fruta (Lang, 1987; Allan y Burnett, 1995).

En Chile, este fenómeno se observa particularmente en vides (*Vitis vinifera* L.) de mesa de las Regiones de Atacama y de Coquimbo, ya que para producir comercialmente los productores deben aplicar cianamida hidrogenada con el fin de compensar la falta de frío invernal (Reginato *et al.*, 1994). En ésta, como en otras regiones subtropicales, la falta de frío invernal constituye un factor limitante para el cultivo de otros frutales caducifolios, como aquellos de carozo y pomáceas, de allí el interés en desarrollar variedades de bajos requerimientos de frío, adaptadas a climas subtropicales (Boonprakob y Byrne, 2005).

El método para determinar el requerimiento de frío para frutales caducifolios propuesto por Weinberger en 1950 está basado en que las yemas deben permanecer un número de horas mínimas bajo una temperatura crítica (< 7 y > 0 °C) durante el período invernal (horas frío o HF) para brotar adecuadamente en la primavera. De esta forma se han definido de manera arbitraria, y no por eso menos extendida, especies de bajo (< 500 HF) y de alto requerimiento de frío (> 1000 HF) (Tao, 2005).

Esta nomenclatura derivada del concepto de HF es la más utilizada en Chile, y supone que sólo las bajas temperaturas dentro del rango definido determinan, en forma irreversible, el frío acumulado. Sin embargo, estos conceptos no se ajustan a las observaciones experimentales, ya que existen numerosos casos en la literatura en que para una misma variedad se han reportado distintos requerimientos de frío, dependiendo de la localidad. Así, a modo de ejemplo, en un cultivar de kiwi (*Actinidia chinensis* Planch.) se han reportado 500 HF en una zona y 1000-1300 HF en otra (Powell, 1997). En Chile, para el caso de la vid cv. Thompson Seedless se ha informado un rango de 500 a 800 HF para la Zona Norte (Rojas *et al.*, 1999), para la Zona Central un valor de 993 HF (Lyon *et al.*, 1989) y para la zona del Valle de Aconcagua 430 HF (Sapiaín *et al.*, 2005).

Estas divergencias pueden deberse a dos tipos de factores: 1) la definición imprecisa del período en el cual se contabilizan las HF, y 2) la no consideración del efecto negativo que pueden ejercer las altas temperaturas invernales sobre la acumulación del frío invernal. En relación al primer punto, las HF

debieran medirse desde el momento en que las yemas desarrollan completamente la endodormancia (ED) o receso invernal, hasta el momento en que se liberan completamente y transitan hacia el estado ecodormante (EC) (Lang *et al.*, 1987). Estos estadios fisiológicos de la yema no son observables a simple vista, por lo cual es necesario realizar experimentos de brotación forzada (Dennis, 2003) para conocer la profundidad de la ED a lo largo de la estación, y así definir el momento preciso en que la yema alcanza su máxima profundidad de ED y el momento en que se libera de esta condición. En la mayoría de las investigaciones estas precauciones no son consideradas, y el momento de inicio del recuento de las HF se determina en forma arbitraria, y el término del período generalmente se define como el momento de inicio de la brotación, produciendo divergencias en los resultados y una gran confusión conceptual (Allan, 2004). En relación a esto, recientemente se publicó una muy buena revisión y discusión sobre los posibles mecanismos involucrados en la inducción y liberación de la dormancia en yemas de árboles caducifolios (Arora *et al.*, 2003).

El efecto negativo de las altas temperaturas invernales sobre la acumulación de frío es de particular importancia en las zonas de climas subtropicales (Byrne, 2005) y, por tanto, en estas regiones el frío acumulado medido como HF, al no considerar el efecto de las altas temperaturas, puede ser un mal indicador del frío efectivamente acumulado por las yemas. Para subsanar esta deficiencia, se han desarrollado otros modelos en que el efecto negativo de las altas temperaturas invernales es considerado en el cálculo del frío acumulado, el cual ya no se expresa como HF sino como Unidades de Frío (UF) (Richardson *et al.*, 1974; Allan y Burnett, 1995).

El modelo de Utah (Richardson *et al.*, 1974) supone que la acumulación de frío ocurre en un rango de temperaturas entre los 2,5 y 12,5 °C, fuera del cual la acumulación es nula o negativa. Este modelo, a pesar de dar buenos resultados en climas templados frescos y fríos, en climas subtropicales arroja una gran cantidad de valores negativos de frío, por lo cual su utilización y aplicabilidad se han visto restringidas (Dennis, 2003). Una modificación de dicho modelo consiste en no considerar los valores negativos del modelo de Utah, por lo cual se le ha denominado modelo de Unidades de Frío Positivas (UFP) y su aplicación en estas zonas subtropicales ha mejorado los resultados obtenidos (Linsley-Noakes *et al.*, 1995).

Sin embargo, el modelo que ha dado mejores resultados en climas templados cálidos y subtropicales es el Modelo Dinámico (Fishman *et al.*, 1987; Erez *et al.*, 1988). Este modelo también considera el efecto de las altas temperaturas, suponiendo que el frío se acumula en la yema de los frutales caducifolios en forma irreversible una vez alcanzada una concentración crítica de un intermediario dependiendo de la intensidad y duración de la temperatura. De esta forma, estos tres modelos aparecen como los más adecuados para estimar el frío acumulado por las yemas en receso de frutales caducifolios (Dennis, 2003). Considerando las ventajas y limitaciones de cada uno de ellos, en este trabajo se aplicó el Modelo Dinámico con el objeto de comparar el frío acumulado calculado en relación a los modelos usados actualmente en el país, utilizando los registros por hora de temperatura de otoño e invierno de

los años 2005 y 2006 de dos localidades climáticamente contrastantes de Chile, como son el valle templado de Santiago de la Región Metropolitana y la condición subtropical de Vicuña en la Región de Coquimbo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos de temperaturas

Los datos de temperatura utilizados fueron los registros horarios entre el 15 de marzo y el 31 de agosto de los años 2005 y 2006 de las estaciones meteorológicas automáticas ubicadas en los Centros Regionales de Investigación Intihuasi en Vicuña (30°02' lat. Sur; 643 m.s.n.m. Región de Coquimbo) y La Platina en Santiago (33°34' lat. Sur; 625 m.s.n.m., Región Metropolitana.), pertenecientes al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

Modelos de cálculo de frío

Horas frío

Las horas frío del período se calcularon contabilizando las horas en que la temperatura permaneció ≤ 7 y > 0 °C.

Unidades de frío (Utah)

El modelo de Utah de las unidades de frío (UF) define una UF como la permanencia de las yemas por un período de 1 h en un rango de temperaturas consideradas óptimas (2,5-12,5 °C) para acumular frío. Temperaturas $< 1,4$ °C no contribuyen a la acumulación de frío y se le asigna un 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, mientras que temperaturas entre 16 y 18 °C contribuyen negativamente -0,5 UF; y a temperaturas mayores de 18 °C se les asigna un valor de -1 UF, es decir restando valores a las unidades de frío acumuladas por las temperaturas ubicadas en el rango de 1,5 y 12,5 °C (Richardson *et al.*, 1974).

El modelo de las Unidades de Frío Positivas (UFP) es una modificación del modelo de Utah que no considera los valores negativos para la acumulación de frío y que está diseñado para situaciones donde, por abundancia de altas temperaturas invernales (temperaturas > 16 °C) los valores finales obtenidos resultan negativos (Linsley-Noakes *et al.*, 1995).

Modelo dinámico

El modelo dinámico fue desarrollado en Israel (Fishman *et al.*, 1987), precisamente para corregir por las altas temperaturas invernales que ocurren en el Valle del Jordán (30-32° lat. Norte), y está basado en la hipótesis que la acumulación de frío ocurre en forma de porciones o cuantos (*quantum*) de frío, según un modelo que acontece en dos etapas de acuerdo al siguiente esquema:



La primera etapa es un proceso reversible consistente en la formación y destrucción de un intermediario a partir de un precursor. La formación del intermediario depende exclusivamente del régimen de temperaturas, y las constantes de velocidad de formación (k_0) y destrucción (k_1) del intermediario se relacionan con la temperatura de acuerdo a la ecuación de Arrhenius (France y Thornley, 1984),

$$k = A \times e^{(-E/T)}$$

donde T corresponde a la temperatura absoluta en grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), E corresponde a la energía de activación para la formación y destrucción del intermediario, y A corresponde a un coeficiente independiente de la temperatura y que tiene las mismas dimensiones que la constante de velocidad (k). El modelo asume que todo efecto de la temperatura sobre la concentración del intermediario puede ser descrito usando los parámetros E_0 , E_1 , A_0 y A_1 (Fishman *et al.*, 1987). El modelo también asume que debido a que E_1 participa en la destrucción del intermediario, que ocurre a temperaturas más altas, $E_1 > E_0$, y como consecuencia de esto, mientras mayor sea la temperatura menor es la concentración del intermediario.

Una vez alcanzada una cierta concentración crítica del intermediario, en una segunda etapa el intermediario se transfiere en forma irreversible a producto o porción de frío, y la concentración del intermediario cae a cero y la curva dinámica exhibe una forma periódica. El modelo incorpora un segundo ajuste para corregir el efecto de las bajas temperaturas y asume una temperatura crítica de 4°C , bajo la cual sólo una fracción del intermediario se transforma en producto, empezando así un nuevo ciclo con una concentración de intermediario mayor que cero. De esta forma, el modelo dinámico se diferencia sustancialmente de los otros modelos en que las unidades frías o porciones de frío (PF), una vez acumuladas, no pueden ser anuladas por las altas temperaturas (Dennis, 2003).

Este modelo de dos etapas para el cálculo del frío invernal está siendo actualmente utilizado por los servicios meteorológicos de Israel y Sudáfrica, así también como en algunos estados del sur de EE.UU. (Zvi Zemel. 2006. Servicio Meteorológico de Israel, sección Agrometeorología, Tel Aviv, Israel. Comunicación personal).

RESULTADOS

Simulación del modelo dinámico

La simulación del modelo dinámico durante un período de 100 h de temperaturas constantes de 3, 6 y 14 °C se muestra en la **Figura 1** (A, B y C, respectivamente). A una temperatura constante de 6 °C (Figura 1B), el modelo predice que la concentración crítica del intermediario para transformarse en producto se alcanza después de 28 h, que todo el intermediario se transforma en producto, y que la concentración del intermediario vuelve a cero al inicio de cada nuevo ciclo. Después de transcurridas 100 h se acumulan tres unidades de producto o porciones de frío (PF).

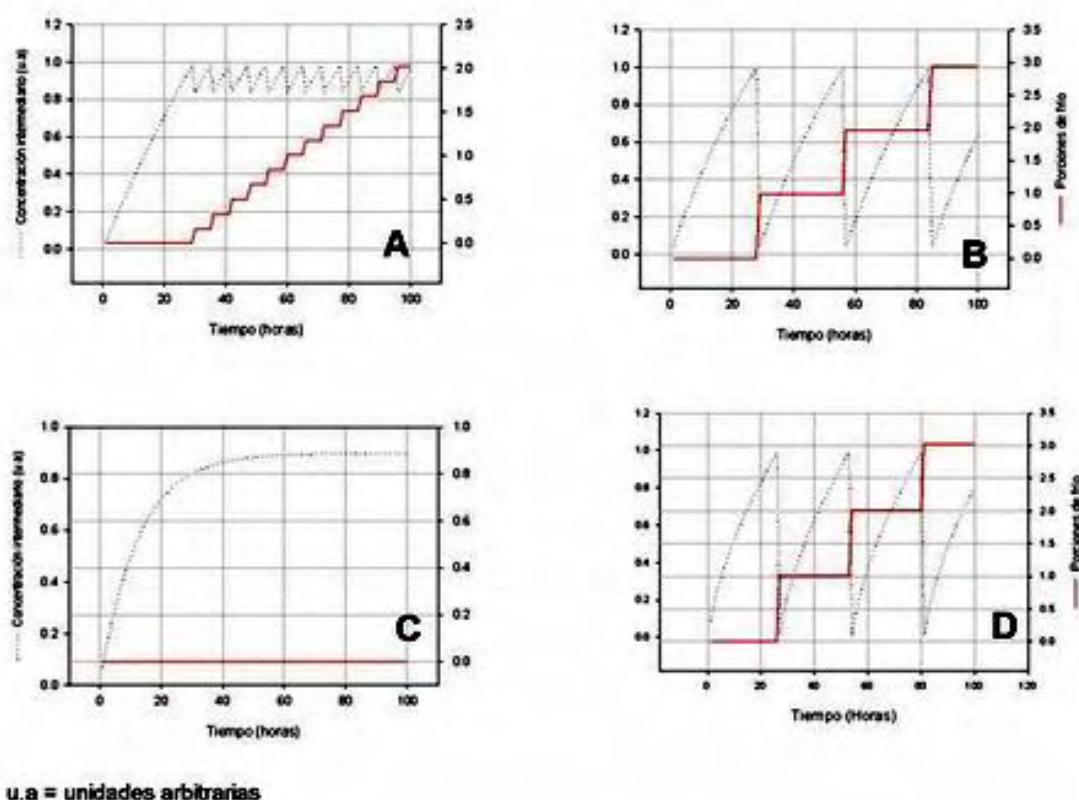


Figura 1. Simulación del modelo dinámico para la acumulación de porciones de frío (PF) a temperaturas constantes de 3 (A), 6 (B) y 14 °C (C) y con temperaturas alternantes de 2 h a 20 °C; 1 h a 19, 18, 14, 12 y 11 °C; 11 h a 10 °C; 5 h a 6 °C y 3 h a 7 °C (D) durante un período de 100 h.

Figure 1. Dynamic model simulation for chill accumulation (chill portions, PF) at constant temperature of 3 (A), 6 (B) and 14 °C (C) and alternate temperatures of 2 h at 20 °C; 1 h at 19, 18, 14, 12 and 11 °C; 11 h at 10 °C; 5 h at 6 °C and 3 h at 7 °C (D) over a period of 100 h.

A una temperatura de 3 °C (**Figura 1A**), el modelo pronostica que la concentración crítica del intermediario se alcanza a las 30 h, que sólo una fracción del intermediario se transforma en producto después de cada ciclo, y, por tanto, la concentración del intermediario no es cero al inicio de cada nuevo ciclo, y después de 100 h transcurridas se acumulan 2 PF. De tal modo que a una temperatura de 3 °C el modelo señala que la acumulación de frío es menos eficiente que a una temperatura de 6 °C. A una temperatura constante de 14 °C la concentración del intermediario no alcanza nunca el valor

crítico, y por lo tanto, no hay acumulación de PF, independientemente del tiempo transcurrido (**Figura 1C**). El modelo dinámico también predice que un ciclo de temperaturas altas y bajas es más eficiente en la acumulación de PF que un ciclo de temperaturas bajas constantes. Así, un ciclo de 27 h con temperaturas alternantes de 2 h a 20 °C; 1 h a 19, 18, 14, 12 y 11 °C; 11 h a 10 °C; 5 h a 6 °C y 3 h a 7 °C demora 80 h en acumular 3 PF (**Figura 1D**), mientras que a una temperatura constante de 6 °C demora 85 h (**Figura 1B**).

Cálculo del frío invernal acumulado en las Regiones de Coquimbo y Región Metropolitana (RM) mediante el modelo dinámico

La aplicación del modelo dinámico a los regímenes horarios de temperatura de ambas regiones durante el período marzo-agosto de 2006 se presenta en la **Figura 2**. Al final de la temporada otoño-invierno en la RM se acumularon 73 porciones de frío (PF), las que fueron significativamente mayores que en Vicuña, donde sólo se produjeron 30 PF. Los resultados también indicaron que en Vicuña la acumulación de PF se inicia más tarde (3 mayo) que en Santiago, donde el frío comienza a acumularse antes del 30 marzo. En ambas regiones el período de mayor acumulación de PF ocurrió entre mediados de junio y agosto, es decir, durante los meses invernales.

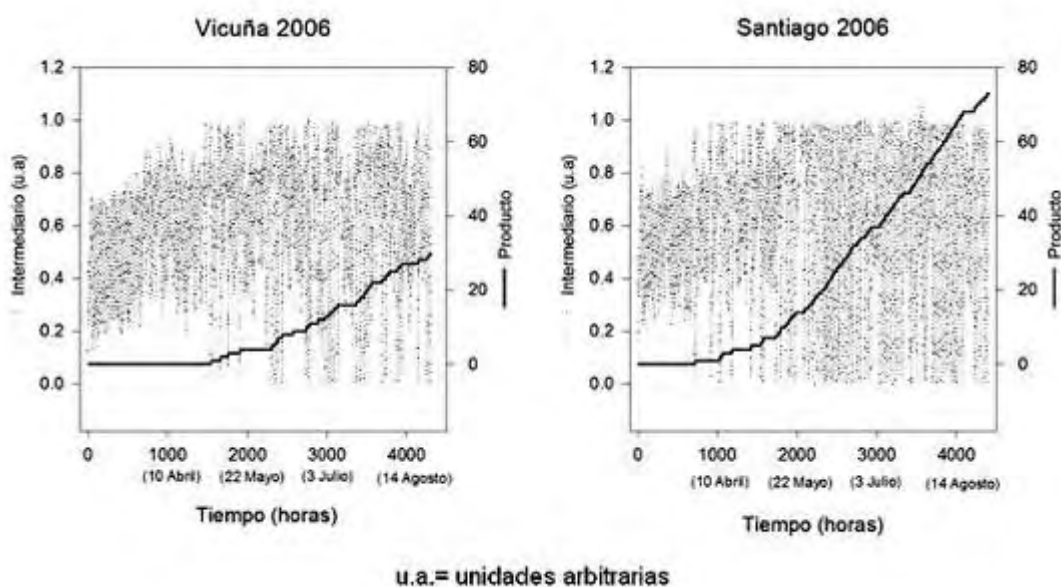


Figura 2. Variaciones en la concentración del intermediario y en las porciones de frío acumulado en función de las temperaturas por hora, de Vicuña (Región de Coquimbo) y Santiago (Región Metropolitana), durante el período comprendido entre 1 de marzo y 31 de agosto de 2006. ¿a qué corresponde la unidad u.a. de concentración del intermediario?

Figure 2. Variations on intermediate concentration and accumulated chilling portions as a function of hour-temperatures in Vicuña (Region of Coquimbo) and Santiago (Metropolitan Region), during 1 March and 31 August 2006.

Comparación del frío invernal acumulado en las Regiones de Coquimbo y RM para los años 2005 y 2006 mediante los diferentes modelos de cálculo

La comparación del frío invernal entre las regiones calculado como horas frío (HF), como unidades de frío positivas (UFP) y como porciones de frío (PF) para las temporadas otoño-invierno de los años 2005 y 2006 se presenta en la **Figura 3**. Durante las dos temporadas analizadas, el modelo de HF no discrimina entre ambas regiones, encontrándose que en Santiago las HF acumuladas para los años 2005 y 2006 fueron 708 y 642 HF, respectivamente, mientras que para Vicuña en ambos años fueron 744 y 673 HF.

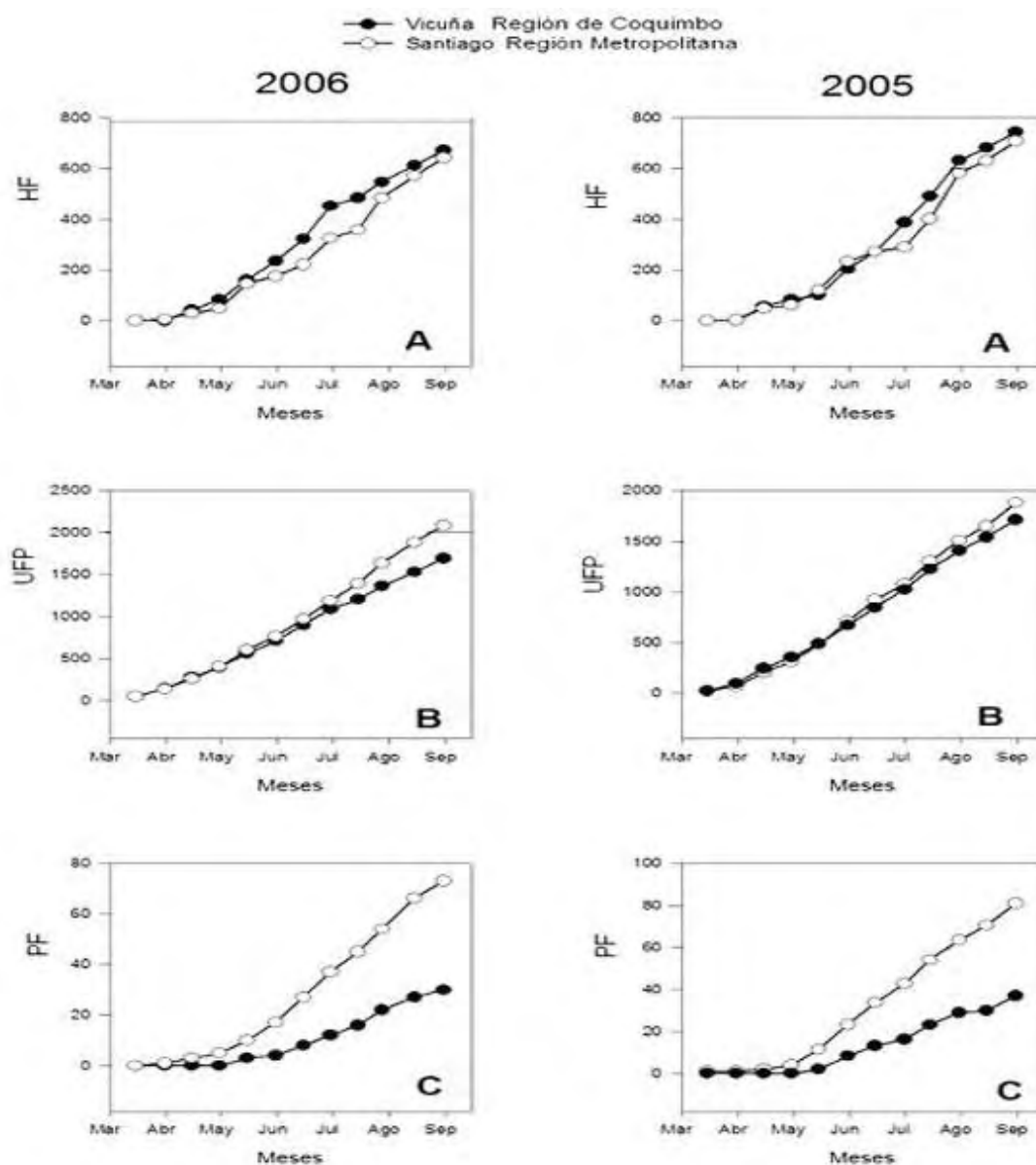


Figura 3. Frío acumulado en Santiago (Región Metropolitana, RM) y en Vicuña (Región de Coquimbo) entre el 1 de marzo y el 31 de agosto para los años 2005 y 2006 según (A) Modelo de Horas Frío (HFA), (B) Modelo de Unidades Positivas de Frío Acumuladas (UPFA) y (C) Modelo Dinámico de Porciones de Frío (PFA).

Figure 3. Accumulated chill in Santiago (Metropolitan Region, RM) and Vicuña (Region of Coquimbo) between 1 March and 31 August of the years 2005 and 2006 according to (A) models of Chilling Hours (HFA), (B) Positive Chilling Units (UPFA) and (C) Dynamic Model's Chilling Portions (PFA).

El Modelo Utah resultó con valores negativos en los meses de marzo, abril, y mayo, para ambas localidades e incluso también fueron negativos a finales de junio en Vicuña. Esta alta proporción de valores negativos de frío acumulado, que particularmente ocurre cuando los cálculos se realizan con temperaturas-hora, hizo descartar mayores análisis, confirmando las limitaciones de este modelo para latitudes subtropicales. El cálculo del frío empleando el modelo de UFP indicó una mayor acumulación de frío en Santiago (1880 y 2086 UFP) que en Vicuña (1709 y 1692 UFP) para los dos años analizados. Sin embargo, la diferencia entre ambas regiones resultó pequeña en magnitud y sólo se manifestó después de mediados de junio, ya que previo a esa fecha el frío acumulado fue prácticamente igual en ambas regiones. El modelo dinámico de las PF también indicó una mayor acumulación de frío en Santiago, pero, a diferencia del anterior, los contrastes se reflejaron desde el inicio del otoño (abril) siendo reiteradamente más marcados a lo largo de toda la temporada. Al final del período, y en ambos años, las PF acumuladas en Santiago fueron el doble de las PF acumuladas en la Región de Coquimbo.

DISCUSIÓN

El modelo de las HF, ampliamente utilizado en Chile en la medición del frío invernal, indicó que la cantidad de frío acumulado durante la temporada otoño-invierno de los años 2005 y 2006 es prácticamente igual en las localidades de Vicuña y Santiago. Más aún, experimentos realizados en vides cv. Thompson Seedless en estos mismos años y en las mismas localidades de este estudio, han concluido que las HF acumuladas durante el período que va desde el desarrollo completo de la ED en las yemas hasta su término son iguales en ambas zonas climáticas (Pérez *et al.*, 2007). Sin embargo, es sabido que en la RM las vides no presentan problemas de déficit de frío y sus yemas brotan en forma homogénea al inicio de la primavera, mientras que en la Región de Coquimbo presentan los síntomas característicos del déficit de frío invernal, como es la brotación dispareja y errática de sus yemas.

Recientemente se ha indicado que en yemas de vides cultivadas en la zona central de Chile, la salida de la ED ocurre a fin de invierno (agosto) (Pérez *et al.*, 2007), y como las HF acumuladas durante el intervalo de tiempo que duró la ED fue igual en ambas regiones, las diferencias de brotación no se pueden justificar debido a un desfase en los tiempos de medición de las HF. Es curioso, que la brotación de las yemas de vides Thompson Seedless en la Región de Coquimbo sea errática y dispareja, y que el modelo actualmente utilizado en Chile para cuantificar el frío invernal indique que el frío acumulado en Vicuña sea igual que el acumulado en Santiago donde las yemas brotan normalmente. Esta aparente contradicción se debe a la forma de medir el frío invernal. El modelo de las HF sólo considera las temperaturas bajo 7 °C en la cuantificación del frío acumulado y no considera el posible efecto que las altas temperaturas invernales pueden ejercer sobre la acumulación de frío.

Al aplicar el modelo de Utah (Richardson *et al.*, 1974), que precisamente considera que las altas temperaturas ejercen un efecto negativo sobre la acumulación de frío, se obtuvieron valores negativos durante el otoño en ambas regiones, especialmente en Vicuña donde las altas temperaturas contrarrestaron las escasas bajas temperaturas invernales, al igual como ha sido informado en otros países, como Israel (Fishman *et al.*, 1987), Sudáfrica (Allan *et al.*, 1993; Allan, 2004), y México (del Real-Laborde 1989). Una modificación de este modelo, en la cual se omiten los valores negativos, ha sido utilizada en forma exitosa para describir una condición subtropical en Sudáfrica (Allan *et al.*, 1993), sin embargo, su aplicabilidad predictiva y significado práctico todavía están por demostrarse, ya que la exclusión de los valores negativos se contraponen al principio básico del modelo y que es que el calor anula el efecto del frío (Dennis, 2003). En este caso, al aplicar el modelo de UFP al régimen de temperaturas por hora de la Región Metropolitana y Región de Coquimbo, se observó que este modelo efectivamente discrimina en la cantidad de frío acumulado entre ambas regiones, mostrando una mayor acumulación de UFP en latitudes más meridionales. Sin embargo, las diferencias entre ambas localidades son todavía pequeñas en magnitud y sólo se hacen visibles a partir del mes de julio, corroborando de esta manera sus limitaciones para describir zonas donde el predominio de altas temperaturas invernales incide negativamente en el inicio y uniformidad de la brotación de las yemas en árboles caducifolios.

Al aplicar el Modelo Dinámico desarrollado en Israel, las localidades se diferenciaron claramente, ya que alcanzaron más del doble de las PF en la Región Metropolitana que en la Región de Coquimbo, además que fueron apreciables a partir del inicio de la temporada otoño-invierno (abril). Por lo tanto, los resultados arrojados por el modelo de PF explicarían mejor las diferencias que se observan en la brotación de yemas latentes entre ambas regiones, al establecer un notable contraste entre la cantidad de frío acumulado durante el invierno entre una localidad templada como Santiago, con otra donde predominan las altas temperaturas diurnas invernales como Vicuña. Resulta asimismo interesante destacar que los resultados obtenidos al aplicar este modelo de PF no sólo sirven para determinar con precisión la acumulación de frío para una condición subtropical, sino que además permiten calcular con exactitud el frío acumulado en latitudes de inviernos templados. Esta versatilidad del modelo dinámico lo hace particularmente interesante para determinar con bastante precisión aquellas zonas geográficas con microclimas distribuidas a través de todo el país. No obstante lo anterior, es importante realizar ensayos de campo bajo condiciones locales que permitan relacionar estos modelos con datos de brotación de diferentes especies de árboles caducifolios, y así conocer la utilidad agronómica que presentaría este modelo dinámico para evaluar el frío invernal acumulado.

CONCLUSIONES

El modelo de las HF para calcular el frío invernal acumulado, que actualmente es utilizado por los servicios agrometeorológicos en nuestro país como indicador del frío acumulado, resulta inadecuado para zonas de clima subtropical. Al no considerar el impacto que ejercen las altas temperaturas invernales y los ciclos diarios de temperatura sobre la acumulación de frío, no permite discriminar entre un clima templado, como el de Santiago en la Región Metropolitana, de un clima subtropical, como el de Vicuña en la Región de Coquimbo. En consecuencia, se debería evaluar el reemplazo del modelo de las HF por el modelo dinámico como forma de calcular el frío invernal acumulado en todas las regiones de Chile, realizando investigaciones adicionales cubriendo todas las zonas climáticas donde se cultiven especies que requieran de frío para salir de su receso invernal.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece el financiamiento a FONDECYT proyecto 1050285, al Dr. Zvi Zemel del Servicio Meteorológico de Israel, por permitirnos utilizar el programa computacional del Modelo Dinámico, y a las señoras Carmen Jopia y Lucía Hernández, del INIA, por facilitarnos los datos de temperatura de Vicuña y Santiago, respectivamente.

RESUMEN

Se evaluó el frío invernal acumulado en Santiago ($33^{\circ}34'$ lat. Sur; 625 m.s.n.m.; Región Metropolitana) y Vicuña ($30^{\circ}02'$ lat. Sur; 643 m.s.n.m.; Región de Coquimbo) durante las temporadas 2005 y 2006 aplicando tres diferentes modelos. El modelo de horas-frío (HF), actualmente empleado como indicador agroclimático en Chile, resultó de poca utilidad para contrastar efectivamente la condición subtropical de Vicuña con la condición templada de Santiago. Al utilizar el modelo de Utah se obtuvieron valores negativos de marzo a mayo e incluso hasta el mes de junio en Vicuña, ya que, precisamente, con este modelo el efecto del frío es anulado por las altas temperaturas. Sin embargo, una modificación de este modelo, denominado Unidades de Frío Positivas (UPF), en que los valores negativos se omiten, mostró diferencias en el frío acumulado entre ambas regiones, pero las diferencias fueron pequeñas y se expresaron sólo a partir del mes de julio en adelante. La aplicación del Modelo Dinámico, que considera que el frío se acumula en forma irreversible, como *quantum* o Porciones de Frío (PF), mostró que el frío invernal acumulado en la Región Metropolitana es el doble que en la Región de Coquimbo, y que las diferencias se expresan desde los inicios del otoño, haciéndolo así particularmente aplicable para zonas subtropicales. En este trabajo se discuten las ventajas del modelo dinámico por sobre los otros modelos utilizados.

Palabras clave: frío invernal acumulado, dormancia yemas, modelo dinámico

LITERATURA CITADA

- Allan, P. 2004. Winter chilling in areas with mild winters. Its measurement and supplementation. *Acta Hort.* 662:47-52.
- Allan, P., and M.J. Burnett. 1995. Peach production in an area with low winter chilling. *J. S. Afr. Soc. Hortic. Sci.* 5:15-18.
- Allan, P., G. Ruffus, G. W. Mathee, and G.C. Linsley-Stokes. 1995. Winter chill models in a mild subtropical area and effects of constant 6 °C chilling on peach budbreak. *Acta Hort.* 409:9-17.
- Arora, R., L.J. Rowland, and K. Tanino. 2003. Induction and release of bud dormancy in woody perennials: A science comes of age. *HortScience* 38:911-921.
- Boonprakob, U., and D.H. Byrne. 2005. Breeding low-chill stone fruit in Thailand. p. 39-42. ACIAT Technical Report N° 61. *In* George, A and U. Boonprakoh (eds). Production technologies for low-chill temperate fruits. Reports from the 2nd International Workshop, Chiang Mai, Thailand. 19-23 April 2004. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Canberra, Australia.
- Byrne, D.H. 2005. Trends and progress of low chill stone fruit breeding. p. 5-12. ACIAT Technical Report N° 61. *In* George, A and U. Boonprakoh (eds). Production technologies for low-chill temperate fruits. Reports from the 2nd International Workshop, Chiang Mai, Thailand. 19-23 April 2004. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Canberra, Australia.
- Del Real-Laborde, J.I. 1989. An apple test model for mild winter conditions. 72 p. Ph.D. Diss. Utah State Univ., Logan, Utah, USA (Abstract)
- Dennis, F.G. Jr. 2003. Problems in standarizing methods for evaluating the chilling requirements for the breaking of dormancy in buds of woody plants. *HortScience* 38:347-350
- Erez, A., S. Fishman, Z. Gat, and G.A. Couvillon. 1988. Evaluation of winter climate for breaking bud rest using the dynamic model. *Acta Hort.* 232:76-89.
- Fishman, S., A. Erez, and G.A. Couvillon. 1987. The temperature dependence of dormancy breaking in plants: mathematical analysis of a two step model involving cooperative transition. *J. Theor. Biol.* 124:473-483.

- France, J., and J.H.M. Thornley. 1984. Mathematical models in agriculture. Temperate dependence of development and the Arrhenius equation. Butterworths, London, UK.
- Lang, G.A. 1987. Dormancy: A new universal terminology. HortScience 22:817-820.
- Lang, G.A., J.D. Early, R.D. Darnell, and G.C. Martin. 1987. Endo-, para- and ecodormancy: Physiological terminology and classification for dormancy research. HortScience 22:371-377.
- Linsley-Noakes, G., M. Louw, and P. Allan. 1995. Estimating daily positive Utah chill units using daily maximum and minimum temperatures. J. S. Afr. Soc. Hortic. Sci. 5:19-22
- Lyon S., M., S. Poller R., M. Rodriguez-Cano S. 1989. Evolución del letargo de yemas en seis especies frutales en relación al frío y tratamiento con tiourea o cianamida. 82 p. Tesis de Ing. Agrónomo. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.
- Pérez, F.J., S. Rubio, and J. Ormeño-Núñez. 2007. Is erratic bud-break in grapevines grown in warm-winter areas related to disturbances in mitochondria respiratory capacity and oxidative metabolism? Funct. Plant Biol. 34:624-632.
- Powell, A.A. 1997. The effect of Dormex on replacing lack of chilling in kiwifruit. Auburn University. Available at <http://www.aces.edu.department/peaches/kiwidormex.html>. Accessed 18 October 2006.
- Reginato M, G., C. Pinilla D., y J. L. Camus C. 1994. Efecto de la aplicación de cianamida hidrogenada más aceite mineral en *Vitis vinifera* L. cv. Thompson Seedless. Agric. Téc. (Chile) 54:192-198
- Richardson, E.A., S.D. Seeley, and D.R. Walker. 1974. A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. HortScience 9:331-32
- Rojas T., W., C. Zoccola F., A. Osorio U. 1999. Establecimiento de un huerto frutal, factores agronómicos a considerar. Serie Intihuasi N° 21. 8 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile.
- Sapiaín, R., R. Callejas, G. Reginato, y V. García de Cortázar. 2005. Determinación de requerimientos de frío invernal y térmico para el desarrollo de la vid "Sultanina". p. 85. 56° Congreso Agronómico de Chile, Chillán. 11-14 octubre de 2005. Libro de Resúmenes. INIA y Universidad de Concepción, Chillán, Chile.

Saure, M.C. 1985. Dormancy release in deciduous fruit trees. Hort. Rev. 7:239-299.

Tao, R. 2004. Studies of the gene expression of dormant buds of Japanese apricot (*Prunus mume*). p. 48-53. ACIAT Technical Report N° 61. In George, A and U. Boonprakoh (eds). Production technologies for low-chill temperate fruits. Reports from the 2nd International Workshop, Chiang Mai, Thailand. 19-23 April 2004. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Canberra, Australia.

Weinberger, J.H. 1950. Chilling requirements of peach varieties. Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 56:122-28.