

Modelo de estimación de disponibilidad de frío invernal de áreas productoras de cerezas de Mendoza, Argentina. Parte II

E. Tersoglio*, G. Naranjo*

* Laboratorio de Fruticultura. EEA Mendoza INTA. CC3. (5507) Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA. San Martín 3.853 Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina. CC3 CP 5507

Resumen

Durante el reposo invernal, los árboles frutales de clima templado deben estar expuestos a bajas temperaturas para satisfacer sus necesidades de frío. El cerezo es uno de los frutales de carozo más exigente en frío. Tales requerimientos se expresan en unidades de frío (UFUM) calculadas por el método Utah modificado. La disponibilidad de frío varía entre regiones y entre años, siendo a veces, insuficiente para satisfacer las necesidades de los cerezos. En tales condiciones pueden desarrollar síntomas de falta de frío. En ocasiones, cuando la disponibilidad de frío invernal es insuficiente es necesaria la aplicación de productos químicos para una correcta salida del reposo invernal. Tales productos deben ser aplicados con anticipación al inicio de la floración. Por ello es necesario contar, previamente, con información sobre la disponibilidad de frío del año en curso, permitiendo optimizar el manejo de tal técnica. Los objetivos del presente estudio fueron desarrollar métodos de pronóstico que permitan estimar la disponibilidad de frío invernal y la probabilidad de cumplir un determinado requerimiento. Se estimó la disponibilidad de frío invernal en dos áreas de cultivo de cerezo, dentro de los departamentos de Tupungato y Luján de Cuyo de la Provincia de Mendoza. Los modelos mostraron que el porcentaje de variabilidad explicado por las UFUM acumuladas en fechas parciales osciló entre el 83 y 90% para Luján de Cuyo y entre el 92 y el 96% para Tupungato. Debido a la amplitud de los límites de predicción, los modelos de pronóstico de disponibilidad de frío no fueron lo suficientemente precisos para fundamentar la toma de decisiones. Por ello fue necesario desarrollar un método que permita calcular la probabilidad que posee el año en curso de satisfacer una determinada demanda de frío. Esta herramienta complementaria posibilitará la toma de correctas decisiones, asumiendo riesgos calculados. Mediante la estimación de la disponibilidad de frío, se puede seleccionar un modelo de regresión logístico y calcular la probabilidad de completar los requerimientos de frío de una determinada variedad. Los modelos explicaron aproximadamente entre el 90 y el 75% de la variabilidad encontrada en Luján de Cuyo y Tupungato respectivamente. La probabilidad en el departamento Luján de Cuyo de alcanzar las 900 UFUM es del 99% y del 26% para 1.200 UFUM. En el departamento de Tupungato, con inviernos más fríos, las probabilidades de alcanzar 1.200 y 1.500 UFUM son del 100% y del 82% respectivamente. Una vez validado el método, el pronóstico de la disponibilidad de frío invernal permitirá que el productor evalúe los riesgos que tiene su plantación de experimentar daños por falta de frío y ejecutar eventuales medidas correctivas para minimizarlos.

Palabras clave: requerimiento de frío, cerezo, unidades de frío, pronóstico

Summary

Estimation model of winter chilling availability in sweet cherry areas of Mendoza, Argentina. Part II
During winter rest, the fruit trees of temperate climate have to be exposed to low temperatures to satisfy their chill requirements. The sweet cherry trees are one of the more demanding winter chilling of the stone fruit. These requirements are expressed in chill units (CUMU) calculated by the Modify Utah method. The chill availability varies among regions and years, and sometimes it is not enough to

satisfy sweet cherry requirements. In such conditions sweet cherry trees can develop symptoms of lack of chill. Sometimes, when the chill availability is not enough, it is necessary the application of chemicals for a correct rest completion. These products must be applied in advance to the bloom begins. Therefore, the data of chill availability of the current year let improve orchard management. The objectives of this study were to develop a forecast method that allows estimating the availability of chill and the probability of completing certain requirement. It was estimated the chill availability of two sweet cherry produced areas, Tupungato and Luján counties of Mendoza province. The models show the percentages of the variability explained by the CUMU accumulated in partial dates. Those oscillated between the 83 and 90% for Luján de Cuyo and between 92 and 96% for Tupungato. Due to the data variability, prediction limits were too wide and they do not have enough precision for taking decisions. For that reason it was necessary to develop a method that permit to calculate the probability that has the current year of satisfying a certain chill demand. This complementary tool will facilitate to take right decisions and assume calculated risks. Through the estimation of the chill availability of the current year, the logistical regression model could be selected and the probability of chill completion of a particular variety could be calculated. The models explained approximately among 90 and 75% of the variability found in Luján de Cuyo and Tupungato, respectively. Luján de Cuyo has 99% probability of reaching the 900 CUMU and 26% for 1.200 CUMU. Tupungato County with colder winters has 100 and 82% probabilities of reaching the 1.200 and 1.500 CUMU respectively. After a validation phase, the forecasting will allow farmers evaluate the risks that orchards experiment lack of winter chilling damages and execute the eventual measured to minimize them.

Key words: chilling requirements, sweet cherry, chill unit, forecasting.

Introducción

Durante el invierno los árboles frutales de clima templado ingresan en un estado denominado reposo invernal. La forma natural de superar esta etapa es mediante permanencia en condiciones de bajas temperaturas, hasta satisfacer sus necesidades de frío. Este concepto tiene un aspecto cuantitativo, ya que depende del tiempo en el cual las plantas están expuestas a las bajas temperaturas y uno cualitativo, ya que depende del rango de temperaturas experimentadas. Ello significa que con un tiempo a ciertas temperaturas las plantas pueden superar el reposo invernal, pero con otras puede extenderse (Richardson *et al.*, 1974; Erez, 1995).

Existen numerosos sistemas propuestos para medir el efecto del frío durante el reposo invernal. El presente trabajo utiliza el método UF de Utah modificado utilizado actualmente por el "Departamento de Investiga-

ción de Frutas y Nueces" de la Universidad de California (Seeley, 1996). El mismo consiste en una ligera modificación del método original Utah propuesto por Richardson, (1974). Este método calcula el frío invernal en unidades de frío de Utah modificado (UFUM). El modelo de cálculo se basa en la variación del efecto de las distintas temperaturas sobre el progreso del reposo, dando un valor máximo unitario a temperaturas entre 2,2 y 8,9°C. La mitad de una UFUM es asignada a temperaturas entre 1,1 y 2,2°C y entre 8,9 y 12,2°C. Cuando la temperatura oscila entre 15,6 y 18,3°C se sustrae media UFUM por cada hora y cuando supera esta última se elimina toda una UFUM. Por lo tanto a cada hora transcurrida en el periodo a considerar le corresponde un determinado valor de UFUM, disminuyendo cuando las temperaturas se alejan por debajo o por encima de ese rango. Estas variaciones respecto del método propuesto por Richardson, (1974) alteran el resultado de la acu-

mulación de unidades de frío, siendo sistema de UF Utah modificado algo más exigente que el método original. Las UFUM permitieron interpretar con mayor claridad los síntomas de falta de frío invernal experimentados en la región durante los años 1998 y 2003.

La falta de frío invernal afecta el crecimiento, el rendimiento y la calidad de los frutos. Reduce la tasa diaria de floración y brotación, favoreciendo la desuniformidad en la misma planta y entre las diferentes cultivares. Los largos períodos de floración perjudican la fecundación, sobre todo cuando se producen después de la brotación ya que se incrementa la competencia con los sumideros vegetativos. En condiciones de frío insuficiente se observan con frecuencia frutos ya formados coexistiendo con flores (Byrne *et al.*, 2003; Erez, 1995; Couvillon, 1995). Otros síntomas fisiológicos característicos son: brotación tardía, incremento de la caída de yemas y reducción de la calidad de los frutos. Con falta de frío las ramas tienden a brotar en los extremos formando grupos de hojas aislados con 30 a 60 cm de madera sin hojas. Las yemas florales presentan mayor proporción de anomalías en pistilos y estambres. Los frutos que parecían estar bien fecundados caen o permanecen pequeños, deformados y poco firmes (Byrne *et al.*, 2003).

El cerezo, posee requerimientos de frío que deben ser satisfechos para obtener producciones rentables (Anderson *et al.*, 1986; Couvillon, 1995). Los requerimientos de las variedades difieren entre sí. Aunque el cerezo es considerado un cultivo exigente en frío, los productores insisten en cultivarlos en zonas más cálidas debido a los altos precios alcanzados por los frutos de primicia (Faust *et al.*, 1997). Estas zonas están ubicadas en el umbral térmico para la producción del cerezo, por ello existen años en que la oferta de frío es suficiente para un grupo de

variedades pero insuficiente para otras (Seif y Gruppe), 1985; Norvell y Moore, 1982; Tersoglio *et al.*, 2006).

En la actualidad existen técnicas correctivas que permiten ya sea reducir los requerimientos de frío, ya sea reemplazar la falta de frío mediante métodos físicos o químicos (Erez, 1995; Jackson y Bepete, 1995; Küden *et al.*, 1997). Tales medidas deben ser aplicadas con gran anticipación, generalmente a principios del invierno (Walsler *et al.*, 1981). La decisión de aplicar métodos de reemplazo de frío, deben basarse en información fiable que permita estimar con suficiente antelación la disponibilidad de frío invernal del año en curso. El pronóstico de la oferta de frío invernal fiable, objetivo de este trabajo, puede ser una herramienta que le permita al agricultor mejorar la calidad de sus decisiones con impacto en el rendimiento y la calidad de la fruta.

Materiales y métodos

Las zonas de estudio pertenecen al distrito El Peral del departamento Tupungato situado a 33° 22' LS y a 1.100 msnm y al distrito Mayor Drumond del departamento Luján de Cuyo ubicado 33° 02' LS y a 950 msnm ambos de la Provincia de Mendoza.

Los valores UFUM se calcularon mediante el método Utah modificado (Seeley, 1996).

Se consideró como fecha de inicio del conteo de UFUM cuando una significativa cantidad (50%) de hojas ha caído durante el otoño (Couvillon, 1995; Ramina, 1995). Como sólo se disponía de los datos de la fecha caída de hojas de los años 2003 al 2006, se seleccionó la fecha seis días después de la primera helada como un correcto estimador del inicio de caída de hojas.

La fecha de finalización corresponde a la fecha media de floración, estimada el día 15 de setiembre.

Las UFUM medidas desde la caída de hojas hasta floración se denominan UFUM total observada (UFUM_{TO}).

Todas las fechas fueron expresadas en días julianos (DJ).

Las UFUM de Luján de Cuyo fueron calculadas en base a datos de temperaturas máximas y mínimas de la serie de años 1990 - 2006 (Ortiz, 1990-2006). La estimación de las temperaturas horarias se obtuvo mediante interpolación de las temperaturas máximas y mínimas diarias con un modelo "seno" para las diurnas y las nocturnas con un logarítmico (Linville, 1990; Linsley-Noakes *et al.*, 1995).

Las UFUM de Tupungato fueron calculadas en base a las temperaturas medias horarias registradas en el aire durante la serie de años 1998-2006 (Dirección de Contingencias Climáticas, 1998-2006).

Para efectuar el análisis estadístico se utilizaron los programas TableCurve 2D versión prueba, Statgraphics plus 4.1.

Pronóstico cuantitativo de la disponibilidad de frío invernal

La variabilidad entre años de las UFUM_{TO} se debe tanto a la fecha de inicio de las mediciones como a la tasa media diaria de acumulación que posee cada año en estudio. Por ello el pronóstico efectuado a partir de la relación DJ-UF resulta poco fiable (Tersoglio *et al.*, en prensa).

Aunque para una misma región las tasas de acumulación de UFUM varían entre años, para un mismo año resultan ser constantes, pudiendo ser utilizadas para la estimación de UFUM (UFUM_{TE}) (Tersoglio *et al.*, 2007). De modo que en una fecha determinada,

denominada fecha de referencia (FR), le corresponde cierta cantidad de UFUM (UFUM_{FR}) la cual se relaciona con el valor de UFUM_{TO}. Por lo tanto, para una serie de años, son conocidos los valores de UFUM_{FR} y de UFUM_{TO} y considerando que las tasas de acumulación de unidades de frío son constantes para cada año es posible efectuar un pronóstico a través de un modelo matemático con significancia estadística. Para calcular las UFUM_{TE} se establecieron modelos de regresión entre las UFUM_{FR} y las UFUM_{TO} con sus respectivos límites de predicción al 90%.

Las fechas de referencia (FR) fueron 161, 182, 201, 213 y 222 DJ que correspondieron a las fechas 10 de junio, 01 y 20 de julio, 01 y 10 de agosto. En cada FR se calcularon las UFUM_{FR}.

Estimación de la probabilidad

Para el cálculo de la probabilidad de alcanzar un valor de UFUM durante el año en curso se utilizó el modelo de regresión no lineal logístico. Su selección permite modelar la relación entre una variable respuesta de naturaleza dicotómica en relación a una variable independiente continua. El modelo de regresión logística puede ser utilizado para predecir la probabilidad de que la variable respuesta asuma un valor determinado (Díaz y Demetrio, 1998; Infostat, 2004).

Para transformar la variable respuesta continua en dicotómica, los datos del departamento Luján de Cuyo fueron previamente clasificados en intervalos de clase según las UFUM_{TO} fuesen menores de 900, entre 900 y 1.200 y mayores de 1.200. Los datos de Tupungato fueron clasificados en intervalos de clase según las UFUM_{TO} fuesen menores o mayores de 1.200. Las diferencias de los intervalos seleccionados entre regiones se

deben a que las bases difieren en la cantidad de años estudiados.

A cada año clasificado en cada intervalo de clase se le asigna una serie de valores de UF en un rango de 100 a 2.000 con incrementos de 100 (variable independiente continua). A cada valor de UF se le asigna la variable dicotómica (1-0) según alcance o no cada uno de los valores de UF respectivamente. Por lo tanto, el valor de la variable dicotómica dependió de la exigencia establecida en la variable independiente en cada intervalo de clase. Tal requisito permitió obtener una respuesta binomial para cada uno de los valores de la serie de UF preestablecida en cada año e intervalo. De modo tal que, el departamento Luján de Cuyo, posee para cada uno de sus tres intervalos de clase un modelo que relaciona las UFUM con su correspondiente valor de la probabilidad de ser alcanzado (P_{UFUM}).

En la serie de años del departamento de Luján de Cuyo se observan años (1994, 1998, 1999 y 2003) con valores menores de 900 UFUM. A cada uno de los cuatro años se asigna los valores de 100 a 2.000 UFUM en incrementos de 100. Como se conocen los valores de las UFUM_{TO} de esos años a cada incremento de 100 UFUM se le asigna el correspondiente valor 0 ó 1. Por lo tanto en años en los que las UFUM_{TO} sólo alcanzaron las 700, la variable respuesta dicotómica le correspondió el valor "1" entre 100 y 700, mientras que entre 800 y 2.000 fue "0".

La variable dependiente es una proporción de casos en los cuales se cumple la condición binomial requerida. Tal proporción es estrictamente decreciente ya que, a medida que se incrementan las UFUM en cada uno de los intervalos, la probabilidad de su cumplimiento es menor. Ello satisface la condición de una distribución acumulada logística (Díaz *et al.*, 1998).

Para identificar el modelo de distribución de probabilidades que representa el año en curso, se utilizó el dato de UFUM_{TE} obtenido a través de las relaciones UFUM_{FR}-UFUM_{TO}. Finalmente conocido el requerimiento de frío de la variedad se puede estimar la P_{CUFUM} .

Resultados y discusión

Cálculo de las UFUMTE y estimación de la capacidad predictiva de los modelos

Para calcular anticipadamente las UFUM_{TE} se seleccionó el mejor modelo de ajuste entre las UFUM_{FR} y las UFUM_{TO} para los años estudiados. Se evaluaron tantos modelos como FR se prefijaron en cada zona analizada. El nivel de confianza de la predicción de UFUM_{TE} respecto del valor real de UFUM_{TO} fue al menos del 90%

La tabla 1 muestra los modelos UFUM_{FR}-UFUM_{TE} calculados en ambas localidades y en cada FR con sus respectivos estadígrafos de bondad de ajuste. La misma indica que los modelos correspondientes a las FR 01-07 al 01-08 muestran que el porcentaje de la variabilidad explicado por las UFUM_{FR} oscilan entre el 83 y 90% para Luján de Cuyo y entre el 92 y el 96% para Tupungato.

Se observa que a medida que la FR se acerca a la fecha final de conteo, mayor es la calidad del ajuste ya que el coeficiente de determinación (R^2) se incrementa, mientras que los errores estándares de la ordenada de origen (EEa) y el de la pendiente (EEb) se reducen. Sin embargo, como la FR está cada vez más cerca de la fecha final del conteo el valor predictivo de los modelos se reduce. El valor P de los modelos menor de 0.001 indica que todos poseen significación estadística. Debido a ello es posible realizar estimaciones de las UFUM_{TE} a partir del valor de las UFUM_{FR}.

Tabla 1. Modelos de ajuste entre UFUM_{FR} y UFUM_{TE} para los departamentos Luján de Cuyo y Tupungato respectivamente

Table 1 Fitting models between CU observed at prefixed Julian Days and total estimated CU for Luján de Cuyo and Tupungato department respectively

| Localidad | FR | DJ | Modelo UFUM _{FR} - UFUM _{TE} | Valor P_{modelo} | R^2 | EE | |
|--------------------------------|------|---|--|---------------------------|-------|-------|------|
| | | | | | | a | b |
| Mayor Drumond Luján de Cuyo | 20-5 | 140 | UFUM _{TE} = 1.000,696+2,299 · UFUM _{FR} | 0,005 | 0,41 | 65 | 0,7 |
| | 10-6 | 161 | UFUM _{TE} = 851,229+1,368 · UFUM _{FR} | <0,0001 | 0,56 | 76,5 | 0,31 |
| | 01-7 | 182 | UFUM _{TE} = 727,491+0,994 · UFUM _{FR} | <0,0008 | 0,54 | 104,7 | 0,24 |
| | 20-7 | 201 | UFUM _{TE} = 487,473+1,005 · UFUM _{FR} | <0,00012 | 0,77 | 94,5 | 0,14 |
| | 01-8 | 213 | UFUM _{TE} = 314,849+1,0641 · UFUM _{FR} | <0,00001 | 0,80 | 105,8 | 0,13 |
| 10-8 | 222 | UFUM _{TE} = 218,924+1,055 · UFUM _{FR} | <0,00001 | 0,86 | 97,76 | 0,11 | |
| El Peral Tupungato | 10-6 | 161 | UFUM _{TE} = (944,24+29,62 · UFUM _{FR}) ^{0,5} | <0,005 | 0,88 | 74,4 | 4,03 |
| | 01-7 | 182 | UFUM _{TE} = 880,33+0,95 · UFUM _{FR} | <0,00001 | 0,92 | 77,5 | 1,01 |
| | 20-7 | 201 | UFUM _{TE} = 622,99+1,02 · UFUM _{FR} | <0,00001 | 0,94 | 78,7 | 0,09 |
| | 01-8 | 213 | UFUM _{TE} = 467,92+1,03 · UFUM _{FR} | <0,00001 | 0,96 | 73,9 | 0,08 |
| | 10-8 | 222 | UFUM _{TE} = 351,89+1,03 · UFUM _{FR} | <0,00001 | 0,96 | 87,9 | 0,08 |

A partir del 20-07 la tasa de incremento de las UFUM_{TE} (pendiente) es casi constante, mientras que la ordenada del origen reduce sustancialmente su valor. Ello indica que a partir de esa FR las UFUM_{TE} dependen principalmente de lo acumulado hasta ese momento.

Las figuras 1, 2, 3 y 4, 5, 6 muestran las relaciones UFUM_{FR}-UFUM_{TO} de los departamentos Luján de Cuyo y Tupungato respectivamente. Los grupos de figuras 1 y 4; 2 y 5; 3 y 6 corresponden a las FR 01-07, 20-07 y 01-08. Para una misma fecha, al incrementarse las UFUM_{FR} se incrementan las UFUM_{TE}. Mientras que, para una misma cantidad de UFUM_{FR}, a medida que las FR se incrementan, las UFUM_{TE} se reducen. Ello indica que a medida que la FR avanza las UFUM_{FR} son cada vez mayores ya que siempre existe acumulación de frío, sin embargo su efecto sobre el valor de UFUM_{TE} es cada vez menor.

Se observa que cuando las UFUM_{FR} de Luján de Cuyo pronostican el valor medio de la zona (1.162 UFUM) los límites de predicción 90%, oscilan entre 900 y 1.400 UFUM_{TE} para la FR 201 (figura 2) y entre 960 y 1.360 UFUM_{TE} para la FR 213 (figura 3). De modo que la amplitud de las estimaciones de ambas FR es de 500 y 400 UFUM respectivamente. Tales valores indican que si bien el pronóstico ofrece información valiosa sobre la disponibilidad de frío, la misma no posee la precisión deseada.

Los modelos correspondientes al departamento Tupungato muestran amplitudes más reducidas y por lo tanto, pronósticos más precisos. Para obtener el valor medio de UFUM_{TE} de Tupungato (1.445 UFUM) los límites de predicción oscilan entre 1.315 y 1.586 y entre 1.331 y 1.559 para las FR 20-07 y 01-08 respectivamente (figuras 5 y 6), indicando una amplitud de 271 y 228 para cada una de las fechas mencionadas.

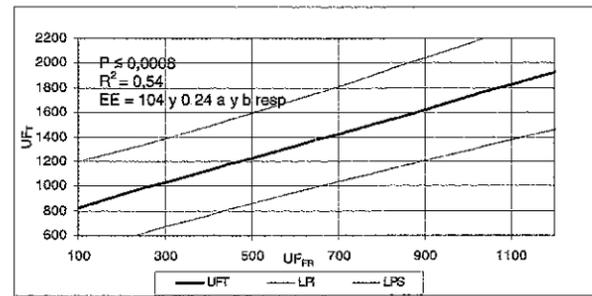


Figura 1. Relación entre las $UFUM_{FR}$ observadas el 01-07 (182 DJ) y las $UFUM_{TO}$ y sus límites de predicción 90% confianza Luján de Cuyo.
 Figure 1. Relationship CU at the reference date 01-07 (182 Julian day) and total CU observed and its predictions limits 90% of confidence Luján de Cuyo.

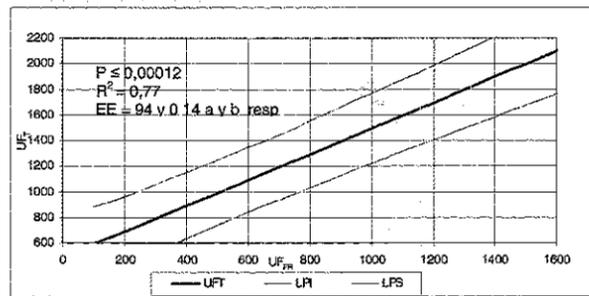


Figura 2. Relación entre las $UFUM_{FR}$ observadas el 20-07 (201 DJ) y las $UFUM_{TO}$ con sus respectivos límites de predicción 90% confianza Luján de Cuyo.
 Figure 2. Relationship CU at the reference date 20-07 (201 Julian day) and total CU observed and its predictions limits 90% of confidence Luján de Cuyo.

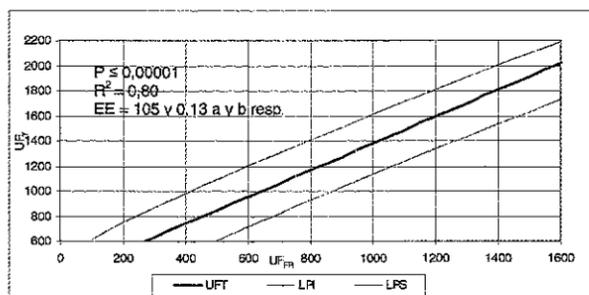


Figura 3. Relación entre las $UFUM_{FR}$ observadas el 01-08 (213 DJ) y las $UFUM_{TE}$ y sus límites de predicción 90% confianza, Luján de Cuyo.
 Figure 3. Relationship CU at the reference date 01-08 (213 Julian day) and total CU estimated and its predictions limits 90% of confidence Luján de Cuyo.

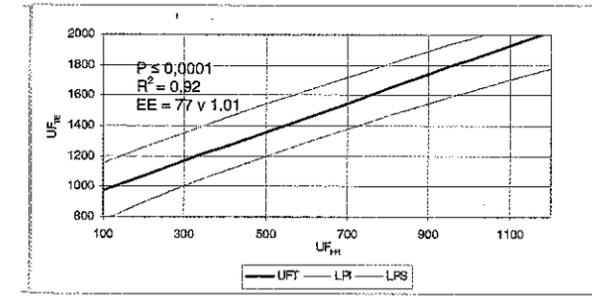


Figura 4. Relación entre las $UFUM_{FR}$ observadas el 01-07 (182 DJ) y las $UFUM_{TE}$ y sus límites de predicción 90% confianza, Tupungato.
 Figure 4. Relationship CU at the reference date 01-07 (182 Julian day) and total CU estimated and its predictions limits 90% of confidence Tupungato.

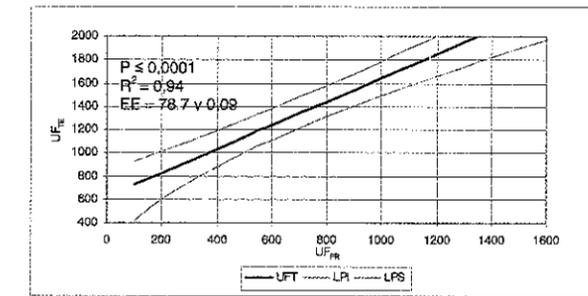


Figura 5. Relación entre las $UFUM_{FR}$ observadas el 20-07 (201 DJ) y las $UFUM_{TE}$ y sus límites de predicción, 90% confianza. Tupungato.
 Figure 5. Relationship CU at the reference date 20-07 (201 Julian day) and total CU estimated and its predictions limits 90% of confidence Luján de Cuyo.

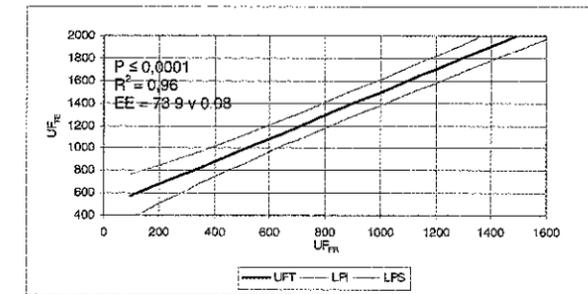


Figura 6. Relación entre las $UFUM_{FR}$ observadas el 01-08 (213 DJ) y las $UFUM_{TE}$ y sus límites de límites de predicción, 90% confianza. Tupungato.
 Figure 6. Relationship CU at the reference date 01-08 (213 Julian day) and total CU estimated and its predictions limits 90% of confidence Tupungato.

Por lo tanto, los modelos de pronóstico de UFUM_{TE} de ambos departamentos aportan un elemento, que si bien da noción de las UFUM disponibles, no es suficientemente preciso para fundamentar toma de decisiones. El desarrollo de un método que permita calcular la probabilidad del año en curso de experimentar una determinada oferta de frío es la herramienta que complementa el pronóstico de UFUM y que permite tomar decisiones asumiendo riesgos calculados.

Estimación de la probabilidad

La tabla 2 muestra los modelos de regresión logística para cada una de las localidades estudiadas y según los intervalos de clase fijados a través de las UFUM_{TO}.

Los estadígrafos de bondad de ajuste de los modelos de ambas zonas se muestran en la tabla 3. Debido a que, en todos los modelos, los valores de P_(modelo) son menores de 0,01, existe una relación, UFUM_{TE}-P_{UFUM}, con significación estadística. La variabilidad de las UFUM_{TO} del departamento Luján de Cuyo, explica el 88,97; el 88,40 y el 77,13% de la variabilidad encontrada en los valores de la probabilidad para los años con menos de 900, entre 900 y 1.200 y mayores de 1.200 UFUM respectivamente. Mientras que la variabilidad de las UFUM del departamento de Tupungato explica el 87,47 y 78,38% de la variabilidad encontrada en los valores de probabilidad para años con menos y más de 1.100 UFUM respectivamente. El valor de la probabilidad de los residuos del análisis de

Tabla 2. Modelos de estimación de P_{UFUM}
Table 2. Probability estimation models according to region and total CU estimated

| Localidad | UF _{TE} según pronóstico | Modelo |
|---------------|-----------------------------------|---|
| Mayor Drumond | Menor de 900 | $P_{UFUM} = e^{(11,097 - 0,01432 \cdot UFUM_{TE})} \cdot (1 + e^{(11,097 - 0,01432 \cdot UFUM_{TE})})^{-1}$ |
| Luján de Cuyo | 900 a 1.200 | $P_{UFUM} = e^{(28,356 - 0,02493 \cdot UFUM_{TE})} \cdot (1 + e^{(28,356 - 0,02493 \cdot UFUM_{TE})})^{-1}$ |
| | Mayor de 1.200 | $P_{UFUM} = e^{(20,634 - 0,01366 \cdot UFUM_{TE})} \cdot (1 + e^{(20,634 - 0,01366 \cdot UFUM_{TE})})^{-1}$ |
| El Peral | Menor de 1.100 | $P_{UFUM} = e^{(8,871 - 0,00808 \cdot UFUM_{TE})} \cdot (1 + e^{(8,871 - 0,00808 \cdot UFUM_{TE})})^{-1}$ |
| Tupungato | Mayor de 1.200 | $P_{UFUM} = e^{(23,03 - 0,0143 \cdot UFUM_{TE})} \cdot (1 + e^{(23,03 - 0,0143 \cdot UFUM_{TE})})^{-1}$ |

Tabla 3. Pruebas de bondad de ajuste de los modelos logísticos de P_{CUF}
Table 3. Goodness of Fit test of logistic regression models of each region

| Localidad | Intervalo de clase de año según UF _{TE} | Valor P _(modelo) | Valor P _(residuo) | % deviance explicado | Prueba de bondad de ajuste P _{χ²} | P _(Proporción de verosimilitud) |
|---------------|--|-----------------------------|------------------------------|----------------------|---|--|
| Mayor Drumond | Menor de 900 | 0 | 1 | 82,46 | 0,91 | 0.000 |
| Luján de Cuyo | 900 a 1.200 | 0 | 1 | 90,45 | 0,98 | 0.000 |
| | Mayor de 1.200 | 0 | 1 | 79,40 | 0,89 | 0.000 |
| El Peral | Menor de 1.100 | 0 | 1 | 84,82 | 0,78 | 0.000 |
| Tupungato | Mayor de 1.200 | 0 | 1 | 78,38 | 0,99 | 0.000 |

la "Deviance" estimado en los modelos de ambas zonas es mayor que 0,1, indicando que el algoritmo establecido es el mejor posible para los datos analizados a un nivel de confianza mayor del 90%. El valor Pc² indica que la función logística de todos los modelos ajusta adecuadamente a un nivel de confianza mayor del 90%. El valor de la Probabilidad de la prueba de proporción de verosimilitud (P_{proporción de verosimilitud}) es menor de 0.01 en los todos los modelos, por lo que no puede ser simplificado con un nivel de confianza del 99%.

En las figuras 7, 8 y 9 se muestran las P_{UFUM} en los años con disponibilidad estimada menor de 900, entre 900 y 1.200 y mayores de 1.200 UFUM respectivamente del departamento Luján de Cuyo. En las figuras 10 y 11 se muestran las P_{UFUM} para los años con disponibilidad menor y mayor de 1.200 UFUM respectivamente en el departamento de Tupungato. Las figuras indican la P_{UFUM} que posee el año en curso de cumplir cierto umbral de oferta de frío cuando las UFUM_{TE} coinciden con un intervalo establecido. Cuando el departamento Luján de Cuyo posee una UFUM_{TE} mayor de 1.200 corres-

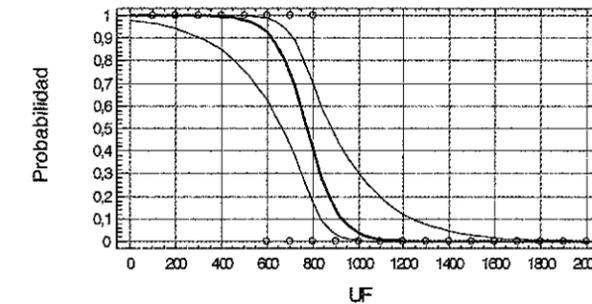


Figura 7. Modelo de estimación de la P_{UFUM} de alcanzar UFUM cuando la UFUM_{TE} es < de 900. Luján.
Figure 7. Probability of estimation to attain a certain CU value when estimated CU is less than 900. Luján.

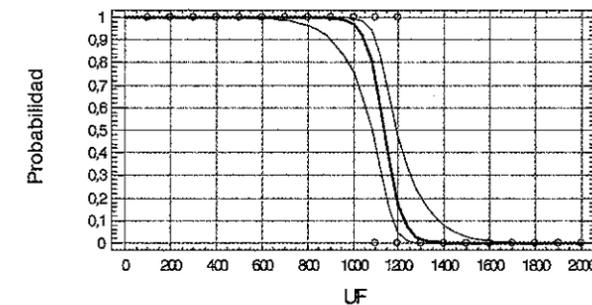


Figura 8. Modelo de estimación de la P_{UFUM} de alcanzar UFUM cuando la UFUM_{TE} está entre 900-1.200. Luján.
Figure 8. Probability of estimation to attain certain CU value when estimated CU is between 900-1.200 CU. Luján.

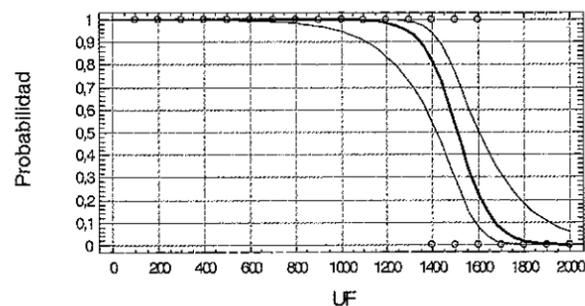


Figura 9. Modelo de estimación de la P_{UFUM} de alcanzar UFUM cuando la $UFUM_{TE}$ es > de 1.200. Luján.
 Figure 9. Probability estimation to reach a certain CU value when estimated CU is more than 1.200. Luján.

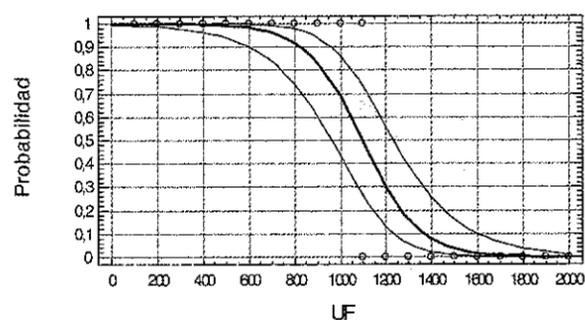


Figura 10. Modelo de estimación de la P_{UFUM} de alcanzar UFUM cuando la $UFUM_{TE}$ es < de 1.200. Tupungato.
 Figure 10. Probability estimation to reach a certain CU value when estimated CU is less than 1.200. Tupungato.

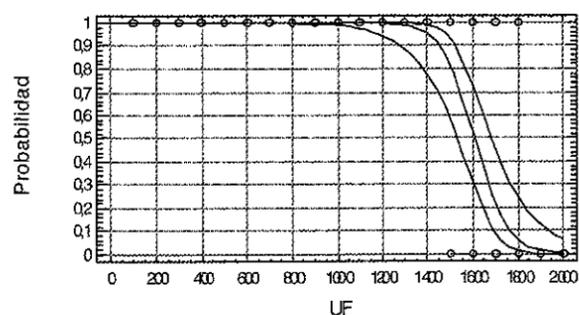


Figura 11. Modelo de estimación de la P_{UFUM} de alcanzar UFUM cuando la $UFUM_{TE}$ es > de 1.200. Tupungato.
 Figure 11. Probability estimation to reach a certain CU value when estimated CU is more than 1.200 CU. Tupungato.

ponde analizar la curva de la figura 9. Ella indica que en tales condiciones la probabilidad de alcanzar 1.200 UFUM es de aproximadamente 98%, mientras que las 1.600 UFUM tienen el 25%. Tupungato cuando se estima una disponibilidad de frío mayor de 1.200 $UFUM_{TE}$ las probabilidades de alcanzar una determinada cantidad de UFUM se estiman a través de la curva de la figura 10. En tales condiciones, cuando las $UFUM_{TE}$ son 1.200 y 1.600 se estima que la P_{UFUM} será del 100 y 50% respectivamente.

En la tabla 4 se muestra los porcentajes de las P_{UFUM} en función de la zona, de las $UFUM_{TE}$ del año y del requerimiento de frío necesario para satisfacer la demanda de una determinada variedad. También se muestran los valores de los límites de predicción inferior y superior de la probabilidad, con un nivel de confianza del 95%. Se puede observar como, para un mismo valor de $UFUM_{TE}$, a medida que los requerimientos aumentan, la probabilidad de alcanzarlos disminuye. Se observa que para una misma demanda de frío las probabilidades se incrementan cuanto mayor sean las

$UFUM_{TE}$. El departamento Tupungato muestra que para valores iguales de $UFUM_{TE}$ las P_{UFUM} son mayores que las estimadas en Luján de Cuyo. Ello se debe a la mayor disponibilidad de UFUM que posee el primer departamento respecto del segundo.

El porcentaje de probabilidad que posee el año promedio (1.162 UFUM) del departamento de Luján de Cuyo de alcanzar las 900 UFUM es del 99% y para las 1.200 UFUM es del 26%. Mientras que las de Tupungato en un año promedio (1.445 UFUM) son del 100% y del 82% para 1.200 y 1.500 UFUM respectivamente.

Por lo tanto en el departamento de Luján de Cuyo, las variedades de bajas necesidades, menores de 900, como Rubí podrán ser cultivadas sin inconvenientes, las que requieren entre 900 a 1.200 como Celeste y Garnet tendrán mayores riesgos de experimentar daños por falta de frío. Mientras que en Tupungato las variedades medianamente exigentes serán cultivadas sin inconvenientes y las mayores de 1.400 como Bing o Early Burlat presentarán inconvenientes 2 de cada 10 años (Tersoglio et al., 2006).

Tabla 4. Porcentaje de P_{UFUM} según diferentes requerimientos con sus correspondientes límites superior e inferior de predicción (LI y LS) al 95% de confianza, según las $UFUM_{TE}$
 Table 4. Percentage of probability to fulfill different requirements with its predictions limits, 95% confidence, according to total CU estimated

| Localidad | UF_{TE} | P_{CUF} según requerimiento de frío (%) | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------|---|-------|-----|-----|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|----|
| | | 600 | | | 900 | | | 1.200 | | | 1.500 | | |
| | | LI | media | LS | LI | media | LS | LI | media | LS | LI | media | LS |
| Mayor | Menor 900 | 62 | 92 | 99 | 3 | 14 | 46 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 3 |
| Drumond | 900 a 1.200 | 100 | 100 | 100 | 90 | 100 | 100 | 5 | 17 | 47 | 0 | 0 | 3 |
| Luján de Cuyo | Mayor 1.200 | 100 | 100 | 100 | 97 | 100 | 100 | 84 | 99 | 100 | 29 | 53 | 76 |
| El Peral | Menor 1.200 | 90 | 98 | 100 | 60 | 83 | 94 | 13 | 30 | 56 | 1 | 4 | 16 |
| Tupungato | Mayor 1.200 | 100 | 100 | 100 | 99 | 100 | 100 | 94 | 100 | 100 | 59 | 82 | 94 |

Conclusión

El presente trabajo permite pronosticar la disponibilidad de frío que tendrá el cultivo del cerezo en el año en curso. Permite además estimar la probabilidad de cumplir el requerimiento de frío de una determinada variedad de cerezo en las condiciones de los departamentos de Luján de Cuyo y Tupungato.

Las $UFUM_{TE}$ permiten pronosticar un eventual déficit de frío invernal. Tal propuesta posibilita, con una antelación que oscila entre 97 a 36 días a la fecha media de inicio floración, estimar la cantidad total de frío invernal que recibirá el cultivo. Sin embargo la amplitud de los límites de predicción indica que los modelos de pronóstico de $UFUM_{TE}$ no son suficientemente precisos para fundamentar la toma de decisiones. Para ello el cálculo de la probabilidad que posee el año en curso de satisfacer un determinado requerimiento es la herramienta complementaria que permitirá tomar de decisiones asumiendo riesgos calculados.

La estimación de la P_{UFUM} le permitirá al productor seleccionar las variedades más adaptadas a cada región, evaluar los riesgos de experimentar daños por falta de frío y realizar eventuales medidas correctivas en función de las variedades que cultiva, de la zona y de las condiciones del presente invierno. Si bien la metodología propuesta y los resultados esperados deben ser convenientemente validados a través de los años, tal información representa un importante avance ya que permitirá mejorar el control de los problemas que ocasiona la falta de frío invernal en el cultivo del cerezo.

Bibliografía

Anderson JL, Richardson EA, Kesner CD, 1986. Validation of chill unit and flower bud pheno-

logy models for Montmorency sour cherry. *Acta Hort.* 184: 71-78.

Byrne DH, Bacon T, 2003. Chilling accumulation: its Importance and Estimation. <http://aggie-horticulture.tamu.edu/stonefruit/chillacc.htm>

Couvillon G, 1995. Temperature and stress effects on rest in fruit trees: a review. *Acta Hort.* 395: 11-19.

Díaz MP, Demetrio CG, 1998. Introducción a los Modelos Lineales Generalizados. Su aplicación en las ciencias biológicas. Editorial Screen. 105 p.

Dirección de Contingencias Climáticas. 1998-2007. Archivos de temperaturas horarias de la Provincia de Mendoza. DCC. Gobierno de Mendoza. 2007.

Erez A, 1995. Means to compensate for insufficient chilling to improve bloom and leafing. *Acta Horticulturae* 395: 81-95.

Faust M, Erez A, Rowland L, Wang S, Norman H, 1997. Bud dormancy in perennial fruit trees: physiological basis for dormancy induction, maintenance and release. *HortScience*, 32(4) 623-629.

Infostat, 2004. InfoStat, versión 2004. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina.

Jackson JE, Bepete M, 1995. The effect of hydrogen cyanamida (Dormex) on flowering and cropping of different apple cultivars under tropical conditions of sub-optimal winter chilling. *Scientia Horticulturae* 60: 293-304.

Küden AB, Küden A, Kaska N, 1997. Cherry Growing in the subtropics. *Acta Horticulturae* 441: 71-74.

Linville DE, 1990. Calculation chilling hours and chilling units from daily maximum and minimum temperature observations. *HortScience* 25, 14-16.

Linsley-Noakes G, Louw M, Allan P, 1995. Estimating daily positive Utah chill units using daily minimum and maximum temperatures. *J. S. Afr. Soc. Hort. Sci.* 5 (1)

Norvel DJ, Moore JN, 1982. An evaluation of chilling requirements models for estimating rest requirements of highbush blueberries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107(1): 54-56

Ortiz A, 1990-2006. Boletín Agrometeorológico. Cátedra de Meteorología FCA UNCuyo

Richardson E, 1975. Author Letter. *HortScience* 10(6), 561-562

Richardson E, Seeley SD, Walter RD, 1974. A model for estimating the completion of rest for "Redhaven" and "Elberta" Peach Trees. *HortScience* vol 9(4).

Seeley SD, 1996. Modeling climatic regulation of bud dormancy. P 361-376. En: G.L.LANG (ed.) *Plant dormancy: Physiology, biochemistry, and molecular biology*. CAB Intl. Wallingford, Oxon, U.K.

Seif S, Gruppe W, 1985. Chilling requirements of sweet cherries (*Prunus avium*) and interspecific cherry hybrids. *Acta Horticulturae* 169: 289-294.

Tersoglio E, Naranjo G, Rivero L, Quiroga M, 2006. Requerimientos de frío invernal y de calor en variedades de cerezos. *ITEA* 102 (3), 251-259

Tersoglio E, Naranjo G, 2007. Características del frío invernal de las zonas productoras de cerezas de la provincia de Mendoza, Argentina. Parte I. En prensa.

UC Fruit & Nut Research Information Center. 2006. About Chilling Units, Hours, and Portions University of California Disponible: <http://fruitsandnuts.ucdavis.edu/weather/aboutchilling.shtml> [Consulta junio 2007].

Walser RH, Walker DR, Seeley D, 1981. Effect of temperature, fall defoliation and gibberelic acid on the rest period of peach leaf bud. *J. Amer. Hort. Sci.* 106(1): 91-94.

(Aceptado para publicación el 27 de septiembre de 2007)

