

**FACULTAD DE
CIENCIAS AGRONÓMICAS
Y DE LOS ALIMENTOS**



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO**

Estimación de los requerimientos de porciones de frío (PF) en distintas variedades de cerezo (*Prunus avium* L.), a través del modelamiento del proceso de latencia.

INFORME FINAL

Elaborado por:

Sebastián Súa, Ph.D.

Italo Cuneo, Ph. D.

Óscar Aliaga, Ing. Agr.

Daniela Farías, M.Sc.

Graeme Baird, Ph.D.(c)

Laureano Alvarado, M.Sc.(c)

Enero, 2018

1 Introducción

El receso invernal o latencia invernal ha sido descrito como una adaptación de las especies de clima templado-frío para superar las bajas temperaturas durante los meses de menor registro térmico (Egea *et al.*, 2003). Esta adaptación, se caracteriza por la ausencia de crecimiento en las yemas, tanto vegetativas como reproductivas, del árbol. En términos generales, el receso invernal está compuesto por dos etapas conocidas como endo y ecolatencia. En la endolatencia ocurre la acumulación de frío en las yemas de cerezo y otros frutales caducifolios (Erez, 1995; Egea *et al.*, 2003). Para dicha cuantificación se han utilizado diversos métodos a la actualidad, siendo el modelo de Horas Frío (HF) bajo 7,2°C el más utilizado (Pérez *et al.*, 2008). Sin embargo, este modelo solo tiene buenos resultados en climas templados, frescos y fríos al no considerar el efecto negativo de altas temperaturas invernales (Perez *et al.*, 2008) Debido a esto, actualmente se incorpora el Modelo Dinámico, de Porciones de Frio (PF) el cual considera el efecto de la intensidad y duración de altas y bajas temperaturas, resultando asertivo en climas templados cálidos (mediterráneos) y subtropicales.

Cuando el requerimiento de frío se ha alcanzado satisfactoriamente, inicia la etapa de ecolatencia. Durante la ecolatencia las yemas están fisiológicamente preparadas para brotar, pero las temperaturas aún son desfavorables para que esto suceda (Tersoglio *et al.*, 2006). Por lo tanto, desde el ámbito climático, el éxito de esta etapa depende principalmente de la acumulación de calor en el tejido. Esta acumulación de calor se puede cuantificar como Grados Hora de Crecimiento (GHC). Finalmente, luego de un adecuado tiempo de exposición al frío, seguido de una oportuna y suficiente exposición a temperaturas favorables, las yemas salen del receso y dan origen al nuevo crecimiento de la temporada (Richardson *et al.*, 1974).

Comprender los métodos de cuantificación de requerimientos de frío y calor es de gran importancia en climas mediterráneos (Pérez *et al.*, 2008; Ruiz *et al.*, 2007). En estos climas no se satisfacen los requerimientos de frío, lo que puede provocar problemas como brotaciones y floraciones heterogéneas en el tiempo, retrasando o adelantando dichos procesos, como en la calidad obtenida, perjudicando así la producción y rentabilidad del cultivo (Couvillon, 1995). Por tanto, resulta necesario entender la intensidad e interacción de los procesos de latencia y el condicionamiento del clima sobre dichos procesos (Pérez *et al.*, 2008; Ruiz *et al.*, 2007; Gariglio *et al.*, 2006).

Adicionalmente a los métodos de cuantificación de los requerimientos de frío, se debe considerar que estos requerimientos son específicos para cada variedad (Tao, 2005). Por otra parte, el inicio y término de los procesos de endolatenia y ecolatenia han sido definidos de forma arbitraria e inconsistente (Egea *et al.*, 2003). Sumado a lo anterior, no se expone con claridad desde qué momento las yemas comienzan a acumular frío en la endolatenia. Tampoco se tiene certeza sobre puntos como la cantidad de calor necesario en la ecolatenia, la homogeneidad de estados fenológicos y el porcentaje base y máximo de brotación alcanzados, la influencia genética de cada variedad/portainjerto, y la interacción de los requerimientos de calor sobre la dinámica de acumulación de frío (Tersoglio *et al.*, 2006; Allan, 2004; Arora 2003).

Considerando lo anterior, el objetivo de este estudio fue establecer los requerimientos de porciones de frío y grados hora de crecimiento necesarios para la brotación de distintas variedades de cerezo. Los resultados de este estudio permiten comprender la interacción y compensación entre los requerimientos de frío y calor y clarifican la forma en que se relaciona dicha interacción con una brotación homogénea y acotada en cerezo dulce.

2 Materiales y métodos

2.1 Material vegetal

El estudio se realizó en un huerto comercial de cerezos ubicado en la zona de Cumpeo, Comuna de Río Claro (35°, 27 S lat; 958 m.s.n.m.), Región del Maule. Esta zona se caracteriza por presentar un clima Mediterráneo Templado de Estación seca y lluviosa en intervalos. Se estudiaron las variedades de cerezo Bing, Lapins, Rainier, Regina, Santina, Skeena y Sweetheart (todas ellas sobre portainjerto Colt); y la variedad Kordia sobre Colt y sobre Maxma14. Para cada variedad se seleccionaron 6 árboles (repeticiones) sanos y bien manejados a partir de los cuales se obtuvieron ramillas de un año de edad, utilizadas como unidad experimental. En total, se realizaron 10 cosechas de ramillas con una frecuencia tal que éstas contarán con 16, 26, 32, 38, 42, 48, 52, 58, 63 y 70 porciones de frío acumuladas en campo.

2.2 Cálculo de los requerimientos de frío y calor.

Los requerimientos de frío (porciones de frío, horas frío y unidades de frío) necesarios para romper la latencia en cada variedad se calcularon a través del uso de paquetes del software R, entre los cuales destaca chillR. Dichos requerimientos de frío se contabilizaron a partir abril de 2017, después de la caída de hojas y con temperaturas favorables para la acumulación de frío invernal.

Los requerimientos de calor, expresados como grados-hora de crecimiento (GHC), también se calcularon con el uso del software R. Lo anterior se realizó para cada variedad, tanto en campo como en cámaras de crecimiento. Los GHC acumulados por las ramillas se contabilizaron hasta que estas alcanzaron el estado fenológico 11 BBCH (50% de yemas vegetativas abiertas), punto que marca el fin de la ecolatencia.

Las temperaturas horarias se obtuvieron a través de las temperaturas registradas por la estación meteorológica privada del campo y cinco sensores HOBO ® instalados en 5 subsectores del huerto, representativos para cada subconjunto de variedades. Así mismo, se instalaron sensores HOBO® en la cámara de crecimiento, para registrar con exactitud las temperaturas horarias en ella. La Estación Meteorológica San Pedro Molina de la Red Agromet, ubicada a 21 km del huerto fue también utilizada para verificar las temperaturas obtenidas en huerto.

2.3 Descripción del ensayo

Establecimiento en cámara de crecimiento

Para cada momento de cosecha de ramillas, se establecieron en la cámara de crecimiento 6 repeticiones a partir de 2 submuestras obtenidas en campo. Lo anterior corresponde a 2 ramillas de 1 año de crecimiento por repetición.

Una vez en cámara, las ramillas fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio 0,5% v/v, cortadas basalmente y colocadas inmediatamente en recipientes de polietileno, con 250 ml de solución de sacarosa al 5% p/v (Figura 1).



Figura 1: Ramillas posicionadas en cámara de crecimiento.

La cámara de crecimiento se mantuvo en condiciones controladas, correspondientes a $21 \pm 0,71$ °C, $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, bajo luces blancas fluorescentes frías y de haluro metálico, 65% de humedad relativa constante, en periodos de luz de 16 horas. Temperatura e intensidad lumínica que fue periódicamente verificada. Al momento de establecer las ramillas se midió su largo total y diámetro basal y se registró el número total de yemas visibles sobre el vaso (entre 10 a 15 yemas según variedad). Luego, cada 7 días, se realizaron mediciones del estado fenológico de cada yema. Para ello, las yemas de cada ramilla se identificaron desde la punta (yema número 1) hacia la base (yema n), en sentido horario respetando así la posición helicoidal de las yemas con respecto a la ramilla. Dicha medición se realizó hasta los 49 días en cámara clasificándose con las siguientes claves: (0) yema no brotada, (1) yema en estado BBCH 08 de la escala internacional de fenología de cerezos o (2) yema en estado BBCH 11 de la misma escala. De esta manera fue posible registrar individualmente, cada siete días por un total de 8 semanas, el tiempo de transición de 16,200 yemas entre estados fenológicos (Figura 2).



Figura 2: Referencias Fenológicas utilizadas

Determinación del momento de brotación en campo

Por último, a través de un análisis visual en campo se determinó la fecha en que cada una de las variedades presentó un porcentaje igual o superior al 50% de sus yemas en estado de puntas verdes (BBCH 08), que refleja el momento peak de brotación y determina el fin de la ecotencia. Lo anterior se realizó con el fin de contrastar los requerimientos de GHC observadas en la cámara de crecimiento para llegar al mismo estado fenológico con los acumulados en campo desde el momento en que se cumplen los requerimientos de PF.

2.4 Diseño y análisis de resultados

Se utilizó un diseño estadístico con bloques con tratamientos completamente al azar, debido a las diferencias de temperatura, humedad o luminosidad que podían producirse dentro de la cámara. Los bloques contenían 11 vasos de polietileno con ramillas de todas las variedades (1 vaso por combinación variedad/portainjerto), de una de las repeticiones, para cada momento de cosecha de ramillas (según PF). La ubicación de cada variedad dentro del bloque fue aleatoria, al igual que la ubicación de cada bloque en un mesón.

El análisis de los datos se dividió en dos partes. La primera, consistió en un análisis clásico de los datos en concordancia con la forma de analizar los datos en estudios anteriores (REF). En resumen, se realizó un análisis de varianza con variables respuesta sujetas a análisis según variedad y tratamiento de frío, y con análisis completo sujeto a efectos significativos.

La segunda forma de analizar los datos consistió en un modelamiento estadístico sujeto a la actividad individual de cada yema y a la transición entre estados fenológicos de ellas, entendiendo las probabilidades de brotación y expansión floral como procesos continuos y

dependientes a través del tiempo. A esta segunda forma de analizar los datos se le denomina, en el presente informe, como “modelamiento continuo”.

3 Resultados

3.1 Resultados a través de metodología clásica

Para todas las variedades se observó un aumento significativo de la brotación a medida que aumenta las PF acumuladas en campo antes de la recolección y manteniendo los GHC constantes. Lo mismo se observó al aumentar los GHC a los cuales son expuestas ramillas de una misma variedad y con la misma cantidad de PF acumuladas en campo. Se observó que a medida que aumentan las PF recibidas en campo más del 75- 85% de las yemas llegan a puntas verdes (BBCH 08), con menor cantidad de GHC recibidas. Para cada variedad se observó que los porcentajes de yemas que superan este estado se estabiliza una vez cumplidas cierta cantidad de PF. En las variedades Lapins y Rainier lo anterior se evidenció con menos de 40 PF; en Santina, Sweetheart y Skeena con entre 40 y 50 PF y en Bing, Regina, Kordia-Colt y Kordia-Maxma con más de 50 PF acumuladas. Ésta tendencia se puede comprobar según líneas de tendencia para cada variedad de acuerdo a las PF y GHC (Figuras 3 a 11).

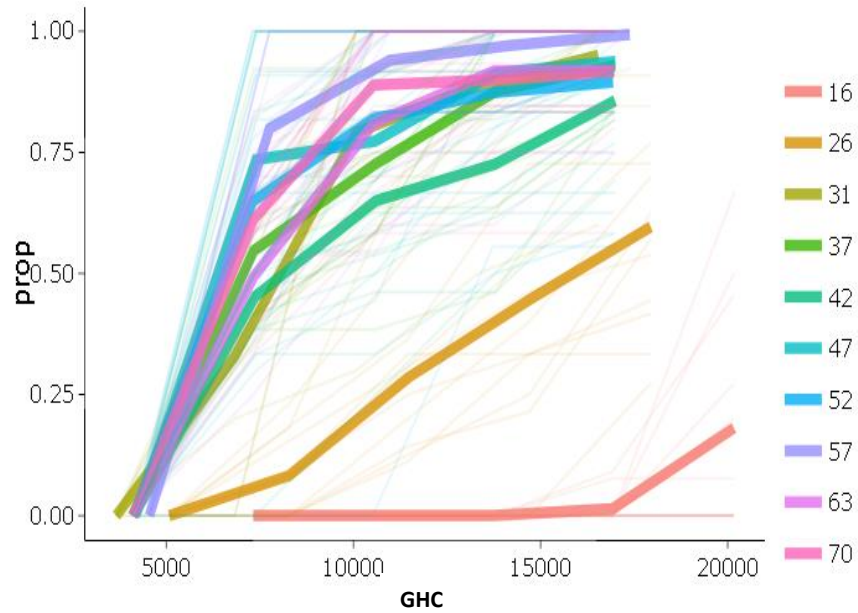


Figura 3: Proporción de yemas brotadas según PF y GHC, variedad Lapins.

* Prop: Proporción de yemas brotada; GHC: Grados hora de crecimiento; PF porciones frío
 ** Cada color representa las porciones frío con que se ha colectado el material (ramillas) en campo.

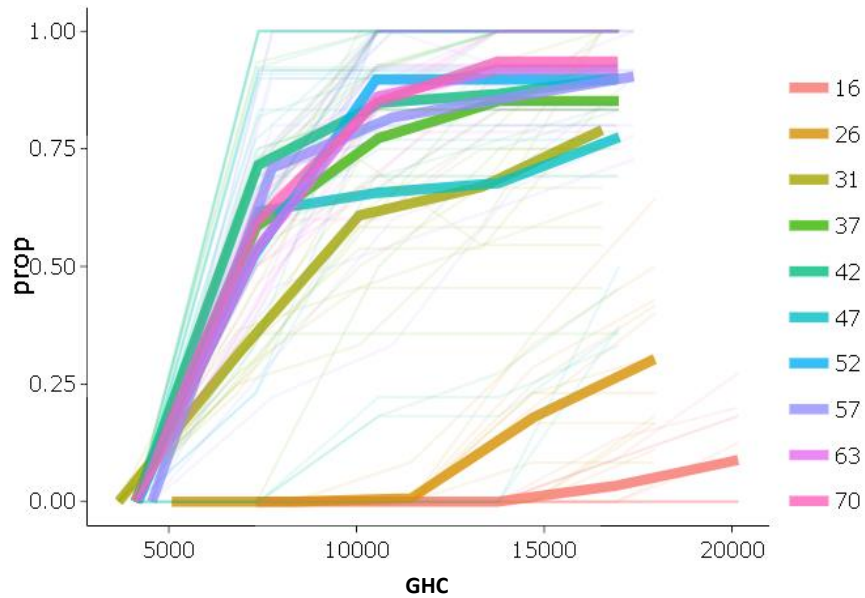


Figura 4: Proporción de yemas brotadas según PF y GHC, variedad Rainier.

* Prop: Proporción de yemas brotada; GHC: Grados hora de crecimiento; PF porciones frío
 ** Cada color representa las porciones frío con que se ha colectado el material (ramillas) en campo.

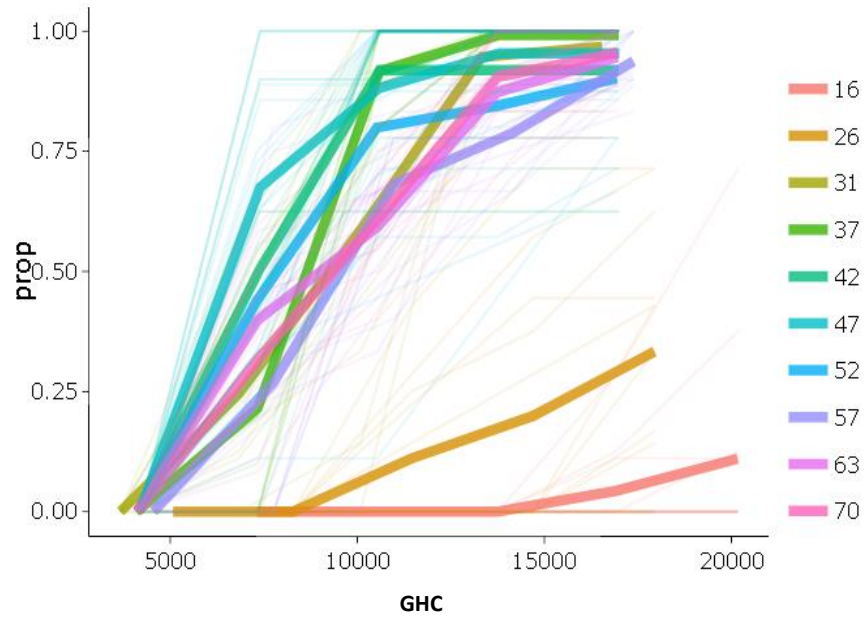


Figura 5: Proporción de yemas brotadas según PF y GHC, variedad Regina.

* Prop: Proporción de yemas brotada; GHC: Grados hora de crecimiento; PF porciones frío
 ** Cada color representa las porciones frío con que se ha colectado el material (ramillas) en campo.

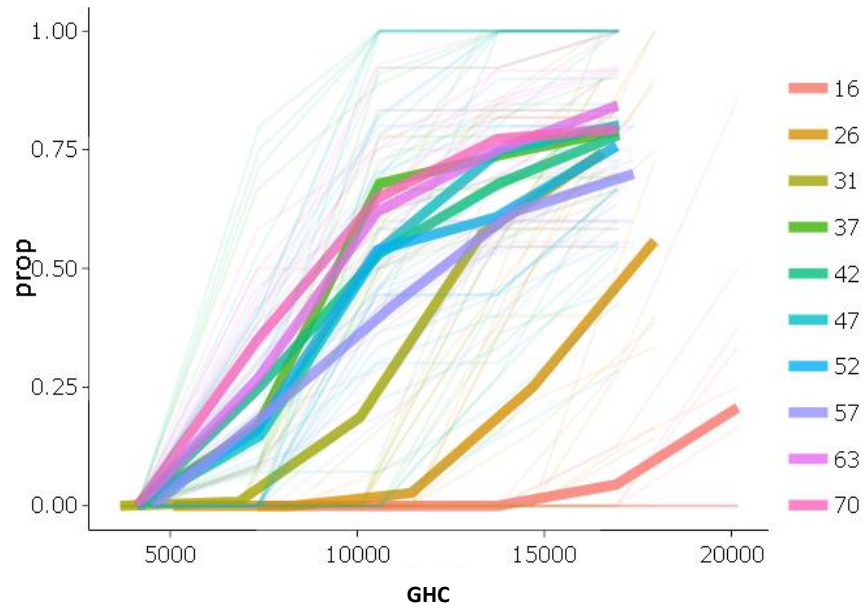


Figura 6: Proporción de yemas brotadas según PF y GHC, variedad Santina.

* Prop: Proporción de yemas brotada; GHC: Grados hora de crecimiento; PF porciones frío
 ** Cada color representa las porciones frío con que se ha colectado el material (ramillas) en campo.

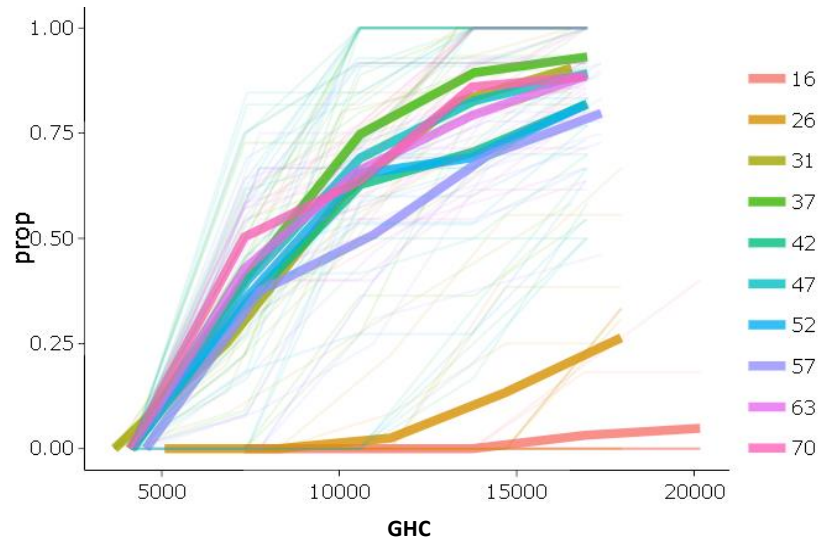


Figura 7: Proporción de yemas brotadas según PF y GHC, variedad Sweetheart.

* Prop: Proporción de yemas brotada; GHC: Grados hora de crecimiento; PF porciones frío
 ** Cada color representa las porciones frío con que se ha colectado el material (ramillas) en campo.

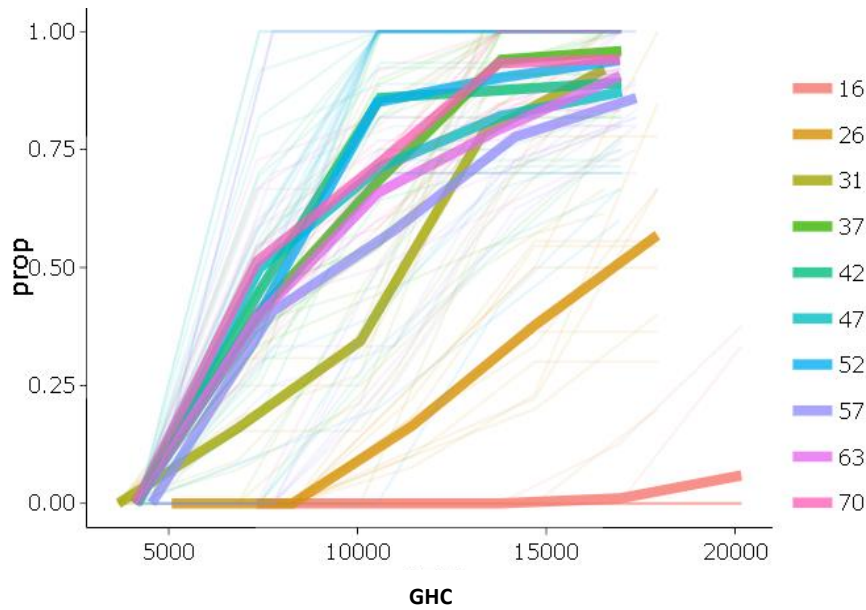


Figura 8: Proporción de yemas brotadas según PF y GHC, variedad Skeena.

* Prop: Proporción de yemas brotada; GHC: Grados hora de crecimiento; PF porciones frío
 ** Cada color representa las porciones frío con que se ha colectado el material (ramillas) en campo.

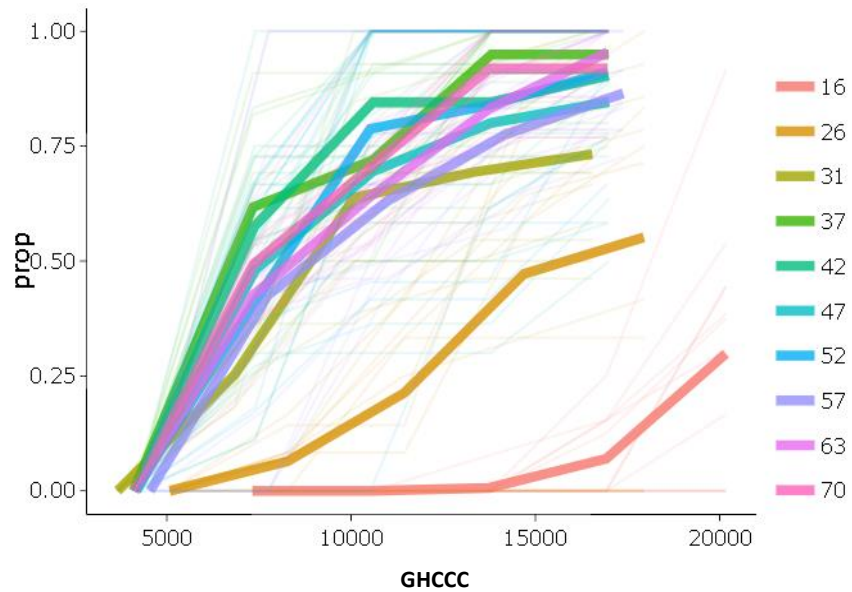


Figura 9: Proporción de yemas brotadas según PF y GHC, variedad Bing.

* Prop: Proporción de yemas brotada; GHC: Grados hora de crecimiento; PF porciones frío
 ** Cada color representa las porciones frío con que se ha colectado el material (ramillas) en campo.

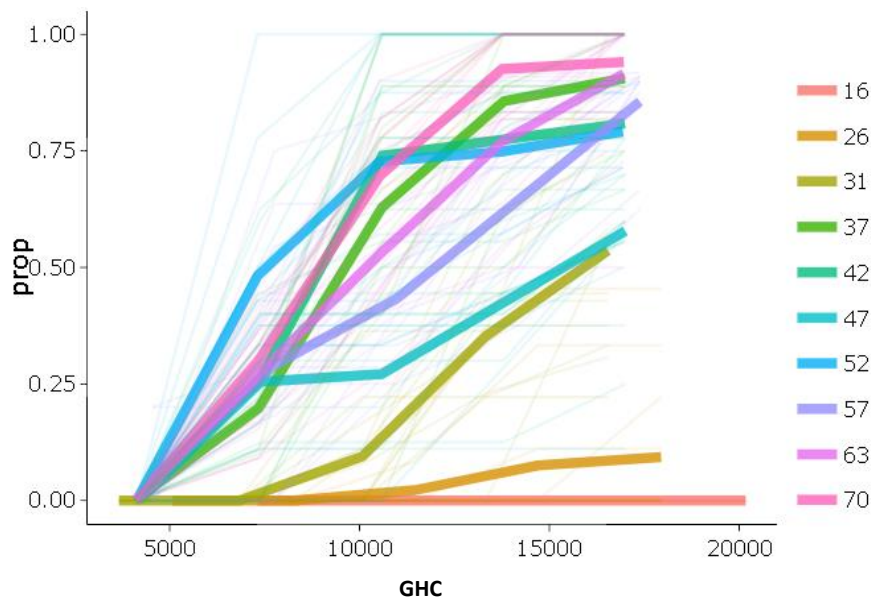


Figura 10: Proporción de yemas brotadas según PF y GHC, variedad Kordia- Colt.

* Prop: Proporción de yemas brotada; GHC: Grados hora de crecimiento; PF porciones frío
 ** Cada color representa las porciones frío con que se ha colectado el material (ramillas) en campo.

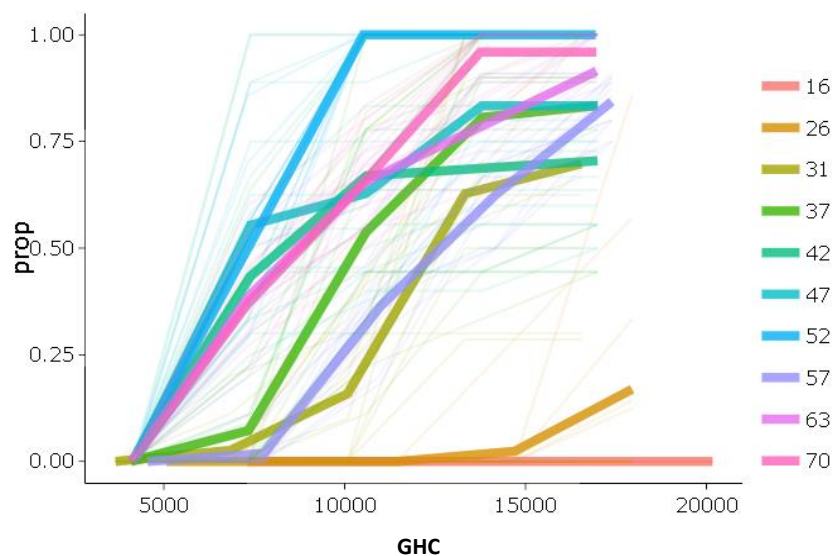


Figura 11: Proporción de yemas brotadas según PF y GHC, variedad Kordia-Maxma.

* Prop: Proporción de yemas brotada; GHC: Grados hora de crecimiento; PF porciones frío

** Cada color representa las porciones frío con que se ha colectado el material (ramillas) en campo.

Considerando lo observado en las figuras anteriores (Figuras 3-11) y la evolución de las ramillas en la cámara de crecimiento (Tablas e Imágenes de cada variedad en Anexos 1 a 9) los resultados de este estudio, a través de la metodología clásica, indican que para una superación exitosa del proceso de latencia (Tabla 1) para cada variedad como sigue:

Tabla 1: Requerimientos de porciones/horas de frío por variedad según metodología clásica.

Variedad	PF	HF	UF
Lapins	37	561	802
Rainier	42	643	917
Santina y Skeena	42-47	643 - 674	917- 1070
Sweetheart	47	674	1070
Regina y Bing	47-52	674-711	1070 - 1234
Kordia-Maxma	57	787	1362
Kordia- Colt	63	887	1470

Nota: Se establece superación del periodo de latencia con una proporción de yemas brotadas (sobre BBCH 08) sobre el 85% en cada variedad (excepto Santina con 75%), con al menos 50% de yemas en expansión foliar (BBCH 11) y en el menor tiempo posible en cámara (GHC).

3.2 Modelamiento continuo

Al momento de visualizar el estado fenológico BBCH 08 a 11 expuesto anteriormente ya ha ocurrido el proceso de endolatenia (donde se manifiestan los requerimientos de frío) y ha transcurrido gran parte del proceso de ecolatenia, completándose parcialmente los requerimientos de calor (Figura 12).

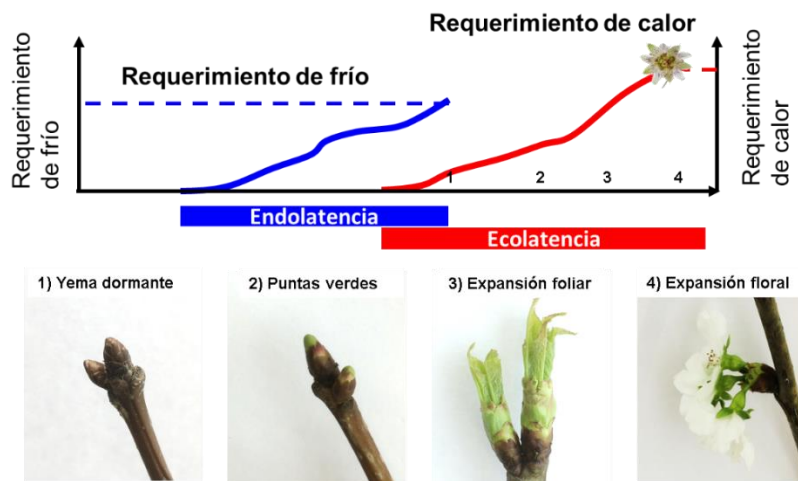


Figura 12: Dinámica de ocurrencia de procesos relacionados a la latencia.

Considerando lo anterior y entendiendo que estos procesos son continuos y dependientes, se elaboró un modelo que utiliza una variable latente no observada fenológicamente y que tiene movimiento y distribución a través de las distintas etapas fenológicas comprendidas entre BBCH 0 y 11 u ocurrencia de cada etapa fenológica una vez cumplidos los requerimientos. Así, el modelo logra establecer el desarrollo de yemas vegetativas a través del tiempo o cualquier acumulación de GHC una vez superado un punto de requerimiento mínimo de saturación por frío o requerimiento únicamente de frío (PF u HF) (Figuras 13 y 14), considerando adicionalmente la diferente sensibilidad que presenta

cada una de las variedades al frío (Figura 15). Luego de 21 días de acumulación de GHC (ecolatencia) desde dicho punto de saturación por frío (término de la endolatencia) al menos el 85% de las yemas supera el estado fenológico BBCH 08.

Se observa que variedades catalogadas como tempranas presentan entre 29 PF en el caso de Lapins y 32 PF en caso de Rainier. variedades de requerimientos intermedios como Sweetheart y Santina entre 33 y 35 PF, respectivamente. Por último, variedades más tardías como Kordia sobre portainjerto Colt y Maxma presentan cerca de 37 a 38 PF como requerimiento mínimo de frío.

Sin embargo, se debe considerar la sensibilidad de cada variedad hacia la acumulación de frío. Así, Kordia sobre ambos portainjertos, Bing y Santina presentan menor sensibilidad al frío, por lo tanto, ante una misma cuantificación de PF éstas variedades presentan menor respuesta con respecto a la activación de yemas que variedades más sensibles al frío como Sweetheart y Lapins.

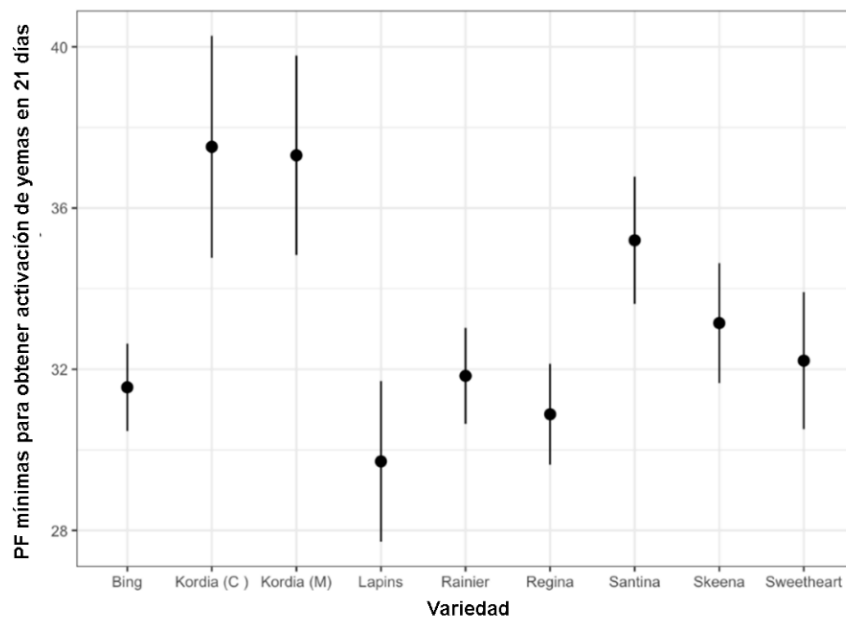


Figura 13: Requerimiento mínimo de PF en endolatencia por variedad.

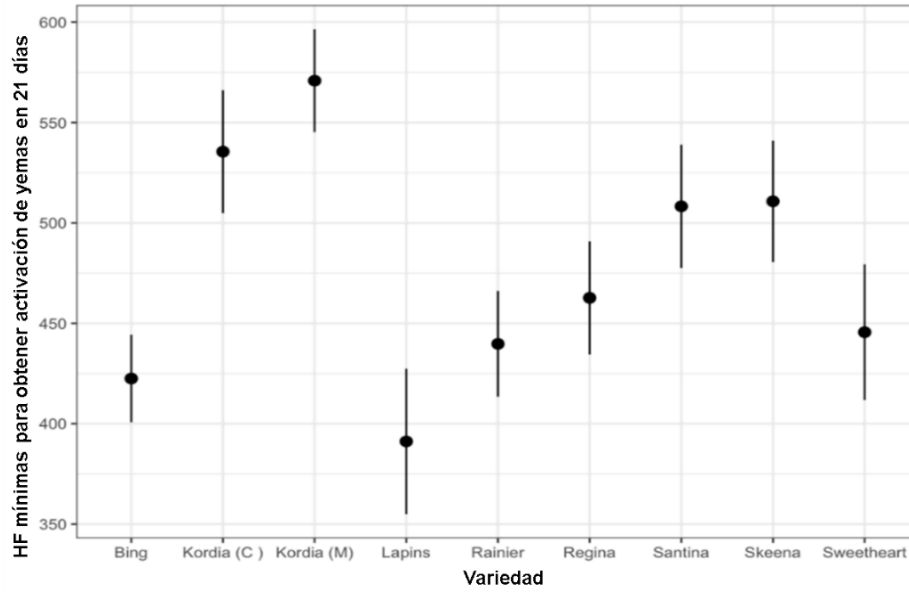


Figura 14: Requerimiento mínimo de HF en endolatenza por variedad.

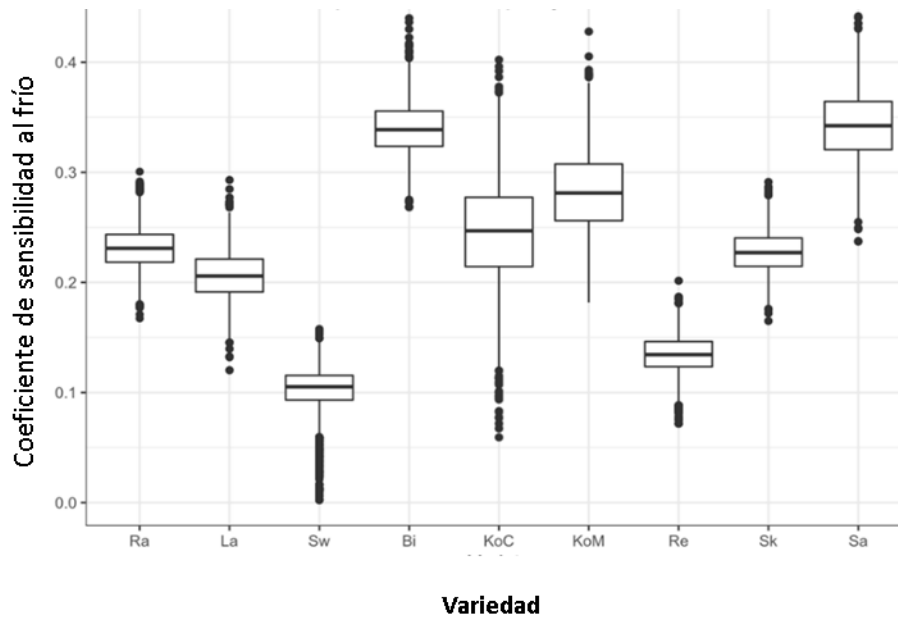


Figura 15: Sensibilidad varietal a la acumulación de frío.

*Valores menores indican una mayor respuesta (sensibilidad) a la acumulación de frío (PF)

**Rainier (Ra), Lapins (La), Sweetheart (Sw), Bing (Bi), Kordia-Colt (KoC), Kordia-Maxma (KoM), Regina (Re), Skeena (Sk), Santina (Sa).

Una vez superado este punto de requerimiento mínimo de saturación por frío comienza la acumulación de GHC requeridos en la etapa de ecolatencia. Sin embargo, la acumulación de frío continúa. Existe así un lapso de tiempo mínimo donde hay un efecto no dependiente del frío y ya transcurre el periodo dependiente del calor, donde ambos requerimientos (frío y calor) ocurren simultáneamente y donde el calor compensa un mayor requerimiento de frío. Este periodo ocurre luego de cumplido los requerimientos mínimos de saturación por frío anteriormente expuestos hasta un límite de PF (Punto de saturación o inflexión) donde el frío ya no tiene efecto sobre la inducción de una mayor activación de yemas y solamente los requerimientos de calor tienen efecto, continuando únicamente el periodo de ecolatencia (Figura 16).

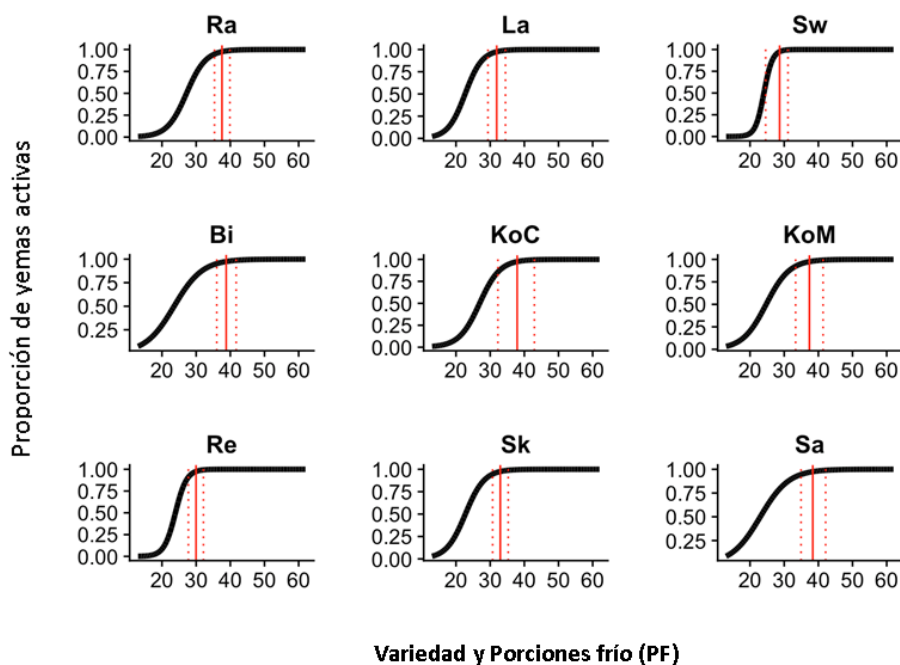


Figura 16: Interacción entre requerimientos de frío y calor en latencia.

**Rainier (Ra), Lapins (La), Sweetheart (Sw), Bing (Bi), Kordia-Colt (KoC), Kordia-Maxma (KoM), Regina (Re), Skeena (Sk), Santina (Sa).

Transcurrido parte del periodo de ecolatencia, y con ello la acumulación de GHC se comienza a evidenciar el aumento en la proporción de yemas que superan el estado fenológico BBCH 08. Así, Lapins muestra la respuesta más rápida hacia el calor, evidenciándose activación de yemas sobre los 6000 GHC, independiente del frío recibido. De este modo, cada variedad posee cierta cantidad de acumulación de GHC dependiendo de la sensibilidad a la acumulación de calor de cada variedad, siendo Lapins la variedad más sensible al calor (Figura 17).

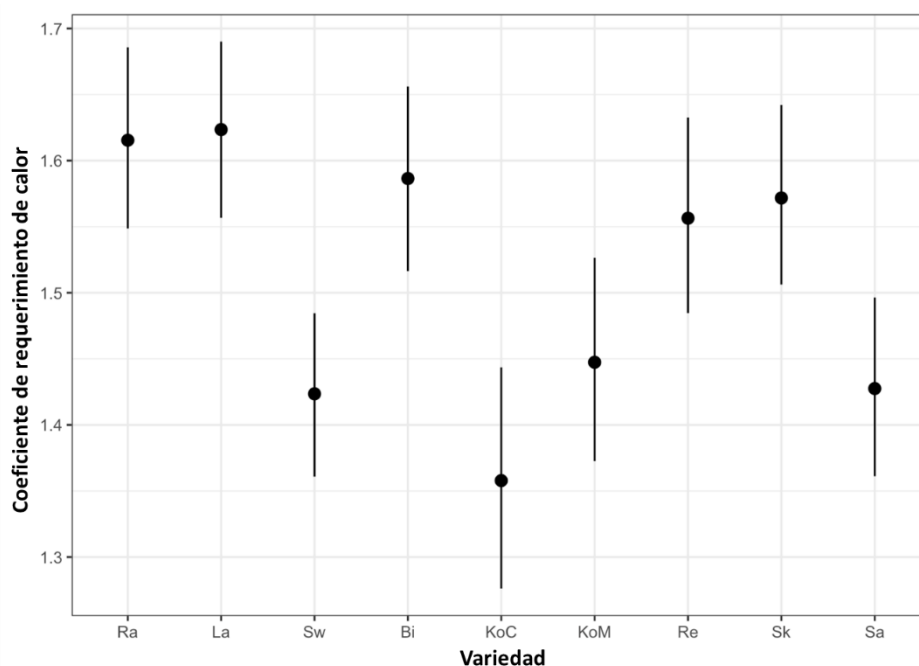


Figura 17: Sensibilidad hacia la acumulación de calor según cada variedad.

**Valores menores indican menor sensibilidad hacia la acumulación de calor. Lapins se estandariza como la variedad más sensible con el menor requerimiento de calor (6000 GHC).*

***Rainier (Ra), Lapins (La), Sweetheart (Sw), Bing (Bi), Kordia-Colt (KoC), Kordia-Maxma (KoM), Regina (Re), Skeena (Sk), Santina (Sa).*

Se debe considerar que en la dinámica de acumulación de PF y GHC para obtener una brotación homogénea y acotada en cerezos interviene el efecto marginal de cada variedad (Figura 18). Así, cada variedad presenta mayor posibilidad de tener brotaciones exitosas

independiente del frío o calor recibidos. Esto evidencia que, a pesar de cumplirse los requerimientos de frío o no, el efecto marginal de cada variedad afecta los porcentajes de yemas que superan el estado fenológico BBCH 08. Por tanto, variedades que presentan valores menores en la escala son menos exitosas en tener buenas brotaciones si sus requerimientos de PF y GHC no son satisfechos.

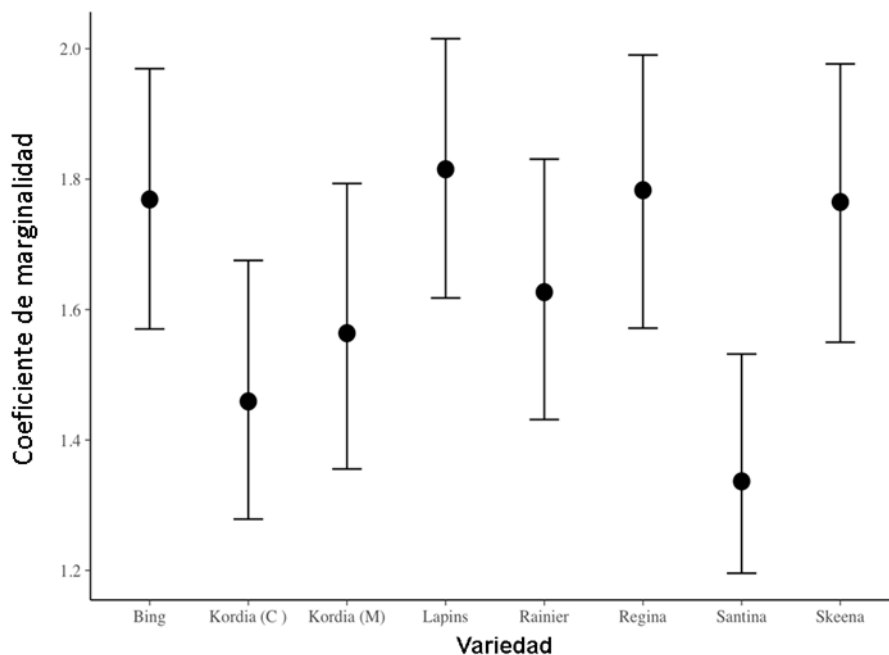


Figura 18: Efecto marginal de cada variedad

**Valores menores en la escala corresponden a variedad con menor efecto marginal o brotación heterogénea independiente del cumplimiento de los requerimientos de PF y GHC.*

Por último, según modelamiento del proceso de latencia se obtiene requerimientos de frío entre 30 y 40 PF o 390 y 570 HF, terminado este periodo comienza la acumulación de GHC en campo. En cuanto al ensayo, se obtienen para cada variedad requerimientos específicos de frío (PF- HF) y calor (GHC), según la Tabla 2. Cabe destacar que los requerimientos de calor no han sido reportados y cuantificados en estudios anteriores, por ello no es posible generar tablas resumen con dicha información según metodología clásica.

Tabla 2: Requerimientos de porciones/horas de frío y grados hora de crecimiento por variedad según metodología modelamiento continuo.

Variedad	PF	HF	UF	GHC
Lapins	30	391	529	6000
Rainier	32	440	596	6007
Santina	35	508	666	6723
Skeena	33	511	618	6258
Sweetheart	32	446	604	6723
Regina	31	463	570	6294
Bing	32	422	564	6147
Kordia-Maxma	37	571	702	6643
Kordia- Colt	38	536	695	7031

Con el fin de contrastar los resultados se determinó la fecha en que se generaría el cumplimiento de tales requerimientos en campo, según las temperaturas horarias obtenidas con registro de sensores HOBO ®. Así, para cada variedad se comenzó a estimar la acumulación de GHC una vez alcanzada la fecha en que cumplen los requerimientos de PF correspondientes. De esta forma se obtuvo la fecha estimada en que teóricamente debiese presentarse la brotación en campo. Al contrastar esta fecha, con la fecha real determinada en campo, se observó que estas coinciden con un intervalo de error de 1 a 7 días. Sin embargo, se aprecia que las tres variedades que tienen su brotación 7 días antes de lo esperado son justamente las 3 variedades con menores requerimientos de calor, las más sensibles a la acumulación de frío y al mismo tiempo las 3 variedades que tienen mayor efecto marginal, lo cual explicaría dicho éxito en cuanto a brotación.

Tabla 3: Fecha de cumplimiento de PF, GHC estimada y real.

VARIEDAD	REQUERIMIENTO		CUMPLIMIENTO		BROTACION	
	PF	GHC	FECHA PF	FECHA GHC	ESTIMADA	REAL
LAPINS	30	6000	05-jun	15-sept	15-sept	09-sept
BING	32	6147	08-jun	17-sept	17-sept	08-sept
RAINIER	32	6007	08-jun	16-sept	16-sept	09-sept
REGINA	31	6294	07-jun	17-sept	18-sept	17-sept
KORDIA (C)	38	7031	16-jun	19-sept	19-sept	17-sept
KORDIA (M)	37	6643	14-jun	18-sept	18-sept	17-sept
SKEENA	33	6258	09-jun	18-sept	18-sept	17-sept
SANTINA	35	6723	12-jun	18-sept	18-sept	17-sept
SWEETHEART	32	6723	08-jun	17-sept	17-sept	10-sept

* Fechas PF y GHC indican el momento en que en condiciones de campo se cumplen los requerimientos estimados según ensayo; GHC son contabilizados una vez cumplidos los requerimientos de PF.

** brotación teórica se observaría una vez cumplidos tanto los requerimientos de PF como GHC; brotación real indica el momento en que ésta se produce en campo.

4 Conclusiones

En la actualidad se consideran completados los requerimientos de frío una vez se evidencian cambios fenológicos en las yemas, lo cual ha llevado a sobrevalorar los requerimientos de frío (Tabla 4 y 5). También se entiende a la brotación como un momento específico en el tiempo, sin reconocer que este fenómeno es continuo, sucesivo y presenta de dependencia temporal. Dado lo anterior, en este estudio no solamente se ha seguido la metodología clásica, sino que también se ha tratado de incorporar la complejidad que dicho fenómeno amerita.

Tabla 4: Requerimientos de porciones/horas de frío y grados hora de crecimiento por variedad según metodología modelamiento continuo.

Variedad	PF M. clásica	HF M. clásica	UF M. clásica	PF M. Continuo	HF M. Continuo	UF M. Continuo
Lapins	37	561	802	30	391	529
Rainier	42	643	917	32	440	596
Santina	42-47	643 - 674	917 -1070	35	508	666
Skeena	42-47	643- 674	917 - 1070	33	511	618
Sweetheart	47	674	1070	32	446	604
Regina	47-52	674-711	1070 - 1234	31	463	570
Bing	47-52	674-711	1070 - 1234	32	422	564
Kordia-Maxma	57	787	1362	37	571	702
Kordia-Colt	63	887	1470	38	536	695

Tabla 5: Requerimientos de porciones y horas de frío según metodología clásica de otros autores.

Variedad	HF – UF (Kuden, 2012)	HF – UF (Alburquerque, 2008)	PF (UCD)
Bing	-	900 HF – 900 UF	-
Kordia	700 a 750 HF – 150 UF	-	-
Lapins	400 a 450 HF – 94 UF	-	35 PF
Rainier	-	-	45 PF

* HF (Horas frío); UF (Unidades Frío); PF (Porciones frío).

Así, se comprueba que la sensibilidad hacia el frío de todas las variedades no es la misma, por lo tanto, ante una misma acumulación de porciones frío no todas las variedades tienen respuestas exitosas que aseguren una brotación homogénea. En otras palabras, dos variedades con un mismo requerimiento mínimo de saturación por frío pueden no tener respuestas iguales debido a su sensibilidad particular hacia esta acumulación de frío. Por otra parte, se detecta un periodo significativo de compensación entre los requerimientos de frío y calor, punto hasta el cual el frío tiene efecto sobre la respuesta de la variedad en cuanto a brotación. Terminado este periodo se depende principalmente de los requerimientos de calor, donde, todas las variedades presentan entre 6000 y 7000 GHC de requerimientos de calor, siendo Lapins la variedad más sensible hacia dicha acumulación.

Lo anterior explicaría como dos variedades con requerimientos de frío similares como Lapins y Rainier no tienen en el tiempo la misma respuesta con respecto al porcentaje de brotación obtenido y fecha de brotación, debido a la diferencia en sus requerimientos de calor y la sensibilidad que presentan hacia la acumulación de GHC. Además, cabe destacar que se deben considerar los efectos marginales que cada variedad tiene, es decir, la variación en brotación que no puede ser explicada ni por el frío ni calor. En este sentido, existen variedades como Santina, de alto efecto marginal, que a pesar de cumplir sus

requerimientos de frío o calor pueden tener brotaciones no homogéneas, o bien variedades como Lapins, de bajo efecto marginal, que tiene mayor probabilidad de tener brotación en respuesta a las temperaturas. También es interesante destacar que Lapins es la variedad más sensible al calor, lo cual se condice con la amplia plasticidad que esta especie ha mostrado en Chile; siendo capaz de obtener brotaciones homogéneas en regiones donde incluso el frío no es suficiente pero el calor es abundante.

Por otra parte, aparentemente el portainjerto imprime cierto efecto, principalmente en cuanto a la sensibilidad que entrega a la variedad hacia el frío o calor. Sin embargo, dicho efecto pudiese ser directo o indirecto y mayores estudios en el área son necesarios para esclarecer dicho paradigma. Por otro lado, dicho efecto es menor y levemente observable fenológicamente y por tanto las diferencias en cuaja que productores argumentan sobre Kordia/Maxma versus Kordia/Colt son probablemente atribuibles a otros factores ajenos a los registrados en este experimento (p.e. reservas, vigor, etc).

Agradecimientos

Los investigadores agradecen a Javiere Morales Gaete y Eduardo Fernández Collao, por su constante entrega y colaboración dentro del margen de la iniciativa. También se agradece la colaboración del campo de estudio por prestar acceso a sus instalaciones y por la ayuda prestada en la recolección de muestras.

Referencias

- Arora, R., Rowland, L.J., Tanino, K., 2003. Induction and release of bud dormancy in woody perennials: a science comes of age. *HortScience* 38, 911–921.
- Couvillon G, 1995. Temperature and stress effects on rest in fruit trees: a review. *Acta Hort.* 395: 11-19.
- Egea, 2003. Chilling and heat requirements of almond cultivars for flowering. *Environment and Experimental Botany* 50: 79-85
- Erez A, 1995. Means to compensate for insufficient chilling to improve bloom and leafing. *Acta Hort.* 395: 81-95.
- Pérez, F., J. Ormeño, B. Reynaert, S. Rubio. 2008. Use of the Dynamic Model for the Assessment of Winter Chilling in a Temperate and a Subtropical Climatic Zone of Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 68:198-206.
- Richardson E, Seeley SD, Walter DR, 1974. A model for estimating the completion of rest for “Redhaven” and “Elberta” Peach Trees. *HortScience* 9(4): 331-332.
- Ruiz et al., 2007. Chilling and heat requirements of apricot cultivars for flowering. *Environment and Experimental Botany* 61: 254-263
- 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.
- Tersoglio et al., 2006. Requerimiento de frío invernal y de calor en variedades de cerezo ITEA, 102 (3), 251-259

Anexos

Anexo 1: Evolución del porcentaje de yemas por estado fenológico según PF y GHC, Variedad Lapins.

Porcentaje de yemas sobre BBCH 08 (Puntas verdes)

PB	16PF	26PF	32PF	37PF	42PF	47PF	52PF	58PF	63PF	70PF
GHC1	0,0	0,0	0,0	9,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC2	0,0	8,6	32,8	55,1	36,1	74,5	64,4	79,7	49,5	61,1
GHC3	0,0	28,5	79,0	72,5	64,9	78,1	81,6	91,9	87,2	91,5
GHC4	1,5	44,3	88,8	87,6	72,5	91,6	87,3	97,2	82,5	88,1
GHC5	17,8	58,8	94,9	92,9	85,5	93,8	89,5	99,3	91,9	91,7
GHC6						95,1	91,5	99,3	93,9	

Porcentaje de yemas sobre BBCH 11 (Expansión foliar)

HB	16PF	26PF	32PF	37PF	42PF	47PF	52PF	58PF	63PF	70PF
GHC1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC3	0,0	0,0	1,6	18,7	30,7	28,1	41,5	37,4	26,6	42,9
GHC4	0,0	0,0	37,6	39,9	37,8	44,5	47,1	46,6	47,5	50,5a
GHC5	0,0	12,3	40,4	56,8	57,1	56,6	62,2	62,5	58,5	59,2a
GHC6						58,9	62,9	67,8	62,7	

*Valores en rojo superan los requisitos de superar el máximo potencial de la variedad (75-85% de puntas verdes) y sobre 50% del máximo potencial de yemas totales en expansión foliar.

** GHC: Semana en cámara de crecimiento contabilizada en Grados hora de crecimiento.



Más porciones de frío a igual acumulación de GHC en cámara

Anexo 2: Evolución del porcentaje de yemas por estado fenológico según PF y GHC, Variedad Rainier.

Porcentaje de yemas sobre BBCH 08 (Puntas verdes)

PB	16PF	26PF	32PF	37PF	42PF	47PF	52PF	58PF	63PF	70PF
GHC1	0,0	0,0	0,0	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC2	0,0	0,0	31,1	59,4	60,7	64,9	53,1	71,7	53,4	59,5
GHC3	0,0	0,8	60,8	77,9	84,8	68,8	89,5	83,8	87,5	84,4
GHC4	3,4	18,0	67,0	85,6	86,7	71,1	89,5	86,5	87,5	94,0
GHC5	8,8	30,3	79,5	85,6	90,2	80,0	89,5	90,5	91,7	93,6
GHC6						82,0	90,2	93,7	93,0	

Porcentaje de yemas sobre BBCH 11 (expansión foliar)

HB	16PF	26PF	32PF	37PF	42PF	47PF	52PF	58PF	63PF	70PF
GHC1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4
GHC3	0,0	0,0	0,0	14,2	32,7	25,9	43,7	42,8	39,1	44,2
GHC4	0,0	0,0	16,3	26,9	43,0	46,6	53,8	53,3	56,0	55,8
GHC5	0,0	1,6	21,9	31,8	56,3	56,5	62,4	58,9	58,6	62,2
GHC6						58,1	64,3	61,2	61,6	

*Valores en rojo superan los requisitos de superar el máximo potencial de la variedad (75-85% de puntas verdes) y sobre 50% del máximo potencial de yemas totales en expansión foliar.

** GHC: Semana en cámara de crecimiento contabilizada en Grados hora de crecimiento.



Más porciones de frío a igual acumulación de GHC en cámara

**Anexo 3: Evolución del porcentaje de yemas por estado fenológico según PF y GHC,
Variedad Santina.**

Porcentaje de yemas sobre BBCH 08 (Puntas verdes)

PB	16PF	26PF	32PF	37PF	42PF	47PF	52PF	58PF	63PF	70PF
GHC1	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC2	0,0	0,0	0,8	16,4	14,7	14,4	16,4	20,6	26,9	35,5
GHC3	0,0	2,9	18,4	67,7	54,3	52,9	54,2	38,0	62,6	63,8
GHC4	4,0	25,4	57,2	73,5	68,8	73,3	61,3	62,0	69,3	76,5
GHC5	20,3	55,8	73,6	78,8	78,4	79,0	76,1	70,1	84,4	79,9
GHC6						80,2	80,3	76,5	86,6	

Porcentaje de yemas sobre BBCH 11 (expansión foliar)

HB	16PF	26PF	32PF	37PF	42PF	47PF	52PF	58PF	63PF	70PF
GHC1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC3	0,0	0,0	0,0	6,5	10,1	12,4	0,8	15,1	17,8	16,2
GHC4	0,0	0,0	4,0	25,5	25,9	29,7	25,6	26,1	33,7	33,7
GHC5	0,0	5,5	39,1	45,5	51,7	53,7	47,2	51,5	55,6	55,1
GHC6						54,4	53,8	56,4	57,6	

**Valores en rojo superan los requisitos de superar el máximo potencial de la variedad (75-85% de puntas verdes) y sobre 50% del máximo potencial de yemas totales en expansión foliar.*

*** GHC: Semana en cámara de crecimiento contabilizada en Grados hora de crecimiento.*



Más porciones de frío a igual acumulación de GHC en cámara

Anexo 4: Evolución del porcentaje de yemas por estado fenológico según PF y GHC, Variedad Sweetheart.

Porcentaje de yemas sobre BBCH 08 (Puntas verdes)

PB	16PF	26PF	32PF	37PF	42PF	47PF	52PF	58PF	63PF	70PF
GHC1	0,0	0,0	0,0	7,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC2	0,0	0,0	25,3	40,8	32,3	40,2	35,8	37,9	42,3	50,7
GHC3	0,0	2,3	60,3	74,7	63,0	69,1	66,3	46,4	66,0	66,8
GHC4	3,2	12,9	82,6	89,4	71,0	82,6	70,0	69,8	69,4	82,1
GHC5	4,8	26,1	90,5	93,1	82,3	89,3	82,1	79,9	88,5	88,6
GHC6						90,6	83,6	82,1	89,1	

Porcentaje de yemas sobre BBCH 11 (expansión foliar)

HB	16PF	26PF	32PF	37PF	42PF	47PF	52PF	58PF	63PF	70PF
GHC1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC3	0,0	0,0	0,0	16,2	29,3	14,7	23,3	22,0	25,6	32,8
GHC4	0,0	0,0	24,8	26,5	33,5	42,8	41,5	40,0	45,0	46,6
GHC5	0,0	1,4	45,6	45,5	52,5	58,0	50,6	55,2	56,4	56,6
GHC6						59,3	58,1	60,5	59,2	

*Valores en rojo superan los requisitos de superar el máximo potencial de la variedad (75-85% de puntas verdes) y sobre 50% del máximo potencial de yemas totales en expansión foliar.

** GHC: Semana en cámara de crecimiento contabilizada en Grados hora de crecimiento.



**Anexo 5: Evolución del porcentaje de yemas por estado fenológico según PF y GHC,
Variedad Skeena.**

Porcentaje de yemas sobre BBCH 08 (Puntas verdes)

PB	16PF	26PF	32PF	37PF	42PF	47PF	52PF	58PF	63PF	70PF
GHC1	0,0	0,0	0,0	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC2	0,0	0,0	15,9	40,1	38,1	50,1	39,3	40,6	39,8	51,4
GHC3	0,0	16,1	34,1	69,0	86,6	71,5	86,0	47,0	66,6	67,8
GHC4	1,1	37,3	78,2	94,5	87,9	82,4	90,8	77,7	72,1	93,5
GHC5	6,1	56,8	91,7	96,2	89,8	87,7	94,3	86,0	90,6	94,2
GHC6						89,1	95,7	86,0	90,6	

Porcentaje de yemas sobre BBCH 11 (expansión foliar)

HB	16PF	26PF	32PF	37PF	42PF	47PF	52PF	58PF	63PF	70PF
GHC1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0
GHC3	0,0	0,0	0,0	4,4	36,4	24,6	24,5	17,5	25,0	36,6
GHC4	0,0	0,0	19,9	31,1	39,8	44,6	40,4	39,1	44,2	46,2
GHC5	0,0	6,5	39,4	41,1	48,4	52,3	52,4	52,4	52,9	54,2
GHC6						55,6	56,3	59,6	58,6	

**Valores en rojo superan los requisitos de superar el máximo potencial de la variedad (75-85% de puntas verdes) y sobre 50% del máximo potencial de yemas totales en expansión foliar.*

*** GHC: Semana en cámara de crecimiento contabilizada en Grados hora de crecimiento.*



Más porciones de frío a igual acumulación de GHC en cámara

**Anexo 6: Evolución del porcentaje de yemas por estado fenológico según PF y GHC,
Variedad Bing.**

Porcentaje de yemas sobre BBCH 08 (Puntas verdes)

PB	16PF	26PF	32PF	37PF	42PF	47PF	52PF	58PF	63PF	70PF
GHC1	0,0	0,0	0,0	9,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC2	0,0	6,4	25,3	61,2	47,9	49,4	40,2	42,4	42,6	49,3
GHC3	0,6	21,2	64,3	71,6	84,5	69,7	78,7	62,3	64,5	68,2
GHC4	7,0	47,1	69,8	94,7	84,5	80,8	84,0	77,5	78,0	94,2
GHC5	29,3	55,0	73,9	94,7	90,2	85,3	91,0	86,5	95,5	91,7
GHC6						87,5	92,4	86,5	95,5	

Porcentaje de yemas sobre BBCH 11 (expansión foliar)

HB	16PF	26PF	32PF	37PF	42PF	47PF	52PF	58PF	63PF	70PF
GHC1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6
GHC3	0,0	0,0	0,7	10,8	17,9	22,1	16,3	20,3	21,7	28,0
GHC4	0,0	0,0	10,2	16,3	29,3	30,8	34,1	33,8	43,2	44,4
GHC5	0,0	1,8	17,0	33,9	38,1	45,3	50,7	51,7	54,5	55,4
GHC6						49,0	55,4	58,3	58,2	

**Valores en rojo superan los requisitos de superar el máximo potencial de la variedad (75-85% de puntas verdes) y sobre 50% del máximo potencial de yemas totales en expansión foliar.*

*** GHC: Semana en cámara de crecimiento contabilizada en Grados hora de crecimiento.*



Más porciones de frío a igual acumulación de GHC en cámara

Anexo 7: Evolución del porcentaje de yemas por estado fenológico según PF y GHC, Variedad Regina.

Porcentaje de yemas sobre BBCH 08 (Puntas verdes)

PB	16PF	26PF	32PF	37PF	42PF	47PF	52PF	58PF	63PF	70PF
GHC1	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC2	0,0	0,0	24,3	21,7	41,5	67,5	44,5	26,9	40,5	32,0
GHC3	0,0	11,6	59,5	91,7	92,1	88,2	80,2	63,1	60,1	61,8
GHC4	4,3	20,7	94,3	99,2	92,1	95,4	84,7	78,7	76,3	92,5
GHC5	10,8	34,0	96,6	99,2	92,1	95,4	90,3	93,7	94,7	95,8
GHC6						96,6	93,3	94,4	94,7	

Porcentaje de yemas sobre BBCH 11 (expansión foliar)

HB	16PF	26PF	32PF	37PF	42PF	47PF	52PF	58PF	63PF	70PF
GHC1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC3	0,0	0,0	0,0	12,7	19,4	16,6	29,2	16,1	25,3	26,1
GHC4	0,0	1,1	12,4	32,6	31,4	33,3	36,8	39,4	42,6	44,9
GHC5	0,0	3,2	20,1	37,6	43,7	40,4	42,1	53,4	55,1	56,0
GHC6						44,3	47,8	59,5	63,7	

*Valores en rojo superan los requisitos de superar el máximo potencial de la variedad (75-85% de puntas verdes) y sobre 50% del máximo potencial de yemas totales en expansión foliar.

** GHC: Semana en cámara de crecimiento contabilizada en Grados hora de crecimiento.



Más porciones de frío a igual acumulación de GHC en cámara

**Anexo 8: Evolución del porcentaje de yemas por estado fenológico según PF y
GHC, Variedad Kordia-Maxma.**

Porcentaje de yemas sobre BBCH 08 (Puntas verdes)

PB	16PF	26PF	32PF	37PF	42PF	47PF	52PF	58PF	63PF	70PF
GHC1	0,0	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC2	0,0	0,0	2,8	7,5	35,2	55,	49,6	1,8	38,6	36,9
GHC3	0,0	0,0	16,6	53,9	67,3	63,2	100,0	37,3	63,9	66,3
GHC4	0,0	2,4	63,5	80,7	69,0	83,8	100,0	62,8	71,3	95,3
GHC5	0,0	16,8	70,6	83,5	70,7	83,8	100,0	84,5	91,5	96,1
GHC6						86,7	100,0	84,5	91,5	

Porcentaje de yemas sobre BBCH 11 (expansión foliar)

HB	16PF	26PF	32PF	37PF	42PF	47PF	52PF	58PF	63PF	70PF
GHC1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC3	0,0	0,0	2,0	1,7	7,6	0,0	25,5	1,8	24,1	26,2
GHC4	0,0	0,0	10,9	19,9	15,3	20,0	29,2	31,3	33,9	38,5
GHC5	0,0	2,4	34,8	37,2	38,7	42,2	41,8	55,4	58,0	50,6
GHC6						44,8	48,8	60,2	61,6	

*Valores en rojo superan los requisitos de superar el máximo potencial de la variedad (75-85% de puntas verdes) y sobre 50% del máximo potencial de yemas totales en expansión foliar.

** GHC: Semana en cámara de crecimiento contabilizada en Grados hora de crecimiento.



Más porciones de frío a igual acumulación de GHC en cámara

**Anexo 9: Evolución del porcentaje de yemas por estado fenológico según PF y GHC,
Variedad Kordia- Colt.**

Porcentaje de yemas sobre BBCH 08 (Puntas verdes)

PB	16PF	26PF	32PF	37PF	42PF	47PF	52PF	58PF	63PF	70PF
GHC1	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	4,0f	0,0f	0,0
GHC2	0,0	0,0	0,0	19,8	22,6	25,7	48,8	29,8	26,5	29,9
GHC3	0,0	2,6	9,8	62,6	73,9	27,4	74,1	48,7	53,0	65,3
GHC4	0,0	8,7	35,9	85,6	77,2	42,5	76,1	64,7	65,5	94,4
GHC5	0,0	10,3	53,8	90,6	81,0	58,1	80,0	85,6	91,6	93,7
GHC6						65,4	82,0	88,7	91,6	

Porcentaje de yemas sobre BBCH 11 (expansión foliar)

HB	16PF	26PF	32PF	37PF	42PF	47PF	52PF	58PF	63PF	70PF
GHC1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHC2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0
GHC3	0,0	0,0	0,0	2,7	7,9	3,8	28,8	17,8	17,0	25,2
GHC4	0,0	0,9	9,0	20,5	14,6	14,3	30,8	30,4	36,0	40,2
GHC5	0,0	4,4	21,0	38,7	36,2	34,4	36,9	48,0	52,0	55,9
GHC6						35,3	41,1	53,9	58,9	

*Valores en rojo superan los requisitos de superar el máximo potencial de la variedad (75-85% de puntas verdes) y sobre 50% del máximo potencial de yemas totales en expansión foliar.

** GHC: Semana en cámara de crecimiento contabilizada en Grados hora de crecimiento.

