

VALLE DE ELQUI:

# EFECTO DEL AGROCLIMA SOBRE FRUTALES DE HOJA CADUCA



*Durazno variedad Flordaking.*

El Valle de Elqui está ubicado en la zona semiárida conocida como Norte Chico. Se caracteriza por sus escasas precipitaciones, las que bordean los 90 mm anuales, con amplias variaciones entre un año y otro. Los mecanismos que regulan dicha variabilidad son aquellos que actúan en todo el país (como los fenómenos de El Niño y La Niña), y también el hecho de que el valle se ubica en límite norte de la llegada de los sistemas frontales. Por otra

parte, los factores atmosféricos, oceánicos y topográficos típicos de la región, son capaces de generar importantes diferencias espaciales en el clima.

Considerando que el Valle de Elqui corresponde a uno de los denominados valles transversales, las variaciones espaciales en las variables climáticas responden directamente a su orientación Oeste-Este, por lo que factores como la cercanía al mar actúan como agentes modifica-

dores importantes en el clima local. Variables como la nubosidad, la radiación solar, la temperatura o la precipitación poseen un comportamiento espacial que cambia de manera importante entre las zonas costeras y aquellas más interiores. Así, por ejemplo, la presencia frecuente de nubosidad costera del tipo estratocúmulos y su también frecuente ingreso al valle, modifican factores como la radiación y la temperatura, lo que se traduce

**Carlo Montes V.**  
carlo.montes@ceaza.cl  
**Antonio Ibacache G.**  
**Angélica Salvatierra G.**  
**Luisa Bascuñan G.**

CEAZA e INIA Intihuasi

en diferencias en el comportamiento de las especies cultivadas en el valle, y por ende en las posibilidades de productos a obtener.

La figura 1 muestra el ciclo diario promedio de la temperatura



Nuez variedad Serr.

ra para Vicuña, ubicada a 60 kilómetros desde el mar, y Las Rojas, localizada a 20 kilómetros de la costa, durante el período mayo-agosto de 2008 y 2009. Se observa claramente la diferencia entre el régimen diurno y nocturno de la temperatura, asociado a factores como la mayor radiación solar y menor humedad atmosférica de la zona ubicada más al interior, además de la mayor presencia de aire frío costero en la localidad más cercana al mar. No obstante, en Vicuña se producen menores temperaturas nocturnas, las que tienen como consecuencia una mayor acumulación de frío invernal. Sin embargo, es sabido que las altas temperaturas diurnas son capaces de generar un efecto contrario en dicha acumulación, lo cual puede ser considerado al cuantificar, por ejemplo, las unidades de frío con el método conocido como Utah. Esta diferencia se muestra en la figura 2, donde se observa una acumulación de horas de frío (temperaturas entre 0°C y 7°C) muy superior en Vicuña, mientras que al considerar las unidades de frío las diferencias se invierten, producto de las altas temperaturas diurnas de las zonas interiores del valle, como lo es Vicuña.

El gradiente térmico existente en el valle determina la fecha de maduración de los frutos y, además, contrasta la zona interior, cálida y seca, con la zona

costera, menos cálida y más húmeda. La figura 3 muestra la acumulación de días-grado (temperaturas superiores a 10°C en el período primavera-verano) en Vicuña y Las Rojas. Las diferencias, asociadas a mayores o menores temperaturas medias, representan la variabilidad característica del valle, con un aumento gradual de los días-grado desde la costa hacia el interior. El diferencial de temperatura hace que en el área costera del valle se localicen principalmente huertos con especies frutales de hoja perenne (palto, chirimoyo, papayo, cítricos), los que requieren temperaturas moderadas para su desarrollo. En contraste, en las zonas cálidas del interior del valle se ubican especies que necesitan altas temperaturas que permitan la maduración temprana de la fruta (por ejemplo, uva de mesa y duraznero).

### Comportamiento fenológico de duraznero y nogal

Históricamente, la zona interior del Valle de Elqui y de los restantes valles del norte chico, ha sido reconocida como productora de "primores", es decir, de frutos que se cosechan temprano en la temporada. Lo anterior, debido a la condición de altas temperaturas en el período primavera-verano, que permite

una alta acumulación de calor (días-grado base 10°C) y estimula la maduración temprana de los frutos.

Los frutales de carozo (duraznero, nectarino) se presentan como una excelente alternativa productiva de cosecha temprana en la medida que se cuente con variedades apropiadas para la zona. Ello, porque este tipo de frutales y otros, como el nogal, requieren de la acumulación de una cierta cantidad de frío en invierno (temperaturas de 0 a 7°C) para florecer y brotar normalmente. La cantidad de horas-frío que se acumula en los valles del norte es baja y con una alta variabilidad interanual, pues la suma de mayo a julio (período de receso fisiológico de los árboles hasta que se produce la floración en durazneros en julio) fluctúa entre 150 y 500 horas. A la baja acumulación de frío se agrega el inconveniente de la ocurrencia de días con altas temperaturas durante el invierno, los cuales provocan una reducción en la acumulación de horas-frío (las altas temperaturas neutralizan el efecto positivo del frío), tal como se observa en la figura 2 al comparar las horas-frío y las unidades de frío.

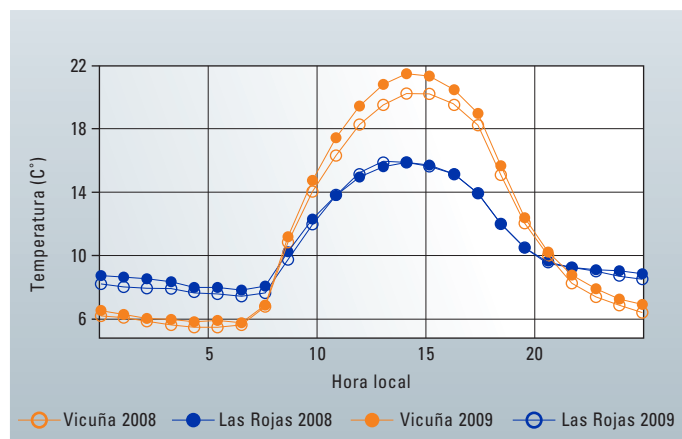
Una vez producida la cuaja de los frutos, éstos necesitan acumular calor durante su desarrollo (días-grado base 10°C) para acelerar el proceso de maduración y así permitir la cosecha

temprana. Precisamente la alta acumulación de calor durante la primavera es una ventaja comparativa del Valle de Elqui respecto de otras zonas de producción del país. Sin embargo, la acumulación de calor no resulta uniforme en el valle; es significativamente mayor en la zona interior en comparación con el área más cercana a la costa, como se aprecia en la figura 3.

Desde la década de los 80, el INIA ha estado evaluando variedades nogales de duraznero y nectarino de bajo requerimiento de frío. Como resultado de dichos estudios, en la actualidad existe una superficie aproximada de 60 hectáreas (ha) con la variedad de duraznero Floridaking, localizadas mayoritariamente en el área interior de los valles de Elqui y Limarí. Pero también existen algunas pequeñas plantaciones comerciales en áreas cercanas a la costa.

El nogal, por otra parte, ha incrementado de manera significativa la superficie plantada en la Región de Coquimbo: de 538 ha en 1997 pasó a 1.619 ha en 2007. A diferencia de lo que ocurre con el duraznero, las plantaciones de nogal se ubican en sectores interiores, medios y bajos de los valles de Elqui, Limarí y Choapa, desarrollándose así bajo diferentes condiciones climáticas. La principal variedad plantada es Serr, debido a su menor requerimiento de frío in-

Figura 1. Ciclo diario promedio de la temperatura.



vernal (alrededor de 400 horas-frío) respecto de otras opciones comerciales.

En el cuadro 1 se comparan las fechas promedio de inicio de brotación e inicio de cosecha en huertos de duraznero y nogal establecidos en las localidades de Vicuña y La Serena, ubicadas en las áreas interior y costera del Valle de Elqui, respectivamente. En ambas especies el inicio de la brotación (floración en el caso del duraznero) ocurre antes en la zona costera, donde la acumulación de unidades de frío es mayor (figura 2). Contrariamente, la cosecha se inicia primero en la zona interior, como consecuencia de la mayor acumulación de temperatura durante la primavera y verano (figura 3).

Con la información presentada se puede concluir que el establecimiento de especies frutales de hoja caduca en los valles del Norte Chico (especialmente Elqui y Limarí) debe considerar la presencia de variedades de bajo requerimiento de horas-frío debido a la baja acumulación de ellas. Al considerar el concepto de "unidades de frío" queda en evidencia que las variedades tie-

**Cuadro 1.** Fechas de estados fenológicos en duraznero y nogal.

Especie	Variedad	Localidad	Inicio floración (duraznero) y brotación (nogal)	Inicio cosecha
Duraznero	Floridaking	Vicuña	19 de julio	15 de octubre
		La Serena	5 de julio	25 de octubre
Nogal	Serr	Vicuña	5 de octubre	20 de marzo
		La Serena	25 de septiembre	10 de abril

nen también una brotación apropiada en el área costera. Sin embargo, desde el punto de vista comercial los mayores precios se obtienen con la fruta cosechada tempranamente (duraznos), lo que ocurre en el área interior de los valles debido a la mayor acumulación de días-grado.

### Comportamiento fenológico de arándano

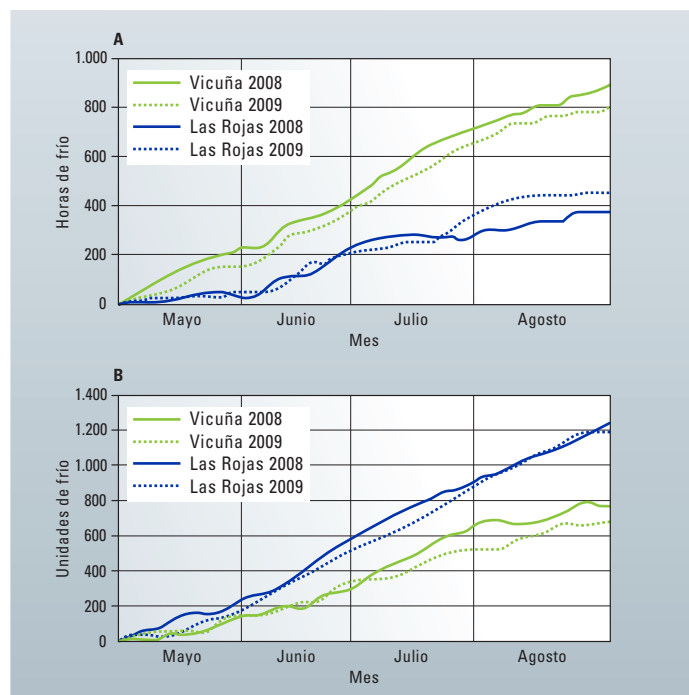
El arándano ha tenido un interesante desarrollo en el Valle de Elqui debido a la posibilidad de cosecha temprana de la fruta. De esta forma accede a altos precios en el mercado internacional. En el caso de O'Neal y Misty, variedades híbridas del tipo highbush, con bajo requerimiento de frío, se ha observado que los principales eventos feno-

lógicos pueden sufrir modificaciones anualmente tanto en la época en que ocurren como en la duración de los períodos. La literatura señala que se necesitan entre 150 horas-frío (Misty) y 400 horas (O'Neal) para una brotación uniforme de yemas vegetativas y en sincronización con la floración. Tal requerimiento estaría satisfecho bajo las condiciones de Vicuña, sin embargo, el comportamiento fenológico de las dos variedades durante 2008, brotación tardía y floración prolongada, acusó un problema de deficiencia de frío, especialmente en O'Neal, lo que provocó realizar modificaciones en el protocolo de manejo en la siguiente temporada (aplicación de cianamida hidrogenada).

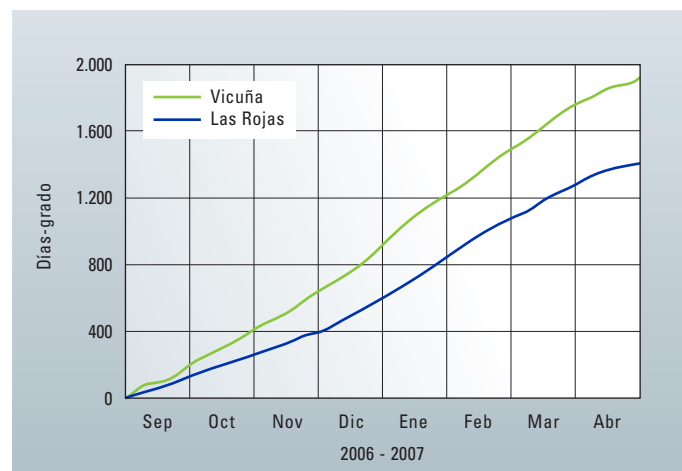
O'Neal y Misty presentan diferencias en la brotación de yemas vegetativas (figura 4). La foliación en O'Neal suele ocurrir en forma muy desfasada con respecto a la floración y cuaja de frutos. Esto se asocia a una falta de frío, lo que puede ser subsanado con aplicaciones de pro-

ductos compensadores de frío. No obstante, bajo las condiciones de Vicuña las aplicaciones de cianamida dan resultados erráticos, dependiendo de las condiciones climáticas del año. Durante 2009, las plantas de O'Neal no respondieron a la aplicación de cianamida y brotaron incluso más tarde que en el año 2008, cuando no se aplicó (figura 4). Contrariamente, Misty, variedad de menor requerimiento de frío que mantiene hojas en el período invernal, tuvo una respuesta positiva a la aplicación de cianamida, pues adelantó la brotación de yemas vegetativas en al menos tres semanas con respecto al año anterior. En cuanto al efecto sobre la floración, en ambas variedades se produjo una concentración de ella, lo que facilita el manejo agronómico y reduce los costos de cosecha. Este resultado indica que variedades con diferentes requerimientos de frío presentarían un estado fisiológico (contenido hormonal) distinto, siendo más o menos susceptibles a la

**Figura 2.** Acumulación de horas (a) y unidades de frío (b).



**Figura 3.** Acumulación de días-grado.





Arándano variedad Misty.

aplicación de cianamida. En el caso de O'Neal, el momento de aplicación resultó oportuno para la estimulación de las yemas florales, no así para las yemas vegetativas. Por otro lado, la cianamida concentró el período de floración y además adelantó la brotación en la variedad Misty.

El cultivo del arándano se proyecta para la zona norte con el objetivo de obtener cosechas tempranas, entre octubre y noviembre. Bajo las condiciones de Vicuña, en el año 2008 el período de cosecha fue extenso, desde fines de octubre hasta diciembre, lo que no representa una ventaja para el cultivo en la

zona norte. A su vez, en el año 2009, si bien la foliación de O'Neal fue tardía, la maduración de los frutos se adelantó y el período de cosecha fue más corto debido a la concentración de la floración, lo que favorece al agricultor.

A la luz de la experiencia de INIA se recomienda ajustar las dosis y época de aplicación de cianamida en las variedades de arándanos mencionadas, considerando las condiciones climáticas del sector donde se encuentra la plantación. En general, se aconseja aplicar dosis de 1,5% de cianamida en el período de yemas hinchadas (principio de

junio). O'Neal puede requerir dosis superiores a 1,5% si la acumulación de horas-frío se ve interrumpida por temperaturas altas en el día. Hay que considerar la probabilidad de heladas, pues un adelantamiento de la floración y brotación, especialmente en Misty, puede coincidir con bajas temperaturas que dañen severamente las flores y brotes nuevos.

Lo anteriormente expuesto muestra en forma clara cómo las condiciones climáticas anuales influyen sobre aspectos fisiológicos de las plantas. Así, surge la necesidad de conocer y monitorear continuamente el comporta-

miento fenológico de las especies y variedades bajo las condiciones de cada sector, y considerar la información climática para adecuar los protocolos de manejo a las distintas circunstancias.

### Efecto de la temperatura sobre la fisiología

Numerosos factores ambientales inciden en el desarrollo y producción de los árboles frutales, con consecuencias en el número, tamaño, apariencia y sabor del fruto. La acumulación de horas-frío y los días-grado son aspectos cruciales que pueden afectar la productividad de una plantación, porque actúan sobre diferentes procesos fisiológicos que determinarán, por ejemplo, la fecha de cosecha.

Los requerimientos de frío son especialmente importantes en especies caducifolias, ya que permiten romper el estado de dormancia de las yemas vegetativas. Las plantas expuestas a un mayor número de horas-frío presentan una mayor cantidad de hormonas giberelinas y citoquininas, involucradas en un crecimiento más rápido del brote y de sus flores. El nivel de dichas hormonas es máximo durante la floración y en la primera etapa de crecimiento del fruto. Es por ello que los compensadores de frío (que son activadores u homólogos sintéticos de las hormonas indicadas) se aplican durante el período invernal.

Figura 4. Fenograma para O'Neal y Misty bajo las condiciones de Vicuña en los años 2008 y 2009.

MES	TEMPORADA	ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Yema floral hinchada	2008																																					
	2009																																					
Inicio yema vegetativa punta verde (1)	2008																																					
	2009*																																					
Floración	2008																																					
	2009																																					
Fruto verde temprano	2008																																					
	2009																																					
Inicio color frutos	2008																																					
	2009																																					
Periodo cosecha	2008																																					
	2009																																					

(1) se aplica cianamida (\*) el 17 de junio de 2009, M: Misty y O: O'Neal.



Arándano variedad O'Neal.

Esto podría relacionarse con lo mencionado en los arándanos, en los cuales una aplicación de cianamida en condiciones de baja acumulación de frío por las plantas puede alterar la floración, pero no así la brotación de yemas vegetativas, las cuales requieren una acumulación de frío mayor que las yemas florales.

Las siguientes fases de crecimiento del fruto dependen de la disponibilidad de carbono. Aquí existen grandes diferencias entre árboles de hoja caduca (como el duraznero) y de hoja persistente (como el palto), porque en los primeros el desarrollo del fruto depende principalmente de las reservas del año anterior, mientras que en los últimos las hojas también sirven como fuente de carbono. En las primeras semanas de crecimiento de los frutos de durazno, la superficie foliar del árbol es muy pequeña y el suministro depende casi exclusivamente de la acumulación de carbono del año anterior, pero también en un pequeño porcentaje de la capacidad del pequeño fruto de sintetizar carbohidratos.

En esta etapa la respiración es también fundamental en el crecimiento del fruto. Se ha observado, por ejemplo, que el durazno todavía verde es capaz de sintetizar hasta un 30% de los carbohidratos invertidos en respiración. Ambos procesos, fotosíntesis y respiración, ocurren tanto en las hojas como en el fruto. La respiración se produce también a nivel de la raíz; aquí los carbohidratos, almacenados en forma de almidón, son degradados a la forma de azúcares solubles (principalmente sacarosa) y movilizados a la parte aérea. En las hojas la sacarosa es transformada a otras formas de azúcares, diferentes según la especie.

La fotosíntesis y la respiración dependen de la temperatura, que controla la apertura de los estomas, la difusión del anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) y la actividad de las enzimas claves. Sin embargo, la relación entre carbohidratos sintetizados y utilizados en función de la temperatura es bastante compleja. En general, temperaturas templadas favorecen una alta tasa de fotosín-

tesis, lo que provoca una mayor acumulación de carbohidratos y un crecimiento más rápido de los frutos. Esto podría relacionarse con la ya mencionada cosecha más temprana del fruto de duraznero de la variedad Floridaking en Vicuña respecto de La Serena. Por otro lado, a muy altas temperaturas la tasa de respiración se incrementa significativamente, y genera una disminución en la acumulación de carbohidratos, lo que ocasiona una reducción en el tamaño del fruto.

Como se aprecia, temperatura es uno de los factores ambientales de mayor importancia en la fisiología de árboles frutales. El gradiente transversal observado en el Valle del Elqui ha determinado la elección de diferentes especies en orientación Oeste-Este según sus requerimientos climáticos. Por otro lado, se encuentra el cultivo de variedades con bajo requerimiento de frío y la aplicación de productos compensadores de frío. Los aspectos señalados merecen especial atención en el escenario del calentamiento global, en el que al parecer uno de los fenómenos

más importantes será el aumento de las temperaturas nocturnas.

### Unidades de frío, una referencia mejor

La fenología de las especies frutales depende, entre otros factores, de las características genéticas propias de las variedades y de las variables climáticas del sector donde se cultivan. La información presentada demuestra la manera en que el clima ejerce su importante efecto sobre el comportamiento fenológico de las especies frutales de hoja caduca. En el Valle de Elqui, así como en los demás valles del norte chico, se producen temperaturas especialmente favorables para la producción de fruta temprana. Sin embargo, esta condición no es uniforme a lo largo de los valles, sino que se concentra en las áreas interiores. Por otro lado, la acumulación de frío invernal es baja en los valles y su efecto sobre la brotación de las yemas se ve reducido por la presencia de varios días con altas temperaturas durante el invierno. Así, el parámetro de horas-frío no aparece como un buen indicador del comportamiento fenológico de frutales de hoja caduca en los valles del norte. Por lo tanto, el concepto de "unidades de frío", que considera el efecto contrario de las altas temperaturas diurnas, resulta más apropiado para evaluar los estados fenológicos de brotación y de floración de los árboles.

Se considera clave desarrollar estrategias para optimizar el manejo de especies frutales de importancia a nivel regional, tomando en cuenta la información aportada en este trabajo. Entre ellas, establecer variedades de bajo requerimiento de frío, usar productos compensadores de frío como cianamida hidrogenada en dosis y época apropiadas, y disponer de información climática a lo largo de los valles que conforman el norte chico. **Ta**