

**UNIVERSIDAD DE CHILE**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS REGIONES  
PRODUCTORAS DE VINO EN CHILE**

ROCÍO ANGÉLICA MARCHANT ZAMBRANO

SANTIAGO-CHILE  
2010

**UNIVERSIDAD DE CHILE**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS REGIONES  
PRODUCTORAS DE VINO EN CHILE**

**ANALYSIS OF CLIMATE CHANGE SCENARIOS IN THE WINE PRODUCING  
REGIONS IN CHILE**

ROCÍO ANGÉLICA MARCHANT ZAMBRANO

SANTIAGO-CHILE  
2010

# **UNIVERSIDAD DE CHILE**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

## **ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS REGIONES PRODUCTORAS DE VINO EN CHILE**

Memoria para optar al Título profesional  
de Ingeniera Agrónoma

ROCÍO ANGÉLICA MARCHANT ZAMBRANO

### **PROFESOR GUÍA**

Sr. Claudio Pastenes V.  
Ingeniero Agrónomo, PhD.

### **CALIFICACIONES**

6,2

### **PROFESORES EVALUADORES**

Sr. Luis Morales S.  
Físico, Ph D.

7,0

Sra. María Angélica Guerrero S.  
Profesora de Biología y Ciencias

6,0

### **COLABORADOR**

Sr. Carlo Montes  
Ingeniero Agrónomo, MSc

SANTIAGO-CHILE  
2010

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera agradecer a todos aquellos que me apoyaron a lo largo este proceso, especialmente al Profesor Claudio Pastenes Villarreal por su interés y buena disposición.

Extiendo mis agradecimientos a las viñas colaboradoras por su desinteresada y valiosa contribución, ya que gracias a ellas fue posible la realización de esta investigación.

Además quisiera expresar mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que han sido parte de este proceso académico y al destino por haberme reunido con ellas.

Quisiera agradecer enfáticamente a mi familia por su apoyo y amor incondicional.

A Carlo por llegar a mi vida.

Y a mis amigos, por todos los momentos vividos a lo largo de estos años dentro y fuera de la Universidad.

A todos, de verdad muchas gracias.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
CAUSAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO .....	3
CAMBIO CLIMÁTICO .....	4
ESCENARIOS PROYECTADOS DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO .....	5
PROYECCIONES PARA CHILE .....	6
IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.....	7
EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA FENOLOGÍA DE LA VID .....	7
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>10</b>
LUGAR DEL ESTUDIO.....	10
MATERIALES .....	10
METODOLOGÍA.....	12
<i>Fenología en climas actuales</i> .....	12
<i>Fenología en escenarios climáticos futuros</i> .....	14
<i>Índices bioclimáticos</i> .....	15
<i>Sistema de Clasificación Climática Multicriterio (CCM) Geovitícola</i> .....	19
<i>Clases de clima vitícola</i> .....	21
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>24</b>
FENOLOGÍA DE LA VID CON RESPECTO A LA TEMPERATURA .....	24
ANÁLISIS DE LA ACUMULACIÓN DE DÍAS-GRADO EN ESCENARIOS FUTUROS.....	27
FENOLOGÍA DE LA VID EN ESCENARIOS CLIMÁTICOS FUTUROS. ....	29
ANÁLISIS DE LOS ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS PARA LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS FUTUROS	36
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>45</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>47</b>
<b>APÉNDICE I</b> .....	<b>52</b>

## RESUMEN

Con el fin de establecer los requerimientos térmicos necesarios para llegar a diferentes eventos fenológicos en seis de las variedades de mayor relevancia en la vitivinicultura chilena, se procedió a recabar las fechas de ocurrencia de eventos fenológicos representativos en el desarrollo de la vid en conjunto con las temperaturas presentadas a lo largo de la temporada de crecimiento en nueve lugares con diferentes climas ubicados en el territorio nacional. Los promedios térmicos obtenidos para las diferentes variedades fueron evaluados en los tres escenarios climáticos proyectados para el cambio climático a fin de poder evaluar su posible impacto en la fenología de la vid. Si bien los resultados variaron entre cada cepa y escenario climático, el cambio más significativo fue el acortamiento del ciclo en cifras cercanas al mes. De igual modo fueron evaluados los índices bioclimáticos del Sistema de Clasificación Climática Multicriterio (CCM) para los escenarios climáticos proyectados. En el Índice Heliotérmico se evidenció un aumento en todos los escenarios y puntos analizados. Si bien el grado de cambio entre las condiciones actuales y las temperaturas proyectadas depende del grado de severidad en cuanto a emisiones de gases efecto invernadero del escenario, el cambio más radical apreciado fue la variación de la condición *Caluroso* (actual) a la condición *Muy Caluroso* en el escenario más severo. El Índice de Frescor Nocturno presentó una variación en los escenarios proyectados pasando de *noches muy frías*, actualmente, a *noches frías* y eventualmente *noches templadas* en escenarios climáticos futuros. Los resultados para el Índice de Sequía en los escenarios climáticos proyectados evidenciaron en el escenario más severo un cambio en la aptitud vitivinícola de algunas zonas pasando de una condición de *sequía moderada* en el escenario actual o baseline a una condición de *sequía muy fuerte* en el escenario más severo, pero no evidenciando mayor cambio respecto al índice en el escenario climático proyectado moderado. Resulta importante evaluar y considerar los cambios eventuales en la fenología de la vid, ya que es muy probable que dichos cambios se vean reflejados en la tipicidad y calidad de los vinos obtenidos de las diversas zonas productoras.

Palabras clave: *Vitis vinifera* L., fenología, índices bioclimáticos, terroir, clima, PRECIS.

## ABSTRACT

To determine the necessary thermal requirements in order to develop different phenological events in six of the most relevant varieties in Chilean vitiviniculture, dates when representative phenological events occur have been analyzed, during vine development, together with temperatures present during the growing season in nine areas with different climates, located along the national territory. The average temperatures obtained for the different varieties were evaluated in the three thermal scenarios projected to exist due to climatic change, as to analyze their possible impact on vine phenology. Though results varied among each variety and climatic scenario, the most significant change was due to shorter cycles, close to a month. Bioclimatic indexes were also evaluated in the Multicriteria Classification Climatic System (MCC) for the projected scenarios. The Heliothermic Index showed an increase in each and every scenario and analyzed points. Even though the change degree among current conditions and projected temperatures depend on the severity degree of the scenario, the most radical change occurred when varying the *Hot* (current) condition to *Very Hot* in the most severe scenario. The Cool Night Index presented a variation of projected scenarios going from *Cold Nights* in the current situation, to *Cool Nights* and eventually *Warm Nights* in future climatic scenarios. Results for the Dryness Index in projected future scenarios show that the most severe stage a variation in the vitiviniculture aptitude of some areas, going from a *Moderately dry* in the current situation or baseline, to a condition of *Very dry*, in the most severe situation, but not showing a major change according to the index in the moderate projected scenario. It is important to evaluate and consider eventual changes in vine phenology, due to the probability that such changes may be reflected in the typification and quality of wines obtained in these productive areas.

Key words: *Vitis vinifera* L., phenology, bioclimatic indices, terroir, climate, PRECIS.

## INTRODUCCIÓN

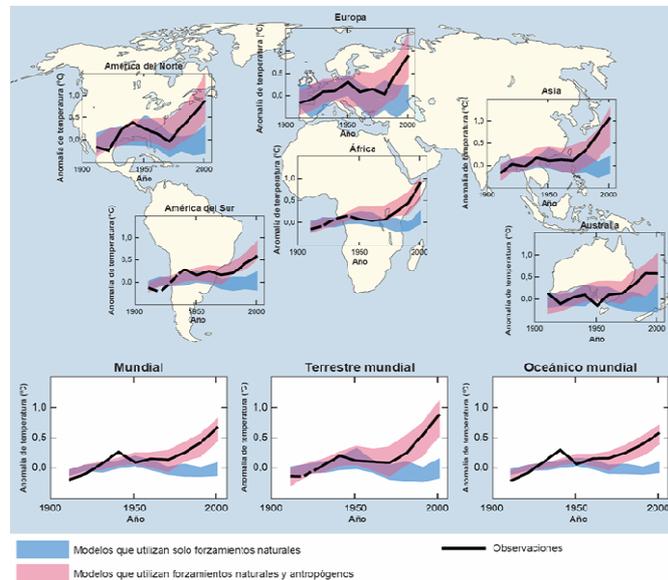
El concepto de que la Tierra es un planeta dinámico se basa en que los cambios ambientales globales han sido parte de su evolución. Según Vitousek (1992) podemos identificar dos tipos principales de cambios globales, aquellos que ocurren en sitios particulares, pero que son expandidos hasta constituir un cambio global y aquellos que alteran el equilibrio de las cubiertas de la Tierra (atmósfera y océanos) y que se experimentan globalmente desde el inicio. El primer tipo es ejemplificado por cambios en el uso de la tierra, pérdida de biodiversidad e invasiones biológicas. Ejemplos del segundo tipo incluyen: cambios en la composición de la atmósfera, cambio climático, disminución de la concentración del ozono e incremento de la radiación ultravioleta. El denominador común de todos estos componentes es el ser humano y sus actividades productivas, el desarrollo de ciertas tecnologías, la expansión de las tierras agrícolas y urbanas (cuyo resultado es la deforestación de ecosistemas naturales) y el creciente e ineficiente uso de los combustibles fósiles son ejemplos de las formas en que se incrementa la emisión de gases a la atmósfera.

### Causas del cambio climático

Es sabido que la especie humana es una de las principales fuerzas evolutivas del mundo, ya que sus actividades han alterado los ecosistemas en forma global y han modificado la evolución de muchas especies. De acuerdo a múltiples evidencias científicas, es probable que el factor antropogénico sea el determinante en el cambio climático reciente, aunque algunos autores reportan también una contribución natural a este calentamiento, como puede ser la radiación solar y las emisiones volcánicas. Entre las principales causas de origen antropogénico se encuentra el incremento en los gases invernadero de la atmósfera, principalmente CO<sub>2</sub>, la deforestación y la agricultura (Alvarado *et al.*, 2002).

La Tierra, al calentarse bajo el flujo de la energía solar que atraviesa su atmósfera, devuelve parte de esta energía al espacio en forma de radiación infrarroja. Los “gases de efecto invernadero” en la atmósfera impiden que la radiación infrarroja escape directamente de la superficie al espacio, en tanto esta radiación no puede atravesar directamente el aire como la luz visible. Los principales gases de efecto invernadero son el vapor de agua, el dióxido de carbono, el ozono, el metano, el óxido nitroso, los halocarbonos y otros gases industriales (PNUMA, 2006). Como una manera de atribuir el impacto relativo de los forzamientos antropogénicos y los naturales sobre los cambios climáticos observados, se han realizado simulaciones con modelos climáticos globales que consideran ambos forzamientos de manera conjunta y separada. La Figura 1 muestra una comparación entre los cambios observados en la temperatura superficial y los resultados de dichas simulaciones. Estos resultados muestran que es muy improbable que el aumento global de las temperaturas sea explicable únicamente por causas de origen natural, lo que puede ser

tomado como una evidencia importante de la influencia de las actividades humanas en la evolución global del clima durante las últimas décadas.

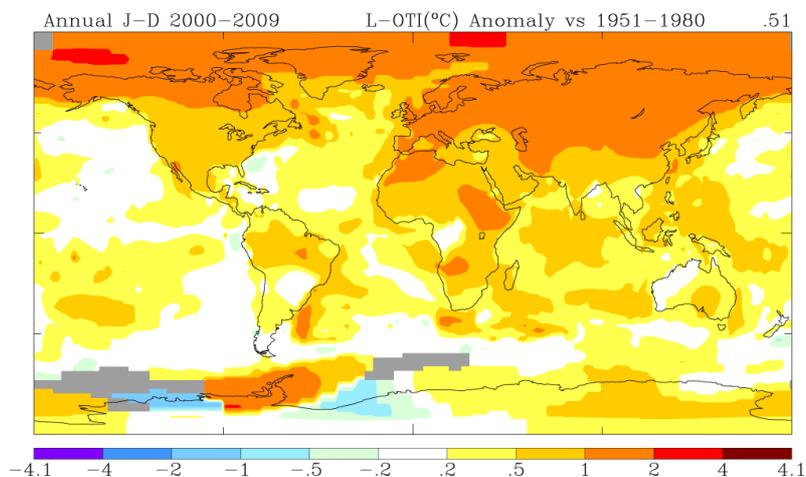


**Figura 1.** Evolución de la temperatura superficial observada y simulada con un conjunto de modelos climáticos globales (franjas de color) (Fuente: IPCC, 2007).

### Cambio climático

Un aumento en la concentración de los gases de efecto invernadero lleva a una mayor opacidad de la atmósfera y, por lo tanto, a una radiación efectiva hacia el espacio menor. Esto genera un forzamiento radiativo, un desequilibrio que sólo puede ser compensado por un aumento en la temperatura del sistema superficie-tropósfera (IPCC, 2007).

Resulta evidente la existencia de un cambio climático global al observar el incremento de las temperaturas promedio a nivel mundial del aire y océano. Once de los últimos doce años (1995-2006) se encuentran entre los más calurosos en el registro instrumental de temperaturas (desde 1880) (IPCC, 2007). En la Figura 2 se observan las variaciones entre los promedios de las temperaturas presentadas entre 1951-1980 respecto al promedio 2000-2009, presentando en las zonas más afectadas anomalías del orden de 2° a 4°C.



**Figura 2.** Variación entre el promedio anual de las temperaturas en superficie entre el año 2000-2009 y el promedio 1951-1980. Fuente: Goddard Institute for Space Studies (2010).

El cambio climático mundial ha sido un tema de discusión pública en los últimos años. Como respuesta a esta inquietud y con el fin de facilitar el diálogo con otros representantes de la sociedad, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon el Panel Internacional de Cambio Climático (IPCC) en 1988. Este programa juega el rol de analizar y sintetizar la información científica y socioeconómica que permite entender los potenciales impactos, opciones de adaptación y medidas de mitigación frente al cambio climático.

Desde su establecimiento, el IPCC ha producido una serie de informes de evaluación (1990, 1995, 2001 y 2007) que son ya obras de referencia de uso común, ampliamente utilizadas por responsables de políticas, científicos, otros expertos y estudiosos.

### **Escenarios proyectados de emisiones de gases de efecto invernadero**

Con el fin de poder realizar proyecciones del clima a futuro el IPCC crea posibles escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero a futuro. Esto consiste en la elaboración de proyecciones de desarrollo social y económico futuro (crecimiento demográfico, fuentes de energía, cambio tecnológico, etc.), los cuales poseen emisiones de gases de efecto invernadero asociadas. En consecuencia, estos escenarios constituyen representaciones de la evolución futura de las emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero basadas en hipótesis sobre la evolución socio-económica y sus relaciones. Posteriormente, estas tasas de emisiones y concentraciones futuras son utilizadas para realizar simulaciones climáticas globales y generar de ésta forma escenarios de cambio climático, los que representan las posibles variaciones espaciales y temporales del sistema climático para un tiempo futuro (Montes, 2010).

## Proyecciones para Chile

Existe un número importante de modelos numéricos de circulación general de la atmósfera y de los océanos que han sido desarrollados y aplicados con el propósito de evaluar los cambios climáticos a nivel global y su información ha sido puesta a disposición de la comunidad internacional. Todos ellos están basados en una formulación matemática de las leyes físicas y procesos fundamentales que gobiernan el comportamiento del sistema climático terrestre, la que integrada a partir de un estado inicial y forzada por la radiación solar, dan lugar a variaciones similares a las observadas en el clima. Sin embargo, la mayor desventaja de los modelos globales deriva de una baja resolución espacial (centenas de kilómetros), lo que al momento de ser utilizados para análisis de impacto resulta ser muy pobre, particularmente en el caso de regiones costeras o con importantes variaciones de relieve. Este último es el caso de Chile, donde a la presencia de las Cordilleras de la Costa y de los Andes se une el escaso desarrollo W-E del territorio nacional, la que resulta similar a la resolución actual de los modelos globales (Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, 2006).

Para derivar información con mayor detalle espacial se recurre a Modelos Climáticos Regionales, en los cuales el dominio de cálculo cubre sólo una parte del globo, la que puede ser descrita con mejor resolución (50 km, 25 km o menos). La compatibilidad con el modelo global se logra imponiendo la evolución de éste en las paredes laterales de la región del modelo regional. En el caso de Chile, la Universidad de Chile ha utilizado el modelo regional PRECIS (Providing Regional Climates for Impact Studies), desarrollado por la Oficina Meteorológica del Reino Unido. La resolución espacial usada fue de 25 km, que cubre todo el territorio continental de Chile. Adicionalmente, Chile cuenta con el estudio de dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (incluidos en el último informe del IPCC), uno que plantea situaciones futuras moderadas en cuanto a las emisiones (SRES B2) y otro escenario que plantea situaciones más críticas o severas (SRES A2). Ello significa contar con dos modelamientos regionales para el período entre los años 2071-2100, además de un modelamiento regional de 30 años para el clima actual, entre los años 1961-1990.

Los pronósticos realizados por los Modelos Climáticos Globales estiman para el período 1990-2100 un aumento de la temperatura media del planeta de 1,4-5,8°C (IPCC, 2007). En el ámbito nacional se han obtenido pronósticos de incrementos térmicos respecto al clima promedio actual sobre Chile continental que variaría entre 2° y 4°C, pronóstico que es el aplicado a un escenario de emisiones severas de gases invernadero A2 (Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, 2006).

## **Impactos del cambio climático**

La agricultura es uno de los sistemas de aprovechamiento de recursos naturales más sensible a variaciones climáticas. Los cultivos establecen relaciones de intercambio de materia y energía con su entorno y se ven expuestos a variaciones meteorológicas por períodos prolongados, es por esto que el clima es un factor determinante en la viabilidad de todas las formas de agricultura, desde la determinación del área geográfica en la cual un determinado cultivo puede crecer y desarrollarse, hasta la influencia anual de la producción y la calidad de los cultivos. Debido a su rol económico y social, la agricultura es uno de los objetos principales de estudio a la hora de cuantificar los impactos del cambio climático.

Dentro de los cultivos con mayor tradición en la historia de la humanidad se encuentra la vid. La vid es una planta perenne adaptada a una amplia gama de condiciones climáticas. La especie de vid más cultivada para producir vinos de calidad es la *Vitis vinifera*, que puede soportar, en invierno, temperaturas de hasta  $-15^{\circ}\text{C}$  o  $-20^{\circ}\text{C}$ , dependiendo de la cepa. Así mismo, la cantidad de calor que la vid requiere para madurar completamente varía de manera importante entre las diferentes variedades. Al menos son necesarios 1200 grados días base por sobre  $10^{\circ}\text{C}$  para las variedades de más temprana maduración. En las regiones ecuatoriales, el crecimiento vegetativo de la vid es continuo y todas las fases reproductivas se dan simultáneamente en un mismo terreno (Van Leeuwen et al., 2007).

La productividad y las características cualitativas de la vid son el resultado de su interacción con el ambiente (régimen hídrico y térmico) y condiciones de cultivo que pueden permitirle manifestar en plenitud su propia potencialidad e individualizar las medidas a adoptar para la inversión a largo plazo, como es la instalación de un viñedo.

Por último, no se debe olvidar que la interacción manejo-terreno-clima constituye aquello llamado “terroir” y, entre estos tres factores, es este último el de mayor importancia a escala regional, y el que más fuertemente determina la diversidad de los vinos producidos en diversas regiones climáticas (Jones y Davis, 2000).

### **Efecto del cambio climático sobre la fenología de la vid**

La calidad y la tipicidad de los vinos dependen tanto de factores antropogénicos como naturales, por lo que el clima de los diferentes sectores productores de uva tiene relación con la variedad de cepa cultivada, calidad y tipicidad de los vinos. El principal factor climático que afecta la fenología de las plantas es la temperatura y se sabe que incrementos en la temperatura del aire pueden ser detectados fácilmente en los datos fenológicos. En esta materia es Europa, muy probablemente, la región donde se ha estudiado con mayor detalle el efecto del cambio climático sobre la fenología de la vid. Diversos estudios realizados en el viejo continente revelan que los eventos fenológicos de primavera son

particularmente sensibles a la temperatura, y el calentamiento que se ha experimentado en las últimas décadas ya ha mostrado efectos en la fenología, provocando en la mayoría de los casos un adelantamiento de los eventos fenológicos de primavera y un alargamiento de la época de desarrollo (Dûchene y Schneider, 2004).

Jones y Davis (2000) postulan que el desarrollo de la fenología de la vid está principalmente determinado por la temperatura, por lo que la correspondencia de las fases críticas del desarrollo de la vid a un clima conveniente es un factor fundamental en la planificación de cualquier desarrollo del viñedo, donde la calidad es una prioridad. Un futuro incremento en las temperaturas podría cambiar los tiempos de maduración de la uva y, consecuentemente, la fecha de cosecha, además de afectar la calidad de la uva y de las levaduras (Haselgrove *et al.* 2000, Marais 2001, Marais *et al.* 2001, Spayd *et al.* 2002, Weeb 2006). Por lo tanto, el impacto potencial de los aumentos de la temperatura proyectada sobre estos acontecimientos fenológicos podría influir tanto en la producción del viñedo como en la calidad de la uva en las regiones vitivinícolas chilenas.

En base al gran desarrollo que ha experimentado la vitivinicultura en Chile en las últimas décadas, se torna necesario poder establecer qué alcances tendría un eventual cambio climático en dicho sistema productivo, con el fin de mantener la producción y calidad, y tomar medidas al respecto, de ser necesario.

Resulta importante, entonces, contar con índices bioclimáticos que tengan una asociación directa con los atributos cualitativos del vino. Puesto que el clima es el producto de variables meteorológicas, el análisis de cada localidad se verá facilitado en la medida que se cuente con indicadores sintéticos de las propiedades relevantes. Es sabido que la fenología de la vid está esencialmente determinada por la suma de temperaturas activas (Winkler, 1974). Si bien el “punto cero del crecimiento vegetativo” depende de la variedad de uva y estado fenológico, la mayoría de los autores considera que el desarrollo de la vid comienza aproximadamente a los 10°C, por lo que la fenología de la vid puede de esta manera ser trazada de forma precisa mediante la suma diaria de temperaturas por encima de 10° C (Winkler *et al.*, 1974).

Tanto el análisis de sumas térmicas (días-grado acumulados), como el Índice Heliotérmico y también el Índice de Sequía (descritos posteriormente), permiten describir el comportamiento fenológico de una variedad así como determinar parcialmente su grado de aceptabilidad (Meza *et al.*, 2006). El uso de los días-grado como método predictivo de la fenología de la vid toma lógica y razón, transformándose en un buen método de monitoreo de los estados fenológicos, relacionando distintas etapas fenológicas de la vid con la sumatoria térmica.

Con el objeto de poder analizar y comparar los diferentes climas de las regiones vitivinícolas, y de este modo poder caracterizar su variabilidad en el tiempo y espacio, es que nace el concepto de Sistema de Clasificación Climática Multicriterio (CCM) propuesto por Tonietto y Carbonneau (2004), mediante el cual se puede identificar la clase del clima vitícola de las regiones en cuestión. Uno de los usos planteados para el sistema CCM es

poder realizar un real análisis del impacto del cambio climático global en las áreas vitícolas a lo largo del mundo. El sistema usa tres índices climáticos, vitícolas y complementarios: Índice de Sequía, Índice Heliotérmico e Índice de Frescor Nocturno. Estos índices se establecen en función del ciclo vegetativo medio de la viña. Ellos son a la vez pertinentes para caracterizar los potenciales climáticos de una región, y están fuertemente ligados al potencial cualitativo y a las características de la uva o de los productos vitícolas. Estos tres índices sintéticos aportan informaciones complementarias los unos en relación a los otros (Tonietto, 2007).

En el presente estudio se ha procedido a evaluar el impacto del cambio climático en base al uso de índices bioclimáticos, en distintas zonas productoras de vino en Chile, y su impacto sobre la fenología de distintas cepas de interés enológico, en diversas zonas vitivinícolas de Chile.

## **HIPÓTESIS**

1. Un eventual cambio en las variables climáticas repercutirá tanto en el potencial climático vitivinícola de las regiones productoras de vino en Chile, como en el desarrollo fenológico de las diversas cepas de interés en el país.

## **OBJETIVOS**

1. Evaluar cambios en la fenología de las cepas en diferentes escenarios climáticos del país.
2. Analizar el impacto de las proyecciones climáticas en las regiones productoras de vino en Chile, utilizando índices climáticos de uso en la vitivinicultura mundial.

## MATERIALES Y MÉTODOS

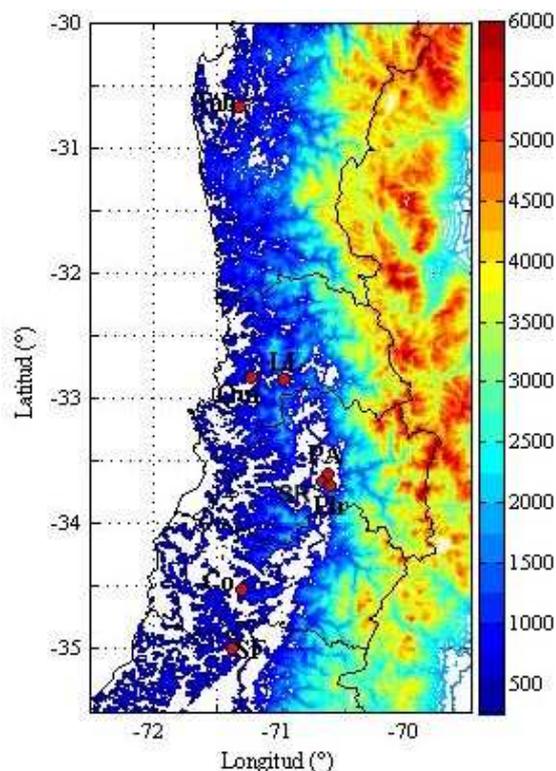
### Lugar del Estudio

El presente trabajo fue realizado en el Departamento de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, con datos fenológicos y de temperatura recogidos de diversas zonas vitivinícolas de Chile.

### Materiales

El siguiente estudio consta de varias etapas analíticas. En una primera etapa se integran los datos climáticos actuales con la fenología de la vid vinífera (*Vitis vinifera* L) en diversas zonas productoras de vino en Chile. En una segunda fase se analiza la evolución fenológica de la vid ante un eventual cambio climático, basándose en los resultados obtenidos para observaciones fenológicas en los diversos escenarios climáticos actuales existentes en Chile. Y en una tercera fase se aplica el Sistema de Clasificación Multicriterio CCM para evaluar las variaciones del clima vitivinícola en Chile en los escenarios climáticos futuros.

Para la primera fase del estudio se utilizaron los datos climáticos y fenológicos registrados por diferentes viñas colaboradoras del presente estudio, distribuidas a lo largo de diferentes zonas productoras de vino, entre los paralelos 30° y 34° Latitud Sur, durante la temporada 2008/09. Fueron consideradas 6 de las cepas de mayor relevancia en la producción nacional de vinos: Sauvignon Blanc, Chardonnay, Merlot, Cabernet Sauvignon, Syrah y Carménère. Las viñas participantes fueron Viña Tabalí (Valle del Limarí) evaluando el comportamiento de las cepas: Sauvignon Blanc, Chardonnay, Merlot, Syrah y Carménère; Viña Señal (Quillota, Valle del Aconcagua) evaluando Merlot; Viña Arboleda (Chilhué, Valle del Aconcagua) evaluando Sauvignon Blanc; Viña Errázuriz (LlayLlay, Valle del Aconcagua) evaluando Merlot; Viña Santa Rita (Alto Jahuel, Valle del Maipo) con la evaluación de las cepas: Merlot, Syrah, Carménère y Cabernet Sauvignon; Viña Chadwick (Puente Alto, Valle del Maipo) evaluando Cabernet Sauvignon; Viña Haras de Pirque (Valle del Maipo) con las observaciones de las cepas Chardonnay, Syrah, Carménère y Cabernet Sauvignon; Viña Caliterra (Valle de Colchagua) a cargo de la evaluación de la cepa Carménère y nuevamente con una ubicación más austral Viña Errázuriz (Sagrada Familia, Valle Colchagua) realizando las observaciones sobre la cepa Carménère. La Figura 3 muestra la ubicación de las viñas involucradas en el presente estudio. Los datos climáticos fueron obtenidos de las diferentes estaciones meteorológicas propias de cada viña, que registraron las temperaturas mínimas, medias y máximas presentes a lo largo de la temporada.



**Figura 3.** Topografía del área de estudio: los puntos rojos muestran la posición de las viñas participantes del estudio. Barra de colores en msnm. Tab: Viña Tabalí, Limarí; Qui: Viña Seña, Quillota, LL: Viña Errázuriz, LlayLlay; PA: Viña Chadwick, Puente Alto; SR: Viña Santa Rita, Alto Jahuel; Pir: Viña Haras de Pirque, Pirque; Co: Viña Caliterra, Colchagua y SF: Viña Errázuriz, Sagrada Familia.

Para la evaluación de los escenarios climáticos futuros se utilizó la base de datos climáticos obtenida del modelo regional PRECIS empleado por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, correspondiente a las temperaturas máximas, medias y mínimas promedio diarias a 2m de altitud, para un escenario de base (baseline o clima actual), y los escenarios futuros de emisiones de gases de efecto invernadero B2 y A2, siendo A2 más severo en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero, para el periodo 2071-2100. La resolución espacial de los resultados del modelo PRECIS es de 25 km.

Se utilizaron las coordenadas geográficas de cada viña para poder establecer a qué punto de grilla pertenecían dentro de la resolución disponible para PRECIS-DGF y de tal forma obtener los datos climáticos útiles para el cálculo de los tres índices bioclimáticos pertenecientes al Sistema de Clasificación CCM propuesto para el estudio y de los días-grado acumulados para los diferentes estados fenológicos.

Para la presentación de los resultados obtenidos se utilizó el Software Sigmaplot ( V.10.0, 2006) y Matlab (R2010a, 2010).

## Metodología

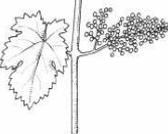
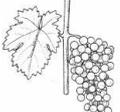
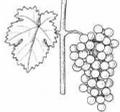
### Fenología en climas actuales

Con el propósito de evaluar la respuesta fenológica con respecto a las temperaturas presentadas a lo largo del periodo de crecimiento en la temporada de producción 2008-2009, se procedió a elaborar una planilla que representa los eventos fenológicos necesarios de ser registrados (fig. 4). Las fechas de ocurrencia de dichos eventos fueron registradas por las viñas cuando el evento se manifestaba en un 50% de las plantas del cuartel.

A fin de evaluar la respuesta en la fenología de las vides al clima de la temporada, se utilizó el método de los “días-grado”(DD). Para las vides, se ha determinado que la temperatura base es 10°C, pues el crecimiento de los brotes por debajo de esa temperatura no se produce o es mínimo. Las temperaturas registradas fueron analizadas mediante el cálculo de días-grado acumulados, los cuales se calculan restando 10°C a la temperatura promedio diaria, la cifra resultante se multiplica por el número de días del mes. Se cuantificaron los días-grado acumulados –DGA- presentados en las diversas zonas a partir de la ocurrencia del primer estado fenológico a registrar (yema hinchada) para cada una de las variedades representativas de cada valle.

$$DD = \sum \left( \frac{T_{\max} (^{\circ}C) - T_{\min} (^{\circ}C)}{2} - 10^{\circ}C \right)$$

Al observar por cepa la fecha de ocurrencia de cada evento fenológico y asociarlo a la cantidad de DGA a esa fecha, en los diversos puntos geográficos, a modo de repeticiones, se logró obtener promedios de los requerimientos térmicos de cada cepa para alcanzar los diversos estados fenológicos registrados.

Evento Fenológico	Apariencia	Fecha de Ocurrencia
1.-Yema hinchada		
2.-Yema algodonosa		
3.-Primera hoja separada del brote		
4.-Hoja completamente expandida, separación de flores		
5.-Plena flor (caída de caliptras)		
6.-Cuaja		
7.-Tamaño arveja		
8.-Pinta		
9.-Vendimia		
10.- 24° Brix	Medido con refractómetro.	

**Figura 4.** Planilla de seguimiento de los diversos estados fenológicos.

### **Fenología en escenarios climáticos futuros**

En base a las temperaturas registradas en las diversas viñas en sus respectivas localidades, se calcularon los promedios de los requerimientos térmicos para llegar a cada etapa fenológica en cada cepa. Estos resultados fueron utilizados para su aplicación en los tres escenarios climáticos proyectados para Chile: Baseline, B2 y A2, utilizando las temperaturas obtenidas por PRECIS-DGF para cada uno. De este modo, se utilizaron las coordenadas geográficas de cada viña para localizarlas dentro de los diferentes puntos de grilla pertenecientes al estudio de los escenarios futuros y así obtener los datos climáticos para cada localidad y escenario. De tal modo se calculó la acumulación térmica para cada punto geográfico utilizando las temperaturas proyectadas para los tres escenarios climáticos propuestos, utilizando como punto de partida para iniciar el conteo de la acumulación de días-grado la fecha de ocurrencia promedio de yema hinchada para cada viña y variedad.

En el Estudio de Variabilidad Climática en Chile para el Siglo XXI, con el objetivo de validar las salidas de PRECIS para el clima actual, se comparó los promedios de PRECIS con observaciones de estaciones meteorológicas en la faja comprendida entre 32 y 35° S. Se constató que la coincidencia es muy alta en el terreno bajo, pero sobre Los Andes PRECIS subestima la temperatura media anual, lo que se justifica por la diferencia en altitud entre las posiciones de las estaciones en la realidad y los puntos del modelo, probablemente debido a su ubicación en valles angostos que no quedan bien representados. Como consecuencia, el ciclo anual de la temperatura en la faja geográfica mencionada queda nuevamente subestimado en su magnitud por parte del modelo (Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, 2006).

Con el fin de validar las temperaturas propuestas como un escenario actual (Baseline), se procedió a calcular y comparar conjuntamente los días-grado acumulados para el escenario Baseline obtenido por PRECIS, con los registrados por las diferentes estaciones meteorológicas de las viñas de estudio en sus respectivas localidades. Se observó una diferencia en la acumulación térmica, presentando Baseline valores superiores que los efectivamente registrados para la temporada 08/09. Así, en los puntos en que se registraron las temperaturas, la acumulación de días-grado fue menor, mientras que para el modelo los escenarios climáticos presentaron temperaturas superiores. Esto puede deberse a que el cálculo para los escenarios climáticos se basa en un promedio de las temperaturas modeladas de 30 años que representan el clima actual, mientras que el estudio de fenología fue realizado en un año frío dentro del promedio utilizado para el modelo. Lo anterior explica y se ve reflejado en la diferencia entre el escenario Baseline y las temperaturas registradas para la temporada 08/09.

## Índices bioclimáticos

Los índices bioclimáticos son una herramienta ampliamente utilizada en zonificación y en particular en la gestión vitícola, pues éstos permiten definir cuantitativamente los recursos en función de las exigencias del cultivo en estudio. En la vitivinicultura hay una serie de índices destinados a estimar las potencialidades climáticas de un lugar dado para asegurar la maduración de la uva para diferentes cepas (Huglin y Scheneider, 1998). Los índices utilizados para este estudio son los propuestos para el sistema de clasificación climática desarrollado por Tonietto y Carbonneau (2004). Este consiste en tres índices climáticos sintéticos y complementarios entre ellos, los que permiten una clasificación de carácter multicriterio, siendo estos desarrollados en función de las necesidades de las distintas variedades, la calidad de las uvas (azúcar, acidez, color, aroma) y en la tipicidad de los vinos. Estos índices han sido establecidos en función del ciclo vegetativo del viñedo y sobre diversos períodos del mismo.

**Cuadro 1.** Índices climáticos utilizados para el Sistema de Clasificación Climática de Multicriterio.

ÍNDICE		
Tipo	Nombre	Sigla
Heliotérmico	Índice Heliotérmico	IH
Hídrico	Índice de Sequía	IS
Nictotérmico	Índice de Frío Nocturno	IF

Fuente: Tonietto, 1999.

**Índice Heliotérmico de Huglin (IH).** Huglin (1978) propone un Índice Heliotérmico que evalúa las condiciones térmicas de la temporada, dando mayor importancia a la etapa iluminada del día. Dicho índice relaciona las temperaturas medias y máximas diarias durante el período activo de vegetación, y un coeficiente de longitud del día que varía acorde a la latitud, proporcionando según las distintas variedades una mejor idea del potencial de azúcar que las sumas térmicas clásicas. Está basado en el hecho de que las temperaturas medias por sí solas no pueden dar cuenta de la actividad fotosintética de la planta y que es necesario tomar en cuenta las condiciones térmicas durante el período diurno donde la fotosíntesis efectivamente tiene lugar (Bois, 2004). Asociado al Índice de Frío Nocturno (presentado más adelante), permite realizar una mejor discriminación del clima de una región con respecto a las condiciones heliotérmicas globales durante el ciclo vegetativo del viñedo y las condiciones de frío nocturno durante el período de maduración de la fruta (Tonietto y Carbonneau, 2004). El cálculo se realiza utilizando datos climáticos mensuales para el período de crecimiento activo de la planta. El Índice Heliotérmico se calcula del siguiente modo:

$$IH = \sum_{01.10}^{31.03} \frac{[(T - 10) + (Tx - 10)]}{2} * d$$

En donde,  $T$  corresponde a la temperatura media del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_x$  a la temperatura media máxima del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ) y  $d$  a un coeficiente de duración del día que varía desde 1,02 a 1,06 entre los  $40^{\circ}$  y  $50^{\circ}$  de latitud (Cuadro 2). El cálculo se realiza para un período de seis meses, comprendido entre el 1 de octubre y el 31 de marzo para el Hemisferio Sur.

**Cuadro 2.** Coeficiente de longitud del día ( $d$ ) para IH.

Latitud	$D$
$\leq 40^{\circ}00'$	1,00
$40^{\circ}01' - 42^{\circ}00'$	1,02
$42^{\circ}01' - 44^{\circ}00'$	1,03
$44^{\circ}01' - 46^{\circ}00'$	1,04
$46^{\circ}01' - 48^{\circ}00'$	1,05
$48^{\circ}01' - 50^{\circ}00'$	1,06

Fuente: Tonietto y Carbonneau (2004).

**Índice de Sequía (IS).** Índice basado en el *Balance Hídrico Potencial de Riou* (Riou *et al.*, 1994). Este índice permite caracterizar la componente hídrica del clima, indicando la presencia o ausencia de sequía en una región vitivinícola. El índice considera la demanda hídrica de un viñedo estándar, la evaporación del suelo desnudo y la lluvia sin escurrimiento superficial ni drenaje interno. Indica la disponibilidad hídrica potencial en el suelo, relacionado al nivel de sequía de una región (Tonietto, 1999).

Se calcula sobre el mismo período de 6 meses para IH, de la manera siguiente:

$$W = W_0 + P - T_v - E_s$$

donde,  $W$  es la estimación de la reserva hídrica del suelo para el final de un período dado en mm (balance hídrico del viñedo),  $W_0$  la reserva hídrica inicial del suelo utilizable por las raíces (mm),  $P$  la precipitación (mm),  $T_v$  la transpiración potencial del viñedo (mm) y  $E_s$  la evaporación directa desde el suelo (mm) (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Período para el cálculo de IS y valores de  $W$ .

	Hemisferio		Valor de $W$
	Sur	Norte	
Momento inicial	01 de octubre	01 de abril	$W = \text{reserva } W_0$
Momento final	31 de marzo	30 de septiembre	$W = \text{IS}$

Fuente: Tonietto (1999).

$T_V$  (transpiración potencial del viñedo, mm.) y  $E_S$  (evaporación directa desde el suelo, mm.) se calculan por:

$$T_V = ETP * k$$

donde, ETP es la evapotranspiración potencial (total mensual) y  $k$  un coeficiente de absorción de radiación por el follaje, el cual está en relación con la transpiración, y depende de la arquitectura del viñedo (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Valores de  $k$  utilizados para cada mes.

Mes		$k$
<i>Hemisferio Norte</i>	<i>Hemisferio Sur</i>	
Abril	Octubre	0,1
Mayo	Noviembre	0,3
Junio	Diciembre	0,5
Julio	Enero	0,5
Agosto	Febrero	0,5
Septiembre	Marzo	0,5

Fuente: Tonietto y Carbonneau (2004).

$$E_S = \frac{ETP}{N} * (1 - k) * JPm$$

en donde,  $N$  es el número de días del mes,  $JPm$  el número de días de evaporación efectiva desde el suelo por mes y equivale a la precipitación del mes en mm/5.  $JPm$  debe ser menor o igual al número de días del mes.

$W$  puede ser negativo, expresando el déficit hídrico potencial, pero no puede ser mayor que  $W_0$  (reserva hídrica potencial del suelo). El índice es calculado mes a mes, basándose en los valores mensuales de  $P$ ,  $ETP$ ,  $T_V$  y  $E_S$ . Se denomina  $IS$  al valor de  $W$  obtenido al momento final (31 de marzo), siguiendo las indicaciones anteriores y adoptando un valor inicial de  $W_0 = 200$  mm (valor promedio recomendado cuando la información de reserva inicial en el suelo no es conocida) (Tonietto y Carbonneau, 2004).

En el cálculo del Índice de Sequía no fue posible la utilización de valores de Evapotranspiración Potencial de Penman, debido a la falta de los datos climáticos necesarios para su cálculo, por lo que fue utilizado el método de cálculo de Evapotranspiración Potencial propuesto por Thornthwaite (1948) y posteriormente validado, entre otros, por Pereira y Oregon (2004). Thornthwaite propone el cálculo de la Evapotranspiración Potencial en función de la Temperatura media, con una corrección en

función de la duración astronómica del día y el número de días del mes. Thornthwaite comprobó que la evapotranspiración era proporcional a la temperatura media afectada de un coeficiente exponencial,  $a$ . Para lo cual propone la siguiente fórmula:

$$e = 16 \times (10 \times tm/I)^a$$

Donde:

$e$  : evapotranspiración mensual sin ajustar en mm (mm/mes)

$tm$  : temperatura media mensual en ° C

$I$  : índice de calor anual

$a$  : parámetro que se calcula a partir de  $I$  por la expresión:

$$I = \sum (i_j) ; j = 1, \dots, 12 \text{ (sumando los doce índices mensuales).}$$

$$i_j = (tm_j/5)^{1.514}$$

$$a = 0,000000675 \times I^3 - 0,0000771 \times I^2 + 0,01792 \times I + 0,49239$$

Para el cálculo de la ETP de un mes determinado es preciso corregir la ETP sin ajustar "e" mediante un coeficiente que tiene en cuenta el número de días del mes y horas de luz de cada día, en función de la latitud. Para esto, se introduce el índice de iluminación mensual en unidades de 12 horas, que deberá multiplicar a la ETP sin ajustar para obtener la ETP según Thornthwaite (mm/mes) final:

$$ETP_{Tho} = e \times L \text{ (mm/mes)}$$

$e$  : evapotranspiración mensual sin ajustar en mm.

$L$  : factor de corrección del número de días del mes ( $Nd_i$ ) y la duración astronómica del día  $N_i$  - horas de sol:

$$L_i = Nd_i/30 \times N_i/12$$

**Índice de Frescor Nocturno (IF).** Índice propuesto por Tonietto (1999) que cuantifica los efectos de las temperaturas medias mínimas nocturnas durante el período en el cual usualmente ocurre la maduración. Es sabido que el desarrollo de los aromas finos de ciertas cepas es posible si la maduración se produce con noches frescas. Este factor climático es muy importante, ya que favorece la coloración y la formación de aromas en las bayas y el vino. Además, si bien la acumulación de azúcares está fuertemente determinada por la luminosidad, el destino de éstos depende del régimen térmico, especialmente de las temperaturas nocturnas. Las noches frescas tienden a frenar el crecimiento de los brotes, favoreciendo la generación de excedentes de carbohidratos acumulables en los frutos. Contrariamente, las noches cálidas favorecen el crecimiento continuo de los brotes, compitiendo fuertemente con los frutos (Santibáñez, 2005). El cálculo es el siguiente (Tonietto, 1999):

IF = Temperatura media mínima del aire del mes de marzo en °C (septiembre para el Hemisferio Norte).

Para el estudio de un mesoclima en particular, el período de cálculo para IF debe ajustarse al período de maduración de las uvas, expresando el valor de IF en los 30 días del período que preceden a la cosecha.

A partir de los cálculos de los diferentes índices se desprende la clasificación de los resultados (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Clases de Clima Vitícola y sus intervalos para los tres índices (IH, IS e IF).

Índice	Clase de Clima Vitícola	Sigla	Intervalo
<b>Índice Heliotérmico</b>	Muy caluroso	IH + 3	>3000
	Caluroso	IH + 2	>2400 ≤ 3000
	Temperado caluroso	IH + 1	>2100 ≤ 2400
	Temperado	IH - 1	>1800 ≤ 2100
	Frío	IH - 2	>1500 ≤ 1800
	Muy Frío	IH - 3	≤1500
<b>Índice de Frío Nocturno</b>	Noches muy frías	IF + 2	≤12
	Noches frías	IF + 1	>12 ≤ 14
	Noches templadas	IF - 1	>14 ≤ 18
	Noches cálidas	IF - 2	>18
<b>Índice de Sequía</b>	De sequía muy fuerte	IS + 2	≤-100
	De sequía moderada	IS + 1	≤50 > -100
	Sub-húmedo	IS - 1	≤150 > 50
	Húmedo	IS - 2	>150

Fuente: Tonietto y Carbonneau, 2004.

### Sistema de Clasificación Climática Multicriterio (CCM) Geovitícola

En el análisis del clima es posible utilizar los índices disponibles de manera individual para caracterizar las regiones climáticas. Esto es lo que se denomina una clasificación climática monocriterio, lo que está más bien relacionado con el contexto climático de la región respectiva. El Índice de Winkler (Winkler, 1980), por ejemplo, basado en las temperaturas medias, otorga una muy buena información sobre el potencial térmico de una región. Con

éste es posible agrupar regiones bastante homogéneas en cuanto a clima. La misma situación es válida para otros índices como es el de Huglin (Huglin, 1978) o el de Riou (Riou *et al.*, 1994), por ejemplo. La utilización de dos o tres índices climáticos vitícolas en forma simultánea, otorgan a la clasificación climática un carácter de multicriterio (Tonietto, 1999).

El *Sistema de Clasificación Climática Multicriterio (CCM) Geovitícola*, propuesto por Tonietto y Carbonneau (2004), corresponde a un sistema de clasificación climática para las regiones vitivinícolas basado en la integración de los tres índices climáticos ya detallados (IH, IS, IF). Estos entregan información complementaria y han sido creados en función de las exigencias de las variedades, la calidad de la uva (azúcar, acidez, color, aroma) y la tipicidad de los vinos. Este sistema establece el clima vitícola de cada región y permite que las regiones sean clasificadas y agrupadas. De esta manera, el sistema permite la identificación de climas análogos.

Para la clasificación climática, se definen tres conceptos:

**Clima Vitícola:** el clima vitícola corresponde al clima de una localidad, un viñedo o una región vitivinícola, descrito por los tres índices bioclimáticos. El clima vitícola de un lugar cambia de un año a otro, lo que lleva a dos sub-definiciones: el clima vitícola promedio y el rango de clima vitícola (amplitud climática). La clasificación se realiza en base a los distintos valores de los tres índices bioclimáticos vitícolas: Índice Heliotérmico de Huglin (IH), Índice de Sequía (IS) e Índice de Frío Nocturno (IF).

**Grupo Climático:** el grupo climático al cual las localidades, viñedos o regiones vitivinícolas pertenecen, es un conjunto de localidades, viñedos o regiones vitivinícolas que presentan una misma clase de clima vitícola. Usualmente, el grupo climático incluye una gran parte de los rangos del clima vitícola que pueden presentarse (variación inter-anual).

**Clima Vitícola con variabilidad intra-anual:** este concepto le corresponde a las regiones que, bajo condiciones climáticas naturales, cambian de clase de clima vitícola según la época del año en que la uva puede ser producida. Este concepto se utiliza en las regiones con clima caluroso, donde es posible obtener más de una cosecha al año, por lo que no es aplicable a la vitivinicultura chilena y, por lo tanto, no ha sido utilizado en este trabajo.

El *Sistema CCM Geovitícola* es aplicable sólo a las regiones vitícolas, una vez que los criterios climáticos limitantes para la viticultura (riesgo de heladas, exceso de humedad, etc.) han sido considerados. Por otra parte, este sistema puede contribuir al estudio e identificación de nuevas regiones con potencial vitivinícola. Este sistema permite mejorar la descripción del clima vitícola y poder estudiar su efecto en la calidad de la uva y la tipicidad de los vinos, siendo también una herramienta para estudios de zonificación vitivinícola.

## Clases de clima vitícola

La clasificación en clases climáticas se fundamenta en el hecho de que cada región vitivinícola presenta tanto diferencias en el clima como en las respuestas del viñedo asociadas a los factores climáticos considerados por los índices. Así, a nivel mundial, es posible agrupar las regiones más homogéneas utilizando una clasificación multicriterio. Las clases propuestas por el *Sistema CCM Geovitícola* para los tres índices climáticos (IH, IS e IF) y su interpretación, son descritas a continuación (Tonietto y Carbonneau, 2004).

### Clases de clima vitícola para IH

- **IH – 3:** es la clase de clima *Muy Frío*, que incluye a todas aquellas regiones ubicadas en el límite térmico inferior para el cultivo de la vid; bajo estas condiciones heliotérmicas solo las variedades muy tempranas pueden alcanzar la madurez, especialmente las variedades blancas. En condiciones de invierno muy frío, en ciertas ocasiones son utilizados híbridos interespecíficos o variedades americanas, más resistentes que *Vitis vinifera*.
- **IH – 2:** en la clase de clima *Frío*, el potencial heliotérmico permite la maduración de una gama más amplia de uvas, blancas o tintas, incluyendo por ejemplo a Riesling, Pinot Noir, Chardonnay, Cabernet Franc y Merlot.
- **IH – 1:** en la clase de clima *Temperado*, las variedades más tardías como Cabernet Sauvignon o Syrah, pueden igualmente alcanzar la maduración.
- **IH + 1:** en la clase de clima *Temperado Caluroso*, variedades más tardías como Carignan o Mourvèdre pueden alcanzar la madurez. En este caso, no existen limitaciones heliotérmicas para la maduración de las variedades cultivadas (a excepción de algunas variedades apirenas).
- **IH + 2:** la clase de clima *Caluroso* se caracteriza por un alto potencial heliotérmico, el cual excede las necesidades heliotérmicas de maduración de las variedades, aún para las tardías (con algunos riesgos de estrés asociados).
- **IH + 3:** en la clase de clima *Muy Caluroso*, además del hecho de no existir limitantes heliotérmicas para la maduración de las uvas, comienzan a aparecer las zonas de clima intertropical, en los cuales es posible, en ciertos casos, obtener más de una cosecha al año.

### Clases de clima vitícola para IF

- **IF – 2:** en la clase de clima vitícola de *Noches Cálidas*, las regiones vitivinícolas poseen un período de maduración de la uva con temperaturas nocturnas elevadas para todas las variedades, las que por ejemplo pueden afectar el color de las bayas y el potencial aromático.
- **IF – 1:** en la clase de clima vitícola de *Noches Temperadas*, existe una condición intermedia entre los climas vitícolas de *Noches frías* y de *Noches cálidas*. Las variedades más tardías tendrán una maduración en condiciones de temperaturas nocturnas más bajas que las variedades precoces.

- **IF + 1:** en la clase de clima vitícola de *Noches Frías*, la maduración ocurre bajo condiciones que pueden ser más o menos frías, dependiendo de cuán tardía es la variedad. Sin embargo, las condiciones son más frías que en la clase IF – 1, de tal manera que un límite máximo de temperatura nocturna favorable para la maduración no será excedido para ninguna variedad.
- **IF + 2:** en la clase de clima vitícola de *Noches Muy Frías*, las condiciones de temperatura nocturna son bajas y el efecto positivo de esas temperaturas depende, sobre todo, de un potencial heliotérmico capaz de asegurar un buen nivel de maduración de las uvas para una variedad dada.

Bajo condiciones nictotérmicas de clase de *Noches Muy Frías*, se puede encontrar en las uvas un alto potencial de aromas y color, si las condiciones de plena maduración fueran aseguradas (la mayor parte de las regiones productoras de vinos blancos de calidad se encuentran en esta clase de clima vitícola). Por otro lado, el potencial podrá ser mucho menor si las condiciones para una buena maduración, especialmente la condición heliotérmica, no fueran aseguradas (Tonietto y Carbonneau, 2004). En general, se puede decir que bajo una condición de maduración con noches cálidas, la tendencia es observar una pérdida de aromas. En las variedades tintas existe el riesgo de presentar una coloración relativamente alta. Por otro lado, las condiciones de noches frías durante la maduración son esencialmente favorables para la coloración y aromas de las uvas. Estas dos características de las uvas se expresan principalmente bajo condiciones heliotérmicas suficientes para su maduración (Tonietto y Carbonneau, 2004).

### **Clases de clima vitícola para IS**

Este índice está definido para las condiciones naturales de los climas vitícolas. En el caso de Chile, donde el riego es casi obligatorio para el cultivo de la vid, este factor debe ser considerado como referencia (Hormazabal y Lyon, 2000). Para este índice, dos grandes grupos aparecen en primer lugar, según la presencia o ausencia de sequía: regiones de clima seco y húmedo. Estos dos grupos se subdividen en clases, cuyas características teóricas son presentadas a continuación.

### **Climas húmedos**

- **IS – 2:** se considera que con un IS superior a 150 mm, clase de clima vitícola *Húmedo*, corresponde a una “ausencia de sequía”, con un nivel de disponibilidad hídrica elevada, y eventualmente excesiva en relación a la calidad, ya que normalmente una buena maduración ocurre en años de baja humedad.
- **IS – 1:** con un IS entre 50 y 150 mm, clase de clima vitícola *Sub-húmedo*, la condición es también típica de “ausencia de sequía”. El valor de 50 mm representa un valor crítico que revela la aparición de un balance hídrico limitante bajo condiciones de sequía estival frecuente, siendo, por lo tanto, un buen indicador del punto de cambio de la condición de disponibilidad hídrica en el suelo para caracterizar las regiones con presencia o ausencia de sequía frecuente.

### **Climas secos**

- **IS + 1:** dentro del gran grupo de “presencia de sequía”, el intervalo de IS entre 50 y -100 mm, clase de clima vitícola de *Sequía Moderada*, presenta condiciones climáticas donde el viñedo estará sometido potencialmente a un cierto nivel de sequía. Esta situación, donde existe una significativa regulación estomática de la planta, es generalmente favorable para la maduración. El riego es aplicado en ciertos casos. Con un IS menor a 50 mm, se comienzan a encontrar regiones con climas de tipo mediterráneo, con déficit hídrico en verano.
- **IS + 2:** a un nivel inferior a -100 mm, clase de clima vitícola de *Sequía Muy Fuerte*, una sequía potencial ya es más acentuada, ocasionando efectos frecuentes de estrés y en la mayoría de los casos el riego es practicado en forma recurrente. El nivel de IS inferior a -200 mm caracteriza a regiones con un alto déficit de disponibilidad hídrica en el suelo; estas son las regiones donde el riego es obligatorio y donde existe un frecuente riesgo de estrés severo si estas prácticas no se realizan de la forma adecuada.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Fenología de la vid con respecto a la temperatura

Como ya se señaló, la fenología de la vid está determinada de manera importante por la suma de temperaturas por sobre el umbral necesario para el metabolismo mínimo de la planta. Aunque el “punto cero de crecimiento vegetativo” depende de cada cepa, la mayoría de los autores considera que el desarrollo de la vid comienza aproximadamente a los 10°C. La fenología de la vid puede, de esta manera, ser trazada mediante la suma diaria de temperaturas por encima de 10° C (Winkler *et al.*, 1974).

Tomando como punto de partida la ocurrencia del evento “yema hinchada” para el inicio de la suma térmica en cada localidad estudiada y para cada cepa, se logró obtener los promedios de los requerimientos de días-grado acumulados (DGA) necesarios para la ocurrencia de los diversos estados fenológicos.

**Cuadro 6.** Promedio y desviación estándar de requerimientos de Grados Días acumulados a partir de yema hinchada para cumplir diversos estados fenológicos en las diferentes variedades en estudio.

Eventos	Variedades					
	SB	Ch	Me	CS	Sy	Ca
Y. hinchada	0	0	0	0	0	0
Y. algodonosa	40±11	5±8	34±21	26±13	17±3	33±10
1ª Hoja separada	75±11	40±22	72±17	58±13	57±12	69±5
Hoja expandida	171±37	96±23	114±20	92±6	102±17	114±20
Plena flor	299±12	235±23	257±100	272±82	260±27	283±54
Cuaja	382±34	352±80	361±67	399±105	356±10	374±47
Tamaño arveja	504±11	450±47	506±64	527±65	495±27	531±45
Pinta	834±23	753±10	939±40	903±158	861±67	980±82
24° Brix	1003	1193	1367±43	1367±32	1299±127	1478±298
26° Brix	-	-	1445	1441±3	1427±46	1568
Total DGA a 24°B	<b>1003</b>	<b>1193</b>	<b>1367</b>	<b>1367</b>	<b>1299</b>	<b>1478</b>

**SB:** Sauvignon Blanc, **Ch:** Chardonnay, **Me:** Merlot, **CS:** Cabernet Sauvignon, **Sy:** Syrah, **Ca:** Carménère.

Del cálculo de las sumatorias térmicas se observa una clara diferencia entre las diferentes cepas con respecto a los requerimientos de DGA. Los requerimientos extremos se observaron para la cepa Sauvignon Blanc en el que el estado fenológico de 24°Brix se

cumplió con un promedio de 1003 días-grado acumulados mientras que la cepa Carménère requiere de 1478 DGA para el mismo evento, alcanzando una diferencia de 475 DGA para llegar a igual evento fenológico (Cuadro 6).

Así mismo, se logra apreciar una diferencia entre los requerimientos de DGA de las dos cepas blancas estudiadas. Si bien a lo largo del período de crecimiento se observa un mayor requerimiento térmico por parte de Sauvignon Blanc para llegar a distintos eventos fenológicos, es en el tiempo para alcanzar los 24 ° Brix, donde Chardonnay sobrepasa los requerimientos térmicos del Sauvignon Blanc. Según Bautista y Vargas (1981), las diferencias en los tiempos de maduración y requerimientos térmicos demuestran la propia precocidad de cada cepa, por lo que las diferencias en la duración del ciclo entre variedades, desde yema hinchada a pinta principalmente, pueden ser atribuidas a características genéticas, las cuales varían de un cultivar a otro. Se ha visto que las cepas más precoces en alcanzar los eventos fenológicos tienen una dormancia menos intensa que las tardías porque poseen una velocidad de evolución fisiológica más rápida. Además, son menos sensibles al efecto retardador de las bajas temperaturas sobre la brotación (Pouget 1961). Se evidencian también características más tardías para las cepas tintas, siendo la de mayor requerimiento térmico para alcanzar los estados la cepa Carménère, con 1468 días-grado acumulados a pinta.

En el Cuadro 7 se presentan los resultados de los DGA para la cepa Carménère en los diversos escenarios geográficos de estudio. La diferencia máxima entre los requerimientos térmicos se presentó entre Alto Jahuel y Colchagua, con una diferencia de 181 días-grado para alcanzar el estado de pinta, pero manteniendo una duración homogénea entre ambos respecto al largo del ciclo, siendo Limarí el más dispar con una duración de 154 días después de yema hinchada hasta pinta para un valor promedio de la cepa de 141 días al mismo evento, como se aprecia en el Cuadro 8.

**Cuadro 7.** Promedio del requerimiento de Días-grado acumulados a partir de yema hinchada al llegar a diversos estados fenológicos para la cepa Carménère en diferentes zonas geográficas del país.

Eventos	Zona geográfica					X
	Limarí	Alto Jahuel	Pirque	Colchagua	Curicó	
Y. hinchada	0	0	0	0	0	0
Y.algodonosa	15	32	39	40	40	33
1ªHoja separada	61	71	69	70	76	69
Hoja expandida	115	86	128	137	104	114
Plena flor	247	242	245	360	318	283
Cuaja	346	314	393	437	380	374
Tamaño arveja	468	499	550	562	573	530
Pinta	935	913	918	1094	1041	980
24° Brix	-	1445	1561	1095	1812	1478
26° Brix	-	-	1568	-	-	1568

**Cuadro 8.** Promedio de Días después de yema hinchada al llegar a diversos estados fenológicos para las cepas en estudio en diferentes zonas geográficas del país. En donde: Y.H.: Yema hinchada, Y.A.: Yema algodonosa, 1ªH.S.: 1ª Hoja separada del brote, H.E.: Hoja completamente expandida, P.F.: Plena flor, C.: Cuaja, T.A.: Tamaño arveja, P: Pinta y 24°B: 24° Brix.

Cepa/Zona	Eventos Fenológicos								
	Y.H.	Y.A.	1ªH.S.	H.E.	P.F.	C.	T.A.	P.	24°B.
<b>Sauvignon Blanc</b>									
Limarí	0	24	35	55	88	98	117	160	
Chilhué	0	28	40	76	104	119	133	175	206
<b>Chardonnay</b>	Y.H.	Y.A.	1ªH.S.	H.E.	P.F.	C.	T.A.	P.	24°B.
Limarí	0	9	26	43	74	88	106	149	
Pirque	0	4	14	35	70	92	101	130	178
<b>Merlot</b>	Y.H.	Y.A.	1ªH.S.	H.E.	P.F.	C.	T.A.	P.	24°B.
Limarí	0	8	22	43	44	84	100	161	
Quillota	0	14	23	29	66	77	92	142	191
LlayLlay	0	9	28	38	84	96	113	154	
Alto Jahuel	0	12	21	27	56	65	91	139	185
<b>Cabernet S.</b>	Y.H.	Y.A.	1ªH.S.	H.E.	P.F.	C.	T.A.	P.	24°B.
Chilhué	0	8	13	19	66	83	91	135	
Pirque	0	9	20	32	53	72	85	117	180
Alto Jahuel	0	15	23	34	61	73	97	142	196
<b>Syrah</b>	Y.H.	Y.A.	1ªH.S.	H.E.	P.F.	C.	T.A.	P.	24°B.
Limarí	0	9	20	41	74	86	102	154	
Pirque	0	4	14	37	60	78	97	126	172
Alto Jahuel	0	12	24	29	67	76	94	143	193
<b>Carménère</b>	Y.H.	Y.A.	1ªH.S.	H.E.	P.F.	C.	T.A.	P.	24°B.
Limarí	0	7	20	38	67	82	98	154	
Caliterra	0	9	17	31	63	71	85	137	226
Sagrada Familia	0	8	15	22	62	68	88	135	243
Pirque	0	13	24	40	60	80	99	137	214
Alto jahuel	0	12	21	27	58	67	90	141	197

Si bien la temperatura del aire es considerada la principal variable que determina el ciclo fenológico de la vid existen otros factores que pueden influir en su desarrollo, a modo de ejemplo distintos niveles de estrés hídrico repercuten en los días grados necesarios para cada etapa fenológica y principalmente en la etapa en la que se produce la concentración de azúcares en la baya.

De las diferencias observadas entre las múltiples duraciones de los ciclos fenológicos en los distintos escenarios geográficos (Cuadro 8), se puede evidenciar que en lugares más fríos se presentan ciclos más largos que en regiones más cálidas en términos de acumulación térmica necesaria para llegar a los estados fenológicos. Pouget (1961) plantea que la temperatura del aire juega un rol muy importante sobre la actividad metabólica de la planta, a medida que aumenta la temperatura se incrementa su metabolismo y esto conlleva a una mayor tasa de crecimiento y, por ende, a un ciclo menos prolongado.

Dichas diferencias a lo largo del período de crecimiento a causa de las diferencias térmicas muy probablemente repercuten en la tipicidad de los vinos obtenidos en cada zona geográfica. Jackson y Lombard (1993) afirman que vinos de una misma cepa generalmente presentan características típicas por región y es por eso que los vinos deben ser evaluados en base a las características regionales de su producción. De hecho, Becker (1977) comparó cuatro regiones productoras en Europa de Pinot Noir y concluyó que en la región más septentrional (50°N Latitud) y fría producía vinos menos coloreados, ligeros y frescos. Igualmente, evidenció que en la zona de la Borgoña, la más cálida del estudio, la cepa se expresa con mucho más cuerpo, un color más pronunciado y de mayor contenido alcohólico.

Jackson y Lombard (1993) agregan que la mejor variedad plantada en una región dada, será aquella para la cual el proceso de maduración ocurra durante la porción fría del período de crecimiento, pero con condiciones térmicas suficientes para continuar la acumulación de azúcares y de este modo obtener un vino con buenas características organolépticas.

### **Análisis de la acumulación de días-grado en escenarios futuros**

La temperatura es una de las variables de mayor importancia para la viabilidad de los cultivos y una forma práctica de cuantificar el impacto del cambio de temperaturas sobre el cultivo de la vid es cuantificando la acumulación de días-grado en los escenarios climáticos proyectados. La Figura 5 muestra el campo de días-grado acumulados en los tres escenarios climáticos considerados en las regiones de estudio para el período de crecimiento activo de la vid, entre los meses de octubre a marzo. Se puede apreciar un aumento en la acumulación de días-grado en los dos escenarios futuros. Se observa que aquellas regiones que poseen acumulaciones promedio para el clima actual del orden de 1600 DG podrían llegar en un futuro a sobrepasar los 2000 DG en el escenario B2, y a superar los 2500 en A2. En Australia, Webb *et al.* (2007), analizaron los escenarios climáticos para la vitivinicultura

evidenciando incrementos de temperaturas para 2070 de 1 – 6 °C, con un aumento en el número de días calurosos y una disminución en el riesgo de heladas. De la misma forma, señalaron un posible desplazamiento de la vitivinicultura hacia el sur y sectores costeros con la finalidad de mantener la viabilidad del cultivo. Estudios a nivel mundial indican un posible cambio en la distribución geográfica del cultivo de la vid debido a los cambios en la temperatura y la precipitación proyectados con el cambio climático. Se ha indicado que muchos de los valles actuales en producción presentarán temperaturas demasiado altas para la producción de vinos de calidad y otros sitios que en la actualidad no poseen un carácter vitivinícola encontrarán en el aumento de la temperatura la aptitud para producir vinos (Jones, 2007).

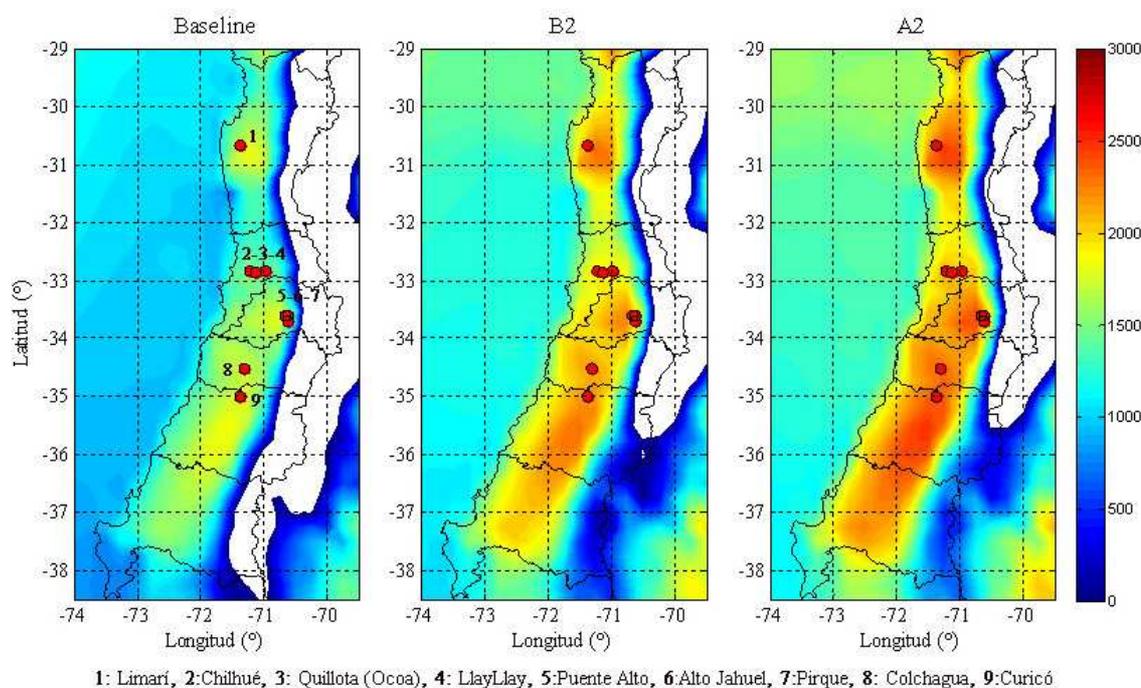
Los resultados muestran que gran parte del territorio estudiado pertenece a las zonas climáticas II y III según la clasificación climática propuesta por Winkler (Cuadro 9). Estos resultados concuerdan con la clasificación climática realizada por Tonietto (1999) donde Santiago de Chile se encuentra en el mismo rango II. Las proyecciones indican un cambio en la clasificación de la zona II a la zona IV e incluso V, dependiendo de la ubicación geográfica y escenario climático proyectado. Si se homologan las proyecciones climáticas con los resultados obtenidos por Tonietto con respecto a la clasificación climática propuesta por Winkler, encontramos que es muy probable que se alcancen situaciones térmicas similares a las de Mendoza, Sudáfrica o en el norte de Italia, en un escenario climático más moderado, pero pudiendo llegar a temperaturas similares a las de Fresno en Estados Unidos o Hunter en Australia en un escenario climático futuro más severo.

**Cuadro 9.** Intervalos de días-grado para la clasificación de 5 regiones vitícolas en el sistema definido por el Índice térmico de Winkler.

Région Índice de Winkler	°C
I	< 1371
II	1371 a 1649
III	1650 a 1926
IV	1927 a 2205
V	> 2205

Si bien el Índice de Winkler (IW) tiene como ventaja su simplicidad, esto a su vez puede ser una desventaja, ya que toma en cuenta sólo el factor térmico y no toma en cuenta la duración de las horas de sol diarias a las cuales se ve expuesto el cultivo, asunto que se explica probablemente en el hecho de que fue diseñado originalmente para latitudes relativamente bajas (33° a 39°, California). Además, la duración total del período en que las temperaturas medias diarias son superiores a los 10°C se torna de menor interés a medida que el clima se va volviendo más cálido. Otra desventaja es la poca representatividad que posee el índice cuando es aplicado en zonas vitícolas diferentes a California, ya que las diferentes clases de clima fueron obtenidas para dicha región de Estados Unidos. Por esta razón, el índice de Winkler no es el sistema más eficiente para describir un clima vitícola.

Pero puede, sin embargo, ser muy interesante calcular a fin de comparar diferentes zonas productoras (Vaudour, 2003).



**Figura 5.** Acumulación de días-grado en los tres escenarios climáticos para las diferentes localidades en estudio. Las áreas en blanco corresponden a aquellas en las que no ocurre acumulación, dado que su temperatura media es menor a 10°C.

### Fenología de la vid en escenarios climáticos futuros.

Existen antecedentes en la práctica de que el clima es un regulador a lo largo del tiempo de la fenología de la vid. En Francia se han realizado análisis respecto a la fenología presentada en los últimos 30 años y se ha concluido que la brotación y floración en el 2003 se presentaba 15 días más temprano comparado con 1965 y ocurriendo la pinta cerca de 23 días anticipada para el mismo período (Dûchene y Schneider, 2004). Resulta de suma importancia entonces evaluar qué cambios probables en la fenología de la vid habrían de ocurrir en las proyecciones climáticas utilizadas en el presente estudio. A continuación se procede a hacer una evaluación de la evolución de la fenología en los posibles futuros escenarios climáticos.

Con respecto a la fenología de la vid en los escenarios climáticos proyectados, se puede observar un claro acortamiento de las fases fenológicas de la vid (cuadro 10) conforme los escenarios climáticos futuros se tornan más extremos, hecho que genera una vendimia más

anticipada. Jones (2007) explica que este hecho es absolutamente esperable, ya que es evidente que un incremento de las temperaturas aceleraría el proceso de maduración de la uva, por lo que en un ambiente más cálido la vid alcanzaría sus eventos fenológicos más rápidamente, dando como resultado una vendimia temprana. Según Salinger (1987) los cultivos de zonas climáticas templadas maduran más rápidamente a altas temperaturas. De esta forma la temperatura define el largo del período de crecimiento y la probabilidad de que el cultivo madure. Al elevarse un 1°C la temperatura, el largo del período de crecimiento del cultivo puede decrecer de dos a cuatro semanas.

Los resultados son coincidentes con los planteados en un estudio realizado en Italia sobre el impacto de los futuros escenarios en el cultivo de la vid y su variabilidad, en el que se estudió la duración del ciclo (desde brotación hasta madurez) en las cepas Sangiovese y Cabernet Sauvignon. Al respecto concluyeron que cuanto mayor sea el incremento en la temperatura mayor será el impacto en la duración del ciclo, presentando variaciones de 140 a 110 días de variación entre los diferentes escenarios térmicos y presentando una reducción de un 21% en uno de sus escenarios (Bindi *et al.*, 1996).

En el Cuadro 10, al observar el caso del Sauvignon Blanc, se aprecia una reducción del ciclo de entre un 17 % (promedio en el escenario más moderado) y un 23% (en el escenario más severo). Es decir, dichas alzas de temperatura repercutirían en un adelantamiento de la vendimia en aproximadamente un mes con respecto al escenario baseline (correspondiente al tiempo actual).

**Cuadro 10.** Días después de yema hinchada al llegar a diversos estados fenológicos para la cepa Sauvignon Blanc para los escenarios proyectados en Limarí y Chihué.

Eventos Fenológicos	Escenarios Climáticos Futuros					
	Lim BL	Lim B2	Lim A2	Chil BL	Chil B2	Chil A2
Yema hinchada	0	0	0	0	0	0
Yema algodonosa	14	7	6	40	17	12
1ª Hoja separada	24	14	12	54	28	22
Hoja completamente expandida	46	31	27	78	52	43
Plena flor	68	51	44	98	71	63
Cuaja	82	61	54	110	83	75
Tamaño arveja	97	75	68	123	96	89
Pinta	134	109	101	156	128	120
24° Brix	151	124	116	171	143	134
% Reducción con respecto al BL	0	18	23	0	16	22

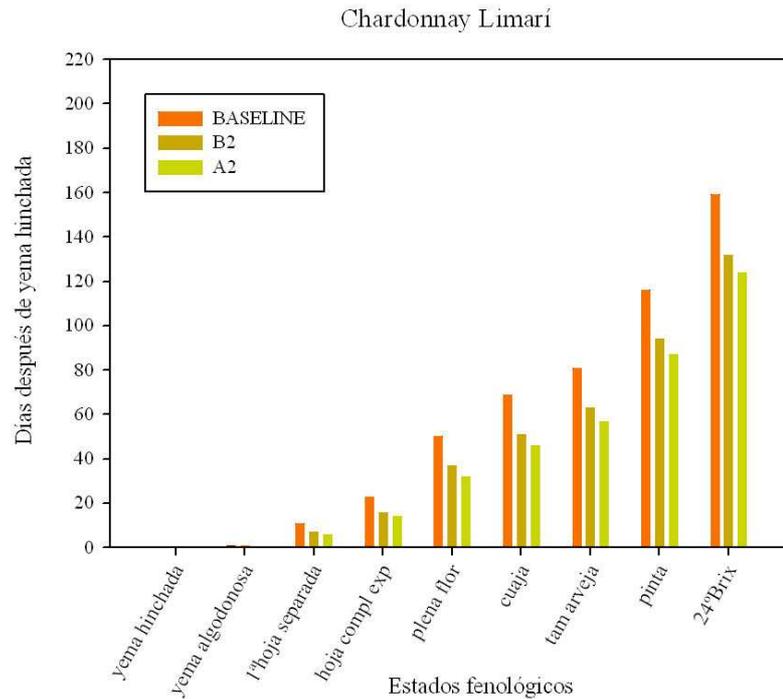
El Cuadro 11 muestra la probable fecha de ocurrencia de los diversos estados fenológicos en estudio en los escenarios climáticos proyectados. La tendencia expuesta en el cuadro 11 manifiesta un acortamiento de todas las fases fenológicas, aún sin considerar que es muy probable que la misma ocurrencia del evento yema hinchada se vea adelantado por el incremento de la temperatura, lo que provocaría un desfase aún mayor entre las fechas de ocurrencia de los distintos escenarios climáticos. Webb *et al.*(2005), al analizar el posible impacto del cambio climático en la fenología de la vid de Cabernet Sauvignon y Chardonnay, evidenció una brotación más temprana y un acortamiento del ciclo en escenarios futuros, concordando con los resultados expuestos. Sin embargo, debido a que se espera que las temperaturas presentadas en invierno también aumenten, es probable que el cumplimiento de las horas de frío necesarias para el rompimiento del receso ocurra de manera más tardía en los escenarios más cálidos, por lo que podría en alguna medida verse compensado el adelantamiento de las fases fenológicas en primavera – verano, lo anterior queda propuesto como materia de estudio para futuros trabajos de fenología y vid.

**Cuadro 11.** Proyección de la fecha de ocurrencia promedio de los distintos estados fenológicos en la cepa Sauvignon Blanc para los escenarios climáticos futuros.

	Escenarios Climáticos		
	Baseline	B2	A2
Yema hinchada	11/08/08	11/08/08	11/08/08
Yema algodonosa	20/09/08	23/08/08	20/08/08
1ª Hoja separada	04/10/08	01/09/08	28/08/08
Hoja completamente expandida	28/10/08	21/09/08	15/09/08
Plena flor	17/11/08	11/10/08	03/10/08
Cuaja	29/11/08	22/10/08	14/10/08
Tamaño arveja	12/12/08	04/11/08	28/10/08
Pinta	14/01/09	07/12/08	29/11/08
24° Brix	29/01/09	22/12/08	14/12/08
Duración total ciclo (días)	171	134	125

En la figura 6 se muestran graficados los días después de yema hinchada probables para cada estado fenológico para la cepa Chardonnay en el Limarí, en los tres escenarios geográficos, actual y proyectados. Se observa para la cepa Chardonnay un progresivo acortamiento del ciclo a medida que las condiciones térmicas se vuelven más calurosas, tendencia que se observó en todas la variedades estudiadas, y en cada uno de los escenarios climáticos y geográficos analizados. Se aprecian nuevamente rangos cercanos a un mes (32 días) de diferencia entre el escenario climático actual y el escenario climático proyectado más severo. Dicho acortamiento implicaría una mayor temperatura durante el período de madurez de la uva.

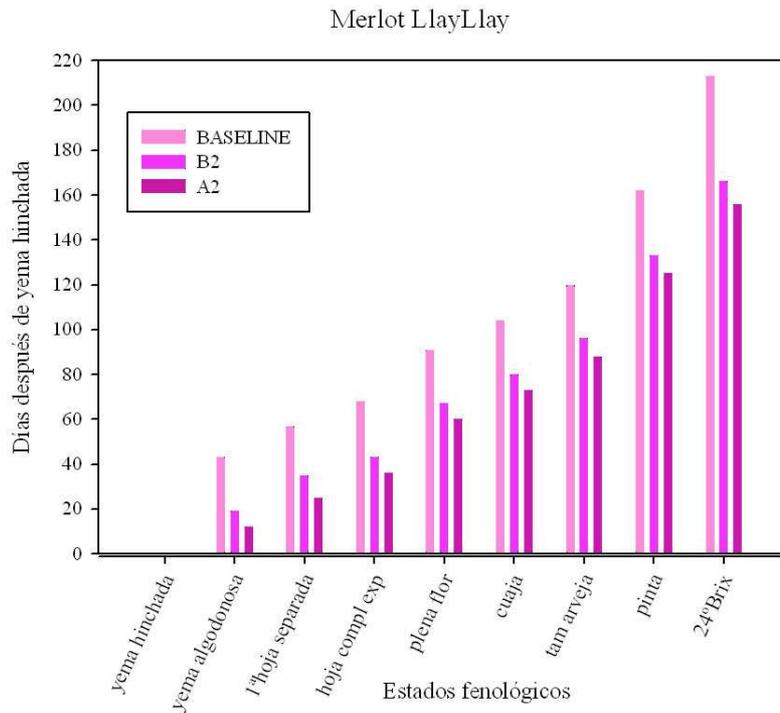
Sotés (2004) plantea que temperaturas excesivamente altas durante largos períodos de tiempo darían lugar en general a una menor calidad en el vino ya que ocasionaría una disminución en su acidez y un mayor pH, debido a una disminución en la síntesis y un aumento en el catabolismo del ácido málico, mayor cantidad de sales mono y dibásicas de tartárico y sal dibásica de málico. Además, Belancic *et al.* (2002) confirman que la fecha de cosecha influye fuertemente en el perfil aromático de los vinos, particularmente por la desaparición de un terpeno, el *a* terpineno, en madurez avanzada.



**Figura 6.** Proyecciones en la fenología del Chardonnay del Valle de Limarí. Días después de yema hinchada en ocurrir los diversos estados fenológicos para los tres escenarios climáticos: Baseline (clima actual), B2 (moderado) y A2 (severo).

Las proyecciones indican un acortamiento de las fases pero la magnitud de los cambios varía entre cada región, variedad y escenario climático proyectado. La Figura 7 grafica las proyecciones en días después de yema hinchada a cada evento fenológico para las proyecciones climáticas en la cepa Merlot en la localidad de LlayLlay, donde se aprecia una mayor reacción en dicha cepa que lo evidenciado en el Chardonnay en la figura anterior. Dicha reacción se podría explicar porque las temperaturas proyectadas en el caso de LlayLlay las temperaturas son muy heterogéneas entre los diferentes escenarios climáticos pero los dos escenarios futuros coinciden en un adelantamiento por sobre los cuarenta días del evento 24°Brix con respecto al escenario que representa el clima actual.

También dicha diferencia entre la respuesta de las cepas podría ser atribuible a características propias del cultivar. Webb (2006) indica que algunas variedades son más sensibles que otras respecto a los cambios de temperatura. De ésta forma, se señala a Pinot Noir con un mayor grado de sensibilidad que a Syrah o Chardonnay.



**Figura 7.** Proyecciones en la fenología del Merlot del Valle del Aconcagua. Días después de yema hinchada en ocurrir los diversos estados fenológicos para los tres escenarios climáticos: Baseline (clima actual), B2 (moderado) y A2 (severo).

Una mayor respuesta o sensibilidad por parte de la cepa Merlot con respecto a la temperatura también fue observada en un estudio realizado en Bordeaux para las cepas Merlot y Cabernet Sauvignon, en el cual se analizó su respuesta respecto a la productividad e índice de azúcar en los últimos 35 años, período en el cual se ha observado un incremento térmico en la región de Bordeaux. En dicho estudio se percibió una mayor sensibilidad por parte de la cepa Merlot que la cepa Cabernet Sauvignon, presentando una mayor productividad y contenido de azúcar en las bayas. Dichas tendencias son bastante significativas por el hecho de que la cepa Merlot tiene características fenológicas ligeramente precoces, por lo que de aumentar la temperatura su manejo presentaría mayores dificultades en su gestión y manejo vitivinícola que la cepa Cabernet Sauvignon (Gaudillère, 2007).

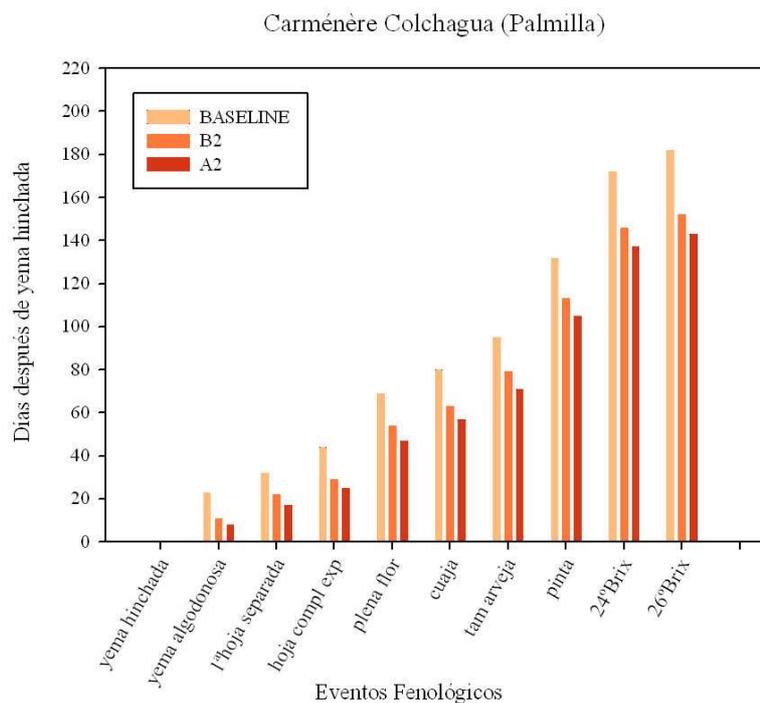
**Cuadro 12.** Días después de yema hinchada transcurridos para llegar a Plena Flor, Pinta y 24 ° Brix en las cepas Merlot, Syrah y Cabernet Sauvignon en los escenarios Baseline, B2 y A2 en las diversas zonas de estudio.

Región	Plena Flor			Pinta			24° Brix		
	BL	B2	A2	BL	B2	A2	BL	B2	A2
<b>Merlot</b>									
Limarí	52	39	34	132	109	106	173	143	139
Quillota	91	67	60	162	133	125	213	166	156
Alto Jahuel	69	50	45	134	113	107	169	143	136
<b>Syrah</b>									
Limarí	48	36	32	119	97	91	160	133	125
Alto Jahuel	62	45	41	121	101	95	155	132	125
Pirque	65	49	43	123	103	97	157	133	126
<b>C. Sauvignon</b>									
Alto Jahuel	58	44	39	118	99	94	155	131	124
Pirque	61	47	41	118	99	94	155	131	124
Puente Alto	58	44	39	120	101	95	156	132	125

Las diferencias térmicas entre los escenarios provocan que las distancias entre las fechas de ocurrencia de los eventos se vayan acumulando a medida que se va avanzando en la etapa de crecimiento. Se logra evidenciar en el Cuadro 12 un aumento sostenido en la diferencia entre los escenarios, en que para la cepa Merlot, en Alto Jahuel y con respecto a la disimilitud entre el escenario actual y el más extremo, el estado de plena flor ocurre a los 69 días después de yema hinchada en el clima actual y 34 días en el escenario severo. Dicha diferencia entre escenarios (24 días) se ve incrementada en un 138% al evento 24° Brix, presentando una distancia entre los escenarios climáticos proyectados de 33 días y alcanzando un 189% de diferencia en el caso del Merlot del Limarí. Los resultados son concordantes con aseveraciones de Jones y Davis (2000) quienes afirmaron que cada evento fenológico es fuertemente correlacionado con el evento previo.

Resulta de suma importancia contar con una proyección del clima a futuro y la cuantificación de la respuesta de la fenología de la vid al cambio climático, pues influye tanto en la programación del calendario de manejos como en la composición de las bayas y el desarrollo del viñedo. Por ejemplo, en el Cuadro 12 se aprecia un acortamiento en 35 días promedio del ciclo sin hacer distinciones entre las cepas, pero presentándose Merlot como la cepa mas afectada en el adelantamiento de las fechas entre los escenarios, pasando en un escenario actual de 185 días en promedio después de yema hinchada para alcanzar los 24°Brix a llegar a los 143 días después de yema hinchada para el mismo evento en el escenario más severo, acortándose su ciclo en 41 días promedio.

En la Figura 8 se ve graficado, para el caso del Carménère de Colchagua, la disminución en el número de días después de yema hinchada entre el baseline y los escenarios futuros en los diversos estados fenológicos. Se logra apreciar una vez más un drástico cambio en el largo del ciclo de maduración de la uva, presentándose mayores diferencias entre los escenarios climáticos en eventos más avanzados y cercanos a la vendimia.



**Figura 8.** Estimación de los días después de yema hinchada transcurridos a cada evento Fenológico en los 3 escenarios climáticos proyectados para la cepa Carménère en Colchagua.

Es necesario mencionar que las temperaturas tienen la capacidad de afectar la totalidad del ciclo fenológico y que el rol que toma la temperatura en el ciclo de crecimiento de la vid no es sólo importante al final del ciclo ya que la madurez de la baya es sólo la última de una serie de transformaciones bioquímicas que la preceden. De esta forma, la duración del período yema hinchada – floración está íntimamente ligada a la suma de las temperaturas activas y las temperaturas elevadas se encuentran asociadas a la aceleración de la floración. La temperatura es también el principal factor de desarrollo de la flor, demostrando una mayor sensibilidad a bajas temperaturas 3 a 4 semanas antes de floración. Durante la floración, las temperaturas elevadas provocarían un daño a nivel de caliptras y problemas de receptividad del estigma (Carbonneau, 2007). Después de la cuaja de frutos a nivel de multiplicación celular, la temperatura sigue siendo el factor de mayor relevancia en el desarrollo de la baya. El acortamiento del ciclo implica que podría existir una mayor

exposición a probables heladas tardías en la fase de brotación y variaciones en los componentes del rendimiento en prefloración.

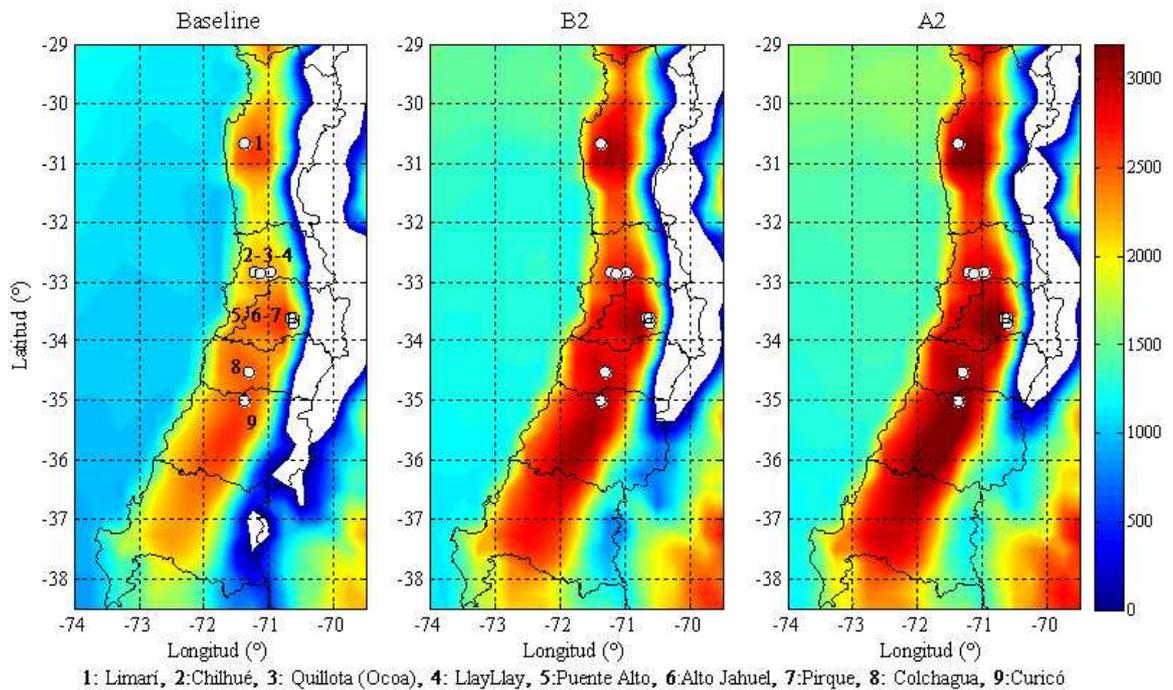
De igual forma, se debe hacer mención de que la actividad fotosintética de la vid es óptima hasta los 30°C, y es a partir de los 37° C bloqueada, por lo que un alza considerable de temperaturas podría provocar procesos de degradación oxidativa conllevando a una degradación de estructuras cloroplásticas y celulares.

### **Análisis de los índices bioclimáticos para los escenarios climáticos futuros**

El Índice Heliotérmico (IH) es el que se presenta más heterogéneo en el territorio nacional dentro de los índices bioclimáticos propuestos por el Sistema de Clasificación Multicriterio. En un estudio realizado por Montes (2006) ya se había evidenciado una amplia variabilidad de este índice para el clima vitícola en Chile, encontrando valores que variaban de climas *muy fríos* a *calurosos* dentro de la zona central de Chile, donde se concentra la gran proporción de la superficie vitivinícola.

Aplicando una visión general del análisis de los índices bioclimáticos tomados en consideración en las localidades en estudio, se observa un claro aumento en el Índice Heliotérmico (Figura 9) en todos los puntos analizados. Si bien existe variabilidad entre los resultados obtenidos, se podría esperar que en las viñas ubicadas en Puente Alto, Colchagua, Pirque y Alto Jahuel exista un cambio en la aptitud vitivinícola en el escenario más severo, y es probable que en el escenario más moderado exista un adelantamiento de las fases fenológicas, lo que conllevaría una mayor vulnerabilidad, pues estando en la fase de brotación existirían heladas tardías y variaciones en los componentes del rendimiento en prefloración y cambios en la calidad del fruto en la fase de maduración, es de esperar una menor ocurrencia de heladas de igual modo.

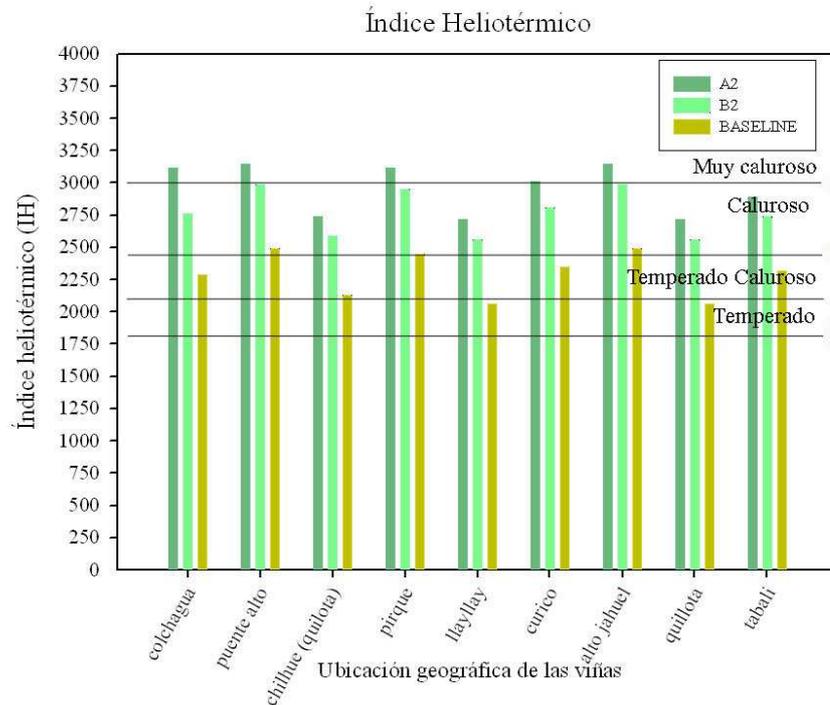
Se ha establecido una relación entre el IH y el Índice de Frescor Nocturno, evidenciando un aumento del último a medida que aumenta el Índice Heliotérmico. Pero debe hacerse la diferencia entre los diferentes resultados ya que para valores similares de IH se pueden encontrar diversos valores de Índice de Frescor Nocturno provocando a su vez diferentes tipicidades en los vinos. Los resultados han demostrado que el potencial heliotérmico no puede expresar la totalidad de la variabilidad del ambiente por lo que debe ser analizado en conjunto con los otros índices bioclimáticos propuestos (Tonietto 2007).



**Figura 9.** Proyección del Índice de Huglin para los tres escenarios climáticos proyectados en la zona de estudio.

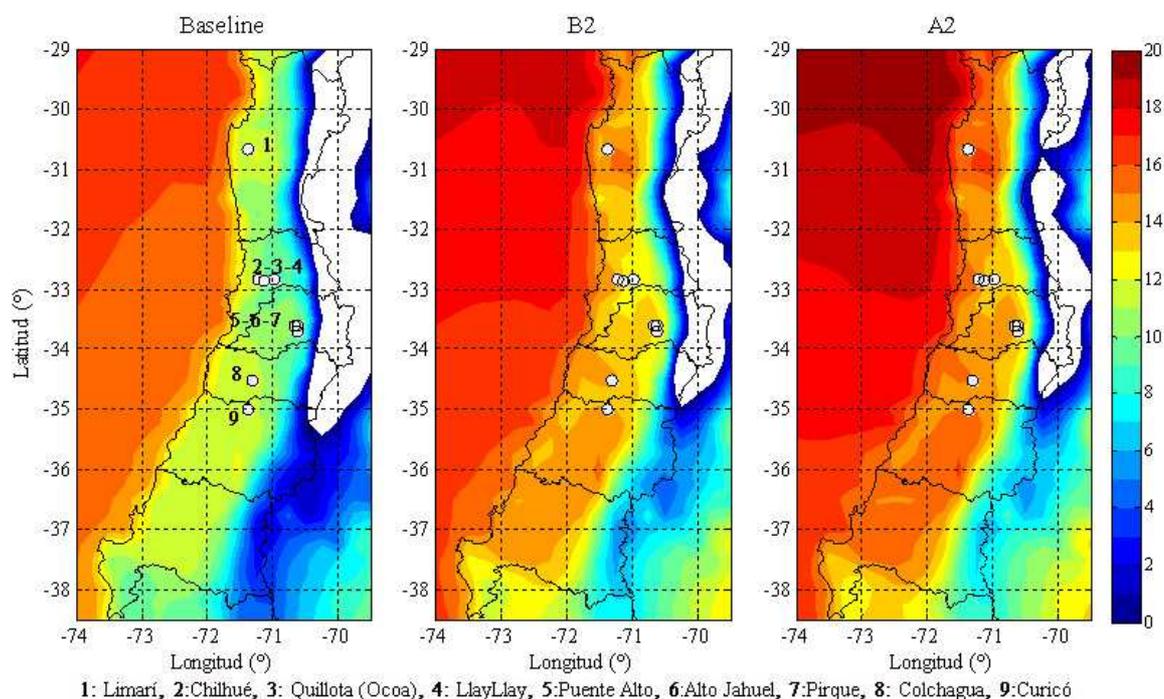
En la figura 10 se puede apreciar una proyección del Índice Heliotérmico para cada punto geográfico del estudio con respecto a cada escenario climático proyectado. Los valores del Índice Heliotérmico para el escenario que representa el clima actual varían entre 2061 (templado) para la zona de Quillota hasta los 2494 (templado caluroso) para la zona de Alto Jahuel y Puente Alto.

Como es de esperar, en los escenarios climáticos futuros el IH muestra una tendencia a aumentar. Los valores más extremos se encuentran en el escenario climático A2 y en las localidades de Alto Jahuel, Pirque, Puente Alto, Colchagua y Curicó, lugares donde incluso el valor del IH pasa a ser clasificado dentro de una condición de clima *Muy Caluroso*, el cual no ha sido descrito en Chile. Las proyecciones para el mismo en el caso de Quillota, Chilhué, LlayLlay y Limarí los valores caben dentro de la clasificación de clima *Caluroso*. En un escenario proyectado menos severo (B2) los resultados muestran la misma situación respecto a la distribución de las temperaturas pero encontrándose su totalidad dentro de la clasificación de *Caluroso* para el mismo índice.



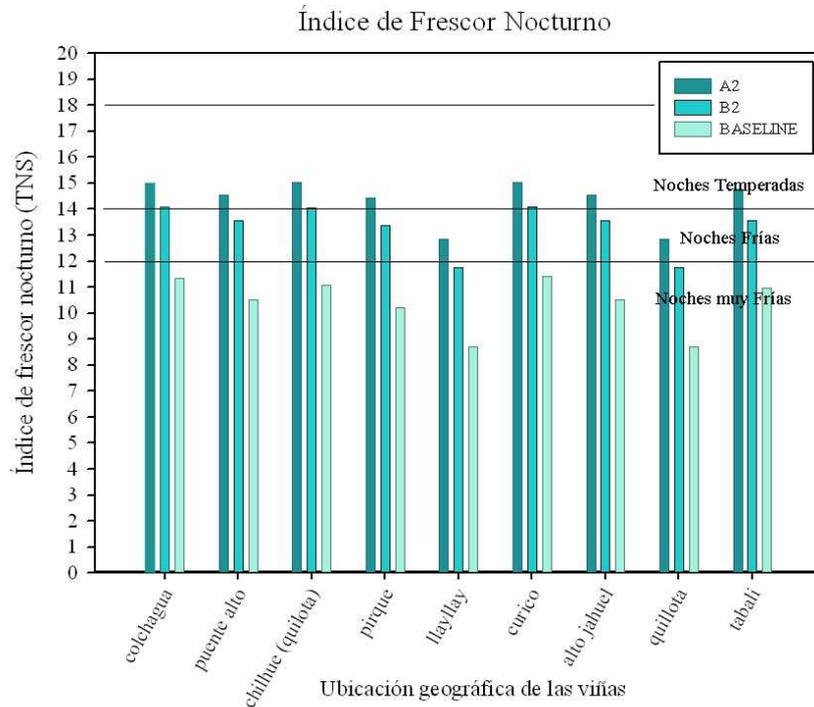
**Figura 10.** Proyecciones del comportamiento del Índice heliotérmico en los tres escenarios climáticos futuros.

Es de esperar que ante este incremento de temperaturas existiesen consecuencias en los sólidos solubles acumulados en las bayas. Es quizás la consecuencia más evidente de un incremento de temperatura el obtener mayor contenido de azúcar, el que se alcanzaría en fechas más tempranas que además ocurrirían en desfase con la madurez fenológica de la baya, lo que para Jones (2006) traería como resultado que mientras los productores estén a la espera de la madurez fenológica de la baya los ácidos se estarán respirando dando como resultado vinos alcohólicos y poco equilibrados, sin poder hacer muchos manejos de postcosecha en la bodega. Tan influyente es la temperatura en la tipicidad de los vinos que se han encontrado aumentos en el alcohol potencial y cambios en el perfil aromático de la cepa Riesling en las vendimias de Alsacia de los últimos 30 años, dichos datos se encuentran altamente correlacionados con el significativo aumento de temperaturas en las fechas de maduración y a la precocidad presentada en la fenología (Duchêne y Schneider, 2005).



**Figura 11.** Proyección del Índice de Frescor Nocturno (°C) para los tres escenarios climáticos proyectados en la zona de estudio.

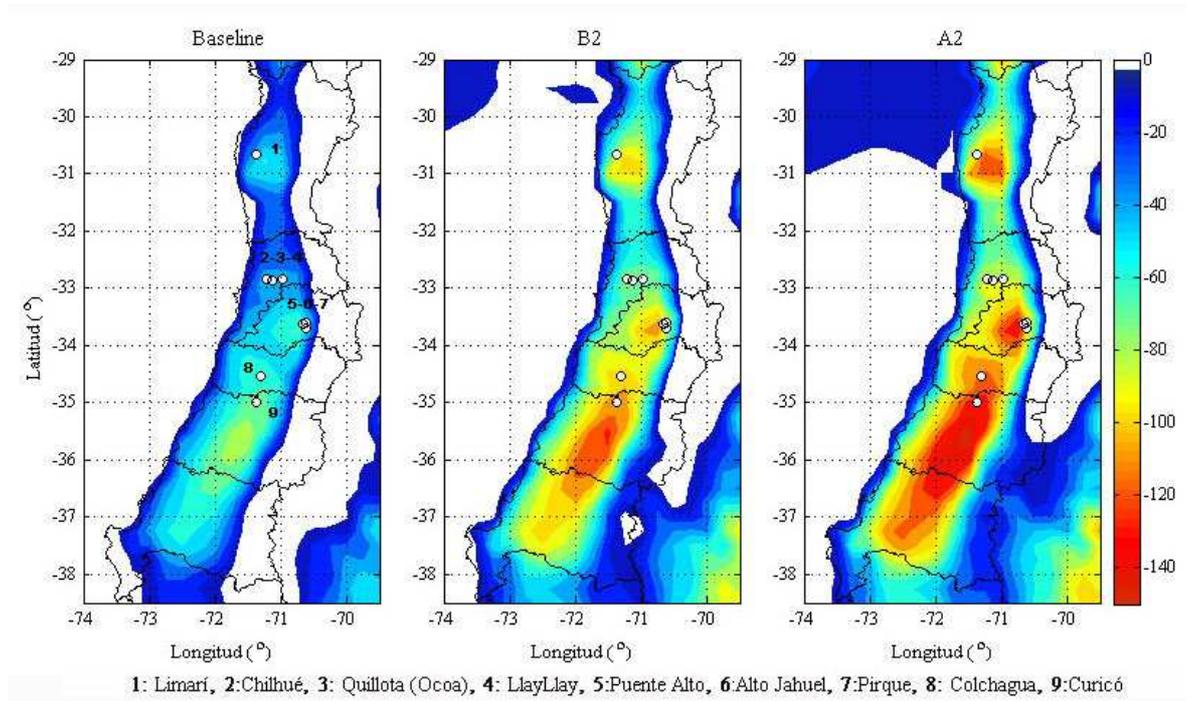
De un modo similar queda graficado en la Figura 11 el Índice de Frescor Nocturno para los tres escenarios climáticos proyectados. Tal como es de esperar se observa en la figura 11 un aumento en las temperaturas nocturnas. Siendo más específicos en la Figura 12, que grafica el índice de Frescor Nocturno en las diferentes zonas de estudio para los tres escenarios climáticos, se aprecia un cambio en la aptitud climática de la mayoría de las zonas de estudio pasando de presentar *noches muy frías*, en la actualidad, a *noches frías* y eventualmente *noches templadas* en escenarios climáticos futuros. La eventual ocurrencia de noches templadas en la mayoría de las viñas en estudio supone una disminución en el potencial climático relacionado con la calidad vitivinícola. Para Carbonneau (2007) las temperaturas nocturnas juegan un rol determinante en la respiración asociada al crecimiento y síntesis de antocianos además de influir sobre ciertos compuestos aromáticos que se ven favorecidos ante la presencia de noches frescas durante el período de maduración. Es por esto que mundialmente la mayoría de los viñedos de calidad poseen como un denominador común la presencia de noches frescas durante la maduración pero difieren en radiación, temperaturas diarias o balance hídrico, característica que fue corroborada para el caso de Chile por Montes (2006) donde se cuantificó como denominador común la presencia de *noches muy frías* en la mayoría de las regiones productoras de vino en Chile, en contraste con una gran variabilidad de condiciones térmicas para la misma zona de estudio.



**Figura 12.** Proyecciones del comportamiento del Índice de frescor nocturno en los tres escenarios climáticos futuros.

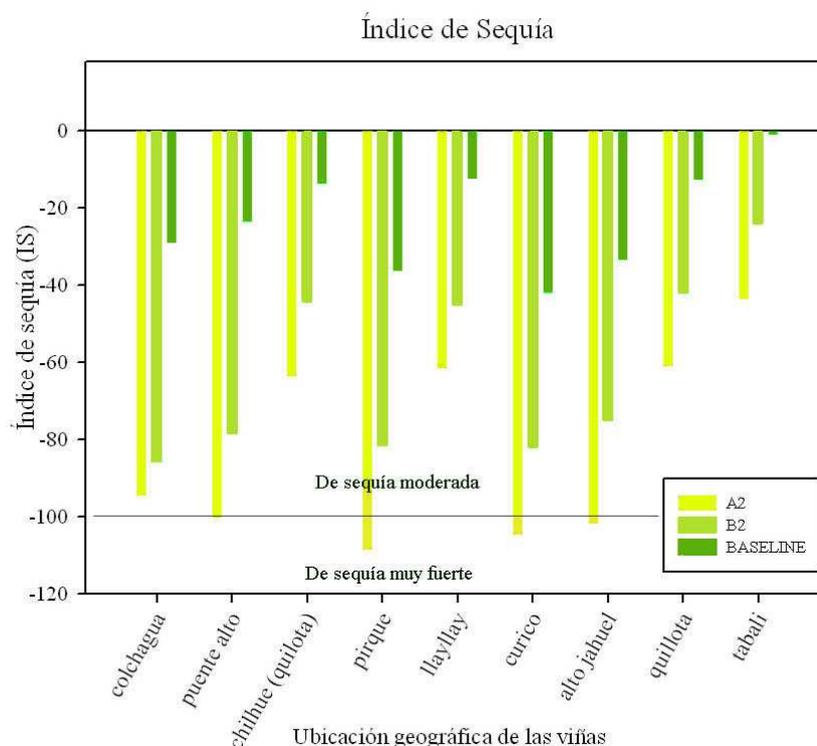
En general se podría decir que bajo condiciones de *noches templadas*, como las observadas en el escenario A2, durante el período de maduración estudios han concluido una tendencia a la pérdida de aromas. En las variedades tintas también existe el riesgo de tener menor coloración. Las antocianinas están usualmente ubicadas en la tercera o cuarta de las capas exteriores de la epidermis (Singleton y Esau, 1969). Las bajas temperaturas pueden aumentar el nivel de azúcar de estos tejidos teniendo una pérdida por respiración menos importante, dando como resultado un aumento de la síntesis de antocianinas. (Kliewer y Torres, 1972).

El mayor o menor contenido hídrico del viñedo, cuantificable con el Índice de Sequía, también tiene un efecto relevante en las características organolépticas. Según Carbonneau *et al.* (2007), aparentemente la acumulación de antocianinas en el hollejo es favorecida por un estado de estrés hídrico moderado de la planta, por las temperaturas diurnas relativamente (no excesivamente) elevadas, con una interacción probable con las bajas temperaturas nocturnas.



**Figura 13.** Proyección del Índice de Sequía para los tres escenarios climáticos proyectados en la zona de estudio (mm).

En la Figura 13 se puede apreciar una comparación entre los diferentes escenarios climáticos respecto al Índice de Sequía dentro de la zona de estudio. En dicha figura se evidencia un cambio en la condición hídrica en la totalidad del territorio evaluado con mayor notoriedad en el escenario climático más severo. Dentro de las zonas que presentan un cambio mayor para las proyecciones del Índice de Sequía es la zona de Curicó y por el contrario, dentro de las zonas menos afectadas en ésta variación hídrica se encuentran las zonas de Chihué, Quillota y LlayLlay.



**Figura 14.** Proyecciones del comportamiento del Índice de sequía en los tres escenarios climáticos futuros.

La figura 14 muestra con mayor detalle los resultados obtenidos para el Índice de Sequía en las diferentes localidades y escenarios climáticos en estudio. Con respecto a lo obtenido se puede señalar que en su mayoría la condición predominante es la de *sequía moderada*, con excepción del escenario más severo que presenta *sequía muy fuerte* para las localidades de Puente Alto, Pirque, Curicó y Alto Jahuel. La presencia de *sequía moderada* alcanzada en el resto de los escenarios climáticos y geográficos debería lograr condiciones favorables para la maduración como consecuencia de la detención temprana del crecimiento vegetativo, de acuerdo a lo afirmado por Van Leeuwen *et al.* (1998) y Van Leeuwen *et al.* (2006). De igual forma Huglin y Schneider (1998) postulan que la presencia de un déficit hídrico durante el período de maduración podría ser favorable para la calidad organoléptica de los vinos.

Debe hacerse mención de que en la actualidad Chile posee un manejo de la vid que incluye riego, por lo que de cambiar las condiciones climáticas no debería esperarse mayor cambio pero si una mayor incurrencia en gastos al existir una mayor demanda hídrica de parte del cultivo.

Con la finalidad de agrupar los resultados y lograr un análisis más en detalle y así poder establecer qué tipicidad de vinos se podría esperar de las proyecciones climáticas propuestas, se procedió a analizar los índices climáticos separando los grupos dependiendo del valor del Índice Heliotérmico que presentasen, homologando a los resultados de Tonietto (1999). Es necesario recalcar que, si bien la temperatura es un factor influyente en la tipicidad de los vinos, existen una serie de factores que afectan e influyen en la misma, como el manejo o el suelo de un lugar, por lo que los resultados a continuación son una forma simplificada y acotada de establecer diferentes tipicidades probables en las localidades de estudio, tomando en cuenta sólo las condiciones climáticas acusadas. Los grupos climáticos son presentados a continuación de *climas templados* a *muy cálidos*

### **IH – 1 . Templado.**

Dentro de esta clasificación podemos encontrar a LlayLlay y Quillota en situación de Baseline, presentando *noches muy frías* y un índice de *sequía moderada*. La tipicidad de los vinos debería responder a vinos equilibrados con un buen desarrollo de aromas, ya que Edwards (1990), en Australia, demostró que la acumulación de terpenos en climas más fríos es más lenta que en climas cálidos pero que al final el contenido acaba siendo superior en términos de terpenos libres. Así mismo se ha visto que las noches frescas además tienden a frenar el crecimiento de los brotes, favoreciendo la generación de excedentes de carbohidratos acumulables en los frutos. Contrariamente, las noches cálidas favorecen el crecimiento continuo de los brotes, compitiendo fuertemente con los frutos (Santibáñez, 2005).

### **IH + 1. Templado Caluroso.**

En la clasificación *templado caluroso* de IH con presencia de *noches muy frías* podemos encontrar a Limarí, Chilhué, Alto Jahuel y Sagrada Familia todas en condición de Baseline. La tipicidad esperada de los vinos obtenidos de estas condiciones climáticas obedece a características de alta concentración de compuestos fenólicos y un buen desarrollo aromático puesto que el frío nocturno contribuiría al desarrollo de aromas en las bayas y el vino (Tonietto, 1999) porque, si bien la acumulación de azúcar está fuertemente ligada a la luminosidad, el destino de éstos depende del régimen térmico, en especial al régimen nocturno.

### **IH + 2. Caluroso.**

Dentro de la clasificación climática *caluroso* encontramos a la mayoría de las viñas dentro de los escenarios climáticos proyectados tanto en un escenario más severo como en el más moderado. El encontrarse dentro de un rango con un Índice Heliotérmico tan elevado implicaría producir vinos menos equilibrados y de baja acidez, pese a que esta última característica se ve contrarrestada acorde aumenta el Índice de Frío Nocturno. Lo que sucede es que en ambientes cálidos ocurre una volatilización de compuestos aromáticos (Coombe 1992, Marais 2001) lo que podría traer como consecuencia una alteración de la tipicidad de los vinos (Jackson y Lombard, 1993). Con respecto al color, se ha constatado que la síntesis óptima de antocianinas se produce entre 17 – 26° C y que temperaturas

nocturnas de 15 a 20° C dan mayor coloración al hollejo que temperaturas nocturnas superiores.

**IH + 3. *Muy Caluroso.***

En la clase climática *muy calurosa* se observa la presencia de *noches temperadas* y *sequía muy fuerte*. Dentro de dicha clasificación encontramos en el escenario climático proyectado mas severo a las localidades de Alto Jahuel, Puente Alto, Pirque y Sagrada Familia. Para Sotés (2004) dentro de los impactos en la composición de la baya que podrían esperarse con días cálidos y noches temperadas se encuentra la alta producción de azúcares, escasa acidez, poco color y baja concentración de taninos. De la misma manera, la presencia de altas temperaturas en el período post-pinta se ha visto relacionado con una menor carga antociánica en bayas de Cabernet Sauvignon (Bergqvist *et al* 2001). Finalmente, Becker (1977) indica que en climas fríos los vinos blancos son más frescos, más ácidos y más finos en bouquet, mientras que los vinos de regiones cálidas son más ricos en alcohol y con un sabor y aromas más cortos.

## CONCLUSIONES

En relación a las cepas, los eventos fenológicos y las temperaturas evaluadas en la presente investigación se puede concluir que:

La influencia de la temperatura, considerada como acumulación térmica, ejerce un efecto importante sobre la duración del ciclo de crecimiento de las diferentes variedades de vid, siendo menor en aquellas zonas de mayor acumulación térmica.

De igual forma, se evidenció diferencias entre los requerimientos térmicos de las diferentes cepas estudiadas siendo la variedad más precoz el Sauvignon Blanc y la más tardía Carménère.

Los escenarios futuros proyectados por el modelo climático regional PRECIS utilizado actualmente en Chile, y considerando los requerimientos térmicos obtenidos de manera experimental para las variedades de vid utilizadas, muestran una disminución importante en la duración de cada fase fenológica, lo cual es más acentuado para el escenario más cálido (A2). Esto último repercutiría en una vendimia más temprana, y por ende en eventos fenológicos que ocurren más tempranamente, bajo condiciones térmicas más elevadas, muy diferentes a las actuales.

El análisis de los índices bioclimáticos propuestos por el Sistema de Clasificación Multicriterio para los escenarios climáticos proyectados para las localidades en estudio, muestra un aumento importante en el Índice Heliotérmico en todos los puntos analizados. Si bien el grado de cambio para dicho índice entre las condiciones actuales y las temperaturas proyectadas dependen del grado de severidad del escenario, es probable que el cambio en aquellas zonas clasificadas actualmente como *Caluroso* a *Muy Caluroso* en el futuro, genere un impacto significativo en la aptitud vitivinícola de las zonas afectadas, dado que dicha condición térmica no ha sido descrita actualmente en el país.

Respecto a las temperaturas nocturnas, el Índice de Frescor Nocturno presenta una variación en los escenarios proyectados pasando de presentar *noches muy frías*, en la actualidad, a *noches frías* y eventualmente *noches temperadas* en escenarios climáticos futuros. Esto último representa una pérdida importante de un factor climático que ha sido descrito como un factor de calidad muy marcado en las regiones productoras de uva para vino de Chile.

Los resultados para el Índice de Sequía en los escenarios climáticos proyectados evidencian en el escenario más severo (A2) un cambio en la aptitud vitivinícola de algunas zonas, pasando de una condición de *sequía moderada* en el escenario actual o baseline una condición de *sequía muy fuerte* en el escenario más severo, pero no evidenciando mayor cambio respecto al índice en el escenario climático proyectado moderado. Si bien la producción de uva vinífera para vinos finos en Chile es realizada en su totalidad bajo

condiciones de riego, dado el dominio de la condición de clima Mediterráneo en los valles vitivinícolas, los escenarios proyectados para el Índice de Sequía permiten inferir una condición climática de mayor demanda hídrica. Considerando la disminución en las precipitaciones proyectada por los modelos climáticos, y la mayor competencia por los recursos hídricos con otros sectores económicos, queda en evidencia la necesidad de avanzar en el aumento en la eficiencia del uso del agua en vitivinicultura y en agricultura en general, para poder así continuar con una producción de calidad adecuada y sustentable.

Es probable que el hecho de que los eventos fenológicos de la vid se vean temporalmente acortados pueda traer como consecuencia un cambio en la composición química y por ende en las características organolépticas de los vinos producidos. Así, si una región en la actualidad presenta con un clima dado, el cual permite una acumulación de azúcar, acidez y aroma particular, es muy probable que en un ambiente más cálido se acelere el crecimiento de la vid y, por lo tanto, también ocurra una variación en el nivel de azúcar. Lo anterior podría traer como consecuencia una pérdida del balance entre la acidez y los sólidos solubles del vino, lo que traería como consecuencia final una menor acidez y una elevación del grado alcohólico del vino. Igualmente, las variedades tintas podrían verse alteradas en las síntesis de antocianos, por lo que existiría un cambio en la tonalidad esperada del vino, entre otros.

Si bien es de gran importancia poder realizar proyecciones futuras del potencial impacto de la variabilidad climática de origen antropogénico sobre la fenología de la vid, utilizando las herramientas disponibles actualmente, es igualmente de gran importancia el avanzar en los estudios que consideren la variabilidad natural del clima y su impacto en la vitivinicultura. Es así como, por ejemplo, debiera analizarse el comportamiento de las variedades de vid para aquellos años El Niño o La Niña, la cual induce cambios a escalas temporales mayores. Queda planteada la realización futura de este tipo de estudios, lo cual podría ayudar a comprender de mejor manera el comportamiento de la vid en respuesta a la variabilidad climática.

Para que la vitivinicultura en Chile logre adaptarse a un eventual cambio climático futuro, será necesario que se realicen estudios en diversos temas. La utilización de variedades menos sensibles a los cambios térmicos y con características de maduración tardía, el aprovechamiento de la cercanía del mar como controlador térmico, innovaciones en el diseño del viñedo y la búsqueda por nuevos *terroirs* que impliquen condiciones térmicas más frías, son sólo algunas de las posibles opciones en las cuales se deberían enfocar los estudios. Es necesario que la industria vitivinícola continúe su compromiso con la investigación, sólo de ésta forma se podrá lograr un nivel de desarrollo tal que permita elaborar vinos de calidad a largo plazo.

## BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, M., R. Foroughbakhch, E. Jurado y A. Rocha. 2002. Cambio Climático y Fenología de las plantas. Ciencia UANL / VOL. V, No. 4., 493-500.

Bautista, D. y G. Vargas. 1981. Estudio del ciclo y determinación de los requerimientos heliotérmicos de algunas variedades de vid en condiciones tropicales. *Agronomía Tropical*. Vol XXXI (1-6): 1- 13.

Becker, N. J. 1977. Selection of Vineyard sites in cool climates. *In: Proceedings of the Third Wine Industry Technical Conference*. pp 25-30. Australian Wine Research Institute, Albury, NSW.

Belancic, A. y E. Agosin. 2002. Aromas varietales influencia de ciertas prácticas vitícolas y enológicas. Recursos de enología. Disponible en <http://www.recursosdeenologia.com/rec/23/aromas-varietales-influencia-de-ciertas-practicas-vitcolas-y-enologicas/>. Revisado el 10 de Marzo del 2010.

Bergqvist, J., N. K. Dokoozlian, and N. Ebisuda. (2001). Sunlight exposure and temperature effects on berry effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the Central San Joaquin Valley of California. *American Journal for Enology and Viticulture* 52(1): 1-7.

Bindi, M., L. Fibbi, B. Gozzini, S. Orlandini, y F. Miglietta. 1996a. Modelling the impact of future climate scenarios on yield and yield variability on grapevine. *Climate Research* 7: 213-224.

Bois, B. 2004. Variabilité mesoclimatique à l'intérieur du département de la Gironde et son impact sur la culture de la vigne: application à un modèle de bilan hydrique. Tesis Master. Université Víctor Segalen, Bordeaux 2. Bordeaux, Francia. 53p.

Carbonneau, A., A. Deloire y B. Jaillard. 2007. La vigne : physiologie, terroir, culture. Editor : Dunod p. 441.

Coombe, B. G. 1992. Research on development and ripening of the grape berry. *Amer. J. Enol. Vitic.* 43 (1) 101-110.

Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 2006. Estudio de la Variabilidad Climática en Chile para el Siglo XXI. Corporación Nacional de Medio Ambiente (CONAMA). 71p.

Duchêne, E. y C. Schneider. 2005. Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace. *Agron. Sustain. Dev.* 24, 93-99.

Edwards, F., y T. Spawton. (1990). Pricing in the Australian wine industry. *European Journal of Marketing* 24: 11-17.

Gaudillère J.-P. 2007. Les réponses de la vigne face aux changements climatiques à Bordeaux. *In: Proceedings of the la 8ème Journée Technique du CIVB, 13 Mars 2007, Bordeaux-Lac, 81-89 GIEC.*

Goddard Institute for Space Studies, 2010. 2009: Second Warmest Year on Record; End of Warmest Decade. Disponible en: <http://www.giss.nasa.gov/research/news/20100121>. Leído el 3 de Mayo de 2010.

Haselgrove, L., D. Botting, R. V. Heeswijk, P. B. Hoj, P. R. Dry, C. Ford, y P. G. Iland. 2000. Canopy microclimate and berry composition: the effect of bunch exposure on the phenolic composition of *Vitis vinifera* L cv. Shiraz grape berries. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 6(2): 141-149.

Huglin, P., 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *Comptes Rendus de l'Académie de l'Agriculture de France* 64,1117-1126.

Huglin, P. y C. Schneider. 1998. *Biologie et écologie de la vigne*. Paris, Lavoisier. 370 pp.

IPCC, 2001: *Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.

IPCC. 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers*. WMO, UNEP, 18 p.

Jackson, D. y P. Lombard 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality: a review. *Am J Enol Vitic* 44:409-430

Jones, G. 2006. Climate change and wine: Observations, impacts and future implications. *Australia and New Zealand Wine Industry Journal*, 21(4): 21-26.

Jones, G. 2007 Climate change: observations, projections, and general implications for viticulture and wine production. R 1-13. *In: Proceedings of the Climate and Viticulture Congress, Zaragoza, España.*

- Jones, G. y R. Davis. 2000. Climate Influences on Grapevine Phenology, Grape Composition and Wine Production and Quality for Bordeaux, France. *American Society for Enology and Viticulture* 51(3): 249-261.
- Kliewer, W. y R. E. Torres. 1972. Effect of controlled day and night temperatures on grape coloration. *Am. J. Enol. Vitic.* 23 (2) 71-77.
- Marais, J. 2001. Effect of Grape Temperature and Yeast strain on Sauvignon blanc Wine Aroma Composition and Quality. *South African Journal for Enology and Viticulture* 22(1): 47-51.
- Marais, J. y P. D. Haasbroek. 2001. Relationship between microclimatic data, aroma component concentrations and wine quality parameters in the prediction of Sauvignon blanc wine quality. *South African Journal for Enology and Viticulture* 22(1).
- Meza, F., P. Pszczółkowski y K. Kosiel. 2006. Descubrir el Terroir Vitícola. *Agronomía y Forestal* 30: 24-27.
- Montes, C. 2006. Caracterización de la aptitud climática para el cultivo de la vid vinífera de las regiones V, VI, VII y Metropolitana de Chile.
- Montes, C. 2010. El cambio climático y sus potenciales impactos en Chile. *Revista Tierra Adentro*. 88, 44-47.
- Pereira A. y W. Oregon. 2004. Adaptation of the Thornthwaite scheme for estimating daily reference evapotranspiration. *Agricultural Water Management* 62(3): 251-257.
- PNUMA. 2006. El cambio climático en América Latina y El Caribe. México. 126 p.
- Pouget, R. 1961. Methode d'appréciation de l'évolution physiologique des brugeons pendant le phase de predebourrement : application a l'étude comparée de debourerement de la vigne. *Vitis* 6 :294-302.
- Riou, C., P. Pieri y B. Le Clechz. 1994 Consommation d'eau de la vigne en conditions hydriques non limitantes. Formulation simplifiées de la transpiration. *Vitis* 33 : 109-115.
- Salinger, M. J. 1987. Impact of climatic warming on the New Zealand growing season. *Journal of the Royal Society of New Zealand* 17(4): 363-371.
- Santibañez, F. 2005. Influencia del clima en la producción vitivinícola. *Revista enología*, 6, 11-16.
- Singleton, V.L. y P. Esau. 1969. Phenolic substances in grapes and wine, and their significance. *Adv. Food Res. Supp.* 1, 112-133.

- Sotés V. 2004. Comportamiento fisiológico de la vid en climas cálidos y en particular durante el período de maduración de la uva. Anais de Congressos, 1º WIP.
- Spayd, S. E., J. M. Tarara, D. L. Mee, y J. C. Ferguson. 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. American Journal of Enology and Viticulture 53(3): 171-182.
- Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev. 38, 55-94.
- Tonietto, J. 1999. Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mésoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscat de Hambourg dans le Sud de la France: méthodologie de caractérisation. Tesis Doctoral. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. Montpellier, Francia. 233p.
- Tonietto, J. y A. Carbonneau. 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. Agric. For. Meteorol. 124 (2004) 81-97.
- Tonietto, J. 2007. Evaluación Climática Global del las Zonas Vitivinícolas. Revista Enología nº 2, Año IV, Mayo- Junio 2007.
- Van Leeuwen, C., B. Bois, P. Pierre y J.P. Gaudillere. El Clima como componente del Terroir. Revista Enología nº2, Año IV, Mayo- Junio 2007.
- Van Leeuwen, C., R. Renard, O. Leriche, , C. Molot, y J. P. Soyer, 1998. Le fonctionnement de trois sols viticoles du Bordelais: conséquences sur la croissance de la vigne et sur le potentiel oenologique du raisin en 1997. Revue Française d' Oenologie. 170:28-32.
- Van leeuwen, C. y Seguin, G., 2006 The concept of terroir in viticulture. Journal of Wine Research, 17, 1-10.
- Vaudour E. 2003. Les Terroirs viticoles, Définitions, caractérisation et protection. Dunod, París, France.312 p.
- Vitousek Peter. 1992. Global Environmental Change: An Introduction. Annu. Rev. Ecol. Syst. 1992. 23:1-14.
- Webb L., P. Whetton y E. Barlow. 2005.Future Climate Change Impacts on Australian Viticulture.
- Webb, L. 2006. The impact of greenhouse gas-induced climate change on the Australian wine industry, PhD Thesis. School of Agriculture and Food Systems, University of Melbourne, Parkville Victoria, 277 p.

Webb, L., Whetton, P. y Barlow, E. 2007. Future Climate Change Impacts on Australian Viticulture. En: Proceedings from The Global warming, which potential impacts on the vineyards?. Dijon, France.

Winkler A.J., Cook J.A., Kliewer W.M., Lider L.A., General Viticulture, University of California Press, 1974.

## APÉNDICE I

Gráficos de los promedios de los requerimientos térmicos por cepa para cada evento fenológico

