

IMPACTO DEL CALENTAMIENTO GLOBAL EN LA FENOLOGÍA DE UNA VARIEDAD DE VID CULTIVADA EN EL SUR DE CHILE

IMPACT OF GLOBAL WARMING ON THE PHENOLOGY OF A VARIETY OF GRAPEVINE GROWN IN SOUTHERN CHILE

Emilio Jorquera-Fontena*, Raúl Orrego-Verdugo

Programa de Doctorado en Ciencias de Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración, Universidad de la Frontera. Temuco, Chile. Avenida Francisco Salazar. 01145, Casilla 54-D. (ejorquera@ufro.cl)

RESUMEN

La tendencia al aumento de las temperaturas provocaría grandes cambios en el ciclo de desarrollo de las plantas y en el estilo de agricultura en una determinada localidad. En el presente trabajo se analizó el efecto de las temperaturas proyectadas por el IPCC sobre la fenología de *Vitis vinifera* (L.) variedad Gewürtztraminer, en dos zonas de viticultura de clima frío del sur de Chile. Se ajustó un modelo matemático sobre datos de fenología y grados-día recopilados durante dos años. El modelo obtenido se corrió con datos de temperatura del clima actual y los proyectados con los escenarios A2 y B2 para el periodo 2070-2100. El análisis de los resultados muestra que el clima local presentaría importantes aumentos en las sumas de temperaturas (grados-día), lo que reduciría hasta 17 d el periodo de brotación a floración y entre 28 a 46 d el periodo de brotación a cosecha, en el escenario más extremo. La fenología es muy sensible a los escenarios de calentamiento global y probable cambio climático. Caracterizar su posible comportamiento podría servir de referencia para definir estrategias para la planificación futura de un viñedo.

Palabras clave: temperatura, grados-día, modelo.

INTRODUCCIÓN

Hay una tendencia al aumento de las temperaturas globales (IPCC, 2001, 2007) que ha afectado significativamente el desempeño de muchos sistemas naturales y agrícolas, porque este factor es fundamental para la manifestación

ABSTRACT

The trend to increased temperatures would lead to great changes in the development cycle of plants and style of agriculture in a particular locality. The effect of the temperatures projected by the IPCC on the phenology of *Vitis vinifera* (L.) Gewürtztraminer variety, in two areas of cold climate viticulture in southern Chile, was analyzed in this paper. A mathematical model was adjusted on phenology data and degree-days collected for two years. The model obtained was run with temperature data from current weather and those projected with the A2 and B2 scenarios for the period 2070-2100. The analysis of the results shows that local climate would present significant increases in the temperature sums (degree-days), reducing up to 17 d the bud-burst to flowering period and between 28-46 d the period of sprouting to harvest, in the most extreme scenario. Phenology is very sensitive to global warming scenarios and probable climate change. Characterizing its possible behavior could serve as reference to define strategies for the future planning of a vineyard.

Key words: temperature, degree-days, model.

INTRODUCTION

There is a tendency to higher global temperatures (IPCC, 2001, 2007), which has significantly affected the performance of many natural and agricultural systems, since the temperature factor is essential for the occurrence of temporary phenological events, such as flowering and maturity of reproductive organs (Peñuelas and Filella, 2001). In viticulture, Jones and Davis (2000) observed an improvement of 13 d on the crop after studying for 45 years the phenology of different grape varieties in France, data agreeing with those recorded by Jones *et al.* (2005) in other European locations.

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: Septiembre, 2009. Aprobado: Marzo, 2010.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 44: 427-435. 2010.

de los eventos fenológicos temporales como la floración y madurez de los órganos reproductivos (Peñuelas y Filella, 2001). En viticultura, Jones y Davis (2000) observaron un adelanto de 13 d en la cosecha al estudiar durante 45 años la fenología de distintas variedades de vid en Francia, lo que concuerda con lo observado en otras localidades europeas (Jones *et al.*, 2005).

Para evaluar los efectos del calentamiento global es necesario tener proyecciones de las condiciones climáticas. Estas proyecciones son realizadas con modelos computacionales que simulan el comportamiento global de la atmósfera y los océanos (Gordon *et al.*, 2000; Bodwen y Edwards, 2003). Estos modelos, denominados AOGCM (Atmospheric and Ocean Global Climatic Model), son usados para investigar los efectos del cambio climático en áreas agronómicas, tales como recursos hídrico (Salathe, 2005), plagas (Yamamura *et al.*, 2006) y cultivos (Webb *et al.*, 2007; Challinor *et al.*, 2009).

La fenología de vides ha sido poco estudiada con base en estas proyecciones. Webb *et al.* (2007) indican que en Australia se reduciría entre 37 y 40 d el periodo comprendido entre brotación y cosecha en las variedades Chardonnay y Cabernet Sauvignon. En Italia, Bindi *et al.* (1996) calculan una reducción de hasta 30 d en Cabernet Sauvignon para el mismo intervalo de desarrollo.

La temperatura es un factor limitante para la viticultura de gran escala en el sur de Chile, porque esta industria se centra en variedades de alto requerimiento térmico. Sin embargo, este clima parecido a las condiciones climáticas de regiones como Burgundy y Alsacia en Francia, entrega características particulares al vino, propias del largo periodo vegetativo y lenta maduración del fruto, que le dan un alto valor agregado. Así, es relevante investigar los posibles efectos que tendrá el calentamiento global en la fenología de la vid en esta zona, puesto que el previsto aumento de las temperaturas globales afectaría la fenología de las plantas (Peñuelas y Filella, 2001; Thomson *et al.*, 2005).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del aumento de las temperaturas en la zona sur de Chile sobre la fenología de la vid. Esta relación se basa en la hipótesis de que la temperatura ejerce una influencia relevante en el comportamiento vegetativo y productivo de las vides.

To assess the effects of global warming it is necessary to have climatic conditions projections. These projections are carried out with computer models simulating the overall behavior of the atmosphere and oceans (Gordon *et al.*, 2000; Bodwen and Edwards, 2003). These models, called AOGCM (Atmospheric and Ocean Global Climatic Model), are used to investigate the effects of climate change on agricultural areas such as water resources (Salathe, 2005), pests (Yamamura *et al.*, 2006) and crops (Webb *et al.*, 2007; Challinor *et al.*, 2009).

The phenology of grapevines has been poorly studied based on these projections. Webb *et al.* (2007) point out that in Australia the period between budding and harvest of the Chardonnay and Cabernet Sauvignon varieties would be reduced between 37 and 40 d. In Italy, Bindi *et al.* (1996) calculate a reduction of up to 30 d in Cabernet Sauvignon for the same development range.

Temperature is a limiting factor for large-scale viticulture in southern Chile, as this industry is focused on varieties of high thermal requirement. However, this climate similar to the climatic conditions of regions like Burgundy and Alsace in France provides special characteristics to wine, typical of the long growing season and slow ripening of the fruit, giving it high added value. Thus, it is important to investigate the possible effects that global warming will have on the phenology of the vine in this area since the projected increase in global temperatures will affect plant phenology (Peñuelas and Filella; 2001, Thomson *et al.*, 2005).

The aim of this study was to evaluate the effect of increased temperatures in southern Chile on grapevine phenology. This relationship is based on the assumption that temperature exerts a major influence on the plant and productive performance of vines.

MATERIALS AND METHODS

Climate of the study sites

This study was conducted in two sites nearby the towns of Galvarino (38° 24' S, 72° 49' W) and Nueva Imperial (38° 45' S, 72° 54' W), region of La Araucanía, Chile. Both sites belong to the agroclimatic macrozone of the Secano Interior (interior dryland) (Rouanet, 1983). In this area there is a rainless period of 5 to 6 months during the spring and summer period, with

MATERIALES Y MÉTODOS

Clima de los sitios de estudio

El presente estudio se desarrolló en las localidades de Galvarino (38° 24' S, 72° 49' O) y Nueva Imperial (38° 45' S, 72° 54' O), Región de La Araucanía, Chile. Ambas localidades pertenecen a la macrozona agroclimática del Secano Interior (Rouanet, 1983). En ella hay un periodo sin lluvias de 5 a 6 meses durante la primavera y el verano, con altas probabilidades de que se agote el agua entre diciembre y marzo. La estación húmeda es entre mayo y septiembre con precipitaciones de 800 a 1200 mm; el 45 % se concentra entre mayo y agosto. La temperatura máxima media de los meses más cálidos (diciembre a febrero), varía de 25 a 27 °C, y la mínima media es 10 °C. Durante los meses más fríos (junio a agosto), la máxima media es 12 °C y la mínima media 4 °C. Esta zona tiene una estación mínima libre de heladas de 31 d, que se presenta normalmente en enero.

Material vegetal y estados fenológicos estudiados

Se usaron 24 plantas de vid vinífera variedad Gewürtztraminer en cada localidad, agrupadas en dos repeticiones de 12 individuos cada una. Las plantas se establecieron el año 2001 a una distancia de plantación de 1 m sobre la hilera y 3 m entre la hilera en un sistema de conducción de espaldera simple.

Cada planta se midió semanalmente para registrar los estados fenológicos de brotación, floración y cosecha, marcando las yemas del tercio medio del cordón apitonado (*i.e.* rama lateral) para considerar la condición promedio del cordón. Las mediciones se efectuaron durante las temporadas 2003-04 y 2004-2005, desde mediados de agosto hasta la cosecha. La fruta se cosechó según índice refractométrico, usando un valor mínimo de 20.5 °Brix.

Modelo matemático de fenología

Para ajustar un modelo de fenología para las condiciones climáticas locales, se relacionó la escala fenológica BBCH para *Vitis vinifera* L. (Lorenz *et al.* 1994) con los grados-día acumulados (DD), calculados según la ecuación 1:

$$DD = \sum \left(\frac{T_{\max} (^{\circ}\text{C}) - T_{\min} (^{\circ}\text{C})}{2} - 10^{\circ}\text{C} \right) \quad (1)$$

Los datos de temperatura se registraron cada 15 min en estaciones meteorológicas (Davis Weather Monitor II, USA) cerca de los sitios experimentales del 01 de septiembre (biofix)

a high probability that water runs out between December and March. The wet season occurs between May and September with rainfall from 800 to 1200 mm, of which 45 % is concentrated between May and August. The average maximum temperature of the warmer months (December to February) ranges from 25 to 27 °C, while the average minimum is 10 °C. During the cooler months (June to August), the mean maximum is 12 °C and the average minimum 4 °C. This area has a frost-free season of 31 d, which usually occurs in January.

Plant material and phenological stages evaluated

Twenty four plants of the grapevine Gewürtztraminer variety were used in each location, grouped in two repetitions of 12 individuals each. The plants were established in 2001 at a planting distance of 1 m on the row and 3 m between rows in a simple trellis training system.

Each plant was measured weekly to record phenological stages: budburst, flowering and harvest, labeling the middle third cordon (*i.e.* side branch) in order to consider the average condition of the cord. Measurements were made during the 2003-2004 and 2004-2005 seasons, from mid-August until harvest. Fruit was harvested according to refractometric index, using a minimum value of 20.5 °Brix.

Mathematical model of phenology

To adjust a model of phenology to local climatic conditions the phenological scale BBCH for *Vitis vinifera* L. (Lorenz *et al.* 1994) was related to cumulative degree-days (DD), calculated by equation 1:

$$DD = \sum \left(\frac{T_{\max} (^{\circ}\text{C}) - T_{\min} (^{\circ}\text{C})}{2} - 10^{\circ}\text{C} \right) \quad (1)$$

Temperature data were recorded every 15 min at the weather stations (Davis Weather Monitor II, USA) near the experimental sites from 01 September (biofix) to harvest (considered as the growth period of the plant).

To correlate these data the Mitscherlich monomolecular equation was used, considering that growth is continuous and with no inflection points (Thornley and Johnson, 1990). This equation has been validated for phenology models in vines grown in central Chile (Ortega-Farias *et al.*, 2002).

The model was adjusted in the StatGrafic® Centurion XV program. To obtain a better adjustment between the phenology and DD data the discontinuity between the phenological stages 1 (leaf development) and 5 (Inflorescence emergence) was eliminated in the BBCH scale (Lorenz *et al.*, 1994). Therefore,

a la cosecha (considerado como el periodo de crecimiento de la planta).

Para correlacionar estos datos se utilizó la ecuación mono-molecular de Mitscherlich, considerando que el crecimiento es continuo y sin puntos de inflexión (Thornley y Johnson, 1990). Esta ecuación ha sido validada para modelos de fenología en vides cultivadas en la zona central de Chile (Ortega-Farias *et al.*, 2002).

El modelo se ajustó en el programa StatGrafic® Centurión XV. Para obtener un mejor ajuste entre los datos de fenología y los DD se eliminó la discontinuidad entre los estados fenológicos 1 (desarrollo de las hojas) y 5 (aparición del órgano floral) en la escala BBCH (Lorenz *et al.*, 1994). Por tanto, los estados fenológicos registrados se codificaron como 07 (brotación), 35 (plena floración) y 59 (cosecha).

Recolección y preparación de datos de temperaturas proyectadas

Para evaluar los cambios en la fenología de la vid frente a condiciones de calentamiento global se usaron datos proyectados de temperatura en los escenarios B2 y A2 de cambio climático (IPCC, 2001). Las proyecciones se obtuvieron de una base de datos generada por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile³. Esta base de datos se desarrolló mediante downscaling dinámico del modelo HadCM3 (Fuenzalida *et al.*, 2006), y consiste en cuadrículas de 0.25° (aproximadamente 25 km) con simulaciones meteorológicas de la serie de tiempo 2070-2100 a escalas temporales diarias y mensuales, suponiendo años idealizados de 360 d (12 meses de 30 d cada uno). Se usaron las temperaturas máximas y mínimas diarias de los píxeles donde se ubican los sitios experimentales.

Los resultados de los modelos de circulación representan la tendencia de las variables y no predicciones de las mismas (Räisänen, 2007). Por lo anterior, estos datos se resumieron en medias climatológicas y se incorporaron al simulador climático estocástico CLIMGEN (Campbell, 1990) para generar 50 años de temperaturas máximas y mínimas diarias, representativas de cada localidad y escenario en estudio. Además, se trabajó con las diferencias de los escenarios en lugar de los valores proyectados, con el fin de eliminar el error sistemático del modelo climático (Paruelo y Salas, 1999). De esta forma se obtuvo una serie de tiempo diaria que permitió calcular los DD durante la estación de crecimiento para la condición base y para los dos escenarios de cambio climático estudiados.

El modelo fue validado con los datos recolectados entre 2002 y 2005, en las estaciones de cada sitio experimental (datos no mostrados).

the phenological stages recorded were codified as 07 (budburst), 35 (full flowering) and 59 (harvest).

Data collection and preparation of projected temperatures

To assess changes in the phenology of the vine when facing global warming conditions, temperature projected data were used in the B2 and A2 scenarios of climate change (IPCC, 2001). The projections were obtained from a database generated by the Department of Geophysics, Universidad de Chile³. This database was developed by using the dynamic downscaling of the HadCM3 model (Fuenzalida *et al.*, 2006), and consists of grids of 0.25° (about 25 km) with weather simulations of the time series 2070-2100 at daily and monthly time scales, assuming idealized years of 360 d (12 months of 30 d each). The daily maximum and minimum temperatures of the pixels where the experimental sites are located were used.

The results of circulation models represent the tendency of the variables and not predictions of them (Räisänen, 2007). On this account, these data were summarized in climate means and were incorporated into the stochastic climate simulator CLIMGEN (Campbell, 1990) to generate 50 years of daily maximum and minimum temperatures, representative of each site and scene studied. In addition, we worked with differences in the scenarios instead of the projected values, in order to eliminate the climate model bias (Paruelo and Salas, 1999). In this way we obtained a series of daily time that allowed us to calculate the DD during the growth season for the base condition and the two scenarios of climate change studied.

The model was validated with data collected from 2002 to 2005 in the stations of each experimental site (data not shown).

RESULTS AND DISCUSSION

Mathematical model of phenology

In Figure 1 it is shown the high degree of relationship between phenological stages of grapevine and the DD, coinciding with those reported by Amerine and Winkler (1974), Williams *et al.* (1985) and Ortega-Farias *et al.* (2002). In analyzing the model (Figure 1), it follows that coefficients 64 351 and 0.00202 determine the phenological stage at the beginning of the growth cycle and the rate of plant development. Constant 67 represents the asymptote or maximum value that the estimate can reach and

³ <http://www.dgf.uchile.cl/PRECIS>

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelo matemático de fenología

En la Figura 1 se observa el alto grado de relación entre los estados fenológicos de la vid y los DD, coincidiendo con lo reportado por Amerine y Winkler (1974), Williams *et al.* (1985) y Ortega-Farías *et al.* (2002). Al analizar el modelo (Figura 1), se infiere que los coeficientes 64.351 y -0.00202 condicionan el estado fenológico al inicio del ciclo de crecimiento y la tasa de desarrollo de las plantas. La constante 67 representa la asíntota o valor máximo que puede alcanzar la estimación y que se representa por el estado fenológico fin de caída de hojas. Pese a la simpleza del ajuste, esta ecuación sigue el patrón continuo del desarrollo de las especies vegetales en condiciones óptimas de cultivo (Thornley y Johnson, 1990).

Impacto del cambio climático en las temperaturas de los sitios experimentales

Una comparación entre las temperaturas medias mensuales proyectadas para los escenarios A2 y B2 y las registradas entre 2002-2005 (línea base) se muestra en la Figura 2. Es posible observar que las temperaturas medias mensuales en Nueva Imperial son ligeramente más templadas que en Galvarino en todas las condiciones y, como es de esperar, el promedio mensual de temperatura es mayor en la condición A2 que en la B2 en ambas localidades.

Al comparar estas temperaturas en términos de grados-día (Figura 3), se observa que existe una importante diferencia entre las proyecciones de temperatura y las condiciones de base. Además, la acumulación térmica durante el periodo definido es más rápida en la condición B2, lo que sugiere un mayor adelanto en la fenología en este escenario.

Las mayores temperaturas durante la estación de crecimiento podrían tener efectos indeseados en el rendimiento y calidad de la fruta (Webb *et al.*, 2007), si se excede la temperatura óptima de una variedad. Tales efectos son consecuencia de una mayor abscisión de bayas, disminución en el tiempo de maduración (Bindi *et al.*, 1996) y una elevada síntesis de taninos provocada por el cambio de color y acumulación de azúcares más temprana en la fruta (Salinger, 1987). No obstante, temperaturas más cálidas

is represented by the end of leaf fall phenological stage. Despite the simplicity of the adjustment, this equation follows the continuous pattern of plant development under optimum growing conditions (Thornley and Johnson, 1990).

Impact of climate change on temperatures of the experimental sites

A comparison between the average temperatures projected monthly for the scenarios A2 and B2 and those recorded from 2002 to 2005 (baseline) is shown in Figure 2. It can be seen that monthly mean temperatures in Nueva Imperial are slightly warmer than in Galvarino under all conditions and, as expected, the monthly average temperature is higher in condition A2 than in B2 in both locations.

By comparing these temperatures in terms of degree-days (Figure 3), a significant difference between the temperature projections and baseline conditions can be observed. Also heat accumulation during the period defined is clearly faster in condition B2, which suggests a greater advancement in phenology in this scenario.

The highest temperatures during the growing season may have unwanted effects on the yield and fruit quality (Webb *et al.*, 2007) if the optimum temperature of a variety is exceeded. Such effects are a consequence of increased berry abscission, decreased time of maturation (Bindi

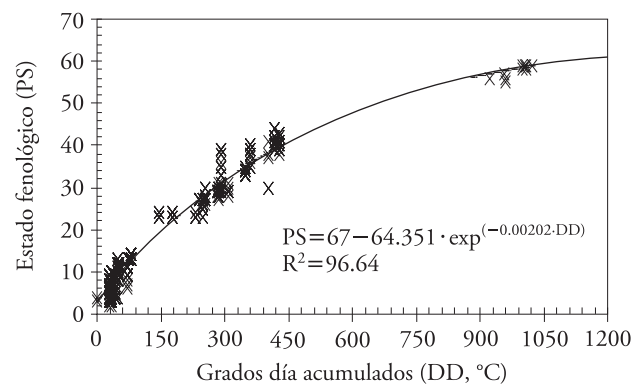


Figura 1. Datos observados de la fenología de vid Gewürtztraminer en ambas localidades de estudio y su modelo matemático ajustado, donde PS es el estado fenológico y DD son los grados-día acumulados.

Figure 1. Data of the Gewurtztraminer vine phenology in both study locations and its mathematical model adjusted, where PS is the phenological stage and DD the degree-days accumulated.

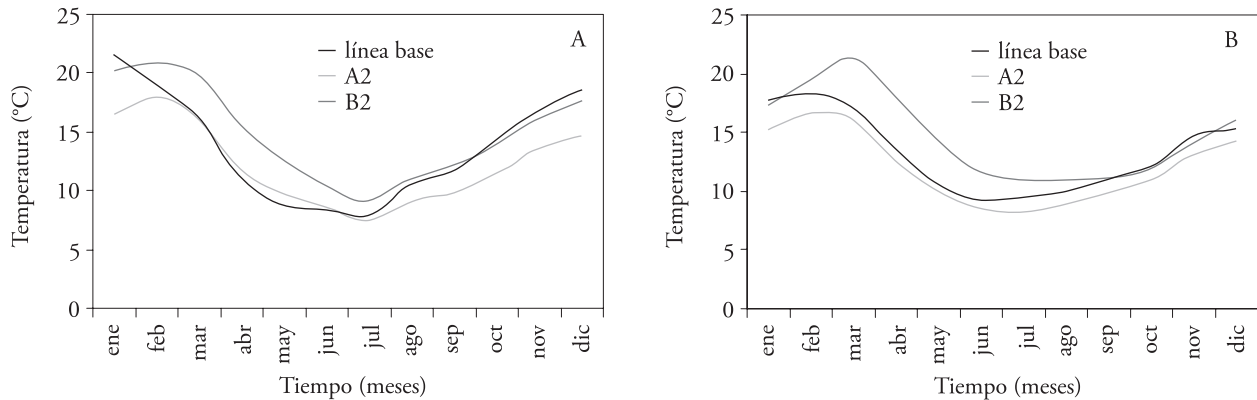


Figura 2. Promedios mensuales de temperatura en las condiciones proyectadas y de base en ambos sitios experimentales, donde A y B son Galvarino y Nueva Imperial.

Figure 2. Monthly average temperatures in the base and projected conditions in both experimental sites, where A and B are Galvarino and Nueva Imperial.

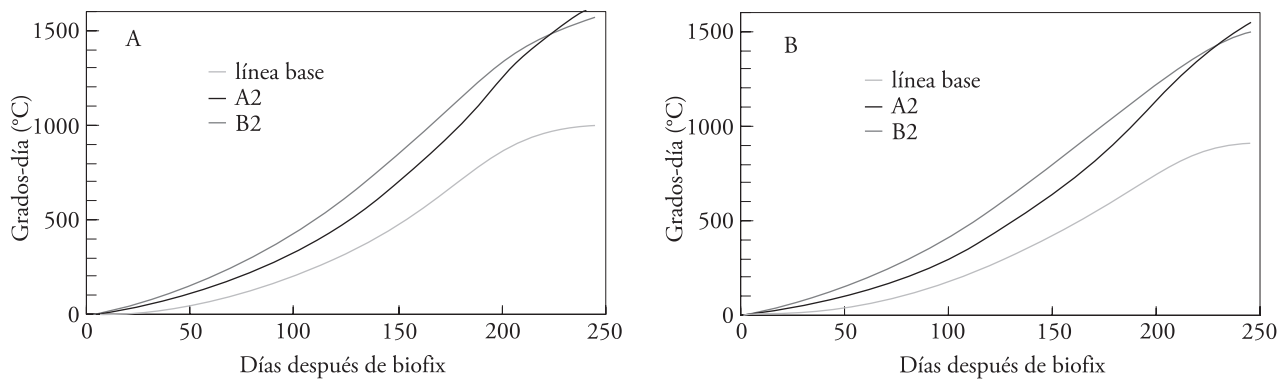


Figura 3. Grados-día acumulados desde el Biofix (1 de septiembre) en ambas localidades estudiadas, donde A y B son Galvarino y Nueva Imperial.

Figure 3. Degree-days accumulated since Biofix (September 1) in the two locations studied, where A and B are Galvarino and Nueva Imperial.

al inicio de la temporada provocarían un temprano aumento de área foliar (Bindi *et al.*, 1996), lo que podría tener un efecto positivo en la acumulación de biomasa que causaría un mayor sombreado de la fruta durante el periodo de mayor temperatura.

Impacto de las temperaturas proyectadas sobre la fenología de la vid

La posibilidad de cuantificar los cambios en la fenología de la vid es de gran importancia para la industria vitivinícola chilena. El análisis de la fenología actual muestra que en Galvarino el ciclo entre el biofix y la cosecha es 4 d más corto que en Nueva Imperial, debido al clima ligeramente más cálido de este sitio (Figura 2). Al comparar este periodo con el calculado a partir de las condiciones de calentamiento

et al., 1996) and a high tannin synthesis induced by color change and an early accumulation of sugars in fruit (Salinger, 1987). However, warmer temperatures at the start of the season would cause an early increase in the leaf area (Bindi *et al.*, 1996), which could have a positive effect on biomass accumulation causing increased shading of the fruit during the warmer period.

Impact of projected temperatures on the phenology of the vine

The possibility of quantifying changes in the phenology of the vine is of great importance for the Chilean wine industry. An analysis of the current phenology shows that in Galvarino the cycle between the biofix and harvest is 4 d shorter than in Nueva

global, se puede observar la significativa precocidad que presentaría el cultivo (Figura 4). Además, los días calculados para la brotación en la condición de base y los escenarios de cambio climático son lejanos, como resultado de la mayor acumulación de grados-día al inicio del ciclo de crecimiento. Este fenómeno cambiaría considerablemente en el siguiente periodo (brotación-floración), donde el estado de plena floración se alcanzaría con una diferencia hasta de 17 d más temprano en Nueva Imperial (condición B2).

La precocidad calculada para el estado de plena floración podría aumentar el riesgo de daño por heladas tardías (Nemani *et al.*, 2001). No obstante, se espera que con las condiciones de calentamiento global estudiadas exista un menor número de heladas y, por tanto, menor riesgo en las fases críticas del cultivo. Por ello, Webb *et al.* (2007) sostienen la relevancia de modelar cuantitativa y temporalmente las heladas durante el periodo de crecimiento de los cultivos.

Las temperaturas proyectadas redujeron entre 28 a 46 d el periodo de brotación a cosecha. Los resultados estimados con el modelo son ligeramente mayores a lo reportado por Webb *et al.* (2007) y Bindi *et al.* (1996). Estas diferencias pueden deberse a la naturaleza empírica de la relación fenología/grados-día que no considera otras interacciones que afectan al continuo planta-atmósfera, como la concentración de CO₂ ambiental. Asimismo, se debe considerar la aparente condición no estacionaria de la relación fenología/grados-día (Zhang *et al.*, 2008).

Además, el presente estudio considera un promedio de temperaturas proyectadas entre los años 2070 a 2100 que serían aún más rigurosas (IPCC, 2007) que las usadas en la literatura reportada. Es probable también que la variedad Gewürtztraminer, al ser preferentemente de clima frío (Jones, 2006), presentaría una mayor sensibilidad al efecto del alza de la temperatura.

En general, el adelantamiento de todos los estados fenológicos es mayor en el escenario B2. Esta respuesta se debe a la mayor suma de temperaturas calculadas para este escenario climático durante la temporada de crecimiento de la vid, a pesar de que en términos absolutos (*i.e.* promedios mensuales), la condición A2 es más cálida.

Este tipo de estudios se basa en la calidad de las proyecciones climáticas realizadas. Tales proyecciones han mostrado una exactitud aceptable, aunque persiste la limitación de la resolución espacial de los

Imperial due to the slightly warmer climate in the former (Figure 2). When comparing this period with that calculated from the global warming conditions, it is possible to observe the significant precocity of the crop (Figure 4). Also the estimated days for sprouting in the baseline condition and climate change scenarios are far as a result of the increased accumulation of degree-days at the beginning of the growth cycle. This phenomenon would significantly change in the next period (sprouting-flowering) where the stage of full bloom would be reached with a difference of up to 17 d earlier in Nueva Imperial (condition B2).

The precocity calculated for the full flowering state may increase the risk of late frost damage (Nemani *et al.*, 2001). However, it is expected that as a result of the global warming conditions studied there will be fewer frosts and, therefore less risk during the critical stages of the crop. On this account, Webb *et al.* (2007) argue the relevance of quantitatively and temporarily modeling frosts during the growth period of crops.

The projected temperatures reduced between 28 to 46 d the period from sprouting to harvest. The

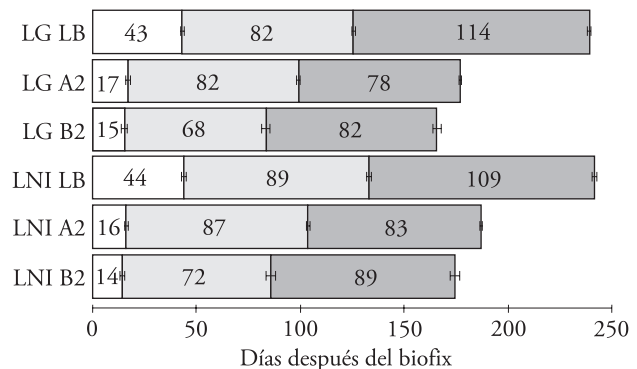


Figura 4. Fenología de la vid variedad Gewürtztraminer en las localidades de Galvarino (LG) y Nueva Imperial (LNI) con las condiciones de base (LB) y los escenarios de cambio climático (A2, B2), desde el biofix. Los números en las barras corresponden a los días calculados para el cumplimiento del estado fenológico. Las barras de error representan el error estándar.

Figure 4. Phenology of the vine Gewurtztraminer variety in the locations of Galvarino (LG) and Nueva Imperial (LNI) with baseline conditions (LB) and climate change scenarios (A2, B2) from biofix. The numbers on the bars correspond to the days calculated to attain the phenological stage. Error bars represent the standard error.

datos aún cuando se trabaje con modelos mesoescala (Mearns *et al.*, 1996; Baron *et al.*, 2005), como en la presente investigación. La inclusión de técnicas para mejorar la precisión espacial de las mediciones y modelos ecofisiológicos de cultivos, permitiría una mayor precisión en los cálculos lo que es relevante si hay un enfoque hacia la toma de decisiones locales. En este sentido, el análisis de los resultados sugiere un traslado de la viticultura de gran escala hacia la zona sur de Chile (de pequeña escala), porque la acumulación de grados-día permitiría incluir variedades de clima calido con alto potencial de rendimiento y calidad de fruta bajo las sumas de temperatura calculadas. Además, la variedad estudiada tendría que ser cultivada fuera de la zona analizada debido a que es preferentemente de clima frío (Jones, 2006).

CONCLUSIONES

Se evaluó el impacto del calentamiento global previsto en la aparición de algunos eventos fenológicos del ciclo anual de la variedad Gewürtztraminer en dos zonas de viticultura de clima frío del sur de Chile. El análisis de los resultados muestra que la fenología es extremadamente sensible a los diferentes escenarios de cambio climático y sirve para ilustrar el posible impacto de mantener los actuales niveles de emisión de gases invernadero. Se observó un adelantamiento mayor en la fenología en el escenario B2 que en el A2, pese a ser menos cálido en términos absolutos.

Abordar el impacto del posible cambio climático en la fenología de la vid, permitirá a la industria del vino definir algunas estrategias que podrían ser útiles para la planificación futura de un viñedo; entre ellas, el traslado del tipo y escala de la viticultura hacia la zona sur del país.

LITERATURA CITADA

- Amerine, M. A., and A. J. Winkler. 1974. Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia* 5: 493-675.
- Bindi M., L. Fibbi, B. Gozzini, S. Orlandini, and F. Miglietta. 1996. Modelling the impact of future climate scenarios on yield and yield variability of grapevine. *Climate Res.* 7: 213-224.
- Baron, C., B. Sultan, M. Balme, B. Sarr, S. Traore, T. Level, S. Janicot, and M. Dingkuhn. 2005. From GCM grid cell to agricultural plot: Scale issues affecting model of climate impact. *Philosophical Trans. Royal Soc. B.* 360: 2095-2108.

results estimated with the model are slightly higher than those reported by Webb *et al.* (2007) and Bindi *et al.* (1996). These differences may be due to the empirical nature of the phenology/degree-days relationship that does not consider other interactions affecting the plant-atmosphere continuum, such as the concentration of environmental CO₂. Also, the apparent non stationary condition of the phenology/degree-days relationship must be considered (Zhang *et al.*, 2008).

In addition, this study considers an average of projected temperatures between 2070 and 2100, which would be even more severe (IPCC, 2007) than those used in the reported literature. It is also likely that the variety Gewürtztraminer, for being mostly of cold climate (Jones, 2006), may show greater sensitivity to higher temperature.

In general, there is a greater advancement of all phenological stages in the B2 scenario. This response is due to the greater sum of temperatures calculated for this climate scenario during the growing season of the vine, although in absolute terms (*i.e.* monthly averages), the A2 condition is warmer.

This type of study is based on the quality of the climate projections made. Such projections have shown an acceptable accuracy, although the limitation of the data spatial resolution persists, even when working with mesoscale models (Mearns *et al.*, 1996; Baron *et al.*, 2005), as in this investigation. The inclusion of techniques to improve the spatial accuracy of the measurements and crop ecophysiological models may enable greater precision in the calculations, which is relevant if local decision-making is meant to be stressed. In this regard, the analysis of the results suggests a transfer of large-scale viticulture to southern Chile (on a small scale), because the accumulation of degree-days would allow the inclusion of warm climate varieties with a high potential of fruit yield and quality under the sums of temperature calculated. In addition, the variety studied would have to be cultivated outside the area analyzed since it is mostly cold (Jones, 2006).

CONCLUSIONS

We evaluated the impact of global warming in the light of the emergence of some annual phenological events of the Gewürtztraminer variety in two areas of cold climate viticulture in southern

- Bodwen, P., and C. Edwars. 2003. Ocean Circulation/Surface Wind-Driven Circulation. *In*: Holton, J., J. Curry, and J. Pyle (eds). *Encyclopedia of Atmospheric Science*. Elsevier, U.K. pp: 1540-1549.
- Campbell, G. S. 1990. ClimGen, climatic data generator. Washington State University. <http://www.bsuse.wsu.edu/climgen> (consultado 29 abril 2009).
- Challinor, A. J., F. Ewert, S. Arnold, E. Simelton, and E. Fraser. 2009. Crops and climate change: progress, trends, and challenges in simulating impacts and informing adaptation. *J. Exp. Bot.* 60(10): 2775-2789.
- Fuenzalida, H., M. Falvey, M. Rojas, P. Aceituno, y R. Garreaud. 2006. Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. Informe para CONAMA. 71 p.
- Gordon, C., C. Cooper, C. Senior, H. Banks, J. Gregory, T. Johns, J. Mitchell, and R. Word. 2000. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without Flux adjustments. *Climate Dynamics* 16: 147-168.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Working Group I. 2001. *Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 882 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. *In*: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 996 p.
- Jones, G. V., and R. E. Davis. 2000. Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. *Am. J. Enology Vitic.* 51: 249-261.
- Jones, G. V., M. A. White, O. R. Cooper, and K. H. Storchmann. 2005. Climate change and global wine quality. *Climatic Change* 73: 319-343.
- Jones, G. V. 2006. Climate change and wine: Observations, impacts and future implications. *Wine Industry J.* 21(4): 21-25.
- Lorenz, D. H., K. W. Eichhorn, H. Blei-Holder, R. Klose, U. Meier, and E. Weber. 1994. Phänologische Entwicklungsstadien der Weinrebe (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*). *Vitic. Enol. Sci.* 49: 66-70.
- Mearns, L., C. Rosenzweig, and R. Golberg. 1996. The effect of changes in daily and interannual climatic variability on CERES-Wheat: A sensitivity study. *Climate Change* 32: 257-292.
- Nemani, R. R., M. A. White, D. R. Cayan, G. V. Jones, S. W. Running, J. C. Coughlan, and D. L. Peterson. 2001. Asymmetric warming over coastal California and its impact on the premium wine industry. *Climate Res.* 19: 24-25.
- Ortega-Farías, S., P. Lozano, Y. Moreno, y L. León. 2002. Desarrollo de modelos predictivos de fenología y evolución de madurez en vid para vino cv. Cabernet Sauvignon y Chardonnay. *Agric. Téc.* 62 (1): 27-37.
- Paruelo, J., and O. Salas. 1993. Effect of global change on maize production in the Argentinean Pampas. *Climate Res.* 3: 161-167.
- Chile. The analysis of the results show that the phenology is extremely sensitive to different climate change scenarios and illustrate the possible impact of maintaining the current levels of greenhouse gas emissions. A more advanced phenology was observed in the B2 scenario compared to A2, although the former is less warm in absolute terms.
- Addressing the impact of possible climate change on the phenology of the vine will allow the wine industry to define some strategies that might be useful for the future planning of vineyards; among them, the transfer of some type of viticulture at a certain scale to the south of the country.

—End of the English version—



- Peñuelas, J., and I. Filella. 2001. Responses to a warming world. *Science* 294: 793-794.
- Räisänen, J., 2007. How reliable are climate models. *Tellus* 59A: 2-29.
- Rouanet, J. 1983. Clasificación agroclimática IX Región. Macroárea I. Investigación y Progreso Agropecuario. INIA Carillanca 2(4): 25-28.
- Salathe, E. 2005. Downscaling simulations of future global climate with application to hydrologic modelling. *Int. J. Climatol.* 25: 419-436.
- Salinger, M.J. 1987. Impact of climatic warming on the New Zealand growing season. *J. Royal Soc. NZ* 17: 363-371.
- Thornley, M., and I. Johnson. 1990. *Plant and Crop Modelling: A Mathematical Approach to Plant and Crop Physiology*. Clarendon Press, Oxford, USA. 350 p.
- Thomson, A., R. Brown, N. Rosenber, R. Izaurralde, and V. Benson. 2005. Climate change impacts for the conterminous USA: An integrated assessment Part 3. Dryland production of grain and forage crop. *Climatic Change* 69: 43-65.
- Webb L. B., P. H. Whetton, and E. W. R. Barlow. 2007. Modelled impact of future climate change on the phenology of winegrapes in Australia. *Austr. J. Grape Wine Res.* 13: 165-175.
- Williams, D. W., H. L. Andris, R. H. Beede, D. A. Luvisi, M. V. K. Norton, and L. E. Williams. 1985. Validation of a model for the growth and development of the Thompson Seedless grapevine. II. Phenology. *Am. J. Enol. Vitic.* 36: 283-289.
- Yamamura K., M. Yokozawa, M. Nishimori, Y. Ueda, and T. Yokosuka. 2006. How to analyze long-term insect population dynamics under climate change: 50-year data of three insect pests in paddy fields. *Population Ecol.* 48: 31-48.
- Zhang, T., J. Zhu, and X., Yang. 2008. Non-stationary thermal time accumulation reduces the predictability of climate change effects on agriculture. *Agric. For. Meteorol.* 148: 1412-1418.