

**DESARROLLO DE MODELOS PREDICTIVOS DE FENOLOGÍA
Y EVOLUCIÓN DE MADUREZ EN VID PARA VINO
CV. CABERNET SAUVIGNON Y CHARDONNAY¹**

**Development of models for predicting phenology and evolution
of maturity in cv. Cabernet Sauvignon and Chardonnay grapevines**

Samuel O. Ortega-Farías², Pedro Lozano², Yerko Moreno³ y Lorenzo León²

A B S T R A C T

A study was carried out to develop predictive models for phenology and evolution of maturity in wine grapes (*Vitis vinifera*), in a vineyard located in the "La Oriental" farm in the Talca Region (35° 27' S lat. and 71° 37' W long.) during the 1998/99 growing season. To this end, measurements were made of the number of leaves, length of buds, diameter of berries, soluble solids (SS), total acidity (AT) and pH for grapevines cv. Cabernet Sauvignon and Chardonnay. To develop the prediction models for phenology, soluble solids, and pH as a function of the accumulated degree-days (base temperature = 10 °C), Mitscherlich's monomolecular equation, which assumes continuous growth, was used. In the case of the total acidity model, an exponential equation with a negative slope was used. The results of this investigation indicated that the use of accumulated degree-days could be a good tool to estimate phenological events and the evolution of maturity in Cabernet Sauvignon and Chardonnay cultivars. In this respect, the predictive models for phenology, soluble solids and total acidity had coefficients of determination (R^2) greater than 0.88. The lower correlation was found in the pH model for Cabernet Sauvignon ($R^2 = 0.71$).

Key words: soluble solids, total acidity, degree-days, pH, *Vitis vinifera*.

R E S U M E N

Se realizó un estudio para desarrollar modelos predictivos de fenología y evolución de madurez en vid para vino (*Vitis vinifera*), en un viñedo ubicado en el fundo "La Oriental" (35° 27' lat. Sur y 71° 37' long. Oeste) provincia de Talca, Chile, durante la temporada 1998/99. Para esto se efectuaron mediciones del número de hojas, largo de brotes, diámetro de bayas, sólidos solubles (SS), acidez total (AT) y pH en los cultivares Cabernet Sauvignon y Chardonnay. Para desarrollar los modelos predictivos de fenología, sólidos solubles, y pH, en función de los grados día acumulados (temperatura base = 10 °C), se utilizó la ecuación monomolecular de Mitscherlich, la cual asume que el crecimiento es continuo. En el caso de los modelos para la acidez total se utilizó una ecuación de tipo exponencial con pendiente negativa. Los resultados de esta investigación indicaron que el uso de los grados días acumulados puede ser una buena herramienta para estimar los eventos fenológicos y la evolución de la madurez en los cultivares Cabernet Sauvignon y Chardonnay. Al respecto, los modelos predictivos de la fenología, sólidos solubles y acidez total presentaron un R^2 superior a 0,88. La correlación más baja fue encontrada en el modelo de pH para el cultivar Cabernet Sauvignon ($R^2 = 0,71$).

Palabras clave: sólidos solubles, acidez total, grados días, pH, *Vitis vinifera*.

¹Recepción de originales: 28 de junio de 2000.

²Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias, Servicio Integrado de Agroclimatología y Riego (SIAR), Casilla 747, Talca, Chile. E-mail: sortega@pehuenche.otalca.cl

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de los diversos estados fenológicos del viñedo y su identificación son importantes en las prácticas culturales y en la utilización de productos químicos para el control de insectos y patógenos (Mullins *et al.*, 1992). Al determinar la ocurrencia de los distintos eventos fenológicos se facilita la coordinación de las labores a realizar en el predio, tales como aplicaciones de pesticidas y fertilizantes, programación del riego, manejos culturales, y coordinar la cosecha de los distintos cuarteles dentro del viñedo (Wilson y Barnett, 1983). Además, el conocimiento previo de las diferentes etapas fenológicas de la vid es importante para la caracterización vitivinícola y la correcta selección de un cepaje en una zona determinada.

Lo anterior se puede lograr a través del desarrollo de modelos agroclimáticos que relacionan las distintas etapas fenológicas de la vid y evolución de madurez con la sumatoria térmica o grados días acumulados. De este modo, algunos autores han calculado los requerimientos de acumulación térmica necesarios para alcanzar los distintos estados fenológicos de la vid desde yema hinchada a cosecha. Amerine y Winkler (1974), usando la acumulación de grados día con umbral mínimo de crecimiento de 10 °C, formularon recomendaciones para el crecimiento de cultivares de uva para vino en California desde valles costeros fríos a desiertos interiores calurosos. De esta manera realizaron una zonificación climática basada en acumulación térmica o días grado requeridos por los distintos cultivares de vid para vino. Por otro lado, Williams *et al.* (1985) formularon modelos de predicción de la fenología en uva de mesa cv. Thompson Seedless, como una herramienta de apoyo para el manejo integrado de plagas y enfermedades; además implementaron modelos para predecir la evolución de sólidos solubles desde pinta a madurez, con el objeto de evaluar calidad y programar la cosecha en los distintos cuarteles.

El objetivo de esta investigación fue desarrollar modelos predictivos de fenología y evolución de madurez en vid para vino, cultivares Cabernet Sauvignon y Chardonnay, en la zona de Talca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para desarrollar los modelos predictivos de fenología y evolución de madurez en vid vinífera (*Vitis vinifera*) se realizó un estudio en un viñedo ubicado en el fundo "La Oriental" (35°27' lat. Sur y 71°37' long. Oeste) durante la temporada 1998/99. Para esto se efectuaron las siguientes mediciones: número de hojas, largo de brotes, diámetro de bayas, sólidos solubles, acidez total y pH en los cultivares Cabernet Sauvignon y Chardonnay (Coombe, 1995; Lozano, 2000). El detalle de la serie de suelo, superficie, año de plantación, vigor, sistema de conducción y distancia de plantación para cada variedad se presenta en el Cuadro 1.

El clima de la localidad corresponde al tipo mediterráneo subhúmedo, con un período libre de heladas de 9 a 10 meses, una pluviometría anual media de 734 mm, y una acumulación térmica que fluctúa entre 1.550 y 1.700 grados días acumulados (GDA) durante el período de crecimiento de la vid. La estación seca va de octubre a marzo, con un déficit hídrico de 733 mm; la precipitación en los meses cálidos alcanza los 29 mm. El suelo donde se ubica el predio "La Oriental" pertenece a las series Talca (orden Alfisol) y San Rafael (orden Mollisols) (CIREN, 1997). La serie Talca se caracteriza por ser un suelo sedimentario de textura franca a franco-arcillosa y moderadamente profundo (50-90 cm), con ligeras limitaciones por drenaje dificultoso. La serie San Rafael es un suelo sedimentario de textura franco-arcillosa, moderadamente profundo (50-90 cm), posee drenaje pobre y lenta permeabilidad (CIREN, 1997).

Para determinar el vigor en cada cuartel se midió el número de capas de hojas (NCH), considerando vigor alto un dosel de $NCH > 3$ y vigor bajo con

Cuadro 1. Características de los siete cuarteles evaluados cvs. Cabernet Sauvignon y Chardonnay
Table 1. Characteristics of seven evaluated vineyards cvs. Cabernet Sauvignon y Chardonnay

Cultivar	Serie de suelo (Orden)	Superficie (ha)	Año de plantación	Vigor	Sistema de conducción	Distancia de plantación (m)
Cabernet-Sauvignon	Talca (Alfisol)	6,1	1952	Bajo	Scott-Henry	3,2 - 1,2
	Talca (Alfisol)	11,3	1952	Bajo	Espaldera simple	3,2 - 1,2
	Talca (Alfisol)	4,7	1978	Bajo	Parronal	4 - 4
	Talca (Alfisol)	1,7	1990	Bajo	Scott-Henry	2,9 - 1,2
	Talca (Alfisol)	6,6	1992	Bajo	Scott-Henry	2,9 - 1
Chardonnay	San Rafael (Mollisols)	1,8	1991	Bajo	Scott-Henry	2,9 - 1,2
	Talca (Alfisol)	2,6	1992	Alto	Scott-Henry	2,9 - 1,2

un $NCH < 3$. Esto fue realizado usando el punto cuadrante, lo que permitió estimar el número de capas de hojas, espacios en el follaje y exposición de racimos (Smart y Robinson, 1991). Estas mediciones se realizaron desde el estado de pinta, con tres repeticiones de 20 inserciones para cada variedad.

Para desarrollar los modelos predictivos de fenología se relacionó la escala fenológica de Eichhorn y Lorenz modificada por Coombe (1995) (Cuadro 2) con los grados días acumulados (GDA), los cuales fueron calculados en base a la temperatura registrada, cada 15 min, por una estación meteorológica automática ubicada dentro del viñedo. El cálculo de los GDA se realizó desde brotación en adelante usando como temperatura base $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Morris *et al.*, 1980; Oliveira, 1998). Para los cultivares Cabernet Sauvignon y Chardonnay la brotación ocurrió el 20 de septiembre y el 10 de septiembre, respectivamente.

La escala de Eichhorn y Lorenz modificada por Coombe (1995) asigna un número a cada uno de los estados fenológicos de la vid, los que se determinan por observación directa y por mediciones de largo de brotes, número de hojas, diámetro de bayas y madurez. Esta escala numerada permite su utilización para la elaboración de modelos matemáticos donde los eventos fenológicos son incorporados como una variable numérica.

Las mediciones de fenología se realizaron semanalmente desde inicio de brotación hasta madurez de cosecha en todos los cuarteles. En cada cuarteles se escogió una hilera, de la cual se seleccionaron cinco plantas, marcando un brote por cada planta. Para determinar la evolución de la madurez, se correlacionaron independientemente los sólidos solubles, acidez total y pH (variables dependientes) con GDA (variable independiente). En cada cuarteles se realizaron muestreos al azar de bayas, en forma semanal, a partir del estado de pinta hasta madurez de cosecha. En cada

Cuadro 2. Sistema modificado de Eichhorn y Lorenz para determinar las etapas de crecimiento de la vid*
Table 2. Modified Eichhorn-Lorenz system for estimating grapevine growth stages*

Escala fenológica (EF)	Estado fenológico
1	Yema invernal
2	Yema hinchada
3	Yema algodonosa – lanosidad parda visible
4	Punta verde, primer tejido foliar visible
5	Roseta de puntas de hojas visible
7	Primera hoja separada de la punta del brote
9	2 a 3 hojas separadas; brotes de 2-4 cm de largo
11	4 hojas separadas
12	5 hojas separadas; brotes de 10 cm de largo; inflorescencia clara
13	6 hojas separadas
14	7 hojas separadas
15	8 hojas separadas, rápido crecimiento de brotes; flores en grupos compactos
16	10 hojas separadas
17	12 hojas separadas; inflorescencia desarrollada; flores separadas
18	14 hojas separadas; calíptro floral pasa de verde a verde pálido
19	Aproximadamente 16 hojas separadas; comienza floración (caída de primera calíptro floral)
20	10% caída de calíptro floral
21	30% Caída calíptro floral
23	17-20 hojas separadas; 50% caída de calíptro floral, plena floración
25	80% caída de calíptro floral
26	100% caída de calíptro floral
27	Cuaja; bayas jóvenes creciendo (> 2 mm de diámetro), racimo en ángulo recto respecto al brote
29	Bayas de 4 mm de diámetro; racimos tienden a inclinarse hacia abajo
31	Bayas tamaño guisante (7 mm de diámetro)
32	Racimo comienza a cerrarse, bayas tocándose
33	Bayas aún duras y verdes
34	Bayas comienzan a ablandarse y °Brix comienzan a aumentar
35	Bayas comienzan a colorearse y a ensanchar: Pinta
36	Bayas con valores intermedios de °Brix
37	Bayas aún no maduras
38	Bayas en madurez de cosecha (22 °Brix)
39	Bayas sobremaduras
41	Poscosecha; maduración del brote completa
43	Comienzo de caída de hojas
47	Fin de caída de hojas

*Fuente: Coombe (1995).

muestreo se efectuaron cuatro repeticiones por cada cuartel, recolectando 40 bayas por cada repetición (Lozano, 2000).

Para desarrollar los modelos predictivos de fenología, sólidos solubles y pH, se utilizó la ecuación monomolecular de Mitscherlich, la cual asume que el crecimiento es continuo y por lo tanto no existe punto de inflexión (Thornley y Johnson, 1990). En el caso de los modelos para la acidez total se utilizó una ecuación de tipo exponencial con pendiente negativa (O'Neil, 1991). Para analizar el grado de asociación entre las variables independientes y dependientes se usó el coeficiente de determinación (R^2), mientras que para determinar el grado de variabilidad de las predicciones de los modelos se utilizó la desviación estándar del error (DEE) entre los valores estimados y observados (Ortega-Farias *et al.*, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El coeficiente de determinación (R^2) y DEE se presentan en el Cuadro 3 para los modelos predictivos de fenología de los cultivares Cabernet Sauvignon (CS) y Chardonnay (Ch). En este cuadro se puede observar que existió un alto grado de asociación entre la escala fenológica y los GDA (base 10 °C), indicando que los modelos propuestos pueden ser una herramienta útil para

Cuadro 3. Análisis estadístico para los modelos predictivos de fenología cvs. Cabernet Sauvignon y Chardonnay

Table 3. Statistical analysis for predictive model of phenology cvs. Cabernet Sauvignon y Chardonnay

Cultivar	Escala fenológica	
	R^2	DEE
Cabernet Sauvignon	0,97	1,62
Chardonnay	0,93	2,21

R^2 : coeficiente de determinación.

DEE: desviación estándar del error.

predecir las etapas de desarrollo de la vid en la zona de Talca. Por otra lado, la DEE fue equivalente a 1,62 y 2,21 para las variedades CS y Ch, respectivamente, lo que indica que los modelos presentan una variabilidad en la predicción de 1 a 2 escalas fenológicas. El alto grado de ajuste entre la curva que describe la escala fenológica observada y estimada para las dos variedades se ilustra en la Figura 1. En esta figura se puede observar que los mayores errores fueron encontrados entre brotación y floración, con un buen ajuste desde pinta en adelante. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Williams *et al.* (1985) en la validación de un modelo para predecir fenología en la variedad de uva de mesa Thompson Seedless, donde se obtuvo un alto ajuste del modelo con respecto a los eventos fenológicos observados en terreno.

Por otra parte se puede apreciar que los requerimientos térmicos para llegar a madurez de cosecha fueron de 1.558 y 1.275 GDA para los cultivares CS y Ch, respectivamente. Esto significó que CS fuera cosechado el 26 de marzo y Ch el 19 de febrero, esto es 24 días antes que CS (Cuadro 4). Los resultados anteriores coinciden con Villaseca *et al.* (1986) para el caso de Cabernet Sauvignon donde se estimó una acumulación de 1.500 a 1.600 GDA para llegar a madurez de cosecha, pero difieren con el cultivar Chardonnay donde se observó un requerimiento térmico de 1.100 a 1.200 GDA.

En el Cuadro 5 se puede apreciar que los modelos predictivos de los sólidos solubles presentaron una excelente correlación en ambas variedades con un R^2 superior a 0,96. En la Figura 2 se presenta la evolución de los grados Brix en los dos cultivares, medidos a partir del estado de pinta hasta madurez de cosecha (22,4 y 22 °Brix para CS y Ch, respectivamente), donde se puede observar que el incremento de sólidos solubles comienza a partir del estado de pinta con 5 a 6 °Brix para los dos cultivares. Además se encontró un rápido incremento hasta aproximadamente los 15 °Brix, a partir de los cuales se hace cada vez más lenta la acumulación de sólidos solubles

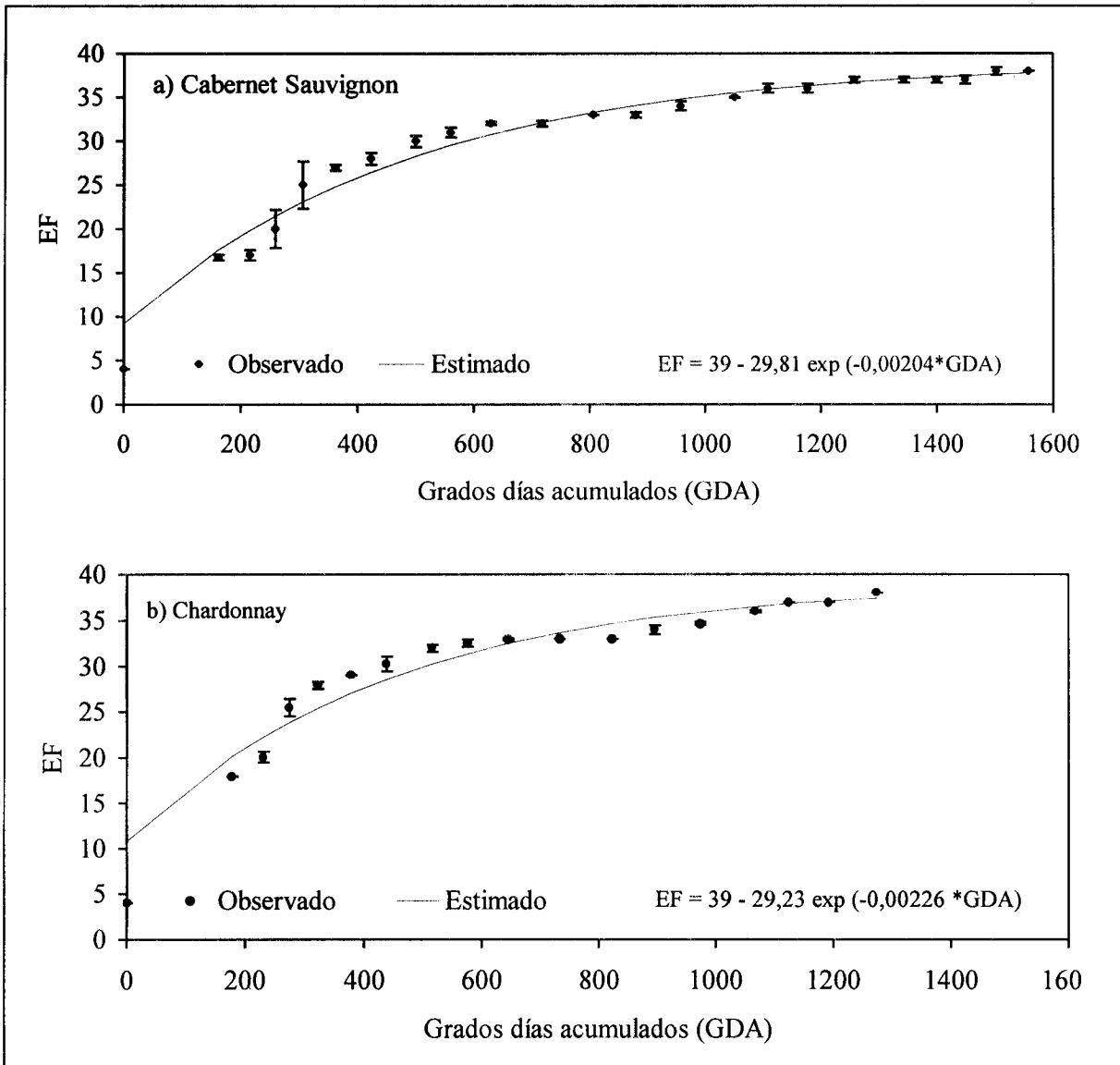


Figura 1. Valores estimados y observados de la escala fenológica (EF) en vid para vino.
Figure 1. Observed and estimated values of the phenological scale (EF) in grapevines.

hasta llegar a madurez de cosecha. El alto ajuste de los datos observados respecto del modelo se explicaría porque una vez iniciados los procesos fisiológicos de madurez de la uva, estos serían principalmente dependientes de la temperatura (Williams *et al.*, 1985), lo que en este caso se expresa como acumulación térmica o GDA.

En relación a la acidez total se puede observar que los modelos predictivos presentaron un R^2

equivalente a 0,92 y 0,88 para CS y Ch, respectivamente. El grado de ajuste se ilustra en la Figura 3, donde se puede apreciar la evolución de la acidez total en la baya desde el estado de pinta a madurez de cosecha. La acidez total, expresada en gramos de ácido sulfúrico por litro ($g L^{-1}$), disminuye con mayor rapidez desde los 15-25 $g L^{-1}$ hasta los 5 $g L^{-1}$; a partir de éstos la disminución en la acidez se hace más lenta en ambos cultivares. Finalmente, el modelo predic-

Cuadro 4. Sólidos solubles (SS), acidez total (AT), pH y rendimientos obtenidos en cosecha cvs. Cabernet Sauvignon y Chardonnay**Table 4. Soluble solids (SS), total acidity (AT), pH and yields obtained at harvest cvs. Cabernet Sauvignon and Chardonnay**

Cultivar	Fecha	Grados día (base 10°C)	°Brix	Acidez total (g L ⁻¹ H ₂ SO ₄)	pH	Rendimiento kg ha ⁻¹
Cabernet Sauvignon	26/03/99	1.558	22,4	4,92	3,28	7.503
Chardonnay	19/02/99	1.275	22,0	4,04	3,31	8.457

Cuadro 5. Análisis estadístico para los modelos predictivos de sólidos solubles (°Brix), acidez total y pH cvs. Cabernet Sauvignon y Chardonnay**Table 5. Statistical analysis of predictive models for soluble solids, total acidity and pH cvs. Cabernet Sauvignon and Chardonnay**

Cultivar	Sólidos solubles		Acidez total		pH	
	R ²	DEE (°Brix)	R ²	DEE (g L ⁻¹ H ₂ SO ₄)	R ²	DEE
Cabernet Sauvignon	0,99	0,44	0,92	2,03	0,71	0,18
Chardonnay	0,96	0,76	0,88	1,99	0,94	0,09

R²: coeficiente de determinación.

DEE: desviación estándar del error.

tivo de pH para el cultivar Ch presentó una excelente correlación ($R^2 = 0,94$), pero el modelo para CS presentó el peor ajuste del estudio con un R^2 equivalente a 0,71. En la Figura 4 se puede observar que el modelo propuesto para CS presenta un mal ajuste con respecto de los datos observados en el rango de pH que va entre 2,5 y 3,0.

CONCLUSIONES

Los modelos planteados en esta investigación poseen altos coeficientes de determinación (R^2)

tanto para el caso de la evolución de fenología, como de los sólidos solubles, acidez total y pH. En todos los casos los R^2 resultaron altamente significativos y mayores a 0,9, excepto en el caso del pH para el cultivar Cabernet Sauvignon donde se obtuvo un R^2 equivalente a 0,71. Estos resultados sugieren que los modelos desarrollados en función de los días grados acumulados (base 10 °C) pueden ser una herramienta útil para predecir la fenología y evolución de la madurez de bayas en la zona de Talca.

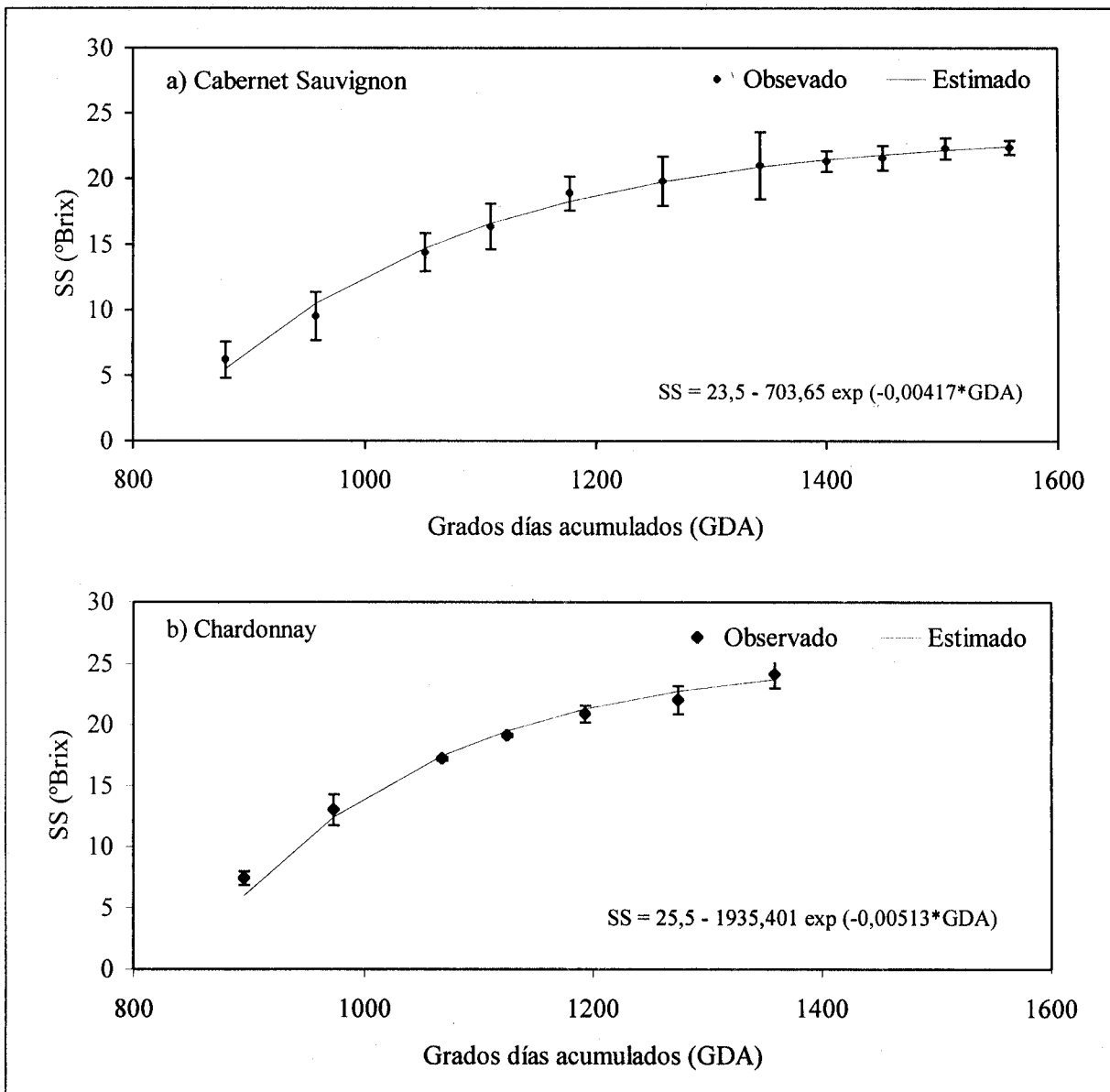


Figura 2. Valores estimados y observados de los sólidos solubles (SS) en vid para vino.
 Figure 2. Observed and estimated values of soluble solids (SS) in grapevines.

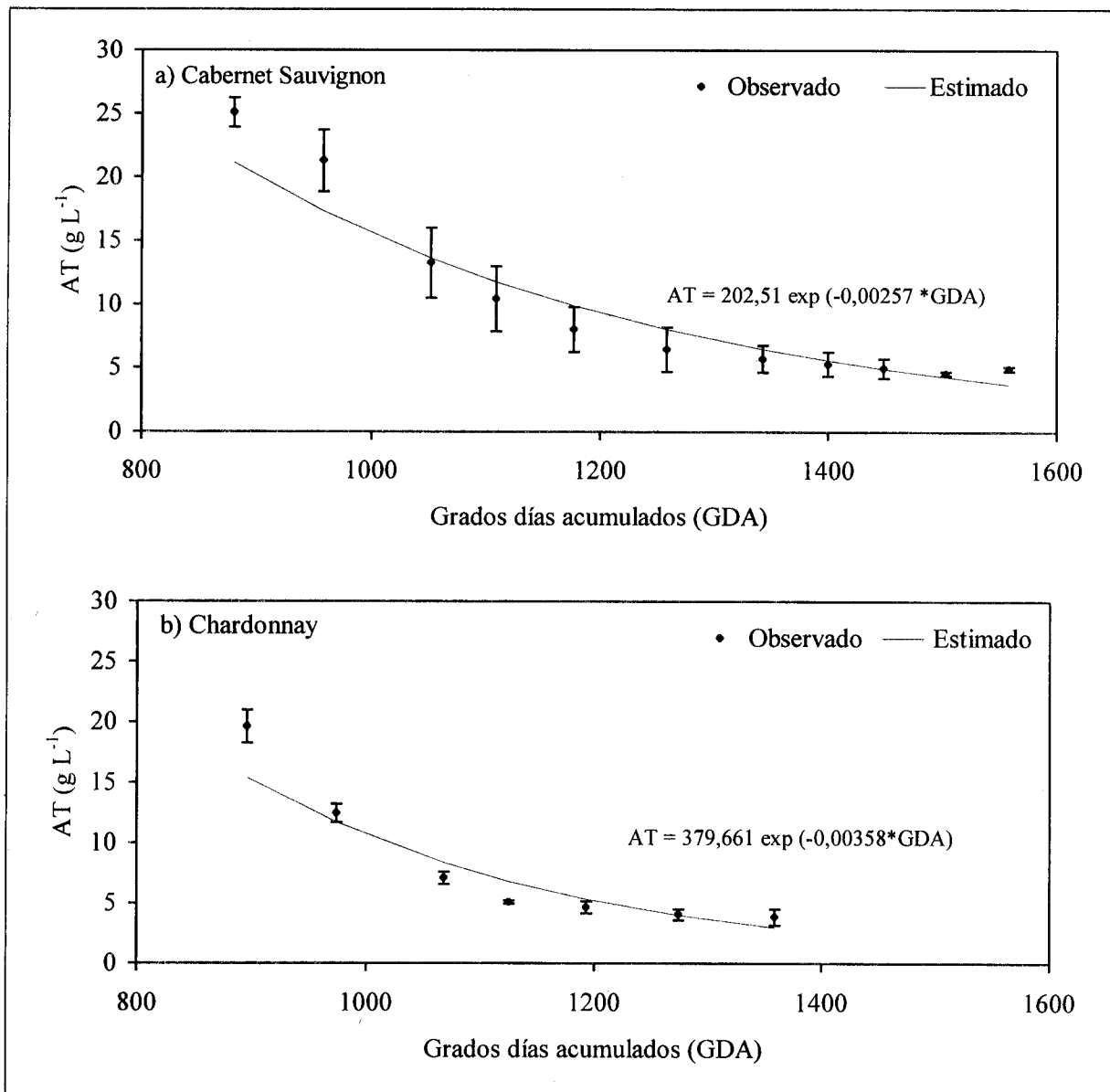


Figura 3. Valores estimados y observados de acidez total (AT) en vid para vino.
Figure 3. Observed and estimated values of total acidity (AT) in grapevines.

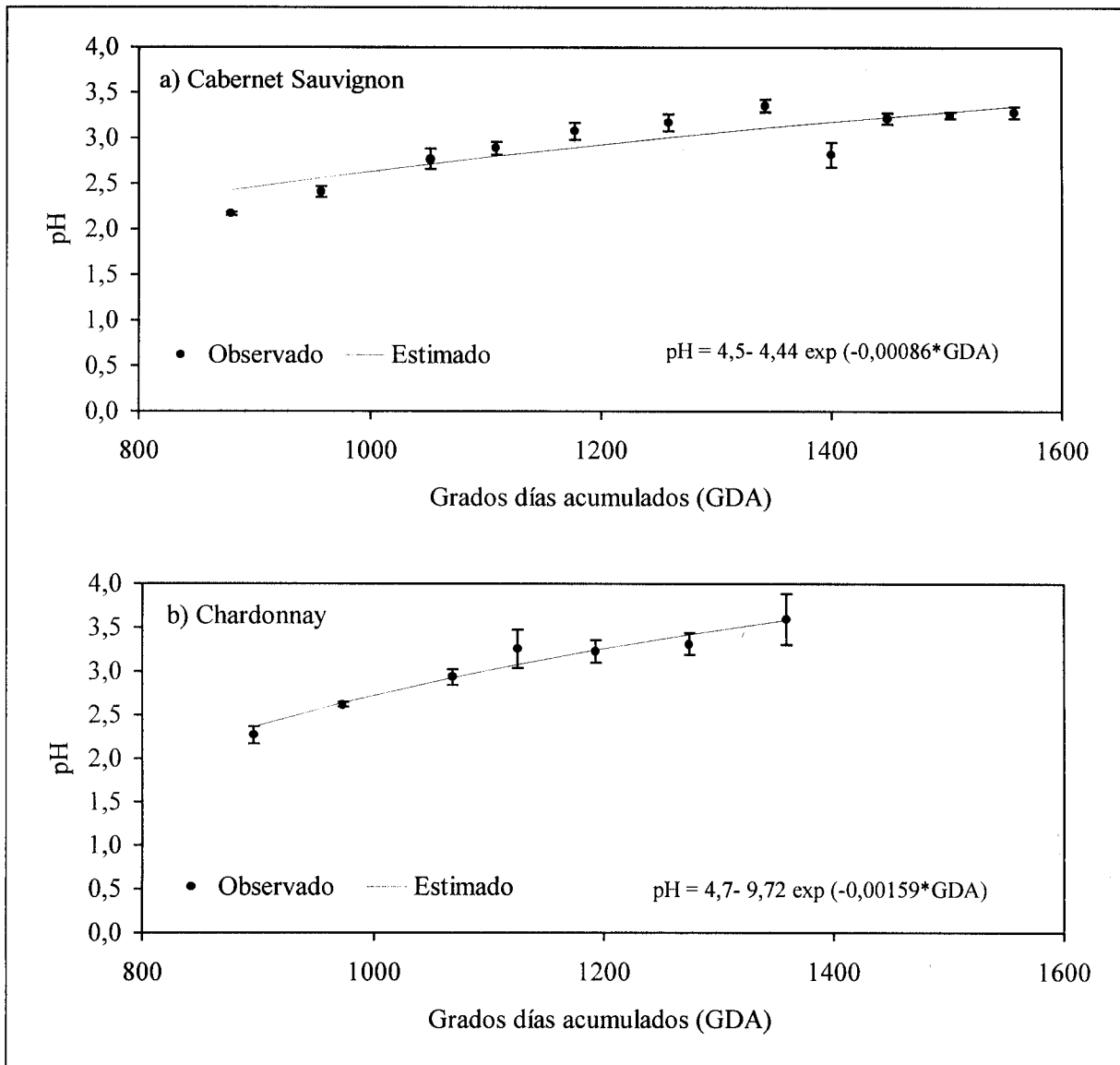


Figura 4. Valores estimados y observados de pH en vid para vino.
Figure 4. Observed and estimated values of pH in grapevines.

LITERATURA CITADA

- Amerine, M.A., and A.J. Winkler. 1974. Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia* 5:493-675.
- CIREN. 1997. Descripciones de suelos, materiales y símbolos: Estudio Agrológico VII Región. Vol. 2. 624 p. Centro de Investigación de Recursos Naturales, Santiago, Chile.
- Coombe, B.G. 1995. Growth stages of the grapevine. *Aust. J. Grape and Wine Res.* 1:100-110.
- Lozano, P. 2000. Modelos de predicción de fenología y evolución de madurez en función de grados día, en cuatro cultivares de vid (*Vitis vinifera* L.). 34 p. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Talca, Escuela de Agronomía, Talca, Chile.
- Morris, J.R., D.L. Cawthon, S.E. Spayd, R.D. May, and D.R. Bryan. 1980. Prediction of Concord grape maturation and sources of error. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 105:313-318.
- Mullins, M.G., A. Bouquet, and L.E. Williams. 1992. *Biology of the grapevine*. 239 p. Cambridge University, New York, USA.
- O'Neil, P. 1991. *Advanced engineering mathematics*. 1454 p. Wadsworth Publishing Company, Belmont, California, USA.
- Oliveira, M. 1998. Calculation of budbreak and flowering base temperatures for *Vitis vinifera* cv. Touriga Francesa in the Douro Region of Portugal. *Am. J. Enol. Vitic.* 49:74-78.
- Ortega-Farías, S., R. Cuenca, and M. Ek. 1996. Daytime variation of sensible heat flux estimated by the bulk aerodynamic method for a grass canopy. *Agric. For. Meteorol.* 81:131-143.
- Smart, R., and M. Robinson. 1991. *Sunlight into wine: a handbook for winegrape canopy management*. 88 p. Underdale S. A., Australia.
- Thornley, J., and I. Johnson. 1990. *Plant and crop modelling*. 669 p. Oxford University Press, New York, USA.
- Villaseca, S., R. Novoa, e I. Muñoz. 1986. Fenología y sumas de temperatura en 24 variedades de vid. *Agricultura Técnica (Chile)* 46:63-67.
- Wilson, L.T., and W.W. Barnett. 1983. Degree-days: an aid in crop and pest management. *Calif. Agric.* 37:1-2, 4-6.
- 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.