

ELABORACIÓN DE UNA TABLA PREDICTIVA DE DIÁMETRO DE MANZANAS CV. GRANNY SMITH USANDO LOS GRADOS DÍAS ACUMULADOS¹

Elaboration of a predictive table of apple diameter cv. Granny Smith using growing degree days¹

Samuel Ortega-Farías^{2*}, Luis Flores² y Lorenzo León²

A B S T R A C T

A study was performed in three orchards of San Fernando, VI Región, Chile, in order to develop a predictive table of apple (*Malus domestica* Borkh.) size using a logistical equation, whose main variable was accumulated degree days (GDA). To this end, data were collected on fruit equatorial diameter and air temperature from the 1989/90 and 1995/96 seasons in three apple orchards cv. Granny Smith. Sampling was carried out from 80 GDA until harvest, selecting 5 trees in each orchard, in which 40 fruit/tree were chosen, covering all the size ranges, at a height approximately 1.0 to 2.0 meters above the ground. At harvest, the evaluated fruit was grouped according to four ranges of diameter (63-68, 69-74, 75-80, and 81-86 mm), to develop the logistic growth models as a function of GDA. The results of this study indicated that the implemented models were able to estimate apple sizes with a coefficient of determination (r^2), absolute error (Ea) and standard error of estimate (SEE) ranging from 0.91 to 0.94; 5.8 and 6.7%; and 3.0 to 3.6 mm, respectively. Based on these statistical results a predictive table able to predict apple size as a function of GDA was constructed, which presented an Ea of 5% starting at 600 GDA.

Key words: logistic model, fruit size, apple growth, pome fruit, *Malus domestica*.

R E S U M E N

Se desarrolló un estudio en tres huertos de la zona de San Fernando, VI Región, Chile, para elaborar una tabla de pronóstico de diámetro de manzanas (*Malus domestica* Borkh.) utilizando la ecuación logística, cuya variable de entrada fueron los grados días acumulados (GDA). Para ello, se recolectaron datos de diámetro ecuatorial de fruto y temperatura del aire entre las temporadas 1989/90 y 1995/96 en tres huertos de manzanos cv. Granny Smith. El muestreo de frutos se realizó a partir de los 80 GDA y hasta la cosecha, seleccionando en cada huerto 5 árboles, en los cuales se marcaron 40 frutos/árbol, cubriendo todos los rangos de tamaño, a una altura aproximada de 1,0 a 2,0 m desde la superficie del suelo. A la cosecha, los frutos evaluados fueron agrupados según cuatro rangos de diámetro (63-68, 69-74, 75-80 y 81-86 mm) para desarrollar los modelos de crecimiento logístico en función de los GDA. Los resultados de este estudio indican que los modelos implementados presentaron un coeficiente de determinación (r^2), error absoluto (Ea) y desviación estándar del error (DEE) que fluctuaron entre 0,91 y 0,94; 5,8 y 6,7%; y 3,0 y 3,6 mm, respectivamente. En base a estos resultados estadísticos se construyó una tabla predictiva de tamaño de manzanas en función de los GDA, que presenta un Ea menor al 5% a partir de los 600 GDA.

Palabras clave: modelo logístico, tamaño de fruto, crecimiento de manzana, pomáceas, *Malus domestica*.

¹Recepción de originales: 28 de mayo de 2001.

Proyecto de investigación financiado por el Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología y Riego (CITRA).

²Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias, Casilla 747, Talca, Chile. E-mail: sortega@pehuenche.otalca.cl

*Autor para correspondencia.

INTRODUCCIÓN

Considerando la alta producción y exportación chilena de manzanas, y las mayores exigencias en los mercados internacionales en cuanto a calidad, es necesario pronosticar con anterioridad a la cosecha el tamaño final de la fruta, ya que esta variable define en gran medida el precio al cual se transa la fruta y su mercado de destino. Debido a esto, las tablas predictivas de calibre pueden constituirse, para la industria, en una herramienta útil para la planificación de prácticas culturales (raleo por ejemplo), tendientes a obtener frutos del tamaño requerido por el mercado (Bramardi *et al.*, 1997); además, ayudaría a programar las cosechas y el aprovisionamiento de materiales de embalaje del tamaño apropiado (Garritz *et al.*, 1993; Ortega-Farías *et al.*, 1998).

Al respecto, se han desarrollado tablas que estiman el crecimiento en diámetro de manzanas a la cosecha, en base a los días después de plena floración (DDPF). Estas tablas han sido generadas a partir de distintos modelos de crecimiento de frutos, donde destacan los del tipo polinómico (Niño de Zepeda, 1987), logístico (Garritz *et al.*, 1993; Bramardi *et al.*, 1997; Ortega-Farías *et al.*, 1997a; Ortega-Farías *et al.*, 1998) y logarítmicos (Bajter *et al.*, 1957). Sin embargo, estos modelos de crecimiento pueden presentar problemas de precisión en el pronóstico de los calibres previo a la cosecha, pues no consideran en sus formulaciones las variables climáticas que condicionan la tasa de crecimiento del fruto. Al respecto, Lakso *et al.* (1995) indicaron que el crecimiento potencial de las manzanas está fuertemente condicionado por la temperatura del aire, que depende del nivel de radiación solar interceptado por los árboles en el huerto. Esto sugiere que el desarrollo del fruto requiere una cierta cantidad de calor acumulado en el tiempo, debido a que la temperatura ambiental regula los procesos fisiológicos que intervienen en el crecimiento y desarrollo de la planta (Barceló *et al.*, 1990). Esta cantidad de calor acumulado en el tiempo, que es específico para cada etapa de crecimiento de la planta, se define como tiempo

fisiológico y es cuantificada a través de los grados días acumulados (GDA) (Zalom *et al.*, 1983).

En nuestro país no existe información sobre metodologías para la construcción de tablas de predicción de calibre de manzanas con anterioridad a la cosecha, a partir de modelos que simulen el crecimiento de las manzanas en función del tiempo fisiológico. En relación a lo anterior, la presente investigación tiene por objetivo desarrollar una tabla de pronóstico de diámetro final de manzanas (cv. Granny Smith), en función de los días grados acumulados en la zona de San Fernando, VI Región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para elaborar una tabla de pronóstico de cosecha de manzanas en función de los grados días acumulados (GDA, base 10 °C), se formularon modelos predictivos para cuatro rangos de diámetro ecuatorial de manzanas (Cuadro 1), utilizando el modelo de crecimiento logístico. Para ello se recolectaron datos de diámetro ecuatorial de fruto y temperatura del aire entre las temporadas 1989/90 y 1995/96 en tres huertos de manzanos (*Malus domestica* Borkh. cv. Granny Smith), ubicados en la zona de San Fernando, VI Región. En todos estos huertos se practicaron las tareas habituales en la región en cuanto a tratamientos sanitarios, fertilización, riego, etc. Los antecedentes generales y características edafoclimáticas de los huertos seleccionados en este estudio son presentados en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Rango de diámetro de manzanas cv. Granny Smith
Table 1. Range of apple cv. Granny Smith diameter

Calibre	Rango de diámetro (mm)
A	63-68
B	69-74
C	75-80
D	81-86

Cuadro 2. Antecedentes generales y características edafoclimáticas de los huertos seleccionados para este ensayo**Table 2. General information and soil-climate characteristics of the selected orchards included in the trial**

	Huertos de manzanos		
	La Paloma	Piemonte	Santa Rita
a) Característica de los huertos			
Ubicación geográfica	34°25' lat. Sur; 71°00' long. Oeste	34°35' lat. Sur; 70°55' long. Oeste	34°30' lat. Sur; 70°35' long. Oeste
Edad árboles, años	21	20	22
Patrón	Franco	Franco	Franco
Distancia de plantación	6 x 6 m	6 x 6 m	6 x 6 m
Sistema de conducción	Eje modificado	Eje modificado	Eje modificado
Sistema de riego	Tendido	Tendido	Tendido
b) Condiciones climáticas			
Temperatura media anual, °C	13,6	12,8	12,8
Humedad relativa promedio	73	72	72
Grados días acumulados, temperatura base = 10 °C	1.658	1.605	1.585
Horas de frío (h), temperatura base = 7 °C	1.234	1.280	1.307
Precipitaciones, mm	753	780	810
c) Condiciones de suelo			
Serie	Antivero	Antivero	Puente Negro
Textura	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-arcilloso
Profundidad, cm	40-80	50-80	40-80

El muestreo de frutos se realizó seleccionando en cada huerto cinco árboles, en los cuales se marcaron 40 frutos/árbol, cubriendo el rango en tamaño de manzanas desde pequeñas a grandes. Los frutos estaban ubicados a una altura aproximada de 1,0 a 2,0 m desde la superficie del suelo (Ortega-Farías *et al.* 1997b). En cada temporada se evaluaron entre 150 a 200 frutos por huerto, debido a que algunos frutos se perdieron por caída prematura. Además, en 20 árboles por huerto durante cada temporada se realizaron mediciones del número total de frutos por árbol, y el área de sección transversal del tronco (ASTT) para evaluar la capacidad de carga frutal de los árboles en cada huerto (Cuadro 3).

Cuadro 3. Relación entre el número de frutos y el área de sección transversal del tronco (ASTT)
Table 3. Ratio between fruit number and trunk cross sectional area (ASTT)

Huerto	Relación entre número de frutos y ASTT (cm ²)	
	1994/95	1995/96
La Paloma	8,20 a*	9,00 a
Piedmonte	8,30 a	8,50 a
Santa Rita	8,50 a	9,00 a

*Valores con la misma letra en cada columna no presentan diferencias significativas entre los huertos (Duncan, P ≤ 0,05).

El diámetro ecuatorial de los frutos fue medido con un calibrómetro cada siete días a partir de los 80 GDA (30 días después de plena flor (DDPF)) y extendiéndose hasta cosecha (entre 1.100-1.250 GDA). A la cosecha, los frutos evaluados fueron agrupados según el rango de diámetros (Cuadro 1) para desarrollar las curvas de crecimiento en función de los GDA. Para esto se utilizó la ecuación de crecimiento logística, la cual describe de mejor forma la curva de crecimiento sigmoídea simple de las manzanas (Westwood, 1982; Ortega-Farías *et al.*, 1998). Esta curva se puede representar matemáticamente de la siguiente forma (Thornley y Johnson, 1990; Ortega-Farías y Flores, 1998):

$$D = \frac{A}{B + C - \exp(-\mu \cdot \text{GDA})} \quad (1)$$

donde: D = diámetro ecuatorial estimado (mm); m = parámetro empírico que expresa la tasa de crecimiento del fruto en función del tiempo fisiológico ($^{\circ}\text{C}^{-1}$); GDA = grados días acumulados ($^{\circ}\text{C}$); A, B y C = coeficientes empíricos de la ecuación. Por otro lado, el cálculo de los grados días acumulados fue realizado usando la siguiente expresión (González, 1995):

$$G = \frac{T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}} + T_{8:00} + T_{20:00}}{4} - T_{\text{umbral}} \quad (2)$$

donde: $T_{\text{máx}}$ = temperatura máxima diaria ($^{\circ}\text{C}$); $T_{\text{mín}}$ = temperatura mínima diaria ($^{\circ}\text{C}$); $T_{8:00}$ = temperatura medida a las 8:00 h ($^{\circ}\text{C}$); $T_{20:00}$ = temperatura medida a las 20:00 h; T_{umbral} = temperatura umbral inferior (10°C).

Para obtener los coeficientes empíricos A, B, C y coeficientes de determinación (r^2) se realizó un análisis de regresión entre los valores linealizados de la ecuación (1) para el período comprendido entre los 30 DDPF (80 GDA) y madurez comercial (1150 GDA a 1250 GDA). Durante este mismo período se evaluó la variabilidad y porcentaje de error de las predicciones a través de los siguientes indicadores:

$$\text{DEE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Doi} - \text{Dei})^2}{n - 2}} \quad (3)$$

$$\text{Ea} = \frac{(\text{Doi} - \text{Dei})}{\text{Doi}} \cdot 100 \quad (4)$$

donde DEE = desviación estándar del error (mm); Ea = error absoluto (%); Doi = diámetro ecuatorial observado (mm); Dei = diámetro ecuatorial estimado por el modelo logístico (mm); n = número de observaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El coeficiente de determinación (r^2), desviación estándar del error (DEE) y error absoluto (Ea) para cada rango de diámetro de frutos de manzanos se presentan en el Cuadro 4. Se puede observar que existió un buen grado de asociación entre el diámetro ecuatorial de la fruta y los GDA, donde el r^2 varió entre 0,91 y 0,94. Las curvas de crecimiento logísticas implementadas para los rangos A, B, C y D se ajustan bien a los diámetros de manzanas observados en los huertos, especialmente en la cosecha (Figura 1).

Cuadro 4. Coeficiente de determinación (r^2), desviación estándar del error (DEE) y error absoluto (Ea) de los modelos predictivos de diámetro de manzana cv. Granny Smith
Table 4. Coefficient of determination (r^2), standard error of estimates (DEE) and absolute relative error (Ea) for predictive models of apple cv. Granny Smith diameter

Calibre	r^2	DEE (mm)	Ea (%)
A (63-68 mm)	0,91	3,0	5,9
B (69-74 mm)	0,94	3,1	5,8
C (75-80 mm)	0,91	3,6	6,7
D (81-86 mm)	0,92	3,5	5,7

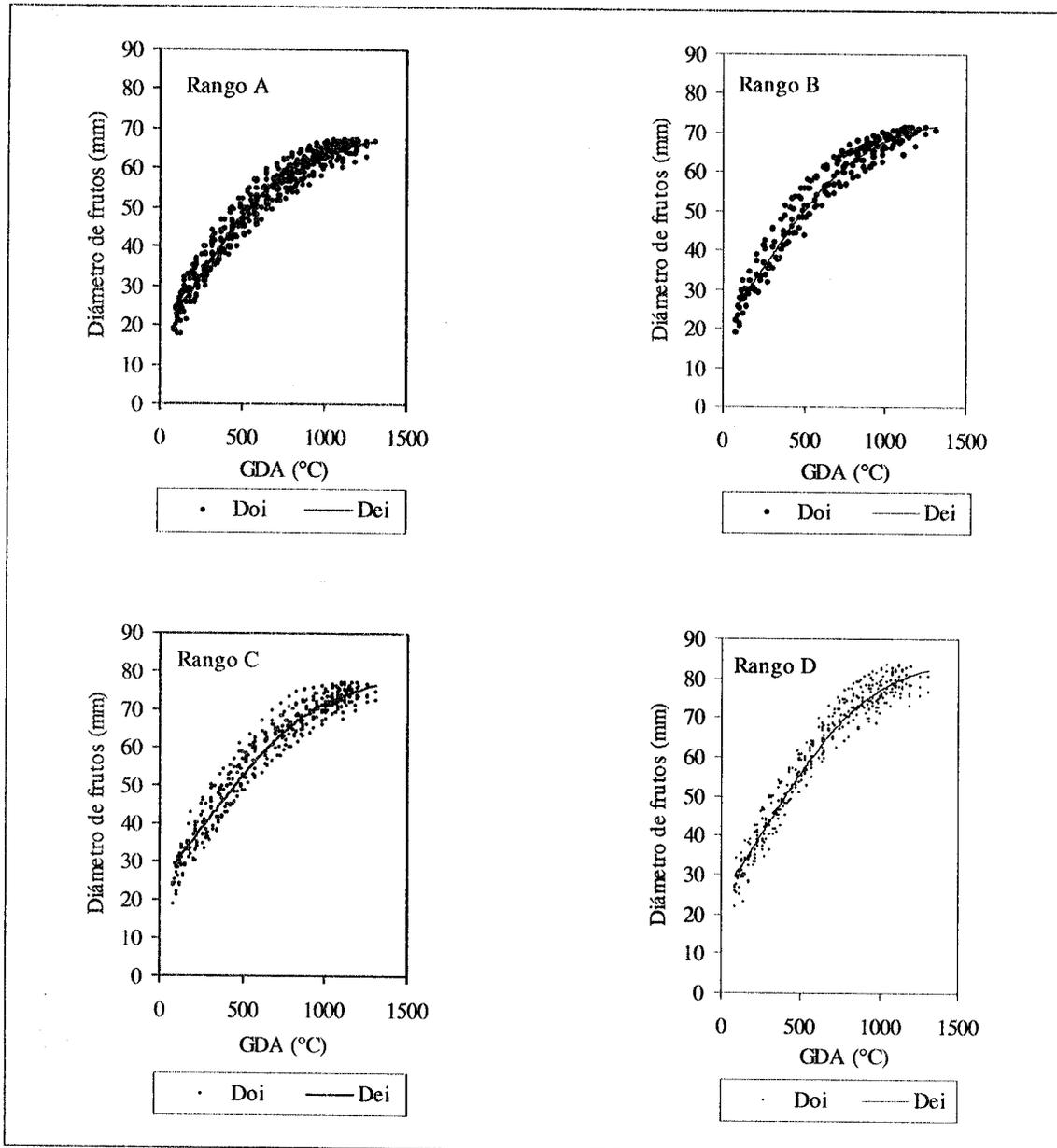


Figura 1. Comparación entre los diámetros de fruto observado (Doi) y estimado (Dei) de manzanas para los rangos A (63-68 mm), B (69-74 mm), C (75-80 mm) y D (81-86 mm).

Figure 1. Comparison between observed (Doi) and estimated (Dei) diameter of apple for ranges A (63-68 mm), B (69-74 mm), C (75-80 mm) and D (81-85 mm).

GDA: grados días acumulados.

Los mayores errores en los modelos fueron observados a principio de la temporada, lo que corresponde a una acumulación térmica entre 100 y 200 GDA (Figura 2). En este período, los modelos presentaron un error en la predicción de diámetro que varió entre 10 y 12,6%, siendo el valor más alto para el rango C. Sin embargo, a medida que avanzó la maduración de la fruta, el Ea disminuyó en todos los rangos llegando a ser menor al 5% a partir de los 600 GDA (Figura 2). En general, los modelos de los rangos A, B, C y D presentaron un error promedio para el período de crecimiento de la fruta que varió entre 5,7% y 6,7% (Cuadro 4). Dichos resultados concuerdan con lo expresado por Bajter *et al.* (1957) y Ortega-Farías *et al.* (1998), en cuanto a que es más difícil predecir el tamaño de frutos de menor diámetro, y que la exactitud de predicción se incrementa con el tiempo. Además, se debe tener presente que un error de medición en la primera etapa es proporcionalmente mayor en frutos de

menor tamaño que en un fruto más grande, debido a que el calibrómetro involucra un error de $\pm 0,5$ mm, lo que proporcionalmente en un fruto pequeño es considerable (Sears *et al.*, 1988). Esta misma tendencia fue observada en peras (*Pyrus communis* cv. Packham's Triumph), donde el error de predicción del diámetro ecuatorial de frutos disminuyó desde 10% (80 DDPF) a menos del 3% en la cosecha (120 DDPF) (Ortega-Farías *et al.*, 1997b).

En este estudio se encontró que el modelo predictivo para el rango C presentó el mayor desajuste y mayor variabilidad en las predicciones ($r^2 = 0,91$ y DEE = 3,6 mm), mientras que el modelo elaborado para el rango B alcanzó la mayor bondad de ajuste ($r^2 = 0,94$ y DEE = 3,1 mm). En el caso del rango C, el mayor error (12,6%) del modelo fue encontrado al principio de las mediciones, lo que corresponde a una acumulación térmica entre 100 y 200 GDA. A

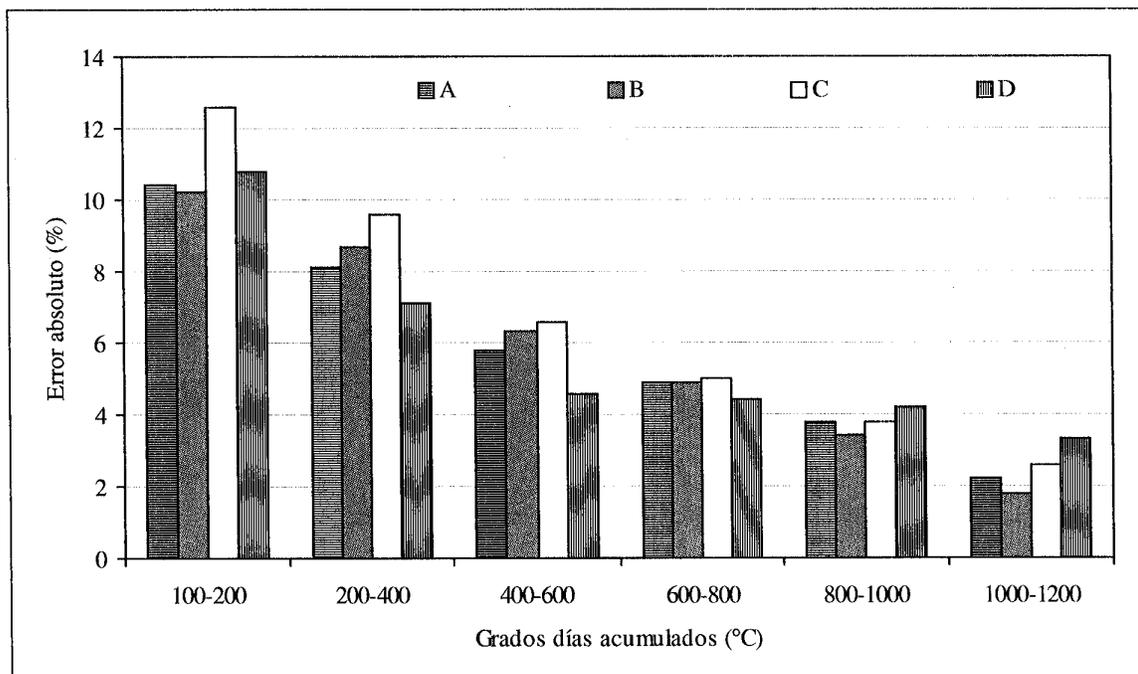


Figura 2. Error absoluto del modelo logístico para los rangos de diámetro A (63-68 mm), B (69-74 mm), C (75-80 mm) y D (81-86 mm).

Figure 2. Absolute error of the logistic model for the diameter ranges A (63-68 mm), B (69-74 mm), C (75-80 mm) and D (81-86 mm).

partir de los 800 GDA, el modelo presentó un error del 3% en las predicciones y un buen ajuste de los datos estimados con respecto a los diámetros observados en los huertos. Similar tendencia fue observada para el rango B, pero en este caso los errores en las estimaciones fueron menores a los encontrados para el rango C, durante todo el período de crecimiento de los frutos.

Para que las tablas predictivas de diámetro de manzanas puedan ser confiables, Tscherebilo (1990) indicó que las curvas de crecimiento de frutos deben presentar una DEE menor a 7,0 mm. Además, Westwood (1982) y Gil-Albert (1992) indicaron que el tamaño relativo de los frutos se conserva desde cuaja hasta la cosecha, lo que es la base para la construcción de tablas de pronóstico de cosecha. Tomando en cuenta lo anterior y los resultados encontrados en este estudio para los modelos desarrollados en cada rango de diámetro en el cv. Granny Smith, es posible elaborar una tabla para el pronóstico de cosecha, en función de los grados días acumulados para la zona de San Fernando, VI Región.

En el Cuadro 5 se presenta la curva de crecimiento para cada rango a partir de los 200 GDA y hasta los 1.300 GDA, en intervalos de 50 GDA. Es importante destacar que los modelos presentaron errores menores al 5% para los rangos A, B, C y D, cuando la fruta alcanzó un tamaño superior a los 52 mm, lo que se logró a partir de los 600 GDA (Figuras 1 y 2).

La tabla presentada en esta investigación debe ser considerada como una guía general, debido a que el crecimiento final de los frutos está afectado por múltiples factores (Westwood, 1982; Gil-Albert, 1992). La buena bondad de ajuste lograda en los modelos elaborados para cada rango de diámetro se debe a que los tres huertos seleccionados en este estudio presentaron condiciones similares en cuanto al manejo agronómico, clima, suelo, carga frutal y vigor. Al respecto, es importante indicar que las cargas frutales encontradas en los huertos, no fueron estadísticamente distintas, variando entre 8,3 a 9,0 frutos por cm²

de sección transversal de tronco (Cuadro 3). Por lo anterior, la tabla predictiva de diámetro de frutos en función de los GDA debiera usarse sólo en aquellos huertos que presenten características similares a las observadas en los huertos seleccionados (Ortega-Farías *et al.*, 1997a). Para mejorar el grado de precisión en los pronósticos de diámetro de las manzanas, es fundamental calibrar los modelos desarrollados en este estudio para cada zona o localidad.

Cuadro 5. Tabla predictiva de diámetro de manzanas cv. Granny Smith en función de los grados días acumulados (GDA) (San Fernando, VI Región)

Table 5. Predictive table of apple cv. Granny Smith diameter, as a function of growing degree days (GDA) (San Fernando, VI Region)

GDA (°C)	63-68 (mm)	69-74 (mm)	75-80 (mm)	81-86 (mm)
200	29,62	32,61	35,59	36,82
250	32,78	35,65	38,52	40,05
300	35,96	38,70	41,45	43,31
350	39,10	41,73	44,38	46,57
400	42,16	44,70	47,25	49,78
450	45,09	47,56	50,05	52,93
500	47,84	50,30	52,75	55,96
550	50,39	52,88	55,33	58,86
600	52,73	55,28	57,76	61,60
650	54,83	57,49	60,04	64,16
700	56,70	59,51	62,16	66,55
750	58,36	61,34	64,12	68,74
800	59,81	62,98	65,91	70,74
850	61,06	64,44	67,53	72,55
900	62,15	65,73	69,00	74,19
950	63,07	66,87	70,32	75,65
1.000	63,86	67,87	71,51	76,96
1.050	64,53	68,73	72,56	78,12
1.100	65,10	69,49	73,49	79,14
1.150	65,58	70,14	74,32	80,04
1.200	65,98	70,70	75,05	80,83
1.250	66,32	71,18	75,69	81,52
1.300	66,60	71,60	76,25	82,12

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio indican que existió una buena correlación entre el diámetro de manzanas y los grados días acumulados, con un coeficiente de determinación (r^2) que varió entre 0,91 y 0,94. Además, los modelos predictivos presentaron un error absoluto y desviación estándar del error que fluctuaron entre 5,8 y 6,7%, y 3,0 y 3,6 mm, respectivamente. Estos resultados sugieren que es posible construir una tabla de

predicción de tamaño de manzanas tomando como base la ecuación logística, cuya variable de entrada pueden ser los grados días acumulados. Sin embargo, esta tabla debe tomarse como una guía general y tiene que ser ajustada a las condiciones específicas de suelo, clima, variedad y manejo agronómico de cada distrito agroclimático. Además, es importante destacar que los procedimientos y técnicas de muestreo son determinantes en la precisión de la predicción del calibre final.

LITERATURA CITADA

- Bajter, L.P., H.D. Billingsley, M.N. Westwood, and B.L. Rogers. 1957. Predicting harvest size of apples at different times during the growing season. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.* 70:46-57.
- Barceló, J., R. Gregorio, G. Sabater, y R. Sánchez. 1990. *Fisiología vegetal*. 823 p. Pirámide S.A., Madrid, España.
- Bramardi, S.J., H.R. Castro, and M.L. Zanelli. 1997. Fruit growth pattern of pear cv. Bartlett and Packham's Triumph to improve hand thinning. *Acta Hortic.* 475:283-293.
- Garritz, P.I., A.M. Bartusch, y O.A. Álvarez. 1993. Crecimiento estacional de frutos de manzano cv. 'Granny Smith'. *AGRO SUR* 21:136-141.
- Gil-Albert, F. 1992. *La Ecología del Árbol Frutal*. Vol. 2. 237 p. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- González, P. 1995. Influencia del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur en la acumulación de grados-días y horas de frío de la Región del Maule. *Rev. Frutícola* 16:27-35.
- Lakso, A.N., L.C. Grappadelli, J. Barnard, and C. Goffinet. 1995. An exponential model of the growth pattern of apple fruit. *J. Hortic. Sci.* 70:389-394.
- Niño de Zepeda, C. 1987. Investigación de curvas de crecimiento de manzanas. 13 p. CIREN-CORFO, Santiago, Chile.
- Ortega-Farías, S., L. Flores, y J. Retamales. 1997a. Elaboración de una tabla para predecir calibre de manzanas, variedad Red Spur. *Rev. Frutícola* 18:21-25.
- Ortega-Farías, S., S. Fuentes, and J. Retamales. 1997b. Models for predicting fruit diameter of Packham's Triumph pears. *Acta Hortic.* 475: 295-301.
- Ortega-Farías, S., L. Flores, y J. Retamales. 1998. Modelo logístico para predecir el crecimiento en diámetro de las manzanas (variedad Granny Smith). *Rev. Frutícola* 19:15-18.
- Ortega-Farías, S., and L. Flores. 1998. Models for predicting fruit diameter of apples using heat units. 23rd Conference on Agricultural and Forest Meteorology. Strand, J.F. and D. Goens, D. (eds.). American Meteorological Society 1:66-68.
- Sears, F., M. Zemansky, y H. Young. 1988. *Física Universitaria*. 1042 p. 6^a ed. Addison-Wesley Iberoamericana, Wilmington, EE.UU.
- Thornley, M., and I. Johnson. 1990. *Plant and crop modelling: A mathematical approach to plant and crop physiology*. 350 p. Clarendon Press, Oxford, USA.

Tscherebilo, A. 1990. Elaboración de un modelo de fenología y crecimiento de frutos de manzanos (*Malus pumila* Mill.). 109 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.

Westwood, M. 1982. Fruticultura de zonas templadas. 461 p. Mundi-Prensa, Madrid, España.

Zalom, F.G., P.B. Goodell, L.T. Wilson, W.W. Barnett, and W.J. Bentley. 1983. Degree-days: The calculation and use of heat units in pest management. 10 p. Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, Davis, USA.