

Aptitud de modelos de temperaturas y de tiempo térmico en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*)

Francescangeli, N; M. I. Stoppani y H. R. Martí

RESUMEN

Para comparar la capacidad de predecir ciclo, rendimiento comercial y diámetro de la pella de modelos de tiempo térmico con modelos basados en temperaturas; se analizaron los rangos térmicos registrados en 11 siembras del híbrido Legacy. Se establecieron 49 combinaciones de temperaturas máximas y mínimas y siete temperaturas mínimas sin umbral superior, para calcular días grado a través del programa Degree Day Utility (DDU) 2.3. Se realizó la regresión de ciclo, rendimiento y diámetro con los días grado y con las temperaturas. Los modelos de tiempo térmico con mayor coeficiente de determinación para rendimiento ($R^2=0,56$) y diámetro ($R^2=0,53$) utilizaron los días grado acumulados desde transplante a diferenciación floral, y los umbrales 10-21 °C y 10-24 °C, respectivamente. Para ciclo, el mejor modelo de tiempo térmico ($R^2=0,51$) incluyó los días grado acumulados entre diferenciación floral y madurez y los umbrales 7-23 °C. Los modelos que utilizaron las temperaturas sin transformar estimaron con mayor precisión los parámetros evaluados que los modelos de tiempo térmico. Los que incluyeron temperaturas medias tuvieron los mayores R^2 : para rendimiento ($R^2=0,60$) y diámetro ($R^2=0,72$) participaron los valores medios registrados entre transplante y madurez y para ciclo ($R^2=0,90$) los observados entre diferenciación floral y madurez.

Palabras clave: brócoli, tiempo térmico, temperatura, ciclo, rendimiento, diámetro de pella.

Francescangeli, N; M. I. Stoppani and H. R. Martí, 2004. Ability of temperature and thermal time models in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). Agriscientia XXI (2): 51-57

SUMMARY

In order to compare the ability of thermal time models based on degree day vs.

Fecha de recepción: 20/09/04; fecha de aceptación: 30/11/04

temperature models to predict cycle, commercial yield and spear diameter; we studied temperature ranges in 11 sowings of the hybrid Legacy. We set up seven minimum temperatures without upper thresholds and 49 minimum and maximum temperature combinations to calculate degree day through the software Degree Day Utility (DDU) 2.3. Cycle, yield and diameter were regressed on degree day and on temperatures. The thermal time models with the highest R^2 included degree day in the period transplant-flower differentiation, and the thresholds 10-21° C for yield ($R^2=0.56$) and 10-24° C for diameter ($R^2=0.53$). The best thermal time model to explain the variability in cycle ($R^2=0.51$) included degree day in the period flower differentiation-maturity and the thresholds 7-23° C. The parameters were more precisely estimated by temperature models than by thermal time models. Those including medium temperatures had the largest R^2 . Yield ($R^2=0.60$) and diameter ($R^2=0.72$) models included medium temperatures in the period transplant-maturity; and cycle ($R^2=0.90$) models included medium temperatures in the period flower differentiation-maturity.

Key words: broccoli, thermal time, temperature, growth cycle, yield, spear diameter.

N. Francescangeli y H. R. Martí. EEA INTA San Pedro, CC 43, 2930 San Pedro, Argentina. M. I. Stoppani. 25 de Mayo 75, 2930 San Pedro, Argentina. (nfrances@correo.inta.gov.ar)

Abreviaturas: TT: tiempo térmico; dg: días grado; EmMa: emergencia - madurez comercial; EmDi: emergencia - diferenciación floral; DiMa: diferenciación floral - madurez comercial; ciclo: duración del ciclo; rendimiento: rendimiento comercial; diámetro: diámetro de la pella; R^2 : coeficiente de determinación.

INTRODUCCIÓN

Uno de los factores determinantes de la producción de brócoli es la temperatura (Dufault, 1996, 1997; Grevsen, 1998). Se lo considera un cultivo termo-dependiente durante su crecimiento y desarrollo (González Benavente *et al.*, 1993), los que pueden darse dentro del rango 4 a 30° C, con óptimos, variables según los cultivares, entre 16 y 18° C (Chaux & Foury, 1994). El brócoli soporta heladas débiles sólo en estado juvenil, y el crecimiento adecuado de una pella de alta calidad se logra entre 14 y 16° C (Limongelli, 1993; Chaux & Foury, 1994; Wurr *et al.*, 1996). Las bajas temperaturas inciden en la formación prematura de la pella (Miller, 1985; Miller *et al.*, 1985; Teitel *et al.*, 1993) y las fechas de plantación influyen sobre las características de la pella y la duración del ciclo, debido a las variaciones térmicas producidas entre ellas (Montoro de Antonio

et al., 1992).

Algunos modelos que utilizan temperaturas para predecir parámetros relacionados con la calidad comercial (Dufault, 1996) y combinaciones de TT para estimar la duración del ciclo (Dufault, 1997; Tan *et al.*, 2000a) han sido validados con éxito. Los criterios sobre los que se basan difieren: utilización de la misma temperatura base desde emergencia a cosecha (Marshall & Thompson, 1987; Titley, 1987; Tan *et al.*, 2000b), umbrales térmicos particulares para cada intervalo fenológico (Diputado & Nichols, 1989) y cumplimiento de una etapa de vernalización (Fellows *et al.*, 1997; Wien & Wurr, 1997).

Se han desarrollado modelos específicos para prever el momento de la diferenciación floral (Wurr *et al.*, 1995) y otros para estimar la fecha de cosecha desde la diferenciación floral (Wurr *et al.*, 1991). Sobre relaciones entre temperaturas y características cuantitativas de la pella existen pocas referencias. Grevsen (1998) propuso un modelo basado en temperaturas para estimar el diámetro de la pella, que no tuvo un buen ajuste para el híbrido Legacy en las condiciones de cultivo de la zona de San Pedro, donde se llevó a cabo el presente estudio (Francescangeli, 2004).

Este trabajo tuvo como objetivos: 1) la búsqueda de umbrales de temperaturas de aire en tres períodos de desarrollo: EmMa, EmDi y DiMa de brócoli, para utilizar en modelos TT que permitan predecir ciclo, rendimiento y diámetro y 2) comparar la capacidad de predicción de estas tres variables, entre modelos TT y los que utilizan temperaturas máximas, mínimas o medias sin transformar.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la Estación Experimental Agropecuaria INTA San Pedro (Lat: 33° 41' S Long: 59° 41' W), provincia de Buenos Aires, Argentina, entre los meses de mayo y agosto de los años 1999 y 2000, se hicieron 11 implantaciones de brócoli con el híbrido Legacy (Asgrow): cinco en invernadero y seis al aire libre, utilizando plantines de tamaño uniforme con tres hojas verdaderas, sobre suelo de características homogéneas (Tabla 1). En 2000 dos implantaciones de cultivos al aire libre se perdieron por un anegamiento accidental del lote.

El momento del trasplante se consideró como la *emergencia* del cultivo.

Se aplicaron riego por goteo y tratamientos de control de malezas, plagas y enfermedades recomendados en Argentina para la especie (Vecchio, 1995).

Para cada implantación, se tomaron a madurez registros de rendimiento, diámetro y ciclo sobre 15 plantas de cada una de tres parcelas de 7 m² (5 m x 1,4 m; 24 plantas) con un marco de plantación de

0,7 m x 0,4 m (3,5 plantas.m⁻²). Con un adquisidor automático de datos ETG Multirecorder-P, se obtuvieron a nivel del canopeo promedios horarios y valores máximos y mínimos diarios de temperaturas de aire.

Se consideró diferenciada la pella cuando, con la ayuda de una lupa de mano 20 X, se determinó que el diámetro del ápice había superado 0,49 mm (Wurr *et al.*, 1995). Se definió el estado de madurez por el tamaño, color y compacidad de la pella (Baron *et al.*, 1996).

Modelos utilizados

Analizados los rangos térmicos de las 11 fechas, para el cálculo de los tiempos térmicos o dg, se establecieron siete valores de temperaturas de aire mínimas, y 49 combinaciones de temperaturas de aire mínimas y máximas como umbrales para la aplicación del programa de uso libre Degree Day Utility (DDU), Versión 2.3 (Univ. of California, 1994) y sus procedimientos sin y con umbral superior, respectivamente.

Las temperaturas mínimas utilizadas sin umbrales superiores fueron: 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 °C. Las combinaciones que incluyeron umbrales inferiores y superiores se formaron con las mismas temperaturas mínimas y con los valores máximos: 18, 19, 20, 21, 22, 23 y 24 °C. El valor mínimo de 4 °C correspondió al límite inferior del rango térmico indicado para la especie por Chau & Foury (1994). Los valores inferiores a 10 y superiores a 18 °C incluyeron,

Tabla 1: Promedios de temperaturas de aire (°C) mínimas, máximas y medias, registrados en invernadero y al aire libre, en las distintas fechas de trasplante y etapas ⁽¹⁾ de desarrollo de los cultivos de brócoli.

| Fechas de implantación | Temperaturas mínimas | | | Temperaturas máximas | | | Temperaturas medias | | |
|------------------------|----------------------|------|------|----------------------|------|------|---------------------|------|------|
| | EmMa | EmDi | DiMa | EmMa | EmDi | DiMa | EmMa | EmDi | DiMa |
| Invernadero | | | | | | | | | |
| 11/05/99 | 6,9 | 7,7 | 6,1 | 23,4 | 25,1 | 21,6 | 15,1 | 16,4 | 13,9 |
| 23/06/99 | 7,6 | 6,9 | 8,3 | 24,1 | 22,0 | 26,2 | 15,8 | 14,4 | 17,2 |
| 30/06/99 | 9,5 | 8,5 | 10,5 | 27,7 | 28,0 | 27,5 | 18,6 | 18,2 | 19,0 |
| 19/05/00 | 6,9 | 8,7 | 5,2 | 24,2 | 26,6 | 22,0 | 15,5 | 14,7 | 11,6 |
| 20/06/00 | 9,7 | 8,8 | 12,6 | 28,6 | 31,5 | 29,4 | 19,1 | 20,1 | 21,0 |
| Aire libre | | | | | | | | | |
| 11/05/99 | 4,2 | 4,8 | 3,5 | 22,2 | 23,2 | 21,2 | 13,2 | 14,0 | 12,3 |
| 17/05/99 | 3,2 | 4,1 | 2,3 | 19,7 | 18,9 | 20,4 | 11,4 | 11,5 | 11,4 |
| 23/06/99 | 4,8 | 4,2 | 5,4 | 24,4 | 21,5 | 27,2 | 14,6 | 12,9 | 16,3 |
| 30/06/99 | 3,7 | 3,1 | 4,3 | 21,7 | 20,2 | 23,3 | 12,7 | 11,7 | 13,8 |
| 10/08/99 | 7,0 | 5,4 | 8,6 | 29,3 | 27,2 | 31,4 | 18,2 | 16,3 | 20,0 |
| 17/08/99 | 5,8 | 4,5 | 7,1 | 26,4 | 23,7 | 29,0 | 16,1 | 14,1 | 18,0 |

⁽¹⁾ EmDi: desde emergencia a diferenciación floral – DiMa: desde diferenciación floral a madurez comercial – EmMa: desde emergencia a madurez comercial

respectivamente, todas temperaturas mínimas y máximas medias computadas. El valor máximo de 24 °C representó el promedio de temperaturas máximas de todas las situaciones (24,3 °C) (Tabla 1).

Se realizó la regresión de los 3 parámetros indicados con los dg calculados por DDU y con los promedios de temperaturas máximas, mínimas o medias de los días integrantes de cada etapa del cultivo, por el procedimiento Regresión de SAS (SAS Inst., 1989). Los modelos basados en las temperaturas incluyeron sólo uno de los tres tipos de temperaturas, dada la imposibilidad de contener a los tres simultáneamente por la fuerte multicolinealidad detectada. Por la selección Stepwise (SAS Inst., 1989) se determinó si existían modelos basados en dg o en temperaturas con variables cuyo test de F resultara significativo al 15 %.

Se plantearon modelos de regresión de los tipos:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + e$$

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + e$$

para encontrar los mejores ajustes lineales y cuadráticos respectivamente; donde: y = parámetro productivo (rendimiento, diámetro o ciclo); x = dg determinados por DDU o temperaturas para el período fenológico considerado; $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = coeficientes de regresión; e = error experimental.

Los modelos TT se compararon con los de temperaturas de acuerdo a su coeficiente de determinación (R^2). Se consideró superior al modelo con mayor R^2 .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para las mismas fechas, las temperaturas del aire en invernadero fueron levemente más altas que al aire libre (Tabla 1) Para el período DiMa, los promedios de temperaturas mínimas aumentaron a medida que se atrasó la fecha de transplante y en ningún caso hubo registros por debajo de 4 °C.

Al aire libre, los promedios de temperaturas de aire mínimas estuvieron por debajo de 4 °C en algunas de las situaciones evaluadas: durante EmDi en uno de los trasplantes de junio y durante DiMa en los trasplantes de mayo (Tabla 1).

Los rendimientos, diámetros y ciclos registrados en las 11 fechas de plantación se presentan en la Tabla 2.

Modelos de regresión basados en el cálculo de tiempo térmico

En la Tabla 3 se presentan los mejores modelos de regresión seleccionados por Stepwise para cada uno de los períodos considerados, que vincularon rendimiento, diámetro y ciclo de Legacy con los dg calculados por DDU. Para los modelos con ma-

Tabla 2: Parámetros productivos evaluados en el híbrido de brócoli Legacy, en 5 fechas de implantación en invernadero y 6 fechas de implantación al aire libre.

| Ambiente | Fecha | Rendimiento Comercial (g.m ⁻²) | Diámetro de la pella (cm) | Ciclo (días) |
|-------------|----------|--|---------------------------|--------------|
| Invernadero | 11/05/99 | 8595 | 16,6 | 87,0 |
| | 23/06/99 | 8302 | 18,3 | 76,0 |
| | 30/06/99 | 15638 | 23,5 | 77,0 |
| | 19/05/00 | 8421 | 16,7 | 92,0 |
| | 20/06/00 | 8475 | 18,9 | 78,0 |
| Aire libre | 11/05/99 | 3869 | 14,5 | 91,5 |
| | 17/05/99 | 5407 | 15,6 | 92,0 |
| | 23/06/99 | 4476 | 15,8 | 84,5 |
| | 30/06/99 | 5691 | 15,4 | 85,0 |
| | 10/08/99 | 12935 | 21,3 | 80,0 |
| | 17/08/99 | 6357 | 17,1 | 78,0 |

Tabla 3: Modelos de regresión ⁽¹⁾ seleccionados por el método Stepwise que vinculan los parámetros productivos del híbrido de brócoli Legacy y los días grados (dg) calculados por DDU y sus umbrales de temperaturas. Para los modelos con mayores R^2 se indica el rango de dg en que se aplicaron.

| Variable | Modelos que incluyeron los dg acumulados durante EmDi | $\frac{R^2}{S}$ | Modelos que incluyeron los dg acumulados durante DiMa | $\frac{R^2}{S}$ | Modelos que incluyeron los dg acumulados durante EmMa | $\frac{R^2}{S}$ |
|-----------------------|--|-----------------|--|-----------------|---|-----------------|
| Rendimiento comercial | $y = 1645,70 + 0,118dg^2$ (124,8 a 294,15 dg) (10 -21 °C) | 0,56 7109,55 | $y = 3017,59 + 12,79dg$ (7°C - sin umbral superior) | 0,22 4831,75 | $y = 882,65 + 0,053dg^2$ (10 -18 °C) | 0,41 6080,57 |
| Diámetro de pella | $y = 13,23 + 0,000071dg^2$ (125,76 a 329,29 dg) (10 -24 °C) | 0,53 5,62 | - | - | $y = 11,49 + 0,000047dg^2$ (10 -18 °C) | 0,50 5,43 |
| Duración del ciclo | $Y = 108,88 - 0,0524dg$ (4 -24°C) | 0,35 11,35 | $y = 2,05 + 0,62dg - 0,01dg^2$ (203,87 a 385,73 dg) (7-23 °C) | 0,51 9,71 | $y = 94,36 - 0,000050dg^2$ (10 -24 °C) | 0,45 12,93 |

⁽¹⁾ Modelos significativos al 15% según la prueba de F; R^2 : coeficiente de determinación; S: desvío estándar del modelo; EmDi: desde emergencia a diferenciación floral - DiMa: desde diferenciación floral a madurez comercial - EmMa: desde emergencia a madurez comercial.

por R^2 se indica el rango de dg en que se aplicaron.

Los dg acumulados en el período EmDi explicaron algo más del 50% de la variabilidad del rendimiento ($R^2=0,56$) entre los umbrales 10-21 °C y del diámetro ($R^2=0,53$) entre los umbrales 10-24 °C, y tuvieron una pobre estimación del ciclo ($R^2=0,35$) entre los umbrales 4-24 °C.

En la etapa DiMa, el TT acumulado no resultó significativo para calcular diámetro; en la estimación del rendimiento el mejor modelo sólo incluyó la temperatura de 7°C como umbral inferior ($R^2=0,22$), y el modelo más ajustado para predecir ciclo ($R^2=0,51$) utilizó los umbrales 7-23 °C.

Para la época completa de cultivo, EmMa, los modelos de dg con mayores R^2 se obtuvieron entre los umbrales 10-18 °C para rendimiento ($R^2=0,41$) y diámetro ($R^2=0,50$), y entre los umbrales 10-24 °C para ciclo ($R^2=0,45$).

Estos resultados sugieren que aproximadamente el 50% del rendimiento y del diámetro de Legacy, transplantado entre mayo y agosto, estuvo determinado por los dg acumulados durante la primera parte del ciclo (EmDi) y que la temperatura mínima que afectó la definición de estos parámetros (10 °C) fue superior al umbral de 4 °C indicado para el crecimiento de la especie por Chau & Foury (1994).

También se destacó la ausencia de buenos modelos que incluyeran solamente un umbral térmico inferior, aunque entre éstos hubo uno que resultó significativo para predecir rendimiento en DiMa cuando los que incorporaron ambos umbrales no lo fueron.

Modelos de regresión basados en los valores de temperatura de aire registrados

Las temperaturas medias intervinieron en los me-

jores modelos de temperatura generados: las de todo el ciclo (EmMa) explicaron más del 50% de la variabilidad del rendimiento ($R^2=0,60$) y del diámetro ($R^2=0,72$), y las del período DiMa resultaron muy buenas estimadoras del ciclo: $R^2=0,90$ (Tabla 4). Estos modelos basados en temperaturas medias tuvieron mejores ajustes con las variables estudiadas que los basados en el TT.

Para las temperaturas de aire registradas en las 11 fechas de cultivo de Legacy analizadas, los R^2 de los mejores modelos TT obtenidos para estimar rendimiento, diámetro y ciclo indicaron que estas variables productivas estuvieron afectadas en igual proporción por otros factores, y sugirieron la existencia de umbrales: 10-21 °C para rendimiento, 10-24 °C para diámetro y 7-23 °C para ciclo.

La mejor combinación de umbrales que definió el diámetro correspondió a los límites superiores de los valores seleccionados para el cálculo de los dg (10-24 °C). Sería conveniente explorar la respuesta de este parámetro productivo a otras combinaciones de temperaturas más altas que puedan registrarse en situaciones de cultivo distintas a las estudiadas (Tabla 1), sin ignorar la ausencia de un modelo significativo cuando se incluyó el valor de 10 °C como umbral inferior sin límites máximos.

Con respecto al ciclo, aunque algunos modelos basados en el TT han sido exitosos para predecir la fecha de cosecha de diferentes cultivares de brócoli bajo distintas condiciones ambientales (Dufault, 1997; Tan *et al.*, 2000b), debe ponerse énfasis en los umbrales utilizados. El cálculo del TT puede resultar inútil si la temperatura base no fue bien establecida para la especie (Arnold, 1959) o si no se tuvo en cuenta que puede ser cultivar-específica (Tan *et al.*, 2000b).

Para los tres parámetros analizados, aun los mo-

Tabla 4: Modelos de regresión ⁽¹⁾ seleccionados por el método Stepwise que vinculan los parámetros productivos del híbrido de brócoli Legacy y las temperaturas de aire en los períodos del ciclo evaluados.

| Variable | Modelos que incluyeron | R^2 | Modelos que incluyeron | R^2 | Modelos que incluyeron | R^2 |
|-----------------------|--|------------------------|--|------------------------|---|------------------------|
| | las T mínimas | S | las T medias | S | las T máximas | S |
| Rendimiento comercial | $y = 223,78 + 1236,71 \text{ minEmMa}$ | <u>0,57</u> 8566,43 | $y = -811,98 + 35,99 \text{ medEmMa}^2$ | <u>0,60</u> 8726,15 | $y = -2340,42 + 16,74 \text{ maxEmMa}^2$ | <u>0,49</u> 7933,33 |
| Diámetro de pella | $y = 14,28 + 0,07 \text{ minEmMa}^2$ | <u>0,63</u> 6,83 | $y = 10,19 + 0,03 \text{ medEmMa}^2$ | <u>0,72</u> 7,33 | $y = 8,57 + 0,01 \text{ maxEmMa}^2$ | <u>0,64</u> 6,91 |
| Duración del ciclo | $y = 101,07 - 4,45 \text{ minDiMa} + 0,12 \text{ minEmDi}^2$ | <u>0,86</u> 13,00 | $y = 157,97 - 7,93 \text{ medDiMa} + 0,19 \text{ medDiMa}^2$ | <u>0,90</u> 13,33 | $y = 247,11 - 11,63 \text{ maxDiMa} + 0,20 \text{ maxDiMa}^2$ | <u>0,81</u> 12,71 |

⁽¹⁾ Modelos significativo al 15% según la prueba de F; R^2 : coeficiente de determinación; S: desvío estándar del modelo; EmDi: desde emergencia a diferenciación floral - DiMa: desde diferenciación floral a madurez comercial - EmMa: desde emergencia a madurez comercial; min: temperaturas mínimas - med: temperaturas medias - max: temperaturas máximas

delos de temperaturas basados en las mínimas o en las máximas, menos precisos que los incluyeron las medias, tuvieron mayores R^2 que los modelos basados en los dg (Tablas 3 y 4).

Cuando los ambientes son fluctuantes, el TT puede ser una herramienta de predicción legítima y proveer una referencia común, sólo si las tasas de crecimiento del cultivo están relacionadas linealmente con la temperatura (Roberts *et al.*, 1997).

Se destaca que para predecir la duración del ciclo, empleando ya sea dg o temperaturas, los mejores modelos incluyeron el período DiMa; estableciéndose así para Legacy lo sugerido por Wurr *et al.* (1991) sobre la diferente influencia que tiene el ambiente en la duración de las etapas vegetativa y reproductiva de la especie y, por lo tanto, el error que encierran los cálculos de la duración del ciclo a partir de las condiciones térmicas registradas desde el transplante hasta la madurez.

Para Legacy y otros híbridos y cultivares de brócoli, sobre los que no se han determinado experimentalmente umbrales térmicos de crecimiento y desarrollo, convendría confirmar si los valores de temperatura registrados durante su ciclo, sin transformaciones, explican o no una variabilidad muy aceptable del parámetro considerado, antes de utilizar modelos de dg adaptados.

Los resultados obtenidos sugieren que, antes de aplicar dichos modelos, debería corroborarse para cada genotipo, además del tipo de relación existente entre un parámetro y la temperatura, si tienen requerimientos de frío para la diferenciación floral, si valores térmicos superiores a un umbral dilatan o aceleran los eventos ontogénicos del cultivo y si otros factores ambientales, como la luz, influyen en sus definiciones al interactuar con las temperaturas.

CONCLUSIONES

Para las condiciones de temperaturas de aire registradas durante los 11 ciclos de cultivo de brócoli evaluados, los parámetros rendimiento comercial, diámetro de la pella y duración del ciclo fueron estimados con mayor precisión por los valores de temperaturas sin transformar que por el tiempo térmico calculado a través del programa de uso libre Degree Day Utility Versión 2.3.

BIBLIOGRAFÍA

Arnold, C.Y., 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 74: 430-445.

- Baron, C.; F.E. Maradei y C. Barés, 1996. Manejo Pos-Cosecha de brócoli. Publicación de la Corporación del Mercado Central de Buenos, Inspección de Frutas y Hortalizas, 18 pp.
- Chaux, C. et C. Foury, 1994. Productions Legumières Tome 2. Ed. Lavoisier, Paris, pp. 85-99.
- Diputado, M.T. and M.A. Nichols, 1989. The effect of sowing date and cultivar on the maturity characteristics of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). Acta Hort. 247: 59-66.
- Dufault, R.J., 1996. Dynamic Relationship between Field Temperatures and Broccoli Head Quality. J. Am.Soc.Hort.Sci. 121(4): 705-710.
- Dufault, R.J., 1997. Determining heat Unit Requirements for Broccoli Harvest in Coastal South Carolina. J.Am.Soc.Hort.Sci.122 (2): 169-174.
- Fellows, J.; R.J. Reader and D.C.E. Wurr, 1997. A model for leaf production and apex development in calabrese. J.Hort.Sci., 72 (2): 327-337.
- Francescangeli, N., 2004. Efectos de la radiación solar y de la densidad de la plantación en características vegetativas y reproductivas de brócoli. Tesis doctoral, Univ. Nac. de Luján, 138pp.
- González Benavente, G.A.; J.A. Fernández; J. Muñoz; P. Montoro de Antonio y J.C. Pérez, 1993. Calendarios de producción de brócoli para otoño-primavera. Agrícola Vergel, Agosto: 423-428.
- Grevsen, K., 1998. Effects of temperature on head growth of broccoli (*Brassica oleracea* L. var *italica*): parameter estimates for predictive model. J.Hort.Sci.and Biotech. 73 (2): 235-244.
- Limongelli, J.C., 1993. Crucíferas. In Vigliola, M.I. Manual de Horticultura. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Buenos Aires. Editorial Hemisferio Sur S.A., 235 pp.
- Marshall, B. and R. Thompson, 1987. A model of the influence of air temperature and solar radiation on the time to maturity of calabrese, *Brassica oleracea* var *italica*. Ann. Bot. 60 (5): 513-519.
- Miller, C.H., 1985. A model for leaf production and apex development in calabrese. J.Hort.Sci. 72 (2): 327-337.
- Miller, C.H.; T.R. Konsler and W.J. Lamont, 1985. Cold stress influence on premature flowering of broccoli. Hort Science 20: 193-195.
- Montoro de Antonio, P.; A. González Benavente; J.A. Fernández; J. Muñoz y J.T. Gallego Agüero, 1992. Comportamiento de variedades de brócoli a lo largo de distintos ciclos de cultivo. Agrícola Vergel, Diciembre: 724-733.
- Roberts, E.H.; R.J. Summerfield; R.H. Ellis; P.Q. Craufurd and T.R. Wheeler, 1997. The induction of flowering, in The physiology of vegetable crops. Ed. H.C. Wien, London, pp. 69-100.
- SAS Institute Inc., 1989. SAS/STAT User's Guide, Version 6, Fourth Edition, V(2), Cary, N.C.: SAS Institute Inc. 8846 pp.
- Tan, D.K.Y., C.J. Birch; A.H. Wearing and K.G. Rickert, 2000. Predicting broccoli development. I. Development is predominantly determined by temperature rat-

- her than photoperiod. *Sci.Hort.*84: 227–243.
- Tan, D.K.Y., C.J. Birch; A.H. Wearing and K.G. Rickert, 2000.b. Predicting broccoli development. II. Comparison and validation of thermal time models. *Sci.Hort.* 86: 89-101.
- Teitel, P.M.; U.M. Peiper y J.Y. Zvieli, 1993. Cubiertas. Pantallas de Aluminio para la Prevención de Heladas. Instituto Vulcani de Israel. 4pp.
- Titley, M.E., 1987. The scheduling of fresh market broccoli in southeast Queensland for exporting to southeast Asia markets from May to September. *Acta Hort.* 198: 235–242.
- University of California, 1994. Degree Day Utility 2.3. [en línea] . UC IPM Microcomputer Software and Databases . The Regents of the University of California, October 4, 2002. <http://www.ipm.ucdavis.edu/IPMPROJECT/software.html#DDU>. [Consulta: 27 agosto 2003].
- Vecchio, C., 1995. Manejo del Cultivo de Brócoli. *Boletín Hortícola*, Año 3 (8): 14-16.
- Wien, H.C. and D.C.E. Wurr, 1997. Cauliflower, Broccoli, Cabbage and Brussels Sprouts, *in*:The physiology of vegetable crops. Ed. H.C. Wien, London, pp. 511-552.
- Wurr, D.C.E., J.R. Fellows and A.J. Hambidge, 1991. The influence of field environmental conditions on calabrese growth and development. *J.Hort.Sci.* 66 (4): 495–504.
- Wurr, D.C.E., J.R. Fellows; K. Phelps and R.J. Reader, 1995. Vernalisation in calabrese (*Brassica oleracea* var. *italica*) — a model for apex development. *J.Exp.Bot.* 46 (291): 1487–1496.
- Wurr, D.C.E.; J.R. Fellows and K. Phelps, 1996. Investigating trends in vegetable crops response to increasing temperature associated with climate change. *Sci. Hort.* 66, 255-263.